

# ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA MIGRACIÓN DEL SISTEMA MÓVIL UMTS/HSPA A LTE

Orozco G. Nathaly  
Ing. Olmedo Gonzalo, Ph.D.  
Ing. León Rubén, MSc.

## DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

### RESUMEN

El presente artículo tiene como objetivo primordial analizar las técnicas de acceso WCDMA, OFDMA y SC-FDMA, para adicionalmente comprender la arquitectura de las redes UMTS/HSPA y LTE, a fin de determinar mecanismos para que un operador pueda migrar de UMTS/HSPA a LTE, tanto a nivel de red como a nivel de espectro radioeléctrico.

### ABSTRACT

The principal objective of this article is to analyze the access techniques WCDMA, OFDMA and SC-FDMA, to further understand the architecture of UMTS/HSPA and LTE, in order to establish mechanisms for an operator can to migrate from UMTS/HSPA to LTE, considering the network and the spectrum.

### 1. INTRODUCCIÓN

La telefonía móvil ha evolucionado notablemente, así en la actualidad se ha desarrollado la tecnología LTE (Long Term Evolution). Definida para unos como una evolución de UMTS (3G) y para otros constituye un nuevo concepto de arquitectura evolutiva (4G), de hecho LTE será la clave para el despegue del internet móvil, servicios de transmisión de datos a mayores distancias y velocidades. La novedad de LTE es la interfaz radioeléctrica basada en OFDMA para el enlace descendente y SC-FDMA para el enlace ascendente. La modulación elegida por el estándar 3GPP hace que las diferentes tecnologías de antenas (MIMO) adquieran gran facilidad en la implementación, lo cual permite hasta cuadruplicar la eficiencia de transmisión de datos.

LTE está basada en una arquitectura totalmente IP, es decir en una conmutación solamente de paquetes, mientras que UMTS, basa su arquitectura tanto en conmutación de paquetes como es conmutación de circuitos es decir no es en su totalidad IP, es por esto que LTE es una tecnología mucho más eficiente que UMTS, debido a que tiene una arquitectura más simple, disminuye los retardos en la transmisión, optimiza los servicios basados en conmutación de paquetes y soporta altas tasas de transmisión y principalmente posee una increíble flexibilidad en el uso del espectro radioeléctrico.

Por lo antes indicado, es importante conocer la funcionalidad y pasos que los operadores de redes UMTS/HSPA pueden dar para evolucionar sus redes a LTE de manera efectiva, e identificar desafíos y soluciones potenciales para habilitar la interacción de LTE con redes desplegadas actualmente.

Por tanto, este artículo no únicamente analiza la arquitectura de la red LTE para que pueda trabajar con redes UMTS, sino además se proponen bandas y canalizaciones de frecuencias para el despliegue de redes LTE en el Ecuador.

### 2. INTERFACES RADIOELÉCTRICAS

#### 2.1 WCDMA

La tecnología de radio empleada en UMTS es WCDMA la cual emplea la técnica de Espectro Esparcido por Secuencia Directa (DSSS), este proceso básico ofrece robustez, flexibilidad, resistencia a las interferencias y solidez contra interferencias mal intencionadas (jamming). Para poder poner en práctica su eficiencia, el método WCDMA utiliza un ancho de banda mayor que el de CDMA, esto le permite emplear varios canales de la interfaz de radio.

El ancho de banda efectivo de la interfaz radioeléctrica WCDMA es 3,84 MHz, sin embargo se ocupan bandas de protección de 0,58 MHz a cada lado de la portadora principal, con lo que se asigna 5 MHz para una portadora de esta tecnología [1].



Figura 1 Portadora de WCDMA y sus dimensiones [1].

La señal de datos en WCDMA, se aleatoriza con un código de pseudo-ruido (PN) específico para cada usuario en la parte de la unidad transmisora con el fin de ensanchar la señal por toda la banda. En la unidad receptora, la señal recibida se extrae empleando la misma secuencia de código. Para analizar la tecnología WCDMA, es importante tratar ciertos puntos relacionados con las técnicas de modulación

digital, códigos existentes y los procesos como el esparcimiento o ensanchamiento (spreading) de la señal, la canalización (channelization), el scrambling y la codificación son indispensables para entender el manejo de los datos. La velocidad binaria del código empleado para el esparcimiento de la señal original es de 3,84 Mbps. Este valor es constante en todas las variantes de WCDMA utilizadas en las redes de 3G y se conoce como tasa de chips del sistema y se expresa como 3,84 Mcps [2].

En WCDMA se realiza el denominado control de potencia que implica controlar la potencia de transmisión de la señal para optimizar el rendimiento del receptor en el caso en el que múltiples usuarios se encuentren activos en la misma celda o celdas vecinas, o debido al problema near-far que consiste en que usuarios cercanos a la estación base (BTS) bloquean la recepción de las señales débiles emitidas por los dispositivos móviles lejanos a la BTS. El control de potencia en WCDMA permite incrementar el número de usuarios por portadora al disminuir el nivel de interferencia. Esto se debe a que se realizan 1500 mediciones de la potencia por segundo [3] con lo que se puede modificar la potencia con la que transmiten tanto el móvil como la radio base.

## 2.2 OFDMA

OFDMA es una técnica basada en la modulación multi-portadora (Multi Carrier Modulation MCM) y en el acceso múltiple por división de frecuencia. La idea básica de la modulación multi-portadora es dividir una señal de banda ancha en sub-portadoras paralelas sin que estas se traslapen, sin embargo la tecnología OFDMA, permite que dichas sub-portadoras puedan traslaparse siempre y cuando sean ortogonales entre sí.

Las sub-portadoras tienen un ancho de banda de 15 kHz, pero es importante mencionar que la 3GPP ha acordado que para transmisiones en broadcast se puede emplear opcionalmente una separación de 7.5 kHz entre sub-portadora. Sin embargo, el Release 8 recomienda emplear los 15 kHz de separación debido a que se puede tolerar la pérdida de ortogonalidad entre las sub-portadoras y adicionalmente disminuye el efecto Doppler [4] para el estándar de la tecnología LTE. Un beneficio de esta técnica es la facilidad de adaptación a diferentes anchos de banda, lo cual resuelve problemas de asignaciones múltiples de bloques de frecuencia.

