



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**EFFECTOS DE LAS REDES DE CUARTA GENERACIÓN (LTE) EN  
MÉXICO. VISIÓN PRESENTE Y FUTURA.**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO “**MECÁNICO ELECTRICISTA  
ÁREA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**”

PRESENTA

**ALFONSO HERNÁNDEZ SOTO**

**DIRECTOR DE TESIS**

**M.I. BENJAMÍN VALERA OROZCO**



CIUDAD UNIVERSITARIA 2014.

## Agradecimientos

Agradezco a mi familia que más amo en el mundo, Lizelly mi adorada esposa e Itzely mi hija hermosa, por el apoyo y motivación que me dan día a día para crecer persona y como profesional para el logro de mis metas personales y familiares, así como lograr el objetivo de terminar la carrera de ingeniería y titularme.

A mi mamá Maria de Carmen, que dio su máximo esfuerzo para que llegara a ser una persona de bien. Mi hermana Marisol por estar conmigo y apoyarme en los buenos y malos momentos de mi infancia y adolescencia.

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Ingeniería, mi alma mater, por la oportunidad que me brindaron de ser parte de la comunidad universitaria y que sin ello no podría ser lo que soy.

Hoy con la frente en alto y mirando al horizonte de la vida, puedo decir que el más grande legado de todos a parte de la vida, es la educación y el profesionalismo de ejercer una carrera, misma que al igual que la vida, hay que luchar día a día para obtenerlas y demostrar que de verdad que somos merecedores de este gran privilegio y responsabilidad para ser una buen mexicano y apoyar al crecimiento del país.

Agradezco la inmensidad de Dios hacia mí por darme la vida y sabiduría ya que sin él no soy nada y con él soy todo.

# ÍNDICE

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.

1.1 Definición del problema.....	6
1.2 Objetivos generales y particulares.....	6
1.3. Justificación y contribución.....	6
1.4 Estructura de la tesis.....	7
1.5 Antecedentes de las comunicaciones móviles en México.....	8

## CAPÍTULO 2. PRINCIPALES ORGANIZACIONES INTERNACIONALES INVOLUCRADAS EN LTE.

2.1. Introducción.....	12
2.2. ITU (International Telecommunication Union).....	12
2.2.1. ITU-R (Sector de Radiocomunicaciones de la ITU).....	12
2.2.1.1. IMT-2000 (International Mobile Telecommunication).....	13
2.2.1.2. IMT-Advanced.....	13
2.3. 3GPP.....	15
2.4. 4G Américas.....	16
2.5. AHCJET.....	16
2.6. CITELE.....	17
2.7. GSMA.....	18
2.8. NGMN.....	18
2.9. ETSI.....	20

## CAPÍTULO 3. LTE (LONG TERM EVOLUTION).

3.1. Introducción a LTE.....	23
3.2. Cuadro comparativo entre diversos estándares de comunicación móvil.....	24
3.3. CAPEX y OPEX en LTE.....	24
3.4. Comparación de la propagación de la señal para el caso de LTE.....	25

## CAPÍTULO 4. INTERFAZ AÉREA (EUTRA).

4.1. Perspectiva de la interfaz aérea.....	28
4.2. Teoría y fundamentos del estándar.....	28
4.2.1. Transmisión FDD y TDD.....	29
4.2.2. Prefijo Cíclico.....	30
4.2.3. Frecuencia portadora y EARFCN.....	31
4.2.4. MBMS en LTE.....	33
4.2.5. Tabla de frecuencias utilizables en LTE.....	33
4.3. Multiplexaje de canal para LTE.....	34
4.4. Modulación en LTE.....	36
4.4.1. PSK (modulación por desplazamiento de fase).....	36
4.4.1.1 QPSK.....	37
4.4.2. QAM.....	38
4.4.2.1. 16 QAM.....	38
4.4.2.2. 64 QAM.....	39

4.5. Clases de capacidad de UE y sus características compatibles.....	40
4.6. Acceso a usuarios múltiples en LTE.....	41
4.7. Sistema MIMO LTE.....	45
4.7.1. Justificación de uso.....	45
4.7.2. Transmisión diversa.....	46
4.7.3. Multiplexación espacial.....	46
4.8. Elementos que intervienen en el UE y el eNodoB.....	47
4.8.1. Elementos que intervienen en la UE.....	47
4.8.2. Elementos que intervienen en el eNodoB.....	49
4.9. EUTRAN (Señalización).....	51
4.9.1. Canal.....	53
4.9.2. Estrato.....	54
4.9.3. Capa.....	55

## **CAPÍTULO 5. EVOLVED PACKET CORE.**

5.1. EPC.....	59
5.1.1. Arquitectura de EPC.....	59
5.1.2. MME (Mobility Management Entity).....	61
5.1.3. HSS (Home Subscriber Server).....	64
5.1.4. S-GW (Serving Gateway).....	65
5.1.5. PND-GW (Packet Data Network Gateway).....	68
5.1.6. PCRF (Packet Data Network Gateway).....	69
5.1.7. SGSN.....	69
5.1.8. Otros componentes.....	70

## **CAPÍTULO 6. TENDENCIAS AL ESTÁNDAR LTE-ADVANCED.**

6.1. Comparativa de sus características principales contra LTE.....	73
---	----

## **CAPÍTULO 7. UTILIDADES.**

7.1. LTE vs 3G.....	76
7.2. LTE en la industria.....	76
7.3. Puntos importantes para el desarrollo de LTE.....	78
7.4. Puntos que serán importantes en el desarrollo de LTE.....	78
7.5. LTE y sus aplicaciones con diferentes proveedores.....	79

## **CAPÍTULO 8. DISEÑO RED LTE.**

8.1 Mercado objetivo oferta servicio de LTE.....	82
8.2 Servicios LTE a ofrecer.....	83
8.3 Ingeniería de la red LTE.....	84

**CAPÍTULO 9. PRESENCIA Y PERSPECTIVAS DE LTE EN MÉXICO.**

- 9.1. Capacidad de convergencias en tecnologías móviles presentes en México....101  
9.2. Expectativas de la aplicación de LTE en México con perspectivas a futuro....102

**CONCLUSIONES**.....105

**REFERENCIAS**.....107

**ACRÓNIMOS**..... 110

**ANEXOS**

- A1. Marco regulatorio de las telecomunicaciones en México.....114  
A2. Marco de trabajo en el espectro radioeléctrico de México.....114  
A3. Organismo gubernamentales regulatorios Mexicanos.....115  
    A3.1. Secretaría de Comunicaciones y Transportes.....116  
        A3.1.1. Subsecretaría de Comunicaciones.....116  
    A3.2. Comisión Federal de Telecomunicaciones.....117  
        A3.2.1. Pleno de la Comisión Federal de Telecomunicaciones.....117  
        A3.2.2. Consejo Consultivo de la Comisión Federal de Telecomunicaciones....117  
        A3.2.3. Comité Consultivo Nacional de Normalización en Telecomunicaciones.118  
        A3.2.4 La reforma constitucional y el Instituto Federal de Telecomunicaciones  
        ("IFETEL").....118

# CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Definición del problema.

México, como país en vías de desarrollo necesita un análisis objetivo sobre los beneficios y perjuicios de la inclusión de nuevas tecnologías a las redes de comunicación del dominio público, esto debido a que las vías de comunicación en México son bienes de la Nación y por consiguiente de sus gobernados; son solamente concesionados y permitidos (designación federal) para su aplicación, ejecución, administración, desarrollo y comercialización del espectro radioeléctrico sobre una tecnología en específico, dirigido a la misma población.

Con el nuevo estándar LTE, se busca un sistema más robusto, eficiente y rápido de comunicación, de igual forma, reciclar varios espacios del espectro electromagnético; referente a México, actualmente se está desperdiciando o no se ejerce la concesión otorgada debido a faltas de atención o percepción a este nuevo estándar, así como el desinterés que existe en el mercado.

De igual forma, es necesario dejar un precedente para las futuras generaciones, donde la comprensión de esta y otras tecnologías sobre telecomunicaciones, no sean solo un reto a supera, sino resulte en un complemento de educación y entorno social.

### 1.2 Objetivo general y objetivos particulares.

El objetivo general del presente trabajo es realizar un análisis descriptivo y conciso de la migración de redes celulares actuales en México hacia el estándar LTE (Long Term Evolution), los organismos nacionales e internacionales que regulan la misma, con un enfoque de los efectos, factores y el manejo en sí de esta tecnología en el territorio nacional en los planos de tiempo, presente y futuro.

#### Objetivos particulares.

- Compendio y comprensión del estándar LTE.
- Resumen y análisis de la evolución de la telefonía móvil en México.
- Visión sobre la convergencia de las tecnologías celulares en México.
- Análisis del marco regulatorio de México sobre las nuevas tecnologías.

### 1.3 Justificación y contribución.

México, país en vías de desarrollo, uno de sus elementos de crecimiento económico son las telecomunicaciones por lo que se necesita un análisis objetivo sobre los beneficios y desventajas de la incorporación de nuevas tecnología a las redes de comunicación del dominio público.

Como las vías de comunicación en México son bienes de la nación y de sus gobernados, existe la COFETEL, órgano regulador del gobierno federal que concesiona y permisiona a empresas privadas para su aplicación, ejecución, administración, desarrollo y comercialización del espectro radioeléctrico sobre una tecnología en específico, dirigido a proveerse a la misma población.

Con el nuevo estándar LTE, se busca una tecnología más robusta, eficiente y rápida de comunicación, de igual forma, reciclar varios espacios del espectro electromagnético; referente a México, que actualmente se están desperdiciando o no se ejerce la concesión otorgada debido a faltas de atención o percepción a este nuevo estándar, así como el desinterés que existe en el mercado.

Así mismo, es importante y necesario dejar un precedente para las futuras generaciones de mexicanos, donde la comprensión de esta y otras tecnologías sobre telecomunicaciones, no sean solo un reto a superar, sino sean un complemento de su educación y entorno social.

#### **1.4 Estructura de la tesis.**

**Capítulo 1:** Es el presente capítulo, en el cual se da una introducción hacia las comunicaciones inalámbricas y se presenta la propuesta realizada del proyecto, así como las justificaciones, objetivos y alcances del mismo.

**Capítulo 2:** Se describen las diferentes organizaciones internacionales que indican las normas y estándares de LTE.

**Capítulo 3:** Se realiza una introducción de LTE y sus componentes.

**Capítulo 4:** Se indica la Interfaz aérea (EUTRA), los métodos de modulación y transmisión.

**Capítulo 5:** Se expone el Evolve Packet Core, todo lo referente a la arquitectura de la tecnología LTE.

**Capítulo 6:** Se indica todo lo referente a las tendencias de LTE en México.

**Capítulo 7:** Se menciona las utilidades y servicios que se pueden ofertar con esta tecnología.

**Capítulo 8:** Se realiza una simulación de cálculo de eNodos B para la ciudad de Cuernavaca.

**Capítulo 9:** Se expone todo lo referente a la perspectiva y presencia de esta tecnología en México.



## 1.5 Antecedentes de las comunicaciones móviles en México.

El primer antecedente de las comunicaciones en México se remota en el año 1942, donde durante la segunda guerra mundial es creada la Corporación México-Norteamericana, constituida por un grupo de compañía militar mexicana y un grupo de asesores por cada país con la finalidad de implementar el Sistema de Defensa Antiaérea lo que conllevó a dar el primer paso a la incorporación de las comunicaciones en México.

En el año 1957, se otorga la primera concesión y permiso a la empresa Servicio Organizado Secretarial, S.A a través de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, para implementar, instalar, operar y explotar el servicio público de teléfonos a bordo de automóviles, donde se otorgó la utilización de la banda total de 132 a 144 MHz en toda la república.

En 1960, se establece la Comisión México-Norteamericana para la implementación y operación de la Estación Rastreadora de Satélites, se ubicó en el estado de Sonora con el propósito de desarrollar el proyecto Mercurio y Géminis, primeros programas espaciales tripulados de los Estados Unidos.

En conjunto, para septiembre de 1960, se crea la Comisión Nacional de Meteorología, para investigar, interpretar y difundir la formulación de pronósticos del tiempo. Como consecuencia de los sucesos que se vivían en aquellos años, como el lanzamiento del Sputnik y la realización del Año Geofísico Internacional en 1957-58, propiciaron la participación de México en las actividades espaciales. Por decreto del Presidente Adolfo López Mateos se creó en 1962, la Comisión Nacional del Espacio Exterior (CONEE), con el encargo de fomentar la investigación, explotación y utilización pacífica del espacio exterior.

Era el año de 1970, donde se construye el proyecto del Instituto Nacional de la Comunicación, que representa el primer esfuerzo formal por parte del gobierno mexicano en institucionalizar las acciones de investigación y desarrollo tecnológico.

En 1972 el Instituto Nacional de la Comunicación da origen al Centro de Investigación y Desarrollo de Telecomunicaciones (CIDET), organismo dependiente de la Dirección General de Telecomunicaciones, que se propuso iniciar labores, entre otros campos, en técnicas digitales y computadoras; ya para 1975 realizó proyectos como Red Digital para Transmisión de Datos, Red Rural de Telecomunicaciones, Redes de Telecomunicaciones para meteorología y geofísica. *(Méndez Docurro Eugenio 1999)*

El servicio de telefonía móvil en México se remonta a 1977, cuando se solicitó a la SCT de México (Secretaría de Comunicaciones y Transportes) una concesión para instalar, operar y explotar un sistema de radiotelefonía móvil en el Distrito Federal. Pero no fue hasta 1981 cuando se inició la comercialización de este servicio, el cual fue conocido por el público como Teléfono en el Auto, con el cual se logró, en un lapso de ocho meses, dar servicio a 600 usuarios.

Fue hasta 1984 donde se le brinda una concesión a Radiomóvil Dipsa, S.A. de C.V. conocida por su nombre comercial como Telcel, para construir, operar y explotar una red de servicio radiotelefónico móvil abordo de vehículos en el área metropolitana de la Ciudad de México, eligiendo como proveedor principal a la compañía Ericsson de origen Sueco, empresa con más de 100 años de experiencia en redes telefónicas en México, con estándares europeos aplicados en las centrales de conmutación, generando así la primera competencia en la telefonía móvil. *(COFETEL 1957 y 1989)*

Es transferido en 1985 el CIDET a la Dirección General de Desarrollo Tecnológico (DGIDT) conllevando el cambio de las obligaciones y diligencias. La SCT encargó ese mismo año a una consultoría, la elaboración de un estudio, que bajo el título de Plan Director de la Investigación y Desarrollo Tecnológico de las Telecomunicaciones de México; mismo estudio dio como conclusión la necesidad de crear una institución de investigación, que como órgano descentralizado se dedicará a la promoción y coordinación del desarrollo tecnológico de productos, redes y servicios de telecomunicaciones. Por ello en 1987, inicia actividades el Instituto Mexicano de Comunicaciones (IMC), pero aún no contaba con presupuesto propio ni diligencias.

Como parte del proyecto sexenal y estructura presupuestal previsible para el periodo 1989-1994, se le brinda un presupuesto al IMC y le son transferidas todas las comisiones e infraestructura con la que contaba el CIDET, así como de la DGIDT.

De nueva cuenta, en el Plan de Desarrollo 1989-1994, se establece la importancia de modernizar las telecomunicaciones para el desarrollo nacional y se destaca la necesidad de diversificar los servicios, mejorar la calidad y ampliar la cobertura con mayor participación de particulares.

Son modificadas a finales de 1989 las concesiones existentes en telefonía móvil y se le permite ahora aprovechar la tecnología celular en dispositivos móviles, y se establecen y definen las regiones de uso. En 1992 se constituyó e integró la Comisión Nacional de Normalización, y posteriormente en 1993 se establece al Comité Consultivo Nacional de Normalización de Comunicaciones y Tecnologías de la Información (CCNN-CTI). *(Cofetel \_ Antecedentes 2010)*.

Con el transcurso de los gobiernos y los problemas económicos, políticos y sociales vividos en forma nacional e internacional, se vuelve necesario un reordenamiento en la SCT, por lo que se decreta en 1995 la creación de la Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL) en la Ley Federal de Telecomunicaciones, y para 1996, ya en funciones la COFETEL, se suprime el IMC.

En 2011, la COFETEL bajo el reglamento que lo rige y la Ley Federal de Telecomunicaciones, crea al Consejo Consultivo de la COFETEL; como entidad para asesoramiento, comentario y opinión sobre la regulación y la administración del espectro y tecnologías nuevas en el ramo de las telecomunicaciones de forma permanente, siendo conformado por personas con experiencia en las telecomunicaciones y precedido por el consejero presidente de la COFETEL.

En 2013, se dio una reforma constitucional presentada por el Presidente de la República, dentro del marco de los acuerdos y compromisos establecidos en el Pacto por México, donde se reformaron el artículo 6 para regular el derecho a la información y la protección de datos personales; el artículo 7 para establecer la inviolabilidad de la difusión de opiniones, información e ideas a través de cualquier medio; los artículos 27 y 28 para conferir al Instituto Federal de Telecomunicaciones la facultad de otorgar y revocar concesiones en materia de radiodifusión y telecomunicaciones y que sus decisiones solo puedan ser impugnadas mediante juicio de amparo indirecto; el artículo 73 para dotar al Congreso de facultades expresas para dictar leyes en materia de tecnologías de la información y la comunicación, radiodifusión y telecomunicaciones, incluida la banda ancha e Internet; el artículo 78 para suprimir la facultad de la Comisión Permanente de ratificar los nombramientos de los integrantes de los órganos reguladores en materia de telecomunicaciones y competencia económica; y el artículo 94 para que el Consejo de la Judicatura Federal determine el número, división de circuitos, competencia territorial y especialización en materia a los juzgados y tribunales especializados en radiodifusión, telecomunicaciones y competencia económica.