La posibilidad de tener diferentes sub-portadoras para ser asignadas a los diferentes usuarios permite diversidad en el dominio de la frecuencia, sin embargo esta diversidad puede verse afectada por interferencias momentáneas o por desvanecimiento en diferentes partes de la banda. Por lo cual el estándar LTE ha determinado que lo ideal es trabajar con un mínimo de 12 sub-portadoras de manera simultánea y de esta manera garantizar el envío de la información con bajas probabilidades de error. Estas 12 sub-portadoras, indican que el mínimo ancho de

banda para transmitir un símbolo OFDMA es de 180 kHz, considerando que cada sub-portadora en el estándar de LTE tiene un ancho de banda de 15 kHz. En el dominio del tiempo cada bloque de 180 kHz tarda 1 ms en transmitirse [4], además, en función del ancho de banda total del sistema. El número de bloques en función del ancho de banda se muestran en la Tabla 1 [5].

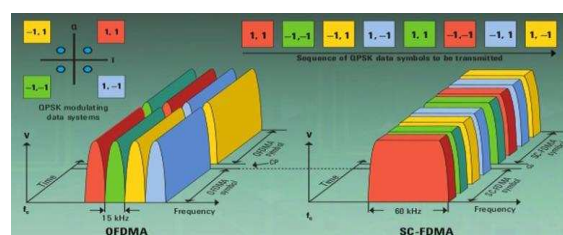
**Tabla 1** Número de bloques en función del ancho de banda asignado, para el downlink [5].

Ancho de banda (MHz)	1.4	3	5	10	15	20
Número de bloques	6	15	25	50	75	100

Debido a que las frecuencias centrales de las sub-portadoras de OFDMA están separadas 15 kHz entre ellas, a fin de mantener la ortogonalidad, la tasa de un símbolo debe ser igual a  $1/15 \text{ kHz} = 66.7 \mu\text{s}$ , por tanto cada portadora de OFDMA puede transmitir con una tasa máxima de 15 kps (kilosímbolos por segundo). Esto implica que con un ancho de banda igual a 20 MHz se puede alcanzar una tasa de símbolo de 18 Msps (100 bloques de 12 portadoras), si se emplea un esquema de modulación 64QAM se tendrá una tasa de transmisión máxima en el downlink para LTE igual a 108 Mbps.

## 2.3 SC-FDMA

SC-FDMA es una modificación de OFDMA con características similares de desempeño y complejidad. Este esquema de modulación se caracteriza porque cada uno de los símbolos es transformado al dominio de la frecuencia mediante la transformada discreta de Fourier (DFT) antes de que se realice la modulación OFDM. La principal ventaja tanto de OFDMA como de SC-FDMA, es la robustez frente a propagación de la señal por multitrayectos, lo que las hace unas adecuadas tecnologías de banda ancha.



**Figura 2** OFDMA y SC-FDMA

Esta técnica es utilizada en el uplink de LTE. Los bloques de sub-portadoras considerados en SC-FDMA utilizan valores similares a los empleados en el enlace descendente con OFDMA, así pues se emplea una separación entre sub-portadoras igual a 15 kHz. Adicionalmente, cada bloque está conformado por 12 sub-portadoras lo que implica que cada bloque sea igual a 180 kHz.

La principal ventaja de SC-FDMA frente a OFDMA radica en el bajo PAPR (Relación de Potencia Pico promedio) de la señal transmitida. El PAPR se define como la relación entre la potencia pico a la potencia

promedio de la señal transmitida. El bajo PAPR hace que SC-FDMA sea la tecnología preferida para el uplink pues se logra un uso muy eficiente de la energía almacenada en las baterías de los dispositivos móviles. [6]

### 3. TÉCNICAS MIMO

La tecnología MIMO (Múltiples Entradas y Múltiples Salidas) es una tecnología inalámbrica que utiliza varios transmisores y receptores para transferir más datos al mismo tiempo. La tecnología MIMO aprovecha un fenómeno de las ondas de multitrayectorías en la cual la información transmitida rebota en paredes, techos y otros objetos, de modo que llega a la antena receptora varias veces por distintos ángulos y en momentos ligeramente distintos.

Una de las tecnologías fundamentales introducidas junto con el primer Release para LTE, es la tecnología de operación MIMO, y adicionalmente multiplexación espacial, así como también precodificación y técnicas de diversidad en la transmisión. El principio básico de multiplexación espacial consiste en enviar señales de dos o más antenas diferentes con diferentes cadenas de datos y mediante procesamiento de las señales en el receptor se las puede separar, por lo tanto, incrementa la velocidad de transmisión en un factor de 2 (o 4 con una configuración de antenas de 4x4). La naturaleza OFDMA se adapta bien para la operación con la tecnología MIMO, pues para una operación exitosa de MIMO se requiere una razonablemente alta SNR, lo que se logra con la tecnología OFDMA.

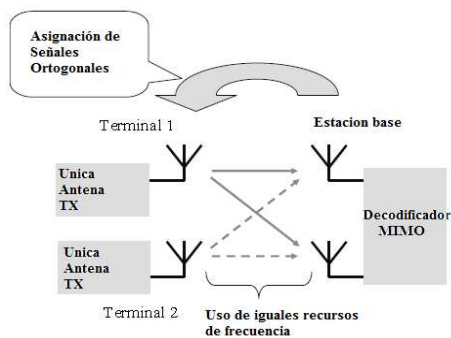


Figura 3 Multi-usuario principio MIMO con una sola antena de transmisión [4].

Se debe tener en cuenta que el uplink de LTE soporta la tecnología MIMO. Mientras el dispositivo está usando únicamente una antena, la tasa de transmisión de un único usuario no puede incrementarse con MIMO. Pero, el máximo nivel para la tasa de transmisión de una celda puede ser doblada, si se coloca dos dispositivos con señales de referencia ortogonales. Así, la transmisión en la estación base es tratada como una transmisión MIMO, como se muestra en la figura 3, y las cadenas de datos son separadas mediante procesamiento en el receptor. Este tipo de 'virtual' o 'MIMO Multiusuario' (MU-MIMO) es soportado en el Release 8 en LTE y no representa ninguna complejidad mayor en su

implementación desde la perspectiva del dispositivo pues únicamente la señal de referencia es modificada. En SC-FDMA es adecuado emplear usuarios ortogonales (dentro de la misma celda), considerando que la SNR de los usuarios que están cerca de la radiobase será alta.

### 4. ARQUITECTURAS DE RED

#### 4.1 Arquitectura UMTS

UMTS pretende reutilizar la red GSM. El terminal del sistema de la red de 3G se designa como UE y consta de dos partes diferenciadas, el equipo móvil (ME) y el módulo de identificación de usuario para UMTS (USIM).

La red de acceso es el subsistema que controla el acceso radioeléctrico en banda ancha, recibe diferentes nombres en función del tipo de tecnología de radio utilizada. El término genérico es Red de Acceso Radio (RAN). Para referirnos en particular a la tecnología de acceso WCDMA de un sistema UMTS, se emplea el nombre UTRAN.

El sistema UTRAN se divide en subsistemas de red radioeléctrica (RNS). Cada RNS consiste un conjunto de elementos de radio y su elemento de control correspondiente. En el caso de UTRAN se le considera como elemento o dispositivo de radio al NodoB, y el elemento de control es el Controlador de la Red Radioeléctrica (RNC). Los RNS se conectan entre sí a través de una interfaz interna de red de acceso (Iur).

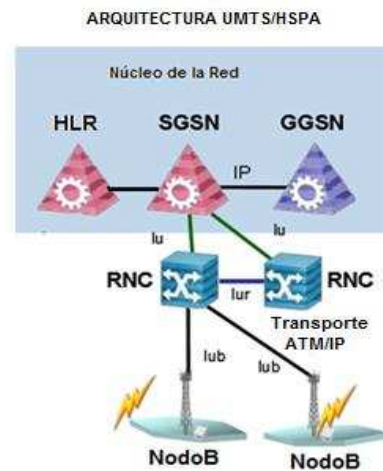


Figura 4 Arquitectura de la red UMTS/HSPA

El Núcleo de la Red (CN), realiza funciones de comunicación con la UTRAN y con otros CN. Este es el medio que permite soportar la movilidad de usuarios y brindar servicios a los mismos. Los elementos básicos que constituyen el CN son:

- Centro de Switchero Móvil/ Registro de Localización de Visitantes (MSC/VLR)
- Registro de Localización de Usuarios Locales (HLR)
- Gateway MSC (GMSC)
- Nodo de soporte de servicios GPRS (SGSN)

- Gateway para el nodo de soporte de servicios GPRS (GGSN)
- Centro de autenticación (AuC)
- Registro de identidad de los equipos (EIR)
- Interfaces abiertas

Se debe tener en cuenta que la arquitectura de HSPA es la misma que para UMTS, lo que existen son mejoras a nivel de software así pues se consiguen adaptaciones rápidas de los enlaces, retransmisiones mucho más rápidas con menores retardos lo que permite un incremento en la capacidad del sistema.

#### 4.2 Arquitectura LTE

Varias discusiones al respecto de la Evolución de la Arquitectura del Sistema (System Architecture Evolution-SAE), se han desarrollado y se han plasmado en las recomendaciones establecidas por la 3GPP en el Release 8, mismo que pretende la mejora de la arquitectura de la red, a fin de que se cumplan los siguientes objetivos:

- Arquitectura más simple.
- Optimización para servicios basados en conmutación de paquetes.
- Optimización para soporte de altas tasas de transmisión.
- Disminución en tiempos de respuesta y retardos en la transmisión.
- Simplificación del sistema, comparando respecto a otros sistemas celulares implementados.
- Optimización de la interconexión con otras redes de acceso inalámbricas y con otras redes 3GPP.

La figura 5, muestra la arquitectura y los elementos de la red E-UTRAN, así como también los nodos lógicos y conexiones básicas existentes en una arquitectura LTE. Adicionalmente, se puede apreciar la división de la arquitectura en cuatro dominios principales:

- Equipo de usuario (UE)
- UTRAN evolucionada (Evolved UTRAN → E-UTRAN)
- Núcleo de la Red de Paquetes Evolucionada (Evolved Packet Core Network - EPC)
- Dominio de Servicios

El UE, E-UTRAN y EPC juntos representan la Capa de Conectividad del Protocolo IP. Esta parte del sistema es conocida como Sistema de Paquetes Evolucionado (Evolved Packet System – EPS). La principal función de esta capa es proveer conectividad basada en IP, y está altamente optimizada para este propósito. Todos los servicios basados en conmutación de circuitos presentes en sistemas anteriores 3GPP, ya no lo están en EPC.

El desarrollo en E-UTRAN está concentrado en el NodoB evolucionado (evolved Node B - eNodeB). Todas las funciones de radio se concentran aquí, es decir el eNodeB es el punto de terminación para todos los protocolos relacionados con radio. Como

una red, E-UTRAN es simplemente una malla de eNodeBs conectados a los vecinos a través de la interfaz X2.

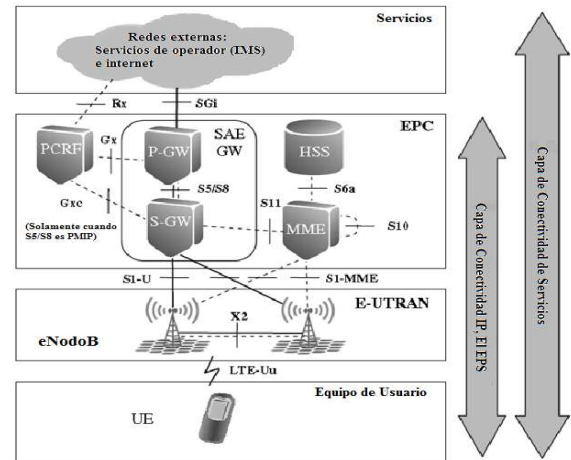


Figura 5 Arquitectura del sistema para E-UTRAN [4].

Uno de los grandes cambios de la arquitectura en el núcleo de la red es que el EPC no contiene un dominio de conmutación de circuitos, y no existe una conectividad directa a la tradicional red de conmutación de circuitos, tales como ISDN o PSTN. Funcionalmente el EPC es equivalente al dominio de conmutación de paquetes existente en las redes 3GPP.

Como se observa en la figura 5, se muestra un elemento denominado SAE GW. Esta figura indica, la combinación que representan los dos Gateways, el Gateway de servicio (S-GW) y el Gateway para la red de paquetes de datos (P-GW), definidos para el manejo de la UP (User Plane) en el EPC.

#### 4.3 Bandas de frecuencias para UMTS/HSPA y LTE

##### Bandas UMTS/HSPA

El espectro para los sistemas 3G fue originalmente atribuido en la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones (CAMR-92) y se buscó que fuera una asignación global tanto para servicios 3G terrestres como satelitales. Así, para los servicios terrestres se asignaron las bandas de frecuencias detalladas en la Tabla 2.

Tabla 2 Bandas de frecuencias para UMTS/HSPA [7]

Banda de Operación	Frecuencias para Uplink (MHz)	Frecuencias para downlink (MHz)
I	1920 – 1980	2110 – 2170
II	1850 – 1910	1930 – 1990
III	1710 – 1785	1805 – 1880
IV	1710 – 1770	2110 – 2170
V	824 – 849	869 – 894
VI	830 – 840	874 – 885

##### Bandas LTE

La disponibilidad de espectro también representará una barrera para LTE pues para alcanzar las velocidades prometidas se requieren 20MHz para el ancho de la portadora y muchos de los operadores no

cuentan con el espectro necesario. Aunque se está abriendo nuevo espectro en la banda de 2.6 GHz en Europa y 700 MHz en Estados Unidos y parte de Europa, esto no es suficiente para alcanzar las demandas de LTE [8].