Se adicionaron el artículo 6 para garantizar la inclusión de la población a la sociedad de la información y del conocimiento y su acceso a las tecnologías de la información y los servicios de radiodifusión y telecomunicaciones, incluida la banda ancha e Internet, siendo éstos prestados en condiciones de competencia, calidad, pluralidad, cobertura universal, interconexión, convergencia, acceso libre y continuidad, para determinar que los ataques a la vida privada son una limitación a la libertad de difusión (anteriormente ubicada en el artículo 7), para establecer un organismo público que proveerá el servicio de radiodifusión sin fines de lucro; y el artículo 28 para crear la Comisión Federal de Competencia Económica y el Instituto Federal de Telecomunicaciones y para permitir a este último las acciones necesarias para evitar prácticas desleales o monopólicas y establecer medidas correctiva.

En los artículos transitorios se estableció que el Congreso de la Unión realizará las adecuaciones correspondientes al marco jurídico y el ordenamiento legal sobre el uso, aprovechamiento y explotación del espectro radioeléctrico y las redes de telecomunicaciones; que se permite la inversión extranjera directa hasta el cien por ciento en telecomunicaciones y comunicaciones vía satélite y hasta el cuarenta y nueve por ciento en radiodifusión.

## **CAPÍTULO 2. PRINCIPALES ORGANIZACIONES INTERNACIONALES INVOLUCRADAS AL ESTÁNDAR LTE.**

## CAPÍTULO 2. PRINCIPALES ORGANIZACIONES INTERNACIONALES INVOLUCRADAS AL ESTANDAR LTE.

### 2.1. Introducción.

En el campo de las telecomunicaciones móviles, desde sus inicios se han creado varias organizaciones de nivel internacional para regular, administrar y dar seguimiento a las evoluciones que se tienen en dicho ámbito.

En este capítulo se describen brevemente las organizaciones internacionales involucradas en la investigación, desarrollo, implementación y administración de los actuales y nuevos estándares de comunicación, donde se resaltan solamente las organizaciones que realizan mayor énfasis sobre LTE.

### 2.2. ITU (International Telecommunication Union).

La ITU se fundó en París en el año de 1865 con el nombre de Unión Telegráfica Internacional. Para el año de 1934 adoptó su nombre actual, siendo hasta 1947 que se convierte en organismo especializado de las Naciones Unidas.

Actualmente la ITU funge como organismo regulatorio internacional, abarcando todos los tipos de comunicaciones actuales; con participación en los sectores públicos y privados, cuenta actualmente con el apoyo e influencia de más de 192 países miembros y unas 700 entidades del sector privado. (*International Telecommunications Union*)

Parte fundamental de la ITU es su atribución en la administración de normas técnicas en el espectro radioeléctrico y las órbitas de satélite a escala mundial, buscando así la garantía de la interconexión continua de las redes y las tecnologías, brindando también el acceso a la población civil más relegada de las mismas.

Para ir con la tendencia de las tecnologías, la ITU se ha actualizado de igual forma, organizándose ahora en una Secretaría General, y en tres sectores que son: Radiocomunicaciones, Normalización y Desarrollo; siendo Radiocomunicaciones la más influyente en el estándar LTE.

Como complemento de la información sobre la ITU, tiene una estrecha relación con otras organizaciones de la ONU para disminuir la brecha tecnológica a nivel mundial, por lo que una de las mejores propuestas para ello ha sido el estándar LTE, debido a que el fin que se busca, es el acceso universal a Internet y la generación de servicios basados en ella, cómo la telemedicina, teleducación y otros proyectos de mejora social.

#### 2.2.1. ITU-R (Sector de Radiocomunicaciones de la ITU).

La ITU-R desempeña un papel fundamental en la gestión del espectro de frecuencias radioeléctricas y de las órbitas de los satélites; siendo recursos naturales limitados que suscitan una demanda creciente por parte de un gran número de empresas concesionarias, tanto en servicios fijo, móvil, de radiodifusión, radioaficionados, investigación espacial, telecomunicaciones de emergencia, observación del medio ambiente y de comunicaciones que se encargan de la seguridad de la vida humana tanto en tierra, mar y aire. (*ITU Radiocommunication Sector*).



Como misión tiene el de garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas para todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los que emplean órbitas de satélites, así como realizar estudios y adoptar recomendaciones sobre las radiocomunicaciones. Con lo anterior se pretende crear las condiciones necesarias para el desarrollo armonizado y la utilización eficaz de los sistemas de comunicaciones nuevos y existentes, teniendo debidamente en cuenta a todas las partes concernientes.

Entre la mayoría de los ejes que maneja, esta tanto el monitoreo constante de redes públicas para su mejora y expansión, grupos de estudios sobre tecnologías de telecomunicaciones en diversos ámbitos y estándares, así como en el espectro radioeléctrico.

También cuenta con órganos internos que coadyuvan en la generación de soluciones y análisis de problemáticas como son las investigaciones por interferencia de señal o de pérdida de patrón de señalización, recomendación de asignación de frecuencias terrestres a los estados miembros y designación de frecuencias satelitales.

Entre las múltiples áreas con las que cuenta, una que es primordial, es IMT (International Mobile Telecommunication) que se encarga de la estandarización y normalización de lo referente a las telecomunicaciones móviles, abarcando la mayoría de los estándares en telefonía móvil ya sea sobre GSM (Global System for Mobile communications) o CDMA (Code División Múltiple Access) y sus respectivas evoluciones.

#### **2.2.1.1- IMT-2000 (International Mobile Telecommunication).**

El primer organismo dentro de ITU-R que se dedicó a la normalización de las tecnologías de telefonía móvil para la 3ra Generación, fue nombrado IMT-2000, esto debido a que contemplaría a las nuevas telecomunicaciones y a las actuales que se estarían utilizando en los años siguientes.

Los principales aportes fueron el apoyo a las recomendaciones para el uso y ejecución de los estándares comprendidos como de 3G, su adaptación de los modelos anteriores a éstos y una mayor capacidad de estandarización en el uso y aplicación de las frecuencias del espectro radioeléctrico en donde trabajarían los estándares, como son los de CDMA2000 y WCDMA. (*International Telecommunications Union*)

Sin embargo, con el arribo de los nuevos estándares y sus capacidades, se ha decidido dar paso a una nueva división encargada como lo fue IMT-2000 de la estandarización, monitoreo, recomendación, análisis y mejora de los mismos, cómo el servicio que pueden brindar, para ello deben de alcanzar ciertas características asentadas en IMT – Advanced.

#### **2.2.1.2. IMT-Advanced.**

Con el continuo avance en las telecomunicaciones y su desarrollo en la mayoría de los aspectos, el marco de trabajo que establece el IMT-2000 queda reducido, ya que las nuevas tecnologías superan las expectativas, por lo que surgieron las IMT-Advanced, como el conjunto de normas mundiales de la ITU para las comunicaciones avanzadas.

Esos sistemas dan acceso a una amplia gama de servicios de telecomunicaciones, en especial los servicios móviles avanzados, admitidos por redes fijas y móviles, que utilizan únicamente la transmisión por paquetes (Packet Circuit), generando así una mayor capacidad de transmisión ya sea para carga o descarga de información.

Los sistemas a admitir de la IMT-Advanced son aplicaciones de baja y alta movilidad y una amplia gama de velocidades de datos, de conformidad con las demandas de los usuarios y de servicios en numerosos entornos. También tienen capacidades destinadas a las aplicaciones multimedia de elevada calidad en una amplia gama de servicios y plataformas, lo que les permite lograr mejoras considerables de funcionamiento y calidad de servicio. Como parte de las características esenciales de las IMT-Advanced se encuentran las siguientes:

- Un alto grado de uniformidad de funciones en todo el mundo manteniendo al mismo tiempo la flexibilidad de admitir una amplia gama de servicios y aplicaciones rentables.
- Compatibilidad de servicios con las IMT y las redes fijas.
- Capacidad de funcionar con otros sistemas de acceso radioeléctrico.
- Servicios móviles de elevada calidad.
- Equipo de usuario para su uso en todo el mundo.
- Capacidad de interacción mundial.
- Velocidades máximas de transmisión de datos mejoradas para admitir aplicaciones y servicios avanzados (como objetivo a los efectos de la investigación, se han establecido velocidades de 100 Mbit/s para una movilidad alta y de 1 Gbit/s para una movilidad baja (velocidades de datos extraídas de la recomendación UIT R M.1645).

Gracias a las características antes mencionadas se puede responder a la continua evolución de las necesidades de los usuarios, y se introducen mejoras en las capacidades de los sistemas de IMT-Advanced en armonía con las tendencias de los usuarios y la evolución de la tecnología, esto siempre buscando la convolución entre los sistemas anteriores y los que saldrán, ya que un cambio constante de estándares afectaría considerablemente al mercado global y crearía un vacío en los sistemas de comunicaciones así como inestabilidad e incompatibilidad.

Con lo anterior y hasta el momento, solo han sido aceptados dos estándares que cumplen cabalmente con los requerimientos mínimos: LTE/SAE y WiMax 2<sup>1</sup>. Haciendo énfasis en LTE/SAE, la mínima capacidad que alcanza es de 100 Mbps, que comparándola con la última versión de HSPA+<sup>1.1</sup> con capacidad máxima de 80 Mbps, resulta que HSPA+ no cumple con los requerimientos mencionados y de igual forma la inversión a una red de estándar HSPA+ ya no es viable ni económico, en sí, no es rentable.

---

<sup>1</sup> **WiMAX**, siglas de Worldwide Interoperability for Microwave Access (interoperabilidad mundial para acceso por microondas), es una norma de transmisión de datos que utiliza las ondas de radio en las frecuencias de 2.3 a 3.5 GHz y puede tener una cobertura de hasta 60 km.

<sup>1.1</sup> **HSPA+**, siglas de High-Speed Packet Access (Acceso de paquetes de alta velocidad), es un estándar de internet móvil definido en la versión 7 de 3GPP y posteriores.



### 2.3. 3GPP.

Para estandarizar las tecnologías emergentes y que pueda existir una línea de seguimiento de las actuales, seis organizaciones de investigación, desarrollo y regulación de tecnología, que son: ATIS (EUA), CCSA (China), ETSI (Union Europea), TTA (Corea), TTC (Japan), se unieron para formar un ente común entre ellas y que se alimente de las investigaciones de las mismas, logrando la unificación entre los avances y su estandarización; se crea en Diciembre de 1998 la organización 3GPP.

La 3GPP comenzó con la estandarización de los avances en el estándar GSM y sus respectivas evoluciones; continuó con el estándar UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), y ahora con el estándar LTE/SAE y LTE-Advanced. De esta forma, se asegura que todas las partes involucradas en específico, telefonía móvil, se encuentren enteradas y colaboren desde su punto de vista y experiencia.

Para el objeto de estudio, el estándar LTE/SAE se publicó y estandarizó en el Release 8, en Diciembre de 2008 y sus documentos técnicos son TS 36.xxx y TS 23.xxx principalmente. Ahora, para lo que es LTE-Advanced se expuso en el Release 11, con los mismos documentos técnicos de LTE/SAE. La forma de trabajo de 3GPP para un proyecto se muestra en la imagen 2.1. (3GPP)

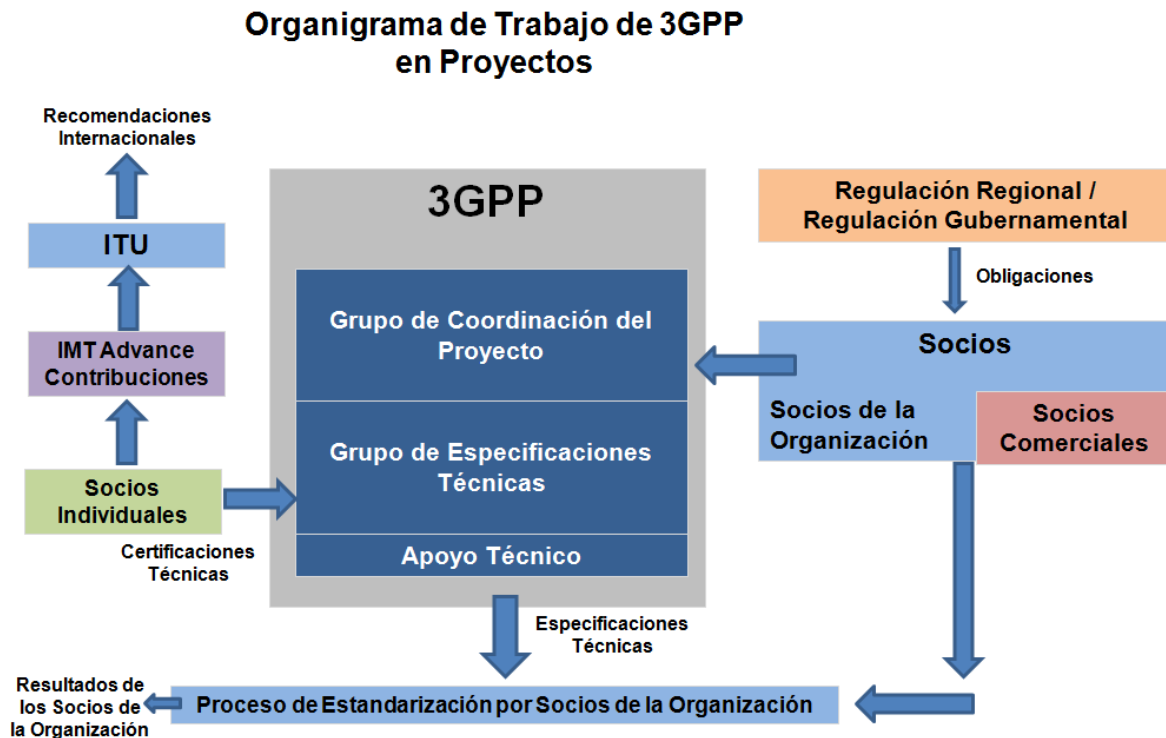


Imagen 2.1. Organigrama de Trabajo de la Organización de 3GPP.



## 2.4. 4G Américas.

Organización conformada por compañías involucradas en el mercado de las telecomunicaciones, tanto de investigación, desarrollo, implementación y proveedores de servicios; con el fin de acoplar las tecnologías venideras con las actuales, sin afectar los procesos que están en transcurso.

Fue establecida en enero de 2002 bajo el nombre de 3G Américas y con participación de 3GPP, entre otros. Para septiembre de 2008 la organización cambió su nombre a 4G Américas, debido a las nuevas tecnologías y teniendo como objetivo la implementación de la misma en la región de América, quedando la visión de 3G en la organización llamada GSMA. Actualmente se dedica a la difusión sobre las tecnologías basadas en 3GPP en el continente Americano, convirtiéndose así en un bloque único de los fabricantes, desarrolladores y de quienes brindan los servicios en el ramo de la telefonía móvil. Esto necesariamente implica las reuniones con los múltiples gobiernos y cuerpos regulatorios de cada uno, brindando asesoría para una regulación correcta del espectro radioeléctrico y su uso óptimo en la telefonía móvil. (*4G Américas*)

Entre los miembros principales se encuentran:

Alcatel-Lucent, América Móvil, AT&T, Cable & Wireless, COMMSCOPE, Ericsson, Gemalto, HP, Huawei, Nokia Siemens Network, Openwave, Powerwave, Qualcomm, RIM, Rogers, Shaw, T-mobile, Telefónica, entre otros.

## 2.5. AHCJET.

Esta asociación está dedicada a la investigación y actualización de los socios dentro de la organización, esto con el fin de mantener en amplio desempeño a los involucrados y de igual manera, tener los más altos estándares en cuanto a aplicación, desarrollo y calidad de las tecnologías en telecomunicaciones se trata.

A diferencia de otras asociaciones, la AHCJET es solamente para países Iberoamericanos, donde su enfoque es totalmente empresarial; los cursos e información que maneja son de forma económica, técnica y de marco legal de la aplicación de cierta tecnología para la región. Por su parte social, mantiene programas de beneficencia, aplicando modernos programas de apoyo como son: teleducación, telemedicina, medio ambiente, ciudades digitales, teletrabajo, turismo, así como otros; como se puede apreciar en su portal web. (<http://www.ahcjet.net/>). (*AHCJET*)

El principal manejo de la AHCJET es su aportación de experiencia sobre las tecnologías en plena aplicación en ambientes reales y con diversas complejidades, es por ello que participa como miembro agregado en varios foros internacionales como son 3GPP, ITU, y otras organizaciones.

Entre sus entidades asociadas Internacionales se encuentra, por parte de México: Telcel, Movistar y Lusacell.

## 2.6. CITEL.

Para velar por los intereses de las telecomunicaciones en la región y bajo la Unión Panamericana se crea la Comisión Interamericana de Comunicaciones Eléctricas en el año de 1924 y siendo presidida la primera reunión por el entonces Presidente de México el General Álvaro Obregón. Con el transcurso del tiempo y las necesidades de la región, se crea la OEA a finales de los años 50, y con ello se determina que las comunicaciones son ahora una parte fundamental para el desarrollo de la región; con lo anterior se decide reformar a la comisión existente y convertirla en la Conferencia Interamericana de Telecomunicaciones. (*Comisión Interamericana de Telecomunicaciones*)

En 1966 la OEA, siendo asesorada por la Conferencia Interamericana de Telecomunicaciones en cuanto a tecnología, implementación y consideraciones técnicas y mercantiles, obtiene el apoyo suficiente para crear la Red Interamericana de Telecomunicaciones (RIT), y con ello buscar una forma de comunicar a la región y dar acceso más simple a la población civil a estos recursos.

Con el paso del tiempo (año 1993), se decide cambiarle el nombre a la Conferencia Interamericana de Telecomunicaciones por la Comisión Interamericana de Telecomunicaciones CITEL, organismo autónomo y capitalizado de la OEA.

La CITEL ha contribuido enormemente en muchos foros internacionales difundiendo, a gobiernos y espacios de interés en cuestión, los avances tecnológicos, la normalización y su debida aplicación en cada nación. La Comisión ha influido en 3GPP para las tecnologías 2G, 3G, 4G, y las de 3GPP-2.