**Tabla 3** Bandas de frecuencias LTE para FDD [8]

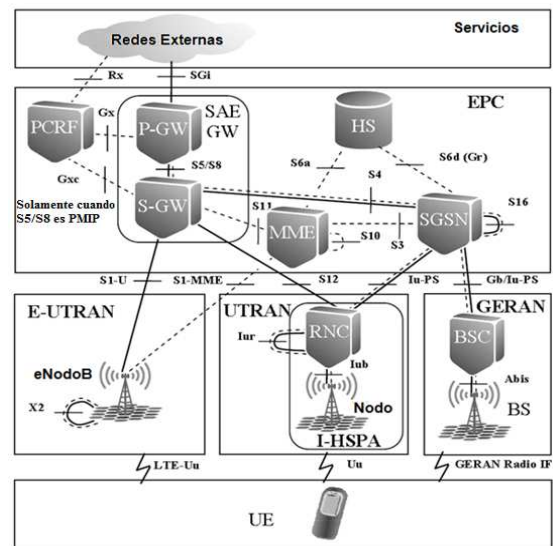
Banda de Operación	Frecuencias para Uplink (MHz)	Frecuencias para downlink (MHz)
1	1920 – 1980	2110 – 2170
2	1850 – 1910	1930 – 1990
3	1710 – 1785	1805 – 1880
4	1710 – 1755	2110 – 2155
5	824 – 849	869 – 894
6	830 – 840	875 – 885
7	2500 – 2570	2620 – 2690
8	880 – 915	925 – 960
9	1749.9 - 1784.9	1844.9 - 1879.9
10	1710 – 1770	2110 – 2170
11	1427.9 - 1452.9	1475.9 - 1500.9
12	698 – 716	728 – 746
13	777 – 787	746 – 756
14	788 – 798	758 – 768
15	Reservada	
16	Reservada	
17	704 – 716	734 – 746
18	815 – 830	860 – 875
19	830 – 845	875 – 890
20	832 – 862	791 – 821
21	1447.9 – 1462.9	1495.9 – 1510.9
TBD	790 – 862	790 - 862

## 5. FACTIBILIDAD PARA LA MIGRACIÓN DE LA TECNOLOGÍA MÓVIL UMTS/HSPA A LA TECNOLOGÍA LTE

### 5.1 Configuración del sistema para un trabajo conjunto de la red E-UTRAN y redes de acceso 3GPP.

La figura 6 describe la arquitectura y los elementos de red, donde todas las redes de acceso 3GPP definidas, como E-UTRAN, UTRAN y GERAN, están conectadas al núcleo de la red EPC.

Funcionalmente la E-UTRAN, UTRAN y GERAN proveen conectividad de servicios de manera muy similar, donde la única diferencia serán las tasas de transmisión y el desempeño de la red, pero a nivel de arquitectura, estas redes de acceso son totalmente diferentes, así, las portadoras son administradas en el EPS comparado con las redes existentes como UTRAN o GERAN. Sin embargo, cuando UTRAN o GERAN están conectados al EPC, estas podrían operar desde esta perspectiva y para este propósito el S-GW asume las funciones de nodo de soporte Gateway GPRS (Gateway GPRS Support Node - GGSN). Además, en un trabajo entre redes optimizado con las redes de acceso E-UTRAN, GERAN y UTRAN, el comportamiento será el mismo al que si trabajaran con redes de acceso iguales. La diferencia comienza a ser visible en el EPC, porque antes el GGSN solía ser fijo, y ahora como el S-GW actuará como GGSN, cambiará junto con el SGSN (Nodo de soporte de servicios GPRS) durante la movilidad del UE.



**Figura 6** Arquitectura del Sistema para redes de acceso 3GPP [4]

El EPC necesita además de las interfaces ya existentes, algunas nuevas interfaces que le permitan realizar un intercambio de información con las redes UTRAN y GERAN. Las nuevas interfaces son S3, S4 y S12 y se muestran en la figura 6.

El eNodeB diseñado en la E-UTRAN está enfocado a la optimización de los requerimientos de OFDMA, el cual debe ser considerado para el diseño de la arquitectura para que las redes de acceso puedan trabajar juntas. Consecuentemente el eNodeB, no puede ser una interfaz directa con las otras redes de acceso 3GPP, y la interacción hacia el EPC es la misma que en otros casos de movilidad que involucran al EPC. Sin embargo, optimizar el trabajo entre redes significa que la red controla los eventos de movilidad (handovers), y provee funcionalidades que permitan manejar la comunicación con la menor cantidad de interrupciones a los servicios. Por tanto, el eNodeB debe ser capaz de coordinar con las celdas de UTRAN y GERAN los valores de señal del UE, y de este modo poder tomar decisiones de handover basadas en los resultados de las mediciones.

A fin de que las redes E-UTRAN, UTRAN y GERAN puedan trabajar de manera conjunta, se debe realizar algunas configuraciones y actualizaciones adicionales en determinados elementos de la red, mismos que se describen a continuación:

**Tabla 4** Consideraciones en los elementos de la red para el trabajo entre E-UTRAN, UTRAN Y GERAN.

Elemento de la Red	Consideraciones
UE	Debe soportar todas las tecnologías de radio, operaciones de movilidad definidas entre dichas tecnologías y las bandas de frecuencias respectivas.
E-UTRAN	Para el propósito de handover, las celdas vecinas de las otras redes necesitan ser configuradas en cada eNodeB
UTRAN	Debe desempeñar las mismas medidas de control y funciones de análisis que la E-UTRAN, así como también el transporte de información de handover.
GERAN	Está conectada al SGSN tanto en el plano de control como en el plano de usuario, y por tanto esta conexión es empleada para funcionalidades de trabajo entre redes.
EPC	Tiene la función central dentro de la arquitectura del sistema definida para un trabajo entre redes, pues

	gracias a este pueden funcionar juntas las redes de acceso.
MME	Requiere señalización con el SGSN para soportar la movilidad entre redes.
S-GW	Es el anclaje de movilidad para los sistemas de acceso 3GPP. En las operaciones portadoras básicas y de movilidad entre SGSNs, el S-GW se comporta como un GGSN hacia el SGSN, y además hacia el RNC.
SGSN	Mantiene funciones como controlar nodos en el núcleo de la red tanto para E-UTRAN, UTRAN y GERAN. Requiere actualización de software para soportar el cambio de S-GWs.

## 6. POSIBLES BANDAS Y CANALIZACIÓN DE FRECUENCIAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LTE EN EL ECUADOR

De acuerdo a las bandas de frecuencias detalladas para los sistemas móviles UMTS/HSPA y LTE, en las Tablas 2 y 3 respectivamente, se puede verificar que de acuerdo a lo indicado por la 3GPP, todas las bandas de frecuencias asignadas para UMTS/HSPA, pueden ser también empleadas por los sistemas LTE. Sin embargo, se debe analizar si estas bandas están o no siendo ocupadas actualmente, a fin de poder desplegar tecnologías de cuarta generación.

Es importante notar que la tecnología LTE puede ser desplegada en un mayor número de bandas de frecuencias, mismas que fueron elegidas por la UIT basadas en el principio de identificación de bandas de frecuencias armonizadas a nivel mundial. La tendencia además es liberar la mayor cantidad de espectro posible para los sistemas IMT, esto basado en el reporte UIT-R M.2078, el cual indica que se requieren alrededor de 1720 MHz para el año 2020 para mercados de alto desarrollo y 1280 MHz para mercados de menor desarrollo, a fin de garantizar tasas de transmisión adecuadas al usuario.

La tendencia a nivel mundial no ha sido emplear las bandas de frecuencias que actualmente ocupa UMTS/HSPA, para el despliegue de las tecnologías móviles de cuarta generación. Esto debido a que el mercado para los sistemas 3G aún no está explotado en su totalidad, y día a día se suman más usuarios empleando terminales móviles con esta tecnología.

Las administraciones de telecomunicaciones de todo el mundo, están buscando soluciones que permitan maximizar los beneficios económicos y sociales asociados con la asignación del espectro radioeléctrico, en particular el Regulador Nacional, se encuentra trabajando a fin de buscar los mecanismos más óptimos, adecuados, rápidos y eficientes que permitan extender los servicios de banda ancha móvil a toda la comunidad. Por tanto, bandas como la de 700 MHz es ideal para contribuir con estos objetivos debido a la cobertura que ofrece y a su eventual liberación gracias al dividendo digital.

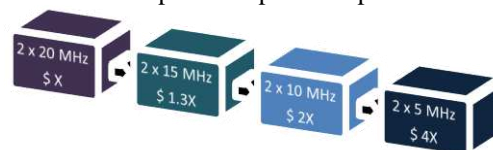
Adicionalmente, y debido a la gran demanda de tráfico y servicios, en la actualidad se están otorgando licencias de bandas de espectro a fin de

agregar capacidad a las redes o simplemente para fomentar nuevos servicios con tecnologías de cuarta generación. En las Américas, las bandas AWS (Advanced Wireless Service) y 2.5 GHz ya han agregado una cobertura y capacidad significativa en mercados como el estadounidense, canadiense o chileno y sin duda dentro de los próximos años se esperan licencias de este espectro en varios países de América Latina.

Existen cinco factores, relacionados con el espectro radioeléctrico que determinan si un operador móvil puede proveer servicios y accesos de banda ancha de alta calidad a los usuarios [10]:

- Acceso a bandas armonizadas de espectro.
- Acceso a una correcta combinación de bandas de frecuencias (bajo y sobre 1GHz).
- Acceso suficiente al espectro (suficiente ancho de banda).
- Acceso al espectro a precios razonables.
- Eficientes y transparentes procesos de asignación de espectro radioeléctrico.

Es importante tener en cuenta la cantidad de espectro que requiere un operador, así, el despliegue de redes LTE con canales de 2x10 MHz costará el doble que una red con canales de 2x20MHz de acuerdo a un estudio realizado por la empresa Empiris.



**Figura 7** Costos de despliegue de una red LTE en función del ancho de banda [10]

A continuación, se realiza un análisis de las bandas que podrían ser consideradas para sistemas móviles de 4G en el Ecuador.

### 6.1 Banda de 700 MHz

Para el futuro despliegue de los sistemas de IMT avanzados, resulta necesario disponer de espectro adicional en la parte baja del cuadro de frecuencias identificadas en el Reglamento de Radiocomunicaciones de la ITU. De ahí que, se acogió con satisfacción los resultados de la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones 2007 (CMR-07), que identificó el espectro UHF en la Región 2 (Américas), por debajo de la actual banda de 850MHz.

Analizar la banda de 700 MHz para sistemas 4G, implica mencionar al Dividendo Digital, que constituye la liberación de ciertas frecuencias de difusión actuales en la banda UHF debido al cese de difusiones analógicas, las mismas que serán sustituidas por las digitales. Por tanto constituye una interesante oportunidad para los países de Latinoamérica reasignar la banda de 700 MHz a servicios de telecomunicaciones móviles de nueva generación en forma previa al apagón analógico.

Otro factor importante a considerar es que las características de propagación del espectro por debajo de 1 GHz, hacen que sea ideal para ampliar la cobertura de los servicios móviles de Banda Ancha a zonas rurales y por tanto la puesta de este espectro a disposición de estos servicios contribuirá a reducir la brecha digital y fomentar la competencia entre varias plataformas diferentes en la prestación de servicios multimedia avanzados al público.

Es importante mencionar que la administración de la CITEL (Comisión Interamericana de Telecomunicaciones), recomienda el uso de la banda 698 – 806 MHz, de la siguiente manera:

- La sub-banda 698 – 764 MHz y 776 – 794 MHz, para sistemas inalámbricos avanzados.
- La sub-banda 764 a 776 MHz y 794 a 806 MHz, para aplicaciones PPDR (Protección Pública y Socorro en Casos de Desastre).

Actualmente, se proponen dos modelos de canalización para esta banda de frecuencias. El primero de ellos basado en la canalización adoptada por los Estados Unidos y el segundo modelo planteado por la APT (Asia Pacific Telecommunity).

### Opción 1 – Estados Unidos

Como en muchos países del mundo, en los Estados Unidos la banda de 700 MHz, estuvo asignada previamente para sistemas de televisión análoga, específicamente los canales UHF del 52 al 69. La FCC (Federal Communications Commission) estableció que dichas frecuencias ya no eran necesarias para los broadcasters, debido a una mejor eficiencia espectral al emplear transmisiones digitales. Por tanto, dicho espectro fue asignado para el despliegue de redes de 4G y se adoptó la canalización indicada en la figura 8.

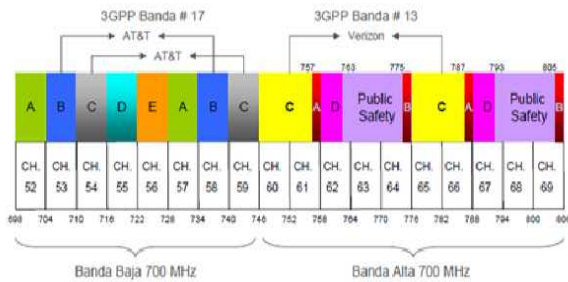


Figura 8 Alternativa de canalización de USA en la banda de 700 MHz [11].