Se compone de la siguiente forma:

- Asamblea de la CITEL: Es el máximo órgano de la CITEL. Sirve de foro para que las más altas autoridades de telecomunicaciones de los estados miembros de la CITEL, compartan ideas y tomen decisiones para el cumplimiento de sus objetivos.
- Comité Directivo Permanente (COM/CITEL): Es el comité asesor de la CITEL en todo lo relacionado a las Telecomunicaciones/Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC).
- Comité Consultivo Permanente I (CCP.I): Es el comité asesor de la CITEL en todo lo relacionado a las TIC.
- Comité Consultivo Permanente II (CCP.II): Es el comité asesor de la CITEL en todo lo relacionado a las radiocomunicaciones incluyendo radiodifusión.
- Comité de Coordinación, conformado por: El Presidente del Comité Directivo Permanente (COM/CITEL), el Vicepresidente del Comité Directivo Permanente (COM/CITEL) y los Presidentes de los Comités Consultivos Permanentes (CCP).
- Secretaría de la CITEL: La Secretaría está compuesta por el Secretario Ejecutivo, designado por el Secretario General de la Organización en consulta con los miembros del COM/CITEL, y el personal profesional y administrativo que el Secretario General designe.

## 2.7. GSMA (GSM Association),

La fundación de la GSMA se remonta a 1982 con la declaración de EU GSM, sin embargo se funda como tal en 1995 por un MdE (Memorando de Entendimiento) de la Asociación GSM. ([GSMA](#))

Organización internacional, considera como una de las mayores asociaciones comerciales más poderosas en el mundo; encargada de la supervisión en implementación, desarrollo, aplicación, ejecución, mercadotecnia, economía, legislación y fiscalización a nivel mundial sobre el estándar GSM y sus evoluciones.

La asociación ha sido parte fundamental de las recomendaciones a 3GPP sobre las evoluciones de GSM, actualmente dirigido a LTE, donde la propuesta de GSMA es la convergencia de todas las tecnologías en una red más amplia, rápida y precisa en el envío y recepción de información. Entre otros de los proyectos que desenvuelve, funge como principal asesor y consejero de más de 200 países y de 800 empresas relacionadas a las telecomunicaciones. Actualmente revisa la aplicación de voz sobre LTE (VoLTE).

Como tal, GSMA tiene recursos de investigación bastos, ya sea en el área técnica, comercial o jurídica; al dar seminarios y “Trainings” sobre la forma idónea de la administración de este estándar, desde el punto de vista gubernamental (como regulador) hasta el privado (proveedor de servicio), donde al ser ambas de índole de aplicación y administración, tienden a diferir bastante. Esto debido a la dirección que toma una compañía en comparación al gobierno, ya que éste último no tiene ninguna obligación de brindar el servicio o tecnología, por ello se concesiona y se dan permisos para su distribución. Sin embargo, la misma GSMA dicta un punto de vista particular sobre las tarifas dirigidas al costo de las llamadas y uso de datos, convirtiéndose así en el punto de referencia de varios países para dictaminar sobre los costos, inversiones y ganancias que se obtienen sobre las tarifas y los impuestos correspondientes a estos.

## 2.8. NGMN (Next Generation Mobile Networks).

A nivel internacional es una de las organizaciones más importantes, su principal función es la visión técnica sobre las tecnologías de cuarta generación. En 2006, por iniciativa de varios operadores en cuestión de redes móviles, se funda la Alianza NGMN; con la función principal de velar por los intereses de los miembros en cuestión de la cuarta generación desde su infraestructura, servicios, plataforma informática y dispositivos necesarios para la misma. ([Next Generation Mobile Networks](#))

Los operadores, miembros de NGMN ayudan a definir los requerimientos para la siguiente generación de redes móviles de telefonía, y enfocado al aspecto técnico de las mismas, siguiendo siempre los estándares expuestos por organizaciones como 3GPP, ITU, y otras. Como parte de sus proyectos, tareas y diligencias, la alianza NGMN tiene:

- Establecer claramente los requerimientos funcionales y no funcionales.
- Presentación de escenarios para la utilización eficaz del espectro.
- Asegurar la viabilidad de la tecnología mediante la coordinación de muestras prototipos.
- Proporcionar información a organizaciones de normalización.

- Identificar y remover las barreras en la implementación de la tecnología.
- Desarrollar los casos de uso y las directrices para mejorar la eficiencia operativa.

En la fase inicial, la NGMN elaboró eficientemente el lanzamiento comercial y de servicios en 2010 mediante los grupos de trabajo en tecnología, espectro, ecosistema, y otros aspectos.

Como parte de su continuo desarrollo, la NGMN ha creado varios documentos donde expone desde el soporte para terminales, requisitos de los accesos de radio, optimización de la Auto Organización de la Red (“SON” por sus siglas en inglés), requerimientos de optimización del espectro radioeléctrico, uso idóneo del espectro radioeléctrico para próximas generaciones, entre otros.

Su forma de trabajo involucra a cada uno de los interesados en el desarrollo, implementación y uso de las nuevas tecnologías, por ello la imagen 2.2 muestra su forma de trabajo, la imagen 2.3 presenta sus miembros asociados, la imagen 2.4 muestra a sus asesores involucrados, la imagen 2.5 a sus patrocinadores y la imagen 2.6 a sus socios cooperadores.



Imagen 2.2. Organigrama de trabajo de la organización NGMN.



Imagen 2.3. Logos de los miembros involucrados.



Imagen 2.4. Logos de los asesores involucrados.



Imagen 2.5. Logos de los patrocinadores involucrados.



Imagen 2.6. Logos de los socios cooperadores involucrados.

## 2.9. ETSI (European Telecommunications Standards Institute).

Una de las principales organizaciones involucradas en el estándar LTE/SAE es ETSI, ésta compañía colabora con 3GPP en la realización del análisis y generación de los documentos de estandarización de la tecnología. Su inicio fue con la estandarización del sistema GSM, cuando estaba en fase de desarrollo y su nombre era “Groupe Special Mobile”, en el año de 1982.

La fundación y aplicación de esta organización fue en enero de 1988, la cual se desprendía de la entonces Conferencia Europea de Administración de Correos y Telecomunicaciones (“CEPT” por sus siglas en francés - Conférence européenne des administrations des postes et des Télécommunications) que fue la antecesora en la aplicación y desarrollo del estándar, debido a los cambios que precedían a la investigación de las tecnologías.

Actualmente la ETSI es la principal generadora de documentos de normalización a nivel mundial, no solo de los estándares provenientes por 3GPP, sino de otras tecnologías aplicadas a las telecomunicaciones, como ejemplo de ello sería su incursión en la tecnología satelital.

Sobre el estándar, su principal punto de interés fue en la interface de aire conocida como EUTRA así como las múltiples facilidades generadas por el protocolo de red conocido como SAE, con lo que significa un cambio muy importante en las telecomunicaciones.



## **CAPÍTULO 3. LTE (LOG TERM EVOLUTION).**

## CAPÍTULO 3. LTE (LONG TERM EVOLUTION).

### 3.1. Introducción a LTE.

Como surgimiento de las diversas necesidades tecnológicas actuales, donde los proveedores de servicios necesitan ofrecer mayor velocidad y cantidad de datos, simplificando las operaciones de los mismos y diversificando la forma de cobro; y de los gobiernos para administrar eficientemente el espectro radioeléctrico en comunicaciones móviles; aparece el estándar UMTS LTE como respuesta a ello.

En sí, el estándar refleja el uso de distintas técnicas en las comunicaciones que no habían estado en uso debido a la complejidad de las mismas y que ahora son posibles de desarrollar. Muestra de ello es su estructura de comunicación de "Core" con base en el modelo de protocolo de red TCP/IP, arreglos de antena MIMO<sup>2</sup>, acceso múltiple ortogonal, multiplexaje ortogonal, entre otras especificaciones. (*Huawei\_ LTE-Advanced: The leading technology in the new MBB era 2011*)

La flexibilidad que tiene el estándar es muy importante al poder trabajar anchos de banda (BW) que van desde 1.4 MHz hasta los 20 MHz, y que se puede propagar en los rangos de frecuencia desde 700 MHz hasta 3.5 GHz, de acuerdo a la última actualización del Release 9 registrado por 3GPP.

Una de las principales diferencias de éste estándar, es su nueva configuración de Core, que se simplifica al dividir en dos el plano de trabajo, siendo estos: plano de usuario y plano de control, ya que con ello se busca ser más eficiente las respuestas del sistema ante las demandas de los usuarios y el tráfico de información.

Un breve antecedente sería que en noviembre de 2004, la 3GPP comenzó con la investigación y estandarización de lo que sería el nuevo estándar UMTS LTE/SAE, pero no fue hasta finales de Diciembre de 2009 que fueron finalizadas y expuestas.

Para el Release 10, la investigación ha avanzado lo suficiente y los niveles de transmisión de datos alcanzan una tasa aproximada de 1 Gbits/s en baja movilidad y en laboratorio, por lo que ésta parte de LTE se conoce como LTE-Advanced, sin embargo, aún se encuentra en desarrollo, y la salida de éste al mercado no es aún ventajosa en términos económicos.

Con el pasar de los días, se espera que los Releases posteriores den un mejor desempeño a la parte de Core y mayor estabilidad en la transmisión de los datos.

Actualmente en el mundo, aproximadamente más del 85% de los usuarios de telefonía móvil usan los estándares de 3GPP, por lo que la transición de una estándar a otro será casi transparente, es decir, no requerirá mayores inversiones o cambios radicales en los equipos actuales que se sitúan tanto en las radio bases, parte de la red de acceso de radio (RAN) y en el Core.

---

<sup>2</sup> MIMO Multiple Input Multiple Output, entradas y salidas múltiples.



### 3.2. Cuadro comparativo entre diversos estándares de comunicación móvil.

Parámetros	LTE	WiMax	HSPA	1xEV-DO Rev. A	WiFi
Estándar	3GPP	IEEE 802.16e	3GPP	3GPP2	IEEE 802.11 a/g/n
Anchos de Banda	1.4,3,5,10,15 y 20 MHz	3.5, 7.5, 8.75 y 10 MHz	5 MHz	1.25 MHz	20 Mhz para 802.11 a/g y 20/40 MHz para 802.11n
Frecuencias	730-2.6 GHz	2.3/2.5/3.5 GHz inicialmente	800/900/1800/1900/2100 MHz	800/900/1800/1900 MHz	2.4 GHz
Modulación	QPSK, 16 QAM y 64 QAM	QPSK, 16 QAM y 64 QAM	QPSK y 16 QAM	QPSK, 8 PSK y 16 QAM	BPSK, QPSK, 16 QAM y 64 QAM
Multiplexaje	SC-FDMA/OFDMA	TDMA/OFDMA	TDM/CDMA	TDM/CDMA	CSMA
Tipos de Transmisión	TDD y FDD	TDD inicialmente	FDD	FDD	TDD
Cobertura	8 a 10 Km	3Km	1.5 a 5 Km	1.5 a 5 Km	<30m en interiores <300m en exteriores
Movilidad	Alta	Media	Alta	Alta	Baja

Tabla 3.1. Cuadro comparativo de los estándares actuales en el mercado en comparación a LTE R9.

En la tabla 3.1, se observan claramente los alcances de cada estándar y su proceder, donde se puede observar sobre todo, el tipo de modulación y multiplexaje; una discusión bastante interesante fue sobre, qué estándar sería mejor para la telefonía móvil en el manejo de altas tasas de información, el resultado fue LTE, ya que los equipos móviles actuales no tienen la tecnología suficiente para el rendimiento adecuado de la batería, por lo que un estándar como WiMax2, agotaría rápidamente ese recurso limitado.

### 3.3. CAPEX y OPEX en LTE.

Uno de los grandes beneficios que trae consigo el estándar de LTE/SAE es que por la nueva arquitectura aplicada y por su sistema moderno de transmisión de datos, ha creado una singularidad en los procesos de gastos tanto de capital como de operación, estos se conocen como CAPEX y OPEX.

Para CAPEX (Gastos de Capital) se entiende como la inversión a realizar para modernizar, mejorar, comprar y aplicar en los sistemas de comunicaciones y por ende, en los equipos que estos conllevan. Como se verá, la estructura de LTE/SAE se ha reducido bastante en comparación con sus antecesores, por lo que la inversión a realizar para la gestión de este nuevo estándar será menor a las actuales, ya que puede tener mayor capacidad de usuarios a diferencia de los estándares antecesores.

Ahora en OPEX (Gastos de Operación), son los gastos generados por el mantenimiento, administración, transportación, devaluación y todo aquel que no genere un beneficio, pero que sean necesarios para el funcionamiento correcto de la red. Al ser LTE/SAE de una

estructura robusta, y los equipos también, será menor el mantenimiento a realizarse a estos equipos, así mismo en la compra de licencias y su gestión será menor, ya que al ser menor la cantidad de equipos, será menor la cantidad de licencias que se necesitaran adquirir y de igual forma, será menor el número de personal necesario para cubrir las necesidades de operación y mantenimiento.

Durante el desarrollo de esta tesis, se hará énfasis en las áreas donde se aplicarán ambas herramientas y los beneficios entre los sistemas a desarrollar.

### 3.4. Comparación de la propagación de la señal para el caso del estándar de LTE.

Aunque el estándar LTE se puede aplicar en distintos márgenes de frecuencia, el comportamiento del mismo no es igualmente proporcional a lo que se espera, ya que se tomará en cuenta que el comportamiento de la señal se basa en gran medida a la longitud de onda de éste y del medio ambiente donde se está desarrollando.

A continuación se aprecia una ilustración en general del comportamiento de los rangos que tiene LTE y su mejor ejecución a según sea el medio en el que se desarrolle.

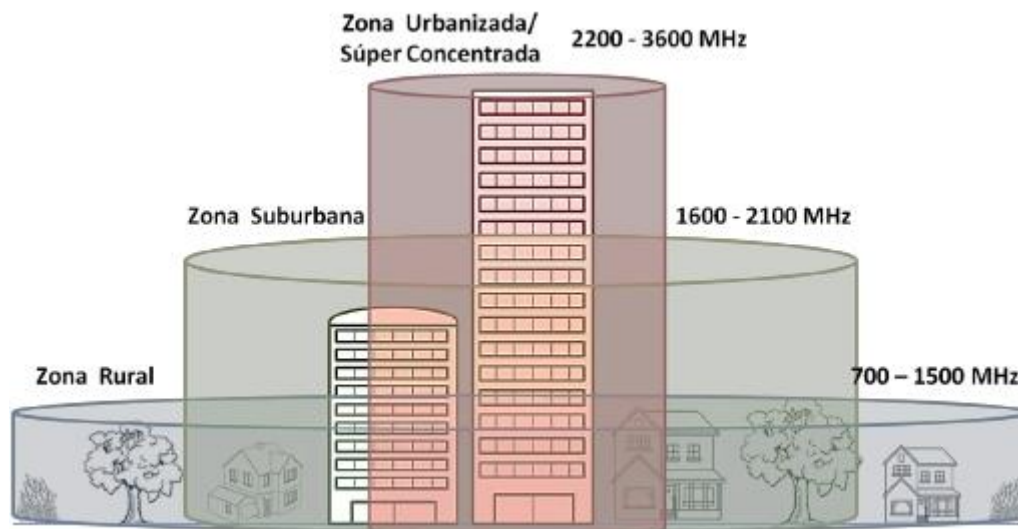


Imagen 3.1. Simulación del comportamiento a según la frecuencia con respecto al estándar LTE.

Como se puede apreciar en la imagen 3.1, el uso de los rangos de la frecuencia tiene distintas aplicaciones y efectos de una forma tajante en comparación de uno con el otro. La frecuencias más bajas alcanzan distancias mayores a las frecuencia de mayor índice, sin embargo su altura es menor, se ha comentado en diversos medios, que la banda de 700 a 800 MHz cubriría satisfactoriamente los planes de los países en desarrollo para generar una red nacional inalámbrica. Con las frecuencias medias no se sufre tanta depreciación en el proceso de penetración y su difracción es menor en comparación con las altas frecuencias. Para las altas frecuencias, aunque su cobertura de altura es muy grande, su capacidad de cobertura horizontal es muy pobre, al igual que la capacidad de penetración en ambientes cerrados. ([Rohde & Schwarz\\_ LTE-Advanced Technology Overview](#))

Con la información que se exhibe anteriormente, se comienza a dar una idea de lo que sería un proyecto de propagación de señal a según las características de la frecuencia, ya que en los sistemas de telefonía móvil, es muy importante saber con exactitud las propiedades y características que posee cada grupo de frecuencia a utilizar, para así saber la aplicación de la misma, la instalación o no de un eNodeB (también conocido como Evolved Node B, es el hardware que se conecta en la red de telefonía celular para comunicarse con las terminales móviles o UE (User Equipment).

## **CAPÍTULO 4. INTERFAZ AÉREA (EUTRA).**

## CAPÍTULO 4. INTERFAZ AÉREA (EUTRA)

### 4.1. Perspectiva de la interfaz aérea.

Es necesario crear una división en el estándar para conocerlo de una forma más simple, cómoda y sencilla. La primera que se verá es sobre la interfaz que se crea entre la terminal móvil o UE hacia el eNodeB, la principal característica de este sistema es que la interfaz es aérea, por lo que sus protocolos y configuración es distinta a los que se pueden tener del eNodeB al EPC (o Core), además de las condiciones que se agreguen o se inhiban, influye tecnológicamente, como son los sistemas de antenas MIMO, Modulaciones por Cuadratura, los sistemas de acceso y los diversos procesos que intervienen en ésta.

También cabe señalar que dependiendo de las condiciones ambientales y geográficas, los sistemas se acoplarán a las necesidades de éstos; el arreglo de un “Clúster” recae en los accesos, en la capacidad de usuarios y de cobertura que son necesarios.

Como un último punto a mostrar, será que la velocidad que maneja por sector cada eNodeB varía tanto de su intensidad como de su configuración de antenas y salida de transmisión, así en conjunto con la configuración que tenga el equipo receptor. En la mayoría de los casos se trabajará con un UE con un arreglo MIMO de 2TX2R (transmisión y recepción), ya que se obtienen tasas de transmisión satisfactorias para el mercado con el que actualmente se encuentra en México.

### 4.2. Teoría y fundamentos del estándar.

Se han mencionado en forma general muchas de las principales funciones que intervienen en el estándar para obtener los resultados esperados, sin embargo es también necesario conocer parte de las propiedades básicas de los mismos, como son su modo de transmisión, prefijo cíclico, segmentación de canales y Multimedia Broadcast, entre otros.

Parte de ellos se han venido aplicando en otros sistemas, sin embargo, con éste estándar es donde se logra la unión de diversas características básicas para obtener a bien el sistema trabajando, esto es, antes de que empezar a ver la división y aplicación de los diversos métodos en el ancho de banda y las demás propiedades que intervienen, es prioritario la forma de trabajo del sistema, ya que de ello dependerán en gran medida las ventajas y desventajas que se generaran en cada uno.

Para comenzar, se analiza como trabajará el sistema, ya que en ello se sustenta el uso de los elementos que auxiliarán en la sincronía de la red, ya sea en tiempo o frecuencia, así como los lugares en que se ha aplicado a nivel mundial.

### 4.2.1. Transmisión en FDD y TDD.

La primera interrogante en la forma de trabajo en el estándar será como trabajar con él, ya que el sistema requerirá sincronización, misma que puede darse en tiempo o en frecuencia, y también de ello dependerá el comportamiento de la transmisión que ocupará.

En las comunicaciones, se tienen en sí dos principales formas de trabajo, esta puede ser basada en sincronización del tiempo, y la otra es con respecto a la frecuencia. A continuación, para ser más entendible el comportamiento de ambos sistemas, se muestran unas imágenes de lo que sería a grandes rasgos el comportamiento de cada uno.

El primero será aplicado al sistema basado en la frecuencia conocido como FDD (Frequency Division Duplex), donde se trabaja con distintas frecuencias para distintos canales y que será por un tiempo indefinido, esto debido a que no se trasmite sobre tiempo, sino sobre la frecuencia.

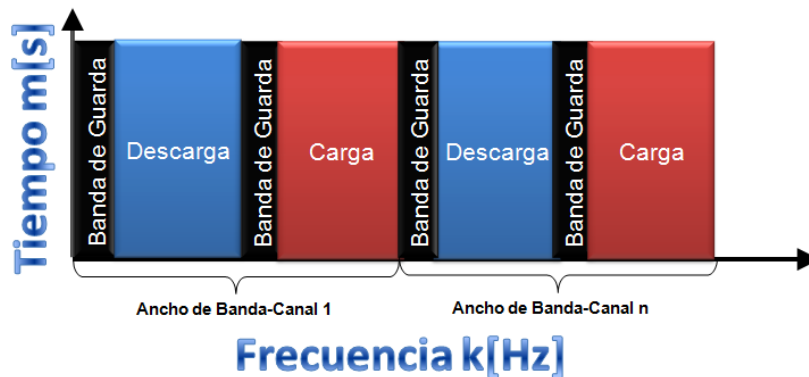


Imagen 4.1. Ilustración del comportamiento a groso modo de la transmisión FDD. Se usarán divisiones de frecuencia para Carga y Descarga simultánea con una Banda de Guarda.

Posteriormente están los sistemas que se basarán en el tiempo, TDD. Para estos sistemas su trabajo es crear los canales en tiempos definidos, disponiendo así de todo el ancho de banda, esto no quiere decir que sea mejor, sino que simplemente en un tiempo definido contará con todo el BW, mas no será de forma constante como sucede con sistemas que trabajan a base de frecuencia, ya que se regulará sobre el tiempo. Para lo cual, se necesitarían definir dos equipos totalmente distintos, es decir, un teléfono móvil que trabaje en FDD y otro en TDD.

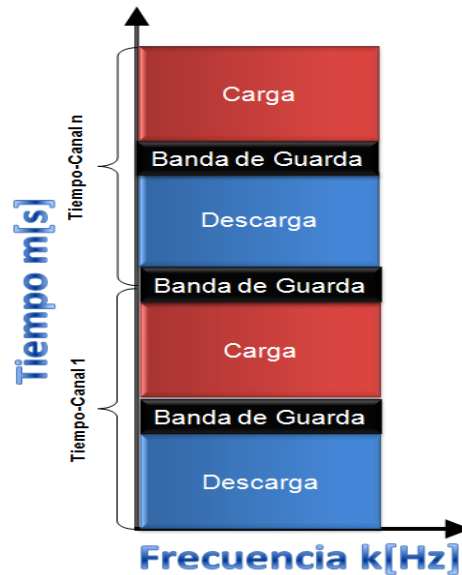


Imagen 4.2. Ilustración del comportamiento a grosso modo de transmisión TDD. En un determinado tiempo se envía toda la Información ya sea de Carga o Descarga, y se brinda un tiempo de separación como Banda de Guarda.

Ambos sistemas son viables para trabajarse. En América del Norte, Sur, Oceanía, Europa y algunas partes del África se usan los sistemas basados en FDD ya que son más fáciles.

Por el contrario, en Asia y parte del África, se emplea TDD, en sí por la facilidad que otorga en la calidad y precisión de la información, sin embargo es más compleja su arquitectura y en ambientes hostiles, los equipos o terminales son más complejos. *(Dahlman Erik, Parkvall Stefan and Sköld Johan 2011)*

#### 4.2.2. Prefijo Cíclico.

De los análisis más importantes que se realizarán para el estándar, se encuentra el uso del Prefijo Cíclico (CP, Cyclic Prefix, en inglés), ya que éste es el que definirá la cantidad de Resource Blocks (RB) que estarán a disposición en el ancho de banda, también será quien definirá la cantidad de símbolos que se necesitan para crear un RB.

Para lo anterior hay dos tipos de CP. El primero se llama "Normal", trabajando a 15 kHz y se conforma mediante los símbolos que se describen a continuación: Un "Símbolo Especial OFDM<sup>3</sup> de 71.9µs (2208 muestras) conteniendo un encabezado de 5.2µs (160 muestras) y seis "Símbolos OFDM" con duración de 71.3µs (2192 muestras) conteniendo un encabezado de 4.7µs (144 muestras), respectivamente.

El segundo CP se conoce como "Extendido" y tiene la facilidad de trabajar en modo de 15 KHz o de 7.5 KHz. En 15kHz el CP Extendido tiene seis "Símbolos OFDM" con duración

<sup>3</sup> La **Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales**, en inglés Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), o Discrete Multi-tone Modulation (DMT) es una multiplexación que consiste en enviar un conjunto de ondas portadoras de diferentes frecuencias, donde cada una transporta información, la cual es modulada en QAM o en PSK.

de 71.3µs (2192 muestras) conteniendo un encabezado de 16.7µs (512 muestras), respectivamente. En 7.5kHz el CP Extendido tiene tres “Símbolos OFDM” con duración de 166.6µs (5120 muestras) conteniendo un encabezado de 33.3µs (1024 muestras), respectivamente.

Como una forma de análisis más simple, se muestran los modelos en la imagen 4.3 para poder analizar detenidamente cada uno. (*ITU\_ Recomendación ITU-R M2012 sobre IMT-Advance 2012*)

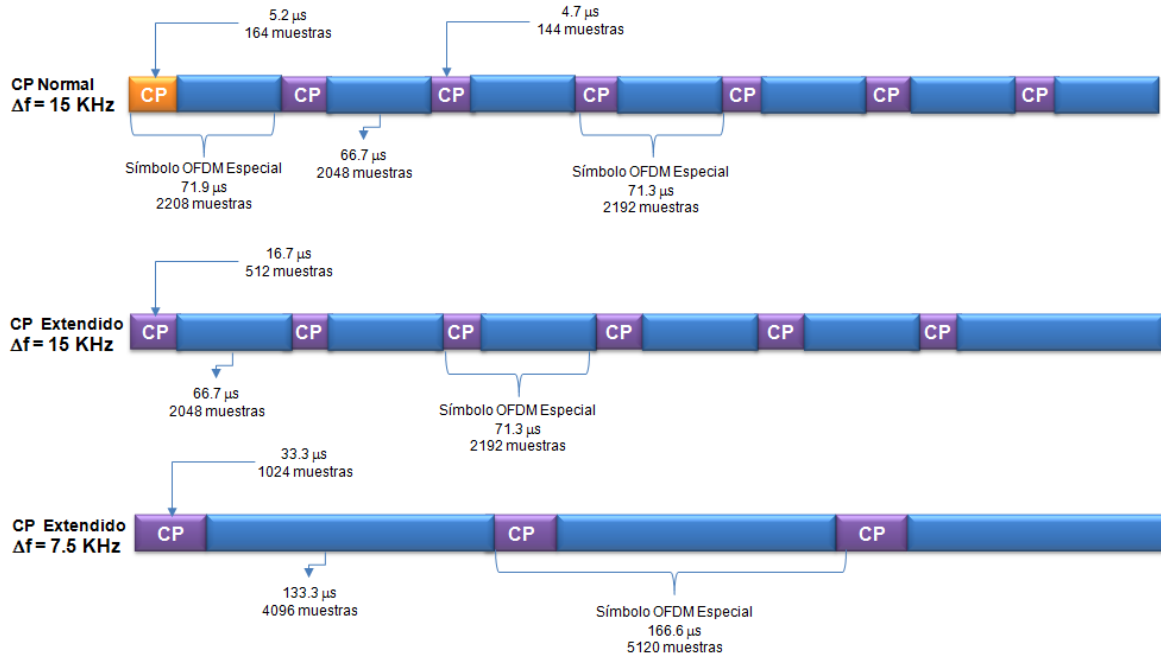


Imagen 4.3. Ilustración del comportamiento del Prefijo Cíclico dependiendo de cómo se tome, si será Normal o Extendido y de cómo será el comportamiento de este último en 15 y 7.5 K[Hz].

#### 4.2.3. Frecuencia portadora y EARFCN.

En los sistemas de GSM, al propagarse la señal de radio, existen los siguientes componentes: señal portadora que se especifica por su frecuencia y los canales a usarse donde los mismos son expuestos en los manuales TS 36.101 y TS 36.104.

La frecuencia portadora se obtendrá del EARFCN<sup>4</sup> al cual pertenece, donde se obtendrá de un rango de 0 a 65535 y la ecuación para determinar la Descarga (DL) y para Carga (UL) se describan a continuación:

En el caso de DL, la ecuación para su aplicación es la siguiente:

$$F_{DL} = F_{DL\_low} + 01(N_{DL} - N_{offs-DL}) \quad (4.1)$$

De igual forma, la ecuación para UL es:

$$F_{UL} = F_{UL\_low} + 01(N_{UL} - N_{offs-UL}) \quad (4.2)$$

<sup>4</sup> Evolved Absolute Radio Frequency Channel Number, en esencia es el número de canales de la portadora LTE.



En donde:

FUL	Frecuencia portadora central que funciona para UL.
FDL	Frecuencia portadora central que funciona para DL.
NUL	EARFCN UL.
NDL	EARFCN DL.
FDL <sub>low</sub>	Frecuencia de operación más baja para DL.
FUL <sub>low</sub>	Frecuencia de operación más baja para UL.
N <sub>offs-DL</sub>	Desplazamiento utilizado para el cálculo de DL para EARFCN.
N <sub>offs-UL</sub>	Desplazamiento utilizado para el cálculo de UL para EARFCN.

Como ejemplo, se aprecia en la tabla 4.1 por qué no todas las frecuencias cuentan con la flexibilidad de usar varios anchos de banda, sino algunos más limitados que otros.

Banda de Operación de EUTRA	Descarga DL			Descarga UL		
	F <sub>DL Low</sub> [MHz]	N <sub>offs-DL</sub>	Rango de N <sub>DL</sub>	F <sub>DL Low</sub> [MHz]	N <sub>offs-UL</sub>	Rango de N <sub>UL</sub>
1	2110	0	0-599	1920	18000	18000-18599
2	1930	600	600-1199	1850	18600	18600-19199
3	1805	1200	1200-1949	1710	19200	19200-19949
4	2110	1950	1950-2399	1710	19950	19950-20399
5	869	2400	2400-2649	824	20400	20400-20649
6	875	2650	2650-2749	830	20650	20650-20749
7	2620	2750	2750-3449	2500	20750	20750-21449
8	925	3450	3450-3799	880	21450	21450-21799
9	1844.9	3800	3800-4149	1749.9	21800	21800-22149
10	2110	4150	4150-4749	1710	22150	22150-22749
11	1475.9	4750	4750-5009	1427.9	22750	22750-23009
12	729	5010	5010-5179	699	23010	23010-23179
13	746	5180	5180-5279	777	23180	23180-23279
14	758	5280	5280-5379	788	23280	23280-23379
...						
17	734	5730	5730-5849	704	23730	23730-23849
18	860	5850	5850-5999	815	23850	23850-23999
19	875	6000	6000-6149	830	24000	24000-24149
20	791	6150	6150-6449	832	24150	24150-24449
21	1495.9	6450	6450-6599	1447.9	24450	24450-24599
...						
33	1900	36000	36000-36199	190	36000	36000-36199
34	2010	36200	36200-36349	2010	36200	36200-36349
35	1850	36350	36350-36949	1850	36350	36350-36949
36	1930	36950	36950-37549	1930	36950	36950-37549
37	1910	37550	37550-37749	1910	37550	37550-37749
38	2570	37750	37750-38249	2570	37750	37750-38249
39	1880	38250	38250-38649	1880	38250	38250-38649
40	2300	38650	38650-39649	2300	38650	38650-39649

**Nota:** El número de canales a designar a las frecuencias portadoras no pueden estar tan cerca del borde de margen de operación en caso de interferencia, por lo que quedaría de la siguiente forma: los primeros 7, 15, 25, 50, 75 y 100 números de canales no se usarán para la parte de DL y para UL, los últimos 6, 14, 24, 49, 74 y 99 número de canales no serán usados, cada uno correspondiente a los ancho de banda de 1, 4, 3, 5, 10, 15 y 20 MHz. (*Rohde & Schwarz\_ LTE-Advanced Technology Overview*)

Tabla 4.1. Canales de uso de LTE correspondiente a DL y UL en conjunto con su frecuencia.



#### 4.2.4. MBMS en LTE.

En el estándar LTE se tiene el sistema “Servicio de Multifusión en Transmisión de Multimedia” o MBMS por sus siglas en inglés (Multimedia Broadcast Multicast Service), que mejora la recepción y transmisión de varios mensajes de tipo multimedia a los elementos de la red, funcionando en lo que se refiere al sistema punto-multipunto. De igual forma, toda señal que se recibe con la misma frecuencia ya no será tomada como interferencia, sino como un complemento de la información solicitada. Con ello se brinda certeza y rapidez al sistema, mismo que beneficia a los elementos que usen aplicaciones que requieran de un gran volumen de información como son aplicaciones dirigidas a noticias, envío y recepción de imágenes, streaming para video con lo que se podría realizar hasta canales virtuales de televisión que se ajustarían a los sistemas móviles y en soluciones de emergencia que sean en tiempo real se generarían con mayor eficacia y menor uso del espectro.

#### 4.2.5. Tabla de frecuencias utilizables en LTE.

E-UTRA Band	Uplink (UL) eNode B receive UE transmit			Downlink (DL) eNode B transmit UE receive			Band separation	Duplex Mode	Channel BWs	Main Region
	F <sub>UL_low</sub>	-	F <sub>UL_high</sub>	F <sub>DL_low</sub>	-	F <sub>DL_high</sub>				
1	1920	-	1980	2110	-	2170	130	FDD	5, 10, 15, 20	Europe, Asia
2	1850	-	1910	1930	-	1990	20	FDD	1.4, 3, 5, 10, 15, 20	Americas, (Asia)
3	1710	-	1785	1805	-	1880	20	FDD	1.4, 3, 5, 10, 15, 20	Europe, Asia, (Americas)
4	1710	-	1755	2110	-	2155	355	FDD	1.4, 3, 5, 10, 15, 20	Americas
5	824	-	849	869	-	894	20	FDD	1.4, 3, 5, 10	Americas
6	830	-	840	875	-	885	35	FDD	5, 10	Japan
7	2500	-	2570	2620	-	2690	50	FDD	5, 10, 15, 20	Europe
8	880	-	915	925	-	960	10	FDD	1.4, 3, 5, 10	Europe, Asia
9	1749.9	-	1784.9	1844.9	-	1879.9	60	FDD	5, 10, 15, 20	Japan
10	1710	-	1770	2110	-	2170	340	FDD	5, 10, 15, 20	Americas
11	1427.9	-	1452.9	1475.9	-	1500.9	23	FDD	5, 10	US
12	698	-	716	728	-	746	30	FDD	1.4, 3, 5, 10	US
13	777	-	787	746	-	756	21	FDD	5, 10	US
14	788	-	798	758	-	768	20	FDD	5, 10	TBD
17	704	-	716	734	-	746	18	FDD	5, 10	TBD
18	815	-	830	860	-	875	30	FDD	5, 10, 15	TBD
19	830	-	845	860	-	875	15	FDD	5, 10, 15	TBD
20	832	-	862	875	-	890	13	FDD	5, 10, 15	TBD
21	1447.9	-	1462.9	1495.9	-	1510.9	33	FDD	5, 10, 15, 20	TBD
24	1626.5	-	1660.5	1525	-	1559	0.5	FDD	5, 10	TBD
...										
33	1900	-	1920	1900	-	1920	N/A	TDD	5, 10, 15, 20	Europe, Asia
34	2010	-	2025	2010	-	2025	N/A	TDD	5, 10, 15	Europe, Asia
35	1850	-	1910	1850	-	1910	N/A	TDD	1.4, 3, 5, 10, 15, 20	Americas
36	1930	-	1990	1930	-	1990	N/A	TDD	1.4, 3, 5, 10, 15, 20	Americas
37	1910	-	1930	1910	-	1930	N/A	TDD	5, 10, 15, 20	Americas
38	2570	-	2620	2570	-	2620	N/A	TDD	5, 10, 15, 20	Europe
39	1880	-	1920	1880	-	1920	N/A	TDD	5, 10, 15, 20	TBD
40	2300	-	2400	2300	-	2400	N/A	TDD	5, 10, 15, 20	TBD
41	2496	-	2690	2496	-	2690	N/A	TDD	5, 10, 15, 20	TBD
42	3400	-	3600	3400	-	3600	N/A	TDD	5, 10, 15, 20	TBD
43	3600	-	3800	3600	-	3800	N/A	TDD	5, 10, 15, 20	TBD
	[MHz]		[MHz]	[MHz]		[MHz]	[MHz]		[MHz]	

Tabla 4.2. Exhibición de los canales en conjunto con sus rangos de frecuencia de aplicación para el estándar LTE, en conjunto con algunas de sus principales características. (*Rohde & Schwarz, LTE-Advanced Technology Overview*)

En México, el estándar LTE se podría aplicar en las bandas 4 y 7, no limitando así su aplicación; sin embargo hay un análisis para que se aplique en bandas mayores o menores a las antes mencionadas, como la banda 17.