### Opción 2 – APT (Asia Pacific Telecommunity)

La APT, considera 5 propuestas de canalización para esta banda, de las mismas se ha elegido la opción 4, por ser la que más se ajusta a las necesidades del Ecuador para el despliegue de LTE, la cual se analiza a continuación:

Un grupo de administraciones y de empresas de telecomunicaciones propusieron un simple pero eficiente arreglo de frecuencias con tecnología FDD en la banda de 698 – 806 MHz con las siguientes características:

- Arreglo de 2x50 MHz con una banda central de 8 MHz de separación entre el uplink y el downlink.
- Espaciamiento dúplex de 58 MHz.
- Transmisión dúplex invertida.

Este arreglo de frecuencias FDD, provee una máxima utilización del espectro, es decir, se emplean 100 MHz de los 108 MHz disponibles en la banda. La figura 9 detalla los diferentes arreglos de canales que se pueden realizar con esta opción.

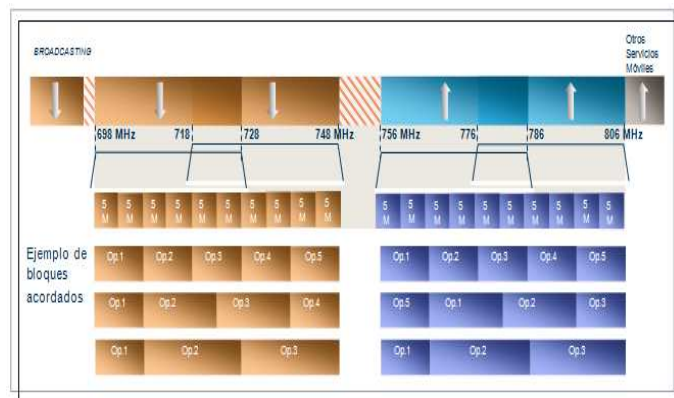


Figura 9 Arreglos de canales que se puede realizar con la opción 4 de la APT [12].

### 6.2 Banda AWS (Advanced Wireless Service)

En la actualidad se está asignando la banda AWS (1710-1755 MHz y 2110-2155), en varios países del mundo, debido a la demanda de tráfico y con el fin de agregar capacidad y fomentar nuevos servicios y competencia en los mercados móviles.

La banda de espectro AWS, es muy apropiada para agregar un ancho de banda significativo y valioso que sea efectivo y eficiente para los consumidores y operadores inalámbricos en las Américas. Se debe tener en cuenta que en el Plan Nacional de Frecuencias del Ecuador la banda AWS está asignada para sistemas IMT, motivo por el cual esta banda deberá ser considerada para la implementación de sistemas 4G.

Para esta banda se considera una canalización basada en la realizada por la FCC en los Estados Unidos, canalizando en esta banda un total de 2x45 MHz de espectro. La canalización propuesta para el Ecuador se detalla en la figura 10. Esta canalización es muy flexible con la tecnología LTE, pues los canales son de 5 MHz lo que permite una implementación adecuada de la tecnología y adicionalmente se puede asignar este espectro a varios operadores.

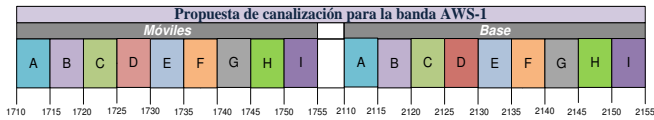


Figura 10 Propuesta de canalización de la banda AWS

### 6.3 Banda 2.5 GHz

La banda de 2500-2690 MHz, está alineada a lo largo de todas las regiones de la ITU. Esta armonización puede tener un impacto significativo en la disponibilidad de los equipos, a causa de las economías de escala globales. Aun así, existen distintos diseños de banda internos, cuyo aspecto central radica en la separación entre FDD y TDD dentro de la banda para evitar la interferencia técnica. El diseño de banda más común es la opción 1 de la ITU (2x70 MHz para FDD, con 50 MHz para TDD en el centro de la banda).

En América Latina, la mayoría de los reguladores está analizando la utilización de la opción 1 de la ITU para introducir las tecnologías FDD y TDD, lo cual posibilitaría que la banda se utilizara con una tecnología más neutral para LTE y WiMax. La GSMA, actualmente se encuentra realizando una campaña para que la banda de 2.6 GHz sea utilizada de acuerdo con la opción 1 planteada por la ITU, ya que esto permitirá el despliegue de servicios FDD sin interferencia con los servicios TDD. La canalización que se propone para el Ecuador en función de la opción 1 de la UIT se muestra en la figura 11.

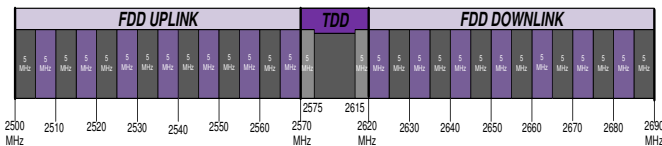


Figura 11 Opción 1 de la ITU para canalización en la banda de 2.5 GHz [10]

## 7. CASO DE ESTUDIO

Con el fin de analizar la viabilidad de migración de la tecnología UMTS/HSPA a LTE a parte de la configuración de la red, se debe considerar otros aspectos adicionales como el espectro radioeléctrico o características de dimensionamiento, a continuación se analizan estos aspectos desde el punto de vista de un Operador del Servicio Móvil Avanzado en el Ecuador.

El Operador de Prueba, tiene concesionado un total de 35 MHz distribuidos entre la banda de 850 MHz y la banda de 1900 MHz, de acuerdo a lo indicado en la figura 4.25.

A fin de determinar la capacidad que tienen el operador de prueba con la portadora UMTS/HSPA empleada, se necesitan algunos parámetros de dimensionamiento de dicha red, los cuales se detallan en la Tabla No 5.

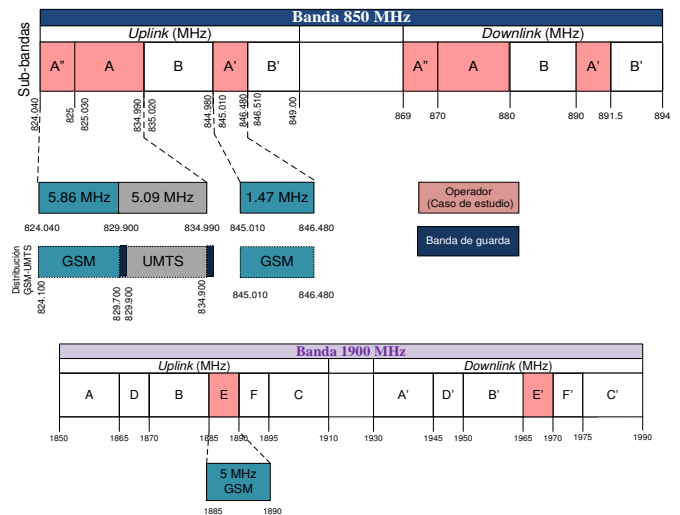


Figura 12 Bandas de frecuencias concesionadas para el SMA del Operador de Prueba [13].