### 4.3. Multiplexaje de canal para LTE.

Desde la aplicación y uso de las telecomunicaciones, se ha sabido que el espectro radioeléctrico es un recurso limitado donde no existen mayores cantidades de frecuencia más que las existentes, por lo que se han generado técnicas que ayudan al uso óptimo del espectro.

Entre esas técnicas está el Multiplexaje, con lo que se crean distintos canales sobre el mismo medio de transmisión, es decir, se generan varios canales para distintos fines o usuarios.

Los básicos son: TDM (basado en el tiempo), FDM (basado en la frecuencia), CDM (basado en un código), WDM (basado en la longitud de onda, usado en medio ópticos), OFDM (basado en frecuencias ortogonales).

Para los fines de esta tesis, el enfoque será para OFDM, sin embargo, a continuación mediante imágenes, se exponen las formas de trabajo de las técnicas pertenecientes al medio radioeléctrico.

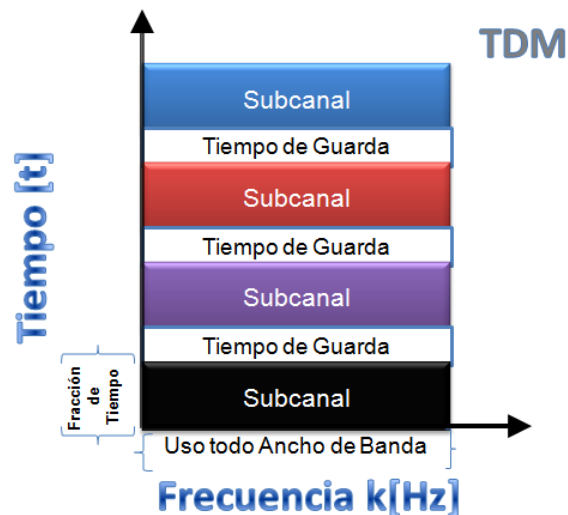


Imagen 4.3. TDM tiene la propiedad de que en un tiempo determinado usa todo el ancho de banda, luego un tiempo de guarda y realiza de nuevo el mismo procedimiento.

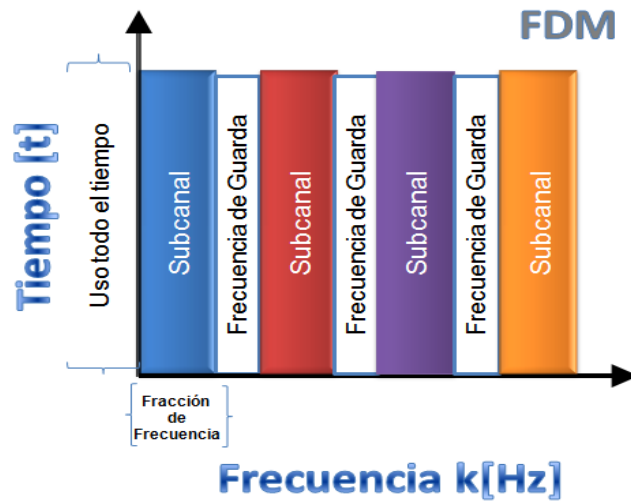


Imagen 4.4. FDM tiene la propiedad de que en una frecuencia determinada se use de forma continua en el tiempo, crea frecuencias de guarda y realice de nuevo el mismo procedimiento.

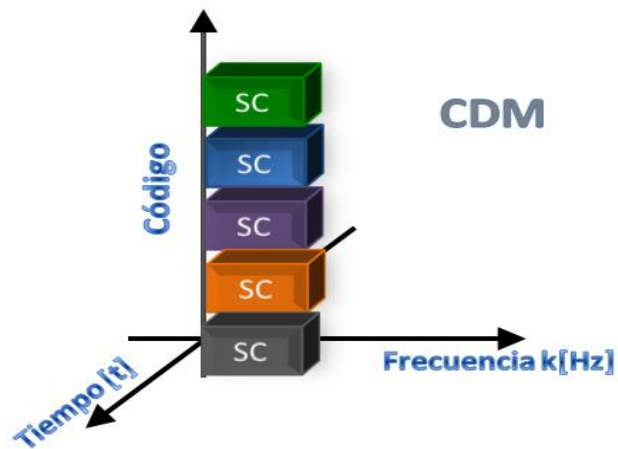


Imagen 4.5. CDM determina un subcanal en un tiempo determinado, con una frecuencia determinada y con un código, por lo que puede tener varios subcanales en la misma frecuencia al mismo tiempo pero con códigos distintos.

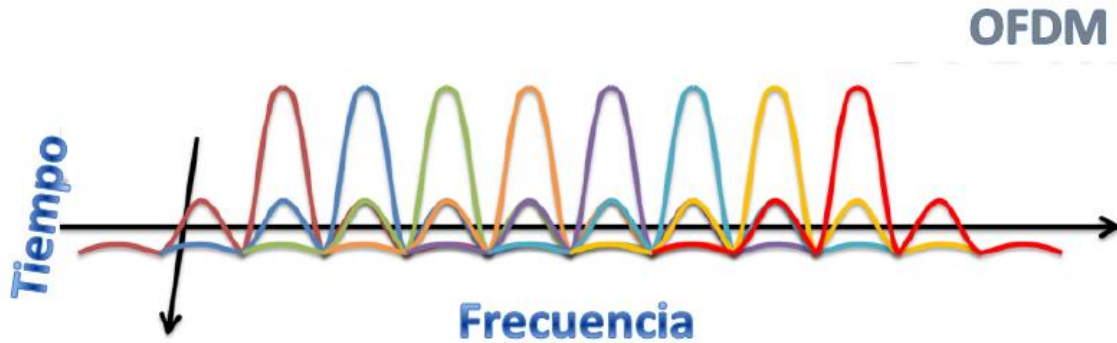


Imagen 4.6. La propiedad de OFDM es que en un ancho de banda determinado durante el mismo tiempo, genera múltiples subcanales. Estos son independientes debido a que su producto punto es igual a cero, por lo que ninguna señal interfiere con la otra.

Es necesario diferenciar que lo que se hace con OFDM es el multiplexar el canal previamente asignado para generar múltiples subcanales, con los cuales se amplía la cantidad de información a transmitir, la velocidad con la que se transmite y/o la cantidad de usuarios a los cuales se proveerá el servicio.

OFDM es totalmente distinto a OFDMA, ya que en éste último se designa cómo será el acceso a la información y no así al canal.

#### 4.4. Modulación en LTE.

Para el estándar LTE, la modulación es uno de los tantos procesos e implementaciones primordiales para alcanzar las velocidades necesarias requeridas, así como una calidad satisfactoria en el proceso.

Un detalle muy interesante es que a mayor distancia del enlace, la modulación que se aplica deberá ser diferente para obtener confiabilidad y un mejor desempeño de la red, lo que repercute en las velocidades que se alcanzarán y "Throughput" o volumen de información que fluye a través del sistema.

Se comienza por explicar las modulaciones aplicadas en el estándar, como lo son QPSK, 16QAM y 64QAM, siendo la primera de éstas la que se aplica en mayores distancias y la última en las distancias más próximas al eNodeB.

##### 4.4.1. PSK (Modulación por desplazamiento de fase).

La modulación por desplazamiento de fase o PSK (Phase Shift Keying) es una forma de modulación angular que consiste en hacer variar la fase de la portadora entre un número de valores discretos. La diferencia con la modulación de fase convencional (PM) es que mientras en ésta la variación de fase es continua, en función de la señal moduladora, en la PSK la señal moduladora es una señal digital y, por tanto, con un número de estados limitado.

El uso principal de esta modulación es en los sistemas digitales que actualmente se aplican, con lo que se genera mayor certeza en la transmisión de datos y de igual forma,

una mayor generación de códigos a generar; su función es sencilla, ya que varía la fase de la señal de la portadora conforme a los niveles discretos necesarios.

#### 4.4.1.1. QPSK.

Una de las variaciones de la modulación PSK sería la aplicación de la modulación QPSK, en donde esta modulación tiene como base en la propiedad de cuadratura, es decir, se genera un desfase de la señal portadora en 4 partes, es decir, un desfase de  $90^\circ$  entre señales. Con ello, en los ángulos 45, 135, 225 y 315 se genera un símbolo que a su vez estaría conformado por 2 bits.

En la imagen 4.7 se ve como es el comportamiento que tendrá una modulación aplicada a una señal bajo QPSK, generando 4 puntos sobre el plano bidimensional el cual, según el comportamiento de la señal, será el símbolo que refleje.

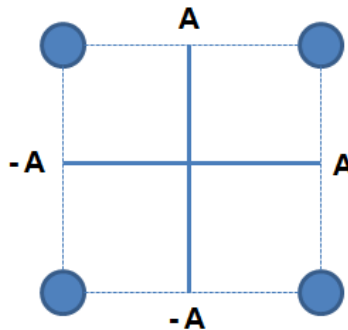


Imagen 4.7. Proyección del comportamiento de QPSK en un plano de 2D.

Primero se analizará cuál es la potencia en dB que se tendrá, y dependiendo del punto en el cual se encuentre la señal en desfase, se determinará por la ecuación 4.3.

$$\frac{4(A^2 + A^2)}{4} = 1 \Rightarrow A = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (4.3)$$

Con la ecuación anterior se comprueba que todos los puntos de la constelación tendrán la misma potencia. Para calcular el PAPR<sup>5</sup> se aplicará la ecuación 4.4.

$$\text{PAPR}_{\text{QPSK}} = \left( \frac{A^2 + A^2}{1} \right) = 1.0 = 0.0\text{dB} \quad (4.4)$$

El resultado de la ecuación planteada es significativamente relevante, ya que indica que la señal será envoltentemente constante, por lo que será muy difícil algún tipo de ausencia o falta de cobertura en un ambiente ideal. (*Dahlman Erik, Parkvall Stefan and Sköld Johan 2011*)

<sup>5</sup> PAPR Peak to Average Power Ratio, el valor de pico dividido entre el valor RMS de la forma de onda.

#### 4.4.2. QAM.

En la modulación por cuadratura en amplitud modulada, QAM, aunque su comportamiento es similar a QPSK, la generación de códigos y el uso de las antenas de transmisión y recepción son más efectivos. Además, al utilizar una mayor cantidad de bits para generar un símbolo, se generan símbolos más complejos y más específicos, facilitando así el transporte masivo de información en el medio que se encuentra.

Una de las aplicaciones revolucionarias de esta modulación ha sido que cuando se incluye en los módems de modulación de ADSL y sus derivados, se ha logrado alcanzar tasas de más de 10 Mbps, esto debido que por su generación múltiple de código, se genera mayor cantidad de información sin la necesidad de un canal mayor, como lo era en los sistemas analógicos.

Su funcionamiento, aunque no es sencillo, se podría definir como la modulación digital en amplitud (ASK) de forma independiente, es decir, dos señales portadoras que tienen la misma frecuencia pero que están desfasadas entre sí por  $90^\circ$ . Esto no crea ningún problema en la recepción, ya que al estar desfasadas las señales no crean interferencia entre sí.

Actualmente su aplicación no se limita a las que se mencionan en la presente tesis, ya que existen modulaciones que van de 256 QAM hasta 4096 QAM, sin embargo su aplicación se da en otros sistemas de transmisión que pueden ser las comunicaciones por microondas de grandes frecuencias o por fibra óptica.

##### 4.4.2.1. 16 QAM.

Esta modulación es la más aplicada en el estándar LTE, debido a que la distancia de aplicación es media, en este caso, a la modulación QAM le será aplicada una constelación de 16 puntos. Con ello se dividen primeramente en grupos de 4 bits, que a su vez serán divididos en subgrupos de 2 bits y cada bit tendrá 4 estados o niveles de amplitud y fase de las portadoras, generando de esta forma los 16 puntos de constelación.

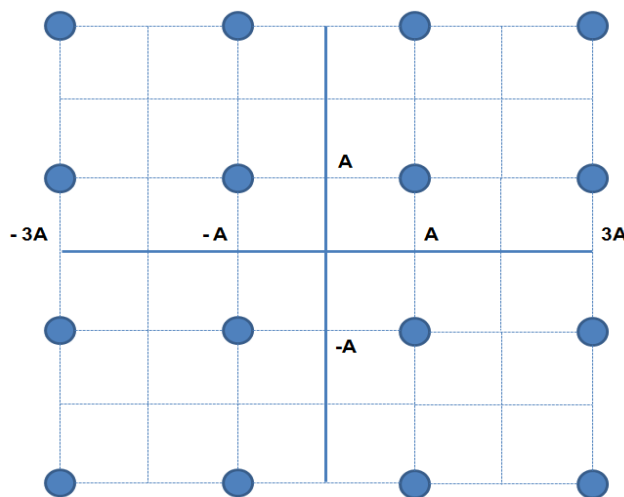


Imagen 4.9. Proyección del comportamiento de la modulación 16 QAM, donde al ser visualizado sobre un plano de 2D, se puede observar su alcance.



En la imagen 4.9 se aprecia gráficamente el comportamiento de esta modulación en su constelación de 16 puntos, por lo que ésta debe de diferir del comportamiento en comparación con el antecesor QPSK, así como un comportamiento irregular del comportamiento en la propagación de la señal y de la potencia misma que se genera, como la variación de PAPR.

Para calcular el PAPR se utiliza la ecuación 4.5 para despejar el valor  $A$ .

$$\frac{4(A^2 + A^2 + 9A^2 + A^2 + 9A^2 + 9A^2 + 9A^2)}{16} = 1 \Rightarrow A = \frac{1}{\sqrt{10}} \quad (4.5)$$

El valor de  $A$  se utiliza en la ecuación 4.6.

$$PAPR_{16-QAM} = \left( \frac{9A^2 + 9A^2}{1} \right) = 1.8 = 2.55dB \quad (4.6)$$

El valor máximo que se obtendrá como PAPR para los puntos de la constelación es el resultado que se muestra en la ecuación 4.6, el cual corresponde a un valor de 2.55 dB.

Para los puntos restantes de la constelación en la trama, los valores que se obtendrían son los mostrados en las ecuaciones 4.7 y 4.8.

$$PAPR_{16-QAM} = \left( \frac{A^2 + A^2}{1} \right) = 0.2 = -7 dB \quad (4.7)$$

$$PAPR_{16-QAM} = \left( \frac{A^2 + 9A^2}{1} \right) = 1.0 = 0.0 dB \quad (4.8)$$

#### 4.4.2.2. 64 QAM.

Entre las modulaciones que generan mayor tráfico de datos se tiene la modulación 64 QAM, ya que multiplica la capacidad del sistema 16 QAM por cuatro, con lo que se obtienen 64 puntos de la constelación en la generación de los símbolos; sin embargo, solo serán necesarios 6 bits para la generación de un símbolo, pero con la enorme cantidad de puntos en el sistema, se genera una gran diversidad de símbolos, con lo que se asegura que la velocidad de la información será mayor y contará con calidad mejorada en su propagación.

Esta modulación es aplicada en distancias cercanas al eNodeB, ya que la potencia requerida para la generación de la misma es esencial y, debido a la complejidad que se emplea, puede provocar fallos a mayor distancia del eNodeB. Sin embargo, es una de las modulaciones más efectivas para estos sistemas. Se aplica principalmente en la descarga de la información en grandes cantidades, si se cuenta con las condiciones necesarias para su aplicación, siendo la principal, la energía que se consume al transmitirse. *(Dahlman Erik, Parkvall Stefan and Sköld Johan 2011)*



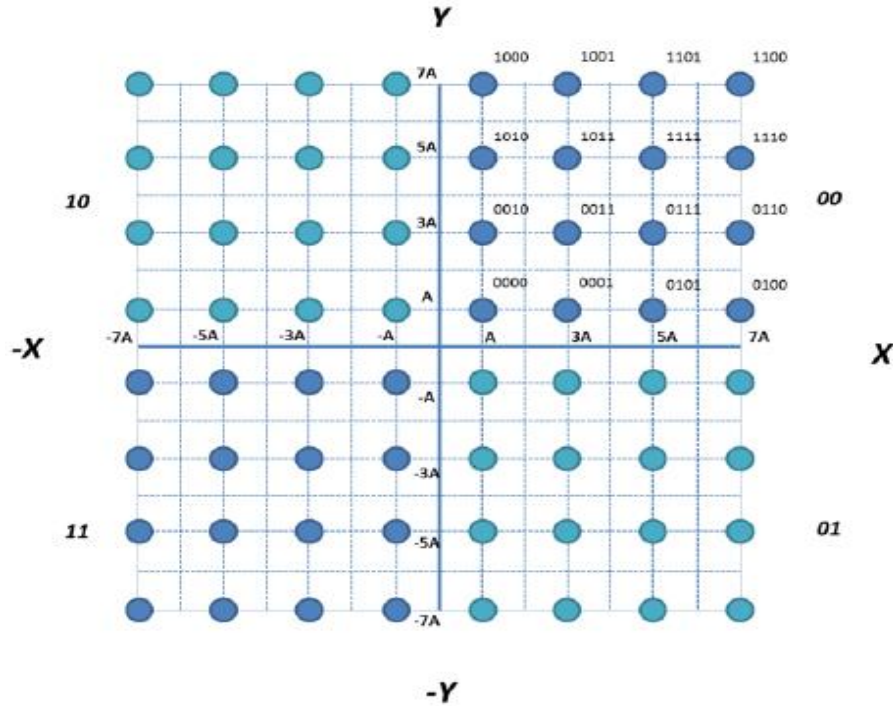


Imagen 4.10. Proyección del comportamiento de la modulación 64 QAM, donde al ser visualizado sobre un plano de 2D, se puede observar su alcance. Tomando en cuenta ejes X e Y tanto en positivo como en negativo, se puede ver la generación del código. Al aplicar la ecuación 4.6, el valor obtenido será de 2.55 dB.