Tabla 5 Parámetros de dimensionamiento de la red UMTS/HSPA del Operador de Prueba

Parámetros	Valor	Definición
Potencia Total de transmisión (P)	19.95 W	Potencia de Transmisión del Nodo B
Potencia asignada a canales físicos de Control [14]	3.6 W	Potencia de Transmisión asignada a los Canales de Control
Potencia asignada al canal HS-DSCH (P <sub>HS-DSCH</sub> )	16.35 W	Potencia de Transmisión del Nodo B menos Potencia de Transmisión asignada a los Canales de Control
Factor de Geometría (G)	-1 dB	Parámetro que permite determinar la relación entre la potencia de la señal y los niveles de interferencia producidos por otras radiobases y el ruido en general.
Factor de Ortogonalidad (α) [14]	0.52	Debido a la dispersión multitrayectoria se producen pérdidas en la ortogonalidad entre los códigos empleados para los usuarios. Está pérdida se determina mediante el denominado factor de ortogonalidad.
Factor de Ensanchamiento (SF <sub>16</sub> )	16	Característica propia de UMTS/HSPA en el downlink

Se debe determinar la relación promedio entre la señal a la interferencia más ruido ( $\gamma_b$ ), la cual se define mediante la ecuación 1 [15]:

$$\gamma_b = SF_{16} \frac{P_{HS-DSCH}}{P_{own}} \frac{1}{1-\alpha+G^{-1}} \quad (1)$$

Donde:

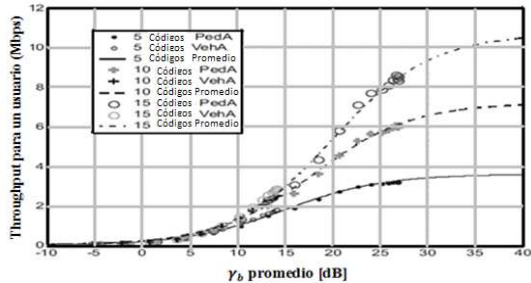
$P_{own}$  → Potencia total de transmisión del Nodo B menos  $P_{HS-DSCH}$

La figura 4.27 muestra el throughput promedio para un usuario incluyendo los mecanismos de adaptación del enlace en función del  $\gamma_b$ . Los resultados se muestran para 5, 10 y 15 códigos.

Empleando los parámetros de dimensionamiento de la red del Operador de Prueba detallados en la Tabla 5 y la Ecuación 1, se determinó un valor  $\gamma_b$  de 16.2



dB. Utilizando la figura 13, el resultado de  $\gamma_b$  y considerando que los NodosB del operador de prueba trabajan con 10 códigos HS-DSCH simultáneos, se determina que el valor del throughput para la red UMTS/HSPA en el downlink es igual a 3.33 Mbps. Si se considera codificación de canal (Turbo códigos  $r = 3/4$ ), la tasa de transmisión máxima de cada NodosB es igual a 4.40 Mbps.



**Figura 13** Throughput promedio en el downlink en función del  $\gamma_b$  promedio y el número de códigos HS-DSCH empleados [15]

En la figura 14 se puede observar el throughput correspondiente a la transmisión de datos y voz que soporta cada NodosB en la red UMTS/HSPA del Operador de Prueba desde el mes de octubre de 2010 hasta el mes de marzo de 2011. En esta figura se han ordenado los NodosB desde el que tienen una mayor a una menor carga de tráfico. Es importante tener en cuenta que existen ciertos NodosB que sobrepasan el límite teórico de capacidad obtenido anteriormente (3.33 Mbps).



**Figura 14** Throughput correspondiente a la transmisión de datos y voz que soporta cada NodosB en la red UMTS/HSPA del Operador de Prueba

De la figura 14, se puede determinar que el tráfico promedio incrementa con el transcurso de los meses, dicho incremento es de aproximadamente 85 kbps en cada NodosB. Considerando dicho incremento, se puede proyectar que en 3 años la capacidad de la red UMTS/HSPA con el espectro actual (una portadora de 5 MHz) no será suficiente para soportar el tráfico de los usuarios con esta tecnología.

## 8. RESULTADOS DE ESTUDIO

Una vez que se ha determinado que en los próximos años la capacidad actual de la red UMTS/HSPA del operador de prueba no será suficiente para brindar servicios de banda ancha móvil con tasas de transmisión adecuadas para las aplicaciones existentes y nuevas que aparezcan el mercado, se

propone considerar una posible implementación de la tecnología LTE en el Ecuador a fin de poder brindar nuevas y mejores aplicaciones.

Sin duda, se puede pensar también en emplear nuevas portadoras para la tecnología UMTS/HSPA a corto plazo, sin embargo, en la actualidad ya está disponible la tecnología LTE, misma que podría ser implementada en el Ecuador en un mediano plazo, siempre cuando se hayan establecido las bandas de frecuencias a ser utilizadas para los sistemas IMT- Avanzados, así como las canalizaciones adoptadas para estas bandas, teniendo muy en cuenta además que la implementación de los sistemas 4G deberá realizarse acorde a las políticas establecidas para la región, considerando aspectos como el roaming, disminución de interferencias en las fronteras o las economías de escala.

Los operadores en el Ecuador como CONECEL S.A (Claro) y OTECEL S.A. (Movistar), tienen implementadas las tecnologías GSM y UMTS/HSPA cuyas redes pueden ser conectadas a una red LTE, mediante la interconexión al núcleo de la red LTE con el BSC y el RNC, respectivamente, a través de las interfaces definidas para el efecto. Por lo antes mencionado, se puede indicar que estos operadores deberán desplegar una red LTE en su totalidad, a la cual se interconectarán la UTRAN y GERAN para poder brindar servicio a los usuarios que no dispongan de terminales LTE. Es importante recordar además que en los elementos de la UTRAN y GERAN deben realizarse ciertas configuraciones y actualizaciones a fin de que puedan trabajar conjuntamente con el E-UTRAN. Adicionalmente, se plantea que en el Ecuador se utilicen las bandas y canalizaciones propuestas en la en la sección 6, considerando su actual ocupación o disponibilidad, Es importante también, que el regulador de las telecomunicaciones en el país tome en cuenta las canalizaciones y políticas adoptadas en otros países a fin de mantener homogeneidad con la región.

## 9. CONCLUSIONES

Es evidente que en un corto tiempo la capacidad de las redes UMTS/HSPA actuales no será suficiente para soportar el incremento del tráfico, debido al apareamiento de nuevos servicios de banda ancha móvil, por lo que se puede pensar en el despliegue de una red LTE, para soportar la demanda de aplicaciones de los usuarios con altas tasas de transmisión, para brindar nuevos y mejores servicios con mayores velocidades.

Para que sea factible la migración de la tecnología UMTS/HSPA a LTE en el Ecuador, se debe tener en cuenta aspectos como disponibilidad de espectro, ancho de banda requerido, y el ente regulador debe procurar liberar las bandas que proporcionan mejores alternativas para la implementación de esta tecnología.

Debido a que las operadoras móviles con más usuarios en el país tienen implementadas redes GSM y UMTS/HSPA, les será más fácil desplegar la tecnología LTE, ya que estas redes no requieren una interconexión muy compleja con la E-UTRAN. Por este motivo, los operadores móviles deberán implementar una red LTE en su totalidad, a la cual se interconectarán la UTRAN y GERAN para poder brindar servicio a los usuarios que no dispongan de terminales LTE.

Es importante tener en cuenta las bandas de frecuencias con mayor acogida a nivel mundial, para de esta manera facilitar aspectos como la armonización en la producción a escala de dispositivos a fin de que no se requiera un equipamiento específico en cada país lo cual sería más costoso (no hay economías de escala), el roaming internacional ya que será más complicado de implementar considerando los distintos planes de frecuencias en diferentes países.

En conjunto con la elección de las bandas de frecuencias más adecuadas de acuerdo a la situación del Ecuador, viene el hecho de elegir la mejor alternativa de canalización para utilizar de manera eficiente el espectro radioeléctrico, adicionalmente se debe canalizar de acuerdo a las decisiones adoptadas por los países de la región, para de esta manera lograr una armonización práctica entre países.

La mejor alternativa para el Ecuador es canalizar las bandas establecidas para IMT en bloques de 5 MHz, pues, el espectro requerido para estas tecnologías así lo requiere y, adicionalmente esto permitirá flexibilidad en las concesiones de frecuencias a los operadores de SMA. Así, se podrá asignar cantidades de espectro similares a dichos operadores, fomentando así un marco de libre competencia.

#### Referencias bibliográficas

- [1] Kaaranen, Heikki, Redes UMTS, Arquitectura, movilidad y Servicios, Segunda Edición, Editorial Alfaomega, México 2005.
- [2] What is IMT-2000?.  
[http://www.itu.int/osg/imt-project/docs/What\\_is\\_IMT2000-2.pdf](http://www.itu.int/osg/imt-project/docs/What_is_IMT2000-2.pdf). Fecha de consulta: Octubre de 2010.
- [3] Karim, M.R., WCDMA and CDMA2000 for 3G mobile networks, Editorial McGraw-Hill Telecom, Estados Unidos 2002.
- [4] Harri Holma, Antti Toskala, LTE for UMTS OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access, Editorial John Wiley & Sons Ltd., Finlandia 2009.
- [5] Especificación Técnica 3GPP TS 36.101 V8.0.0 (Release 8), User Equipment (UE) radio transmission and reception, Diciembre de 2007.
- [6] SC-FDMA Single Carrier FDMA in LTE.  
[http://www.ixiacom.com/pdfs/library/white\\_papers/S\\_C-FDMA-INDD.pdf](http://www.ixiacom.com/pdfs/library/white_papers/S_C-FDMA-INDD.pdf). Noviembre de 2010.
- [7] Especificación técnica 3GPP TS 34.121 Versión 6.0.0 (Release 6), Radio transmisión y recepción (FDD). Marzo de 2005.

<http://www.3gpp.org/ftp/specs/html-info/34121.htm>.  
Fecha de consulta: Diciembre de 2010.

- [8] Long Term Evolution. 2010.  
<http://es.wikitel.info/wiki/LTE>. Enero de 2011.
- [9] Especificación Técnica 3GPP TS 36.104 V9.4.0 (Release 9), Base Station (BS) radio transmission and reception, Junio de 2010.
- [10] The 2.6GHz Spectrum Band An Opportunity for Global Mobile Broadband. 2010.  
<http://www.gsmamobilebroadband.com/upload/resources/files/2392010131807.pdf>. Mayo de 2011.
- [11] 700 MHz Public Safety Band. 2007  
<http://www.fcc.gov/pshs/public-safety-spectrum/700-MHz/safetyband.html>. Mayo de 2011.
- [12] Asia-Pacific Telecommunity, [www.aptsec.org/sites/APT-AWF-REP-11UHF\\_DD\\_reportr1\\_1-rev1.doc](http://www.aptsec.org/sites/APT-AWF-REP-11UHF_DD_reportr1_1-rev1.doc). Mayo de 2011
- [13] Secretaría Nacional de Telecomunicaciones, "Bandas de frecuencias Servicio Móvil Avanzado".  
<http://www.conatel.gob.ec>. Mayo de 2011.
- [14] Holma, Harry, WCDMA for UMTS, Tercera Edición, Editorial John Wiley & Sons Ltd., Inglaterra
- [15] Holma, Harry, HSDPA/HSUPA for UMTS: High Speed Radio Access for Mobile Communications, Primera Edición, Editorial John Wiley & Sons Ltd., Inglaterra 2006.

#### BIOGRAFÍAS

##### Orozco G. Nathaly



Nació en Quito en 1986. Realizó sus estudios secundarios en el Colegio Marista. Obtuvo el título de bachiller especialidad Físico - Matemáticas en 2004. Sus estudios universitarios los realizó en la Escuela Politécnica del Ejército entre 2004 y 2011 donde obtuvo el título de Ingeniera en Electrónica y Telecomunicaciones.

##### Olmedo C. Gonzalo



Nació en Quito en 1974. Obtuvo el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones en la Escuela Politécnica del Ejército en 1998. Obtuvo una Maestría en el área de Telecomunicaciones y Telemática en la Universidad Estatal de Campiñas, UNICAMP, Brasil en el 2003. Obtuvo un Doctorado en la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación FEEC en la Universidad de UNICAMP, Brasil.

##### León V. Rubén



Nació el 30 de abril de 1962 y obtuvo su título de Ingeniero Electrónico en la Escuela Politécnica del Ejército en 1985, su grado de Magíster en Ciencias en Brasil en 1992 y sus áreas de interés son el Procesamiento Digital de Señales, Análisis Espectral Digital y su aplicación en los Sistemas de Telecomunicaciones.