**4.5. Clases de capacidad de UE y sus características compatibles.**

Como se ha analizado con anterioridad a los sistemas con los cuales se trabaja en la propagación de la señal en la parte de EUTRA, a continuación se examinará una tabla en donde se muestran las clases que existen en cuestión de orden de las capacidades que puede contener cada terminal móvil o UE y de igual forma las características compatibles del estándar para obtener los patrones que se muestran.

Es necesario recordar que aunque se pueden obtener tasas de 300 Mbps para DL y de 75 Mbps para UL por sector, éste depende principalmente de las características que se están aplicando al sector en cuestión sobre arreglos de antena, anchos de banda (RB) y la cercanía al eNodeB.

Características	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Categoría 5
Tasa Máxima DL/UL	10/5 Mbps	50/25 Mbps	100/50 Mbps	150/50 Mbps	300/75 Mbps
Modulación para DL	QPSK/16 QAM				QPSK/16 QAM/64 QAM
Modulación para UL	QPSK/16 QAM				QPSK/16 QAM/64 QAM
MIMO DL	Opcional	2T x 2R	2T x 2R	2T x 2R	4T x 4R

Tabla 4.3. Características de las categorías en terminales móviles UE.

Como se aprecia en la tabla 4.3, la categoría 1 es la más limitada ya que utiliza frecuencias inferiores a 1GHz que conlleva a que solo soporte BW inferiores a 5MHz. La

categoría 2 utiliza un tercio de la capacidad con la que se puede trabajar, es decir, con BW de 10 MHz.

Para la categoría 3 se requiere aplicar un BW de 15 MHz mismo que aunque se tiene una mejoría, es solo la mitad de la capacidad si es comparada con la categoría 4 que maneja un BW de 20 MHz. Con esto se estaría hablando de que solo en algunas bandas puede ser aplicado, además que con solo la configuración MIMO se obtienen tasas de 150 Mbps por sector. Sin embargo, si se utiliza un sistema MIMO de 4X4 con los 20 MHz, se pueden alcanzar las modulaciones más complejas y obtener tasas de 300 Mbps, mismas que se muestran en la categoría 5, todo lo anterior dentro del Release 9. (*Dahlman Erik, Parkvall Stefan and Sköld Johan 2011*)

#### **4.6. Acceso a usuarios múltiples en LTE.**

Una vez dividido el espectro, es necesario mediar el acceso al sistema, esto debido a que tanto para Carga (UL) y Descarga (DL) se usará OFDM en el canal, sin embargo es menor la cantidad de carga que la de descarga, así mismo, en un dispositivo móvil su alimentación es limitada por la batería, por ende se necesita también ahorrar energía en las terminales.

En el estándar de LTE se llegó a la conclusión de utilizar OFDMA para Descarga y SC-FDMA para carga; a continuación serán explicados ambos métodos y el porqué de su uso.

##### **4.6.1. SC-FDMA.**

Las siglas SC-FDMA pueden ser interpretadas como Acceso Múltiple por División de Frecuencia en una Portadora, imagen 4.11. Este método de acceso reduce la cantidad de información en comparación con OFDMA ya que sobre la misma portadora se enviará la información de varios usuarios, obviamente se ahorrará ancho de banda en UL y también energía, ya que se necesita menor cantidad de potencia para emitir en una sola portadora que emitir varias como lo sería OFDMA.

Como dato, para WiMax se utiliza OFDMA tanto para carga como para descarga, aunque en carga es mucho mayor, los equipos como los teléfonos celulares no son capaces aun de soportar la transmisión tan extensa con la que cuenta el sistema, ya que consume drásticamente los recursos energéticos de éste.

Es claro que se maneja OFDM para el multiplexaje del canal, por lo que se usarán subcanales o múltiples señales portadoras, sobre el anterior se aplicará SC-FDMA, donde serán enviadas en el mismo canal durante un tiempo determinado la información de cada usuario. (*Ali-Yahija Tara 2011*)

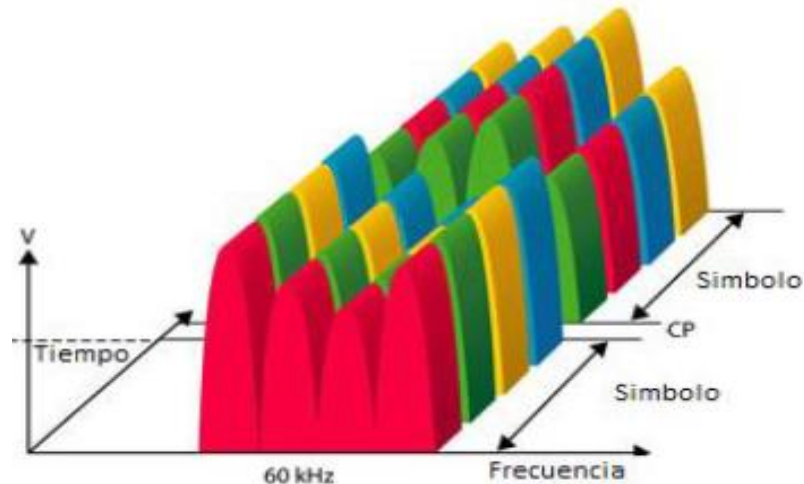


Imagen 4.11. Se aprecia en la imagen el comportamiento de SC-FDMA donde, usando todo el ancho de banda y en tiempo determinado, se envía la información del usuario para carga, donde cada color indica un distinto usuario, y la generación de un símbolo como información resultante. CP hace referencia a Cycle Prefix, que es un tiempo de reserva para delimitar el tamaño de la información y darle un orden.

Con ello se reduce en un 50% la capacidad de transmisión de carga, sin embargo, la cantidad de carga en promedio es mucho menor que la de descarga, por lo que no hay mucho inconveniente en ello.

A continuación se describirá el comportamiento de la modulación y demodulación de SC-FDMA.

Para modular, la información en bits se envía a un modulador, este se encargará de asignarle una forma de señal, luego se aplicará una DFT<sup>6</sup>, posteriormente se mapea en portadoras, se aplica como consiguiente una IFFT<sup>7</sup> y para el final se agrega un CP para separar una señal o información de otra.

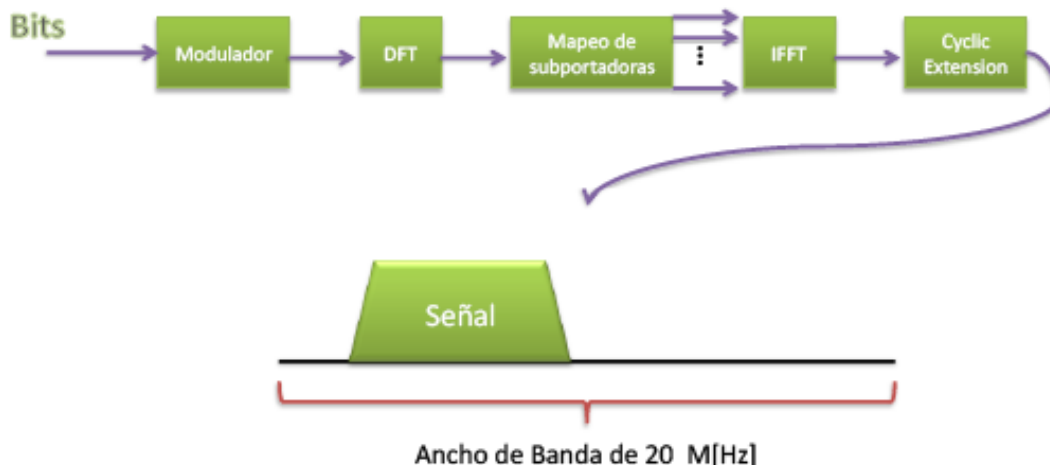


Imagen 4.12. Modulación a bloque de una señal en SC-FDMA.

<sup>6</sup> DFT Discrete Fourier Transform, Transformada Discreta de Fourier.

<sup>7</sup> IFFT Inverse Fast Fourier Transform, Transformada Rápida Inversa de Fourier.

Una vez obtenida la señal, el equipo receptor tiene que desmodular la señal para poder conocer su información, primeramente removiendo el CP, posteriormente se aplica una FFT<sup>8</sup>, se pasa a un ecualizador MMSE<sup>9</sup> del resultado obtenido previamente, a lo obtenido por el ecualizador se aplica una IDFT<sup>10</sup> y se finaliza desmodulando la señal, obteniendo así la información enviada, como se muestra en la imagen 4.13.

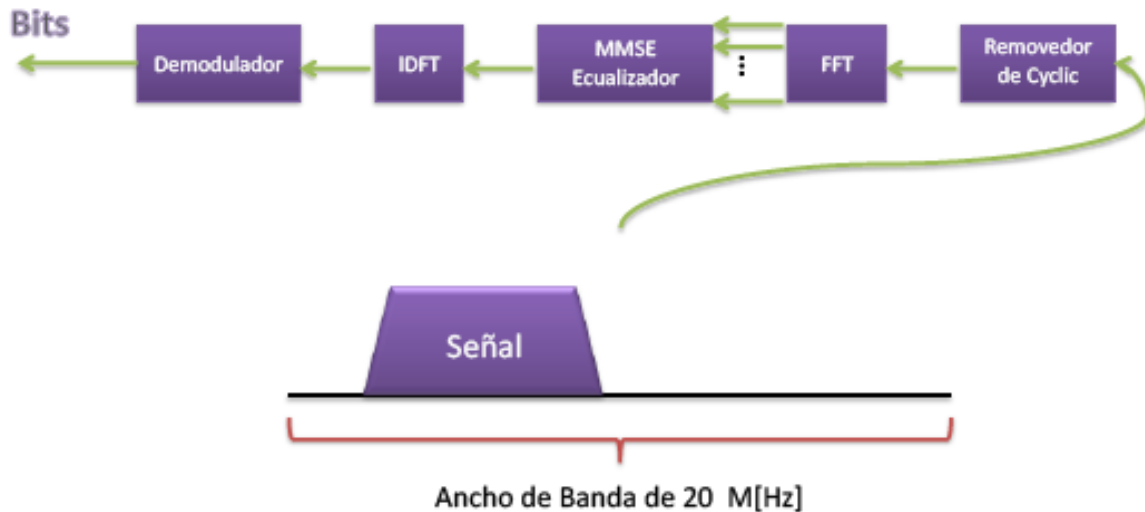


Imagen 4.13. Demodulación a bloque de una señal en SC- FDMA.

#### 4.6.2. OFDMA.

Este tipo de acceso múltiple ha revolucionado las comunicaciones desde el acontecimiento de su antecesor CDMA, que tenía como base la codificación, mismo que actualmente ha dejado de ser imprescindible ya que con los cambios sobre el acceso a las tecnologías y las altas tasas de transmisión de datos, se necesita un sistema que no sea complejo, sino que simplemente pueda contener todo un conglomerado de soluciones y de beneficios al compararse con otros.

Aunque este acceso es en sí uno de los más rápidos, en el estándar no se aplica para la carga, únicamente para la descarga, ya que como se ha comentado anteriormente la capacidad de batería de los dispositivos móviles no es aún la necesaria para alcanzar este tipo de requerimientos con el consumo energético que refiere el usarlo.

Como primera instancia, se analizará en bloques el procedimiento de modulación y demodulación para así comprender de una forma más sencilla el comportamiento que realiza cada uno de los sistemas. La imagen 4.14 muestra el proceso de modulación.

<sup>8</sup> FFT Fast Fourier Transform, Transformada Rápida de Fourier.

<sup>9</sup> Ecualizador MMSE Minimum Mean Square Error, es un ecualizador que minimiza el error cuadrático medio.

<sup>10</sup> IDFT Inverse Discrete Fourir Transform, Transformada Inversa Discreta de Fourier

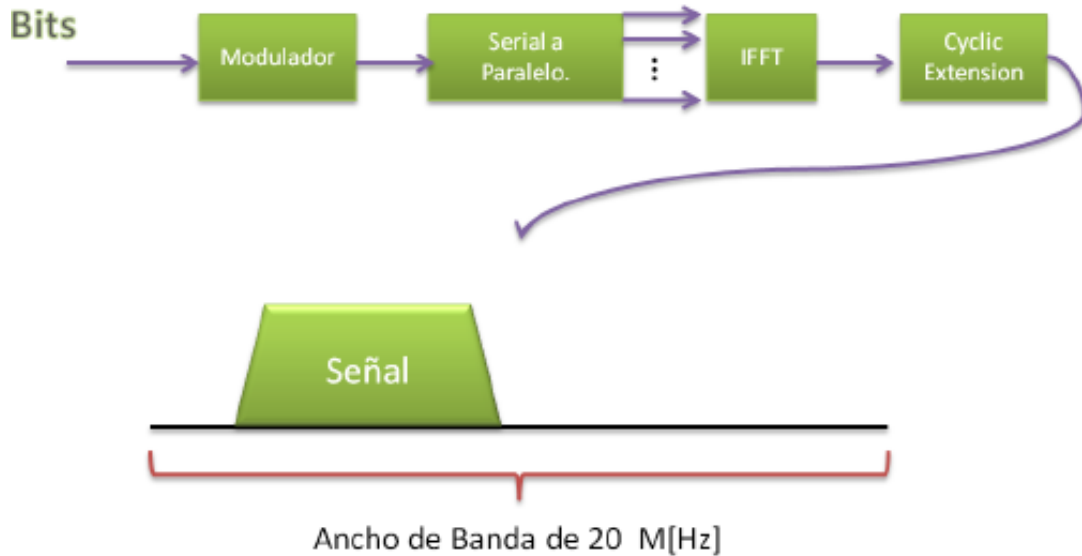


Imagen 4.14. Modulación a bloque de una señal en OFDMA.

Después del análisis visto para el proceso anterior, es necesario conocer su inverso, la demodulación que se muestra en la imagen 4.15.

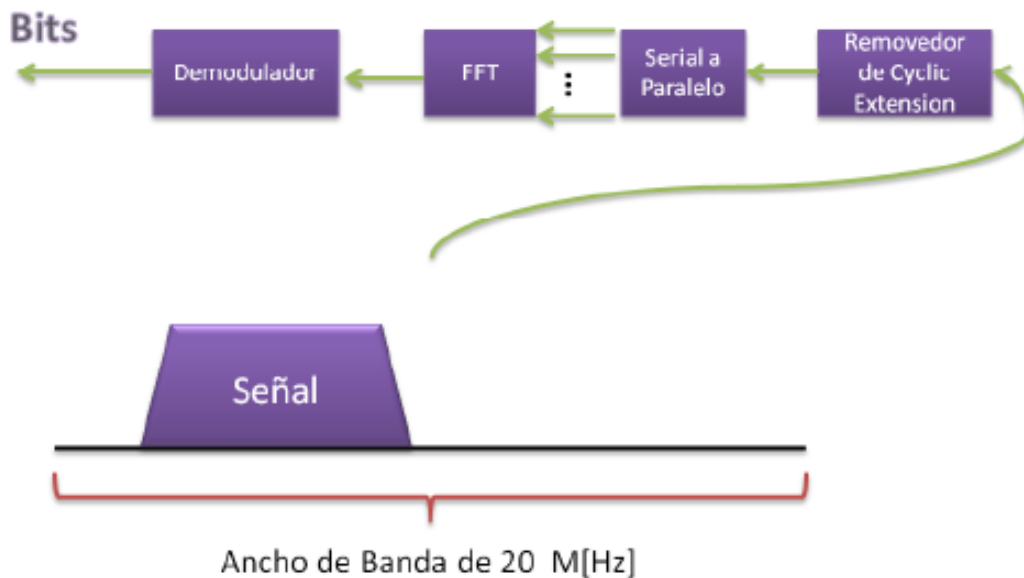


Imagen 4.15. Demodulación a bloque de una señal en OFDMA.

Como se aprecia, la principal diferencia del sistema a bloques de OFMA contra SC-FDMA es el mapeo y ecualización de portadoras, esto debido a que se debe recordar que sobre una misma portadora viajará la información de carga a diferencia que la de descarga, donde se requieren las 12 subportadoras a recibir.

La imagen 4.16 muestra el comportamiento de lo que será desde el “Resource Element<sup>11</sup>” hasta “Resource Block<sup>12</sup>” en sistemas basados ya sea en tiempo o en frecuencia.

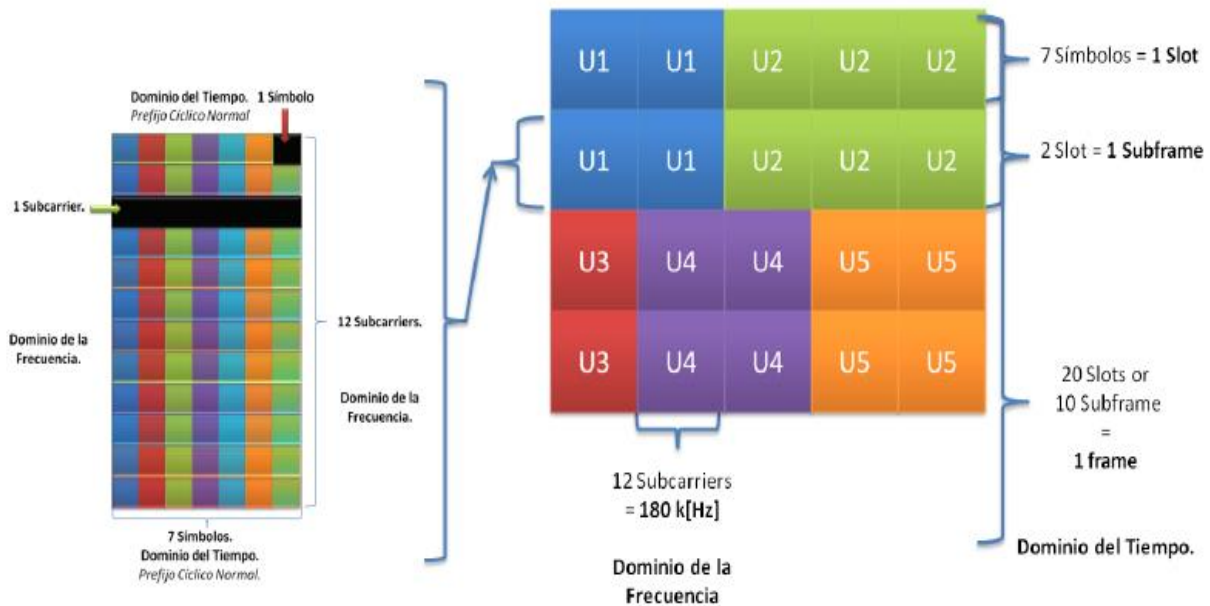


Imagen 4.16. Composición de FDD y TDD de OFDMA en LTE. Es necesario hacer énfasis que según el sistema que se escoja, será el nombre que reciban las trazas.

#### 4.7. Sistema MIMO en LTE.

Para el estándar LTE fue necesario un arreglo distinto de antenas, el cual pudiera incrementar la capacidad de la interface aérea, esto implica que una sola antena no es suficiente para asegurar lo anterior, sin embargo se logró la implementación de un Sistema basado en juegos de antenas para los sistemas de transmisión. El sistema MIMO, como la mayoría de las aplicaciones que son utilizadas en LTE/SAE, proviene de sistemas anteriores donde su aplicación no era justificada o donde no se podía aplicar debido a limitaciones o deficiencias técnicas que existían en sus tiempos. (Ali-Yahija Tara 2011)

##### 4.7.1. Justificación de su uso.

Para que la red con base en el estándar LTE/SAE alcance amplias capacidades de transmisión, es necesario también evolucionar los elementos que componen a los sistemas actuales, ello incluye a las antenas, mismas que en los sistemas siempre han sido una constante de un solo elemento.

Como se sabe, la interface aérea es delicada debido a que existen elementos en el medio ambiente que la pueden afectar, creando anomalías en las comunicaciones. Estas van desde problemas en la comunicación hasta la pérdida absoluta de la señal, y al no existir

<sup>11</sup> Resource Element, unidad básica de un recurso físico en LTE.

<sup>12</sup> Resource Block, está conformado por unidades básicas y portadoras.

en la realidad las condiciones ideales para su propagación, el sistema MIMO constituye una alternativa para manejar situaciones de éste tipo.

La imagen 4.17 muestra los arreglos que existen de antenas y dónde se encuentra el sistema MIMO. La mayoría de los sistemas actuales manejan el sistema SISO.

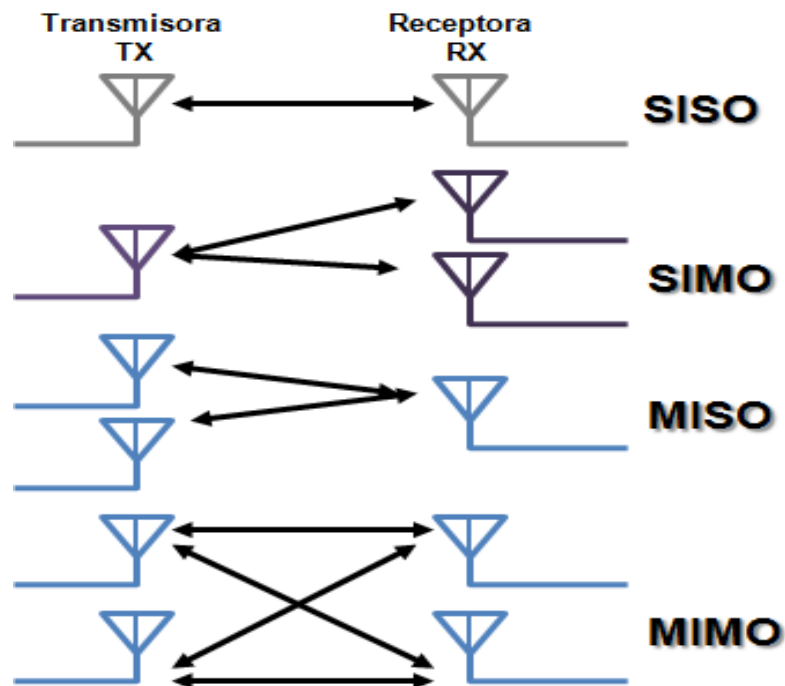


Imagen 4.17. Comportamiento de los diversos arreglos de antenas que existen, haciendo énfasis a un sistema MIMO, utilizado en redes con base en LTE/SAE.

#### 4.7.2. Transmisión diversa.

A lo que se refiere el término Transmisión Diversa (Diversity Gain) es que en ambientes donde los patrones de pérdida son muy grandes o existen muchas interferencias debido al medio ambiente, se procede a usar esta variación del sistema MIMO. Esta consiste en enviar la misma información por diversas antenas, haciendo que la información a recibir sea lo más certera posible, y que en caso de existir pérdidas, estas puedan ser suplidas gracias a la otra información recibida por parte de otra antena.

Un lugar que requiere de este tipo de configuración sería en un bosque o ambientes tropicales, donde la cantidad de cuerpos acuíferos o el mismo clima obstaculicen la correcta transmisión de la información.

#### 4.7.3. Multiplexación espacial

Para las grandes ciudades donde se necesita tener ventajas en la capacidad de transmisión y de igual forma usar la menor cantidad del espectro, se utiliza la Multiplexación Espacial, donde lo que se hace es enviar diferente información de la misma traza por antenas distintas, lo que hace que no se utilice la misma cantidad de tiempo en



la antena para enviar el mensaje, sino que esté repartido entre las antenas circundantes a la terminal que recibirá la información.

Aplicando esta técnica también se tendría una mayor velocidad en el envío de datos en la interface aérea, sin embargo, esto tiene que ser en ambientes menos hostiles, comparándolos contra los que utilizan la diversidad de codificación.

#### 4.8. Elementos que intervienen en el UE y el eNodeB.

Es necesario conocer los elementos que intervienen en los componentes que se encuentran en la EUTRA, además de los UE y el eNodeB, cada uno cuenta con una particularidad que es la que ayuda al proceso de comunicación e identificación de cada uno de estos elementos. A continuación se mencionan algunos de ellos tanto para el UE como para el eNodeB.

##### 4.8.1. Elementos que intervienen en la UE.

UE o equipo terminal, es aquel que va a recibir y enviar la información solicitada por el individuo. Estas terminales pueden ser computadoras portátiles con sistema para DataCard (Dispositivo Móvil de Transmisión de Datos) anexo al equipo, un teléfono móvil que tenga los requerimientos necesarios técnicos para trabajar con el estándar o una DataCard. En todos los casos anteriores se usa la tarjeta SIM (tarjeta para identificar a un abonado de la red) o sus variantes.

Sin embargo, antes de la tarjeta SIM, está el código IMEI, éste código es grabado en la terminal móvil como su identificación a nivel mundial, el cual se conforma como se describe en la tabla 4.4.

TAC*			FAC		SNR				SPARE					
3	5	5	1	7	8	0	3	8	8	1	2	6	7	7

Tabla 4.4. TAC (Type Allocation Code), se conforma de los dos primeros dígitos de la organización y sección que regula al teléfono. FAC, indica el fabricante. SNR, contiene el número de serie. SPARE es un número de confirmación.

La tarjeta SIM es aquella que contiene varios códigos necesarios para que la UE pueda interactuar con la red del proveedor previamente seleccionado.

Entre los códigos que maneja, están:

- ICCID, es el código formado desde la creación de la tarjeta SIM. Está compuesto de 19 ó 20 dígitos de longitud, y en sí, es su número de serie.
- IMSI, un código generado por un conjunto de subcódigos donde se detalla el país de procedencia, la compañía a la que pertenece y el número telefónico, de la forma en que se muestra en la tabla 4.5.



MCC			MNC			NÚMERO TELEFÓNICO									
3	3	4	0	2	0	5	5	5	5	4	4	4	4	3	3

Tabla 4.5. MCC es el código para cada país, para México el correspondiente es el 334; MNC es el código correspondiente al proveedor del servicio, en este caso será Radiomovil Dipsa S.A. de C.V. (Telcel) y finaliza con 10 dígitos, pertenecientes al número telefónico. La composición de los códigos son previamente asignados por la ITU para MCC.

- NMSI, este código se conforma de la unión del MNC con los 10 dígitos del número telefónico, con lo que en conjunto se genera.
- Kc, es un código de seguridad generado aleatoriamente por el proveedor, con base a la información del ICCID, como una segunda confirmación del usuario y su acceso a la red, ya que no se pueden repetir en la red el mismo código.
- LAC, éste código se puede asociar con el CELL ID o código de identificación de cada celda, ya que se situará al usuario sobre algún punto de la red. Cuando éste se mueva, se requerirá una actualización o "Paging".
- LAI, Es el código donde se divide la localidad o región del cliente, en el caso de México, se podría tener un código distinto tanto por región como por estado. Sin embargo, se ha dejado de utilizar para algunas compañías, así que no es mandatorio.

Los anteriores son los principales códigos con los que se estarán interactuando, aunque existen otros más, ya sea para los procedimientos de "attach" (conexión a la red) y "deattach" (desconexión a la red).

En promedio, la máxima descarga que puede obtener un teléfono móvil es de poco más de 20 Mbps de forma comercial, sin embargo un Dongle USB (Modem USB) alcanza velocidades de 100 Mbps, aunque por sector o antena del eNodeB maneje 150 Mbps, para R9 en el arreglo de 2Tx2R en sistema MIMO con BW de 20 MHz.

La interfaz que conecta al UE con el eNodeB se denomina LTE-Uu, y como previamente se describió, se pueden manejar bandas que van desde los 700 MHz hasta poco más de 2.6 GHz, imagen 4.18.

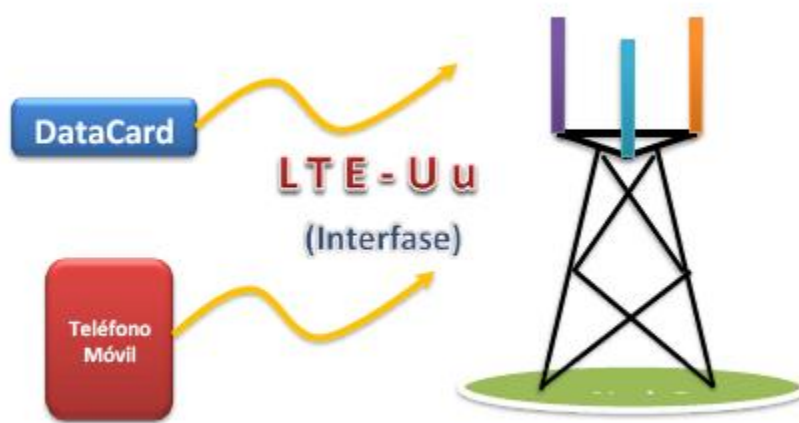


Imagen 4.18. Interface aérea LTE-Uu, que conecta las terminales con el eNodeB. Teléfono Móvil.

#### 4.8.2. Elementos que intervienen en el eNodeB.

El eNodeB es la evolución de lo conocido en UMTS como NodeB; en sí es donde se recibe la información por parte del UE, en alguno de sus sectores, posteriormente lo envía al EPC adecuándola a cada interface y dividiendo la información necesaria, ya sea al MME o S-GW.

Se comienza analizando las antenas y su configuración con el fin de identificar a cada sector y reutilizar la frecuencia con la menor interferencia, de tal forma, se crearan celdas que contengan distintos PCI. Cada sector además de contener su PCI (sector del nodo), también contiene su NCR (Neighbor Cell Relation List), con ello en caso de existir la necesidad de un Handover o Handoff (traspasos entre estaciones fijas) conozca a que PCI (sector del nodo) se enviará la información del usuario, y no perder el servicio. Es necesario aclarar que solo hay 504 números para asignar, que van del 0 al 503, y dentro de los mismos se encuentra la asignación de microceldas o Femto celdas en caso necesario, esto para los casos que requiera de multiceldas. (*Ali-Yahija Tara 2011*)

En la antena hay otros parámetros también que hay que modificar. Primero la “azimut”, que es la posición que apunta la antena que está con respecto al punto cardinal norte, y se miden los grados siguiendo las manecillas del reloj. Posteriormente se tiene al “tilt mecánico” y “tilt eléctrico”, el primero se aplica para manejar la inclinación del patrón de radiación de la antena en forma vertical, y el segundo, también conocido como RET para manejar la radiación y alcance del lóbulo principal, principalmente usado para el desempeño o cuestiones estéticas del diseño de una red.

En la imagen 4.19 se muestra hipotéticamente como sería la propagación de la señal de 3 eNodeB en una zona a brindar cobertura. Es necesario aclarar que en la realidad las zonas de cobertura de cada sector pueden variar de forma constante, ya que depende del alcance del usuario y de la propagación de la señal en campo. En estas condiciones se toman en cuenta la degradación de la señal debido a elementos que interfieren u obstaculizan a la vista de la señal, la altura a la cual se encuentran las antenas, entre

otros elementos. También se muestran los 3 sectores del eNodeB y cómo convergen para brindar una cobertura.

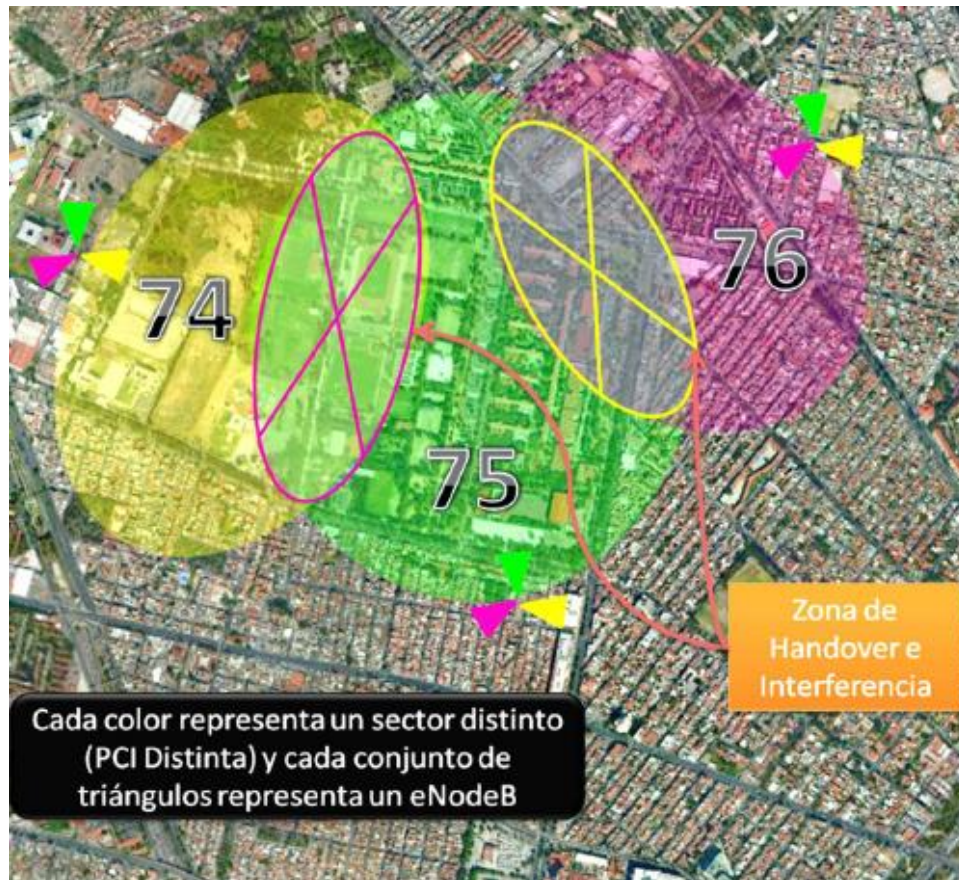


Imagen 4.19. Simulación del alcance de cobertura por parte de los eNodeB, mostrándose la interferencia, sobre posición y los efectos concernientes al Handover.

Como información complementaria es necesario saber que entre más cerca se encuentre el UE de la radio base tendrá mayor modulación, y esto se refleja en mejor calidad y cantidad de datos. Un ejemplo sería que cerca del eNodeB, aproximadamente a una distancia menor de 400 metros, uno recibe una modulación de 64 QAM, hasta el kilómetro de distancia aproximado se recibe una modulación de 16 QAM, y después de 1.5 Km se comienza a recibir QAM, esto a según la frecuencia y la visibilidad con la que cuente la antena para poder radiar sin tantas pérdidas.

Después de haber finalizado la vista sobre las antenas, es necesario continuar con el eNodeB. Estas antenas son conectadas ya sea mediante cables de cobre o de fibra óptica al equipo que se encuentra debajo de ellas, y que al recibir la información por parte de la UE, la dividirá en 4 IP's virtuales<sup>13</sup>. Estas IP's virtuales llevarán información concerniente al UE mediante la interfaz S1 y X2, esto es que por estas interfaces se estarán enviando los siguientes planos:

<sup>13</sup> IP es una etiqueta numérica que identifica, de manera lógica y jerárquica, a un interfaz.

- Plano de Control.
- Plano de Usuario.
- Sincronización.
- Plano de O&M.

Por la interfaz S1 se transmite la información hacia el EPC, que previamente está entre a una IP RAN y a una MPLS, donde de forma posterior se enviará de forma dividida a cada uno de los elementos correspondientes. Con ello se simplifican los procesos, y a diferencia de UMTS R7 y antecesores, no intervienen elementos como RNC (UMTS) o BSC/BSS (GSM) en la parte correspondiente a EUTRAN.

#### 4.9. EUTRAN (Señalización).

Con el tema anterior, se tiene entendido que en la EUTRAN se propagarán 4 IPs que son:

- Plano de Control.
- Plano de Usuario.
- O&M.
- Sincronización.

Sin embargo, al trabajar en una gran red, se debe tener a todos los equipos bajo un mismo tiempo, es aquí donde interviene la parte de la IP para la sincronización.

La sincronización de tiempo, puede ser enviada a través de un NTP<sup>14</sup> o SNTP<sup>15</sup>, conforme a la demanda y arquitectura que posee el proveedor. La forma más utilizada es mediante NTP, sin embargo, no es la única forma de sincronizar los equipos de la red.

Entre las múltiples formas de sincronización, la más usada por su cercanía al reloj atómico, es la sincronización por GPS, es decir, el eNodeB dejará de utilizar la IP de sincronización, y contará con un equipo anexo que le ayudará a obtener la sincronización por medio del sistema de GPS.

Sin embargo, al tratarse de una red de uso constante y primordial, se debe de tener un segundo auxiliar o soporte, es decir, los elementos de la red pueden tener como acceso primario la sincronización por GPS y de un secundario como NTP.

La imagen 4.20 muestra cómo es el arreglo general de la arquitectura de LTE/SAE, iniciando por el equipo terminal o UE, posteriormente con EUTRA y se finaliza con el EPC. Cada una de estas secciones maneja tanto protocolos distintos para el manejo de la información, como sus características de uso que logran así una interrelación con todo el sistema. (*Dahlman Erik, Parkvall Stefan and Sköld Johan 2011*)

En ésta sección se hará énfasis sobre la parte que comienza del usuario a la radiobase, y de la radiobase al “Core”, pero no se llegará a ver en sí al “Core”, ya que ello será explicado en otro capítulo.

<sup>14</sup> NTP Network Time Protocol es un protocolo de Internet para sincronizar los relojes de los sistemas informáticos.

<sup>15</sup> SNTP Simple Network Time Protocol es un protocolo simple de Internet para sincronizar los relojes de los sistemas informáticos que no requieren de gran precisión.

El “Plano de Usuario” y el “Plano de Control” permiten la transportación de la información principal de forma dedicada a cada componente en el EPC, sin embargo, la información sufre varios cambios al pasar del eNodeB al UE y viceversa, ya que al ser una interfaz aérea, ésta suele ser hostil con las transmisiones y es necesario que entre los elementos de la red corroboren la información recibida en cada caso.

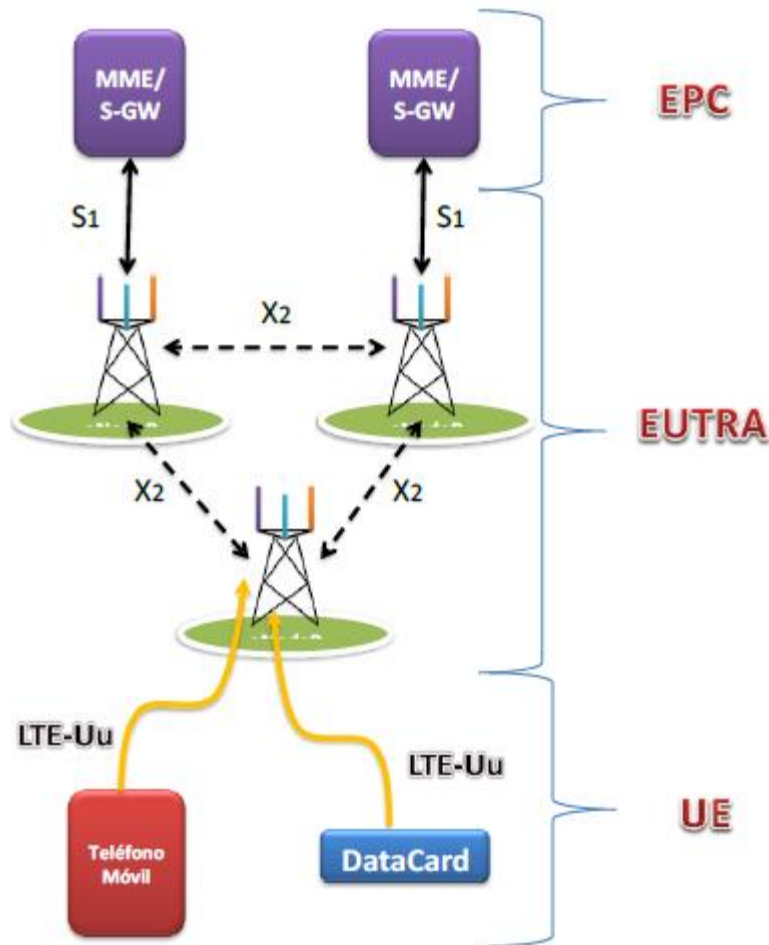


Imagen 4.20. División a grandes rasgos de cómo se podría ver el Estándar de LTE R9. La simplicidad en su arquitectura cómo se muestra, es parte de los beneficios que es necesario tener en cuenta.

En la imagen 4.20, se muestra lo previamente comentado, incluyendo también la interface X2 que interactúa entre los eNodeB's para el proceso de “Handover” (o Handoff) entre los nodos o sectores que se encuentren en otros nodos.



#### 4.9.1. Canal.

A continuación se presentará de forma generalizada la ubicación de cada canal y sus respectivas funciones. Estos mismos tienen un estrato, que se refleja como una capa, en donde la información se irá encapsulando o descifrando, según sea el caso.

En el caso de los canales que se manejan en la parte de “descarga”, la información se encuentra esparcida en varios canales, ya que cada uno contiene información específica que se envía desde la red. Sin embargo, ésta se va encapsulando a fin de proteger cómo tal la información, tanto por las alteraciones que pueda sufrir en la transmisión, como parte del sistema de seguridad.

Para la “carga”, el UE es quién envía la información hacia el eNodeB, transmitiendo datos cómo su ubicación, número telefónico, código IMEI, IMSI y la información que esté solicitando el usuario; con lo anterior la descompresión será desde lo que envía el usuario, hasta lo que llega a la red. Ver imágenes 4.21 y 4.22.

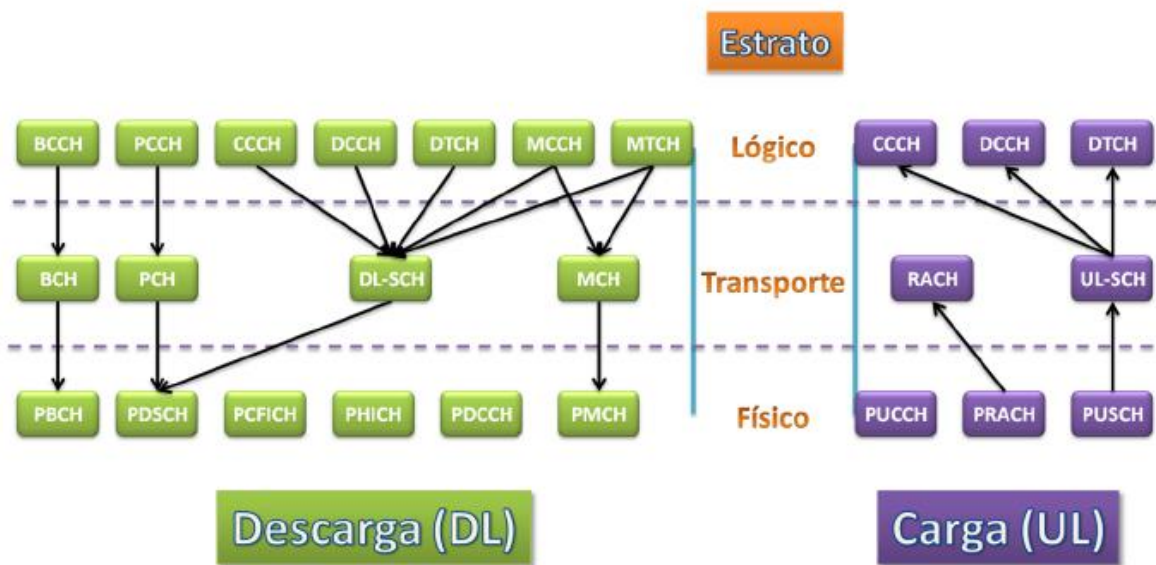


Imagen 4.21. Canales que intervienen tanto en “descarga” cómo en la “carga” de la información del usuario hacia la red, y en los estratos en que éstos se encuentran.

DL		UL	
Canal	Características	Canal	Características
BCCH	Dedicado al control de información del sistema Broadcasting	CCCH	Controla la información transmitida entre UE y la red.
PCCH	Dedicado a la transferencia de información de Paging y a los cambios de información en el sistema	DCCH	Genera transmisiones dedicadas de punto a punto bidireccional entre UE y la red.
CCCH	Controla la información transmitida entre UE y la red.	DTCH	Dedicado a la transmisión y el tráfico de información del UE a la red de punto a punto.
DCCH	Genera transmisiones dedicadas de punto a punto bidireccional entre el UE y la Red.	RACH	Limita el control de la información y el riesgo de colisión
DTCH	Dedicado a la transmisión y el tráfico de información del UE a la red de punto a punto.	UL-SCH	Soporta la adaptación dinámica del link en variantes de poder de transmisión y potencia, soporta HARQ.
MCCH	Se usa para la transmisión de información de MBMS entre la red y el UE	PUCCH	Contiene el esquema de respuesta y reportes CQI.
MTCH	Dedicado a la transmisión y el tráfico de MBMS del UE a la red de punto a multipuntos.	PRACH	Contiene información sobre RACH.
BCH	Repara y predefine el formato de transporte. Es necesario para realizar el Broadcast en la red.	PUSCH	Conlleva la información de UL-SCH
PCH	Necesario para el broadcast en la red, mapea los recursos físicos dinámicos,		
DL-SCH	Soporta HARQ, adaptación automática de enlace debido a la modulación, codificación y potencia de transmisión.		
MCH	Realiza broadcast en la red, soporta transmisiones combinadas de MBSFN y MBMS en múltiples celdas.		
PBCH	Codifica la información de BCH para su transportación y posterior mapeo en subfranjas.		
PDSCH	Contiene información de DL/SCH y PCH.		
PMCH	Contiene información de MCH.		
PDCCH	Informa al UE acerca de los recursos en PCH y DL-SCH, y la información relacionada con Hybrid ARQ.		
PHICH	Es el responsable de Hybrid ARQ ACK/NACK en la transmisión de carga.		

Tabla 4.6. Principales características de cada canal.

#### 4.9.2. Estrato.

Los estratos son conocidos como los tres grupos en los que se dividen principalmente los canales descritos en 4.9.1. Están conformados por los grupos de “canales físicos”, de “transporte” y “lógicos”, que serán descritos a continuación.

- **Canales físicos:** En este grupo de canales se puede trabajar de dos formas, tanto en FDD y TDD, ya que se puede organizar con base en tramas o intervalos de tiempo. En esta capa se “mapeará” de manera general toda la información necesaria para ser transmitida, por lo que en las siguientes capas será descodificado para su aplicación; los canales que componen esta capa son: PBCH, PCFICH, PDCCH, PHICH, PDSCH, PMCH para DL y PUCCH, PUSCH, PRACH para UL.
- **Canales de transporte:** Este grupo de canales están encargados de preparar la información para su transporte a través del medio, es decir que aquí es donde la información se codifica y se revisa mediante diversas técnicas y procedimientos a fin de dar certeza a la información a recibir y transmitir; además de las propiedades antes mencionadas, también cuenta con la característica de adecuar los servicios que son requeridos por el usuario y que son proporcionados mediante

la red. Se compone de los siguientes canales: BCH, DL-SCH, PCH, MCH para DL y UL-SCH, RACH para UL.

- Canales lógicos: Son los encargados de descodificar y manejar la información a la terminal final, ya sea en el UE o en el eNodeB. Para esto hay dos tipos de canales dentro de los canales lógicos, el primero son los canales de control que serán los encargados de las transferencias de información hacia el “plano de control” y los canales de tráfico, estos canales proveerán la información para el “plano de usuario”. Se componen por BCCH, PCCH, CCCH, MCCH, DCCH, DTCH y MTCH.

#### 4.9.3. Capa.

Al conjunto de canales de procedimientos se les conoce también como capa. Dicha capa es necesaria para la correcta transmisión de la información en LTE, que se mezclan tanto con los canales y estratos de la sección anterior. Cabe aclarar que existen diversas capas dependiendo del proceso que se genera en la transmisión.

Se mostrará una imagen sobre las capas que trabajan en el sistema, su injerencia tanto en los estratos como en los grupos de canales y se explicará la función de cada uno de ellos. Es necesario remarcar que en el caso del estándar LTE lo dos planos, de usuario y de control, envían distinta información.

Se iniciará la demostración con el plano de control de la tabla 4.7, donde se encuentran las capas de NAS, RRC, PDCP, RLC, MAC y PHY, cada una con una función específica en la transmisión de información en el sistema; es necesario recordar que su comportamiento de capa se debe a que el estrato más alto se almacenará en el siguiente inferior hasta llegar a PHY, donde se transmitirá a su par y se descomprimirá de la capa inferior a la siguiente superior hasta transmitir la información reservada en la última capa.

La información que se va plasmando es importante, ya que al realizar una grabación de los datos que se transmiten en las tramas, es más viable encontrar la información necesaria, si se conoce el funcionamiento de los mismos. *(Dahlman Erik, Parkvall Stefan and Sköld Johan 2011)*



Capa	Función	Capa	Función
<b>NAS</b>	Administración de EPS bearer. Autenticación. Manejo de movilidad en ECM-IDLE. Generación del Paging en ECM-IDLE. Control de Seguridad.	<b>RLC</b>	Corrección de errores a través de ARQ. Concadenación, segmentación y reensamble en información de RLC. Detección de duplicación. Detección de error por protocolo.
<b>RRC</b>	Broadcast Paging. Administración de conexión RRC. Funciones de Movilidad. Reporte y control del UE	<b>MAC</b>	Mapeo entre los canales lógicos y de transporte. Multiplexación de Demultiplexación de la información. Reporte del esquema de información. Corrección de errores usando HARQ. Manejo de Prioridades. Identificación del servicio MBMS. Selección del formato de transportación. Padding.
<b>PDCP</b>	Cifrado e íntegra protección. Transferencia de la información del Plano de Control.	<b>PHY</b>	Transportar en una trama la información de las anteriores capas, a través de los múltiples medios de transmisión.

Tabla 4.7. Se muestran las principales características de cada capa para el plano de control.

Como se aprecia en la imagen 4.22, en el plano de control, la información que interviene va dirigida al envío de la información para las autorizaciones necesarias para acceder al sistema; cómo se explicó en cada una de las capas que intervienen en este plano y su contenido, así como el propósito que se desprende de cada una de la tabla 4.7.

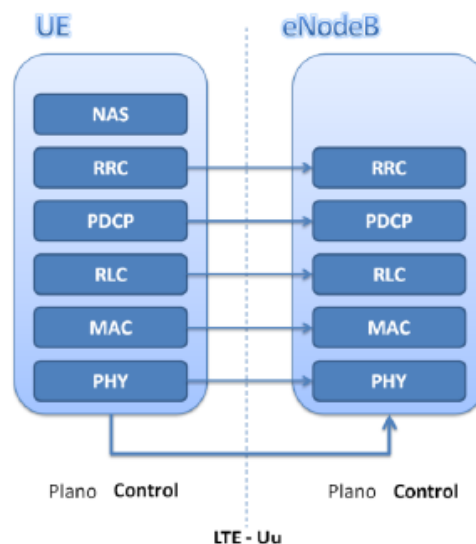


Imagen 4.22. Contenido de las capas para el Plano de Control.

En la imagen 4.23, se muestra la conformación para el plano de usuario y sus capas, donde se tiene principalmente un cambio en las últimas dos capas a diferencia del plano de control. Estas dos últimas capas llevarán la información que está solicitando el usuario hacia el elemento que le permita el acceso a internet.

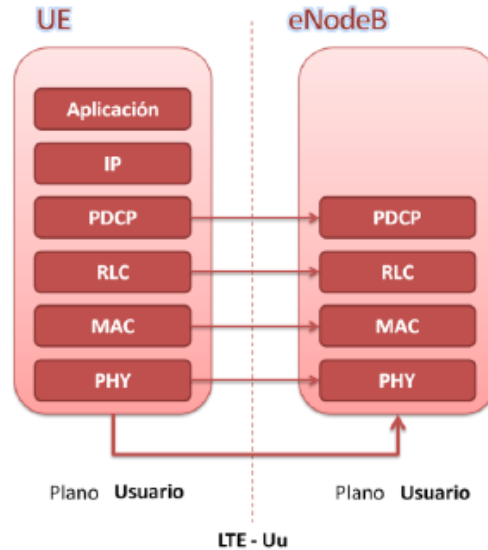


Imagen 4.23. Contenido de las capas para el plano de usuario.

Cada capa se detalla en la tabla 4.8.

Capa	Función	Capa	Función
<b>Aplicación</b>	Donde los programas se desarrollan con la información previamente solicitada por parte del usuario.	<b>RLC</b>	Corrección de errores a través de ARQ. Concadenación, segmentación y reensamble en información de RLC. Detección de duplicación. Detección de error por protocolo.
<b>IP</b>	En esta capa se genera la transmisión direccionada de la información requerida por parte de la capa de Aplicación. La información de esta capa será contenida en PDCP.	<b>MAC</b>	Mapeo entre los canales lógicos y de transporte. Multiplexación de Demultiplexación de la información. Reporte del esquema de información. Corrección de errores usando HARQ. Manejo de Prioridades. Identificación del servicio MBMS. Selección del formato de transportación. Padding.
<b>PDCP</b>	Compresión y descompresión de la información de las capas superiores. Transferencia de la información del usuario. Retransmisión de la información en casos de Handover. Cifrado y descifrado de la información. Detección de duplicidad de información.	<b>PHY</b>	Transportar en una trama la información de las anteriores capas, a través de los múltiples medios de transmisión.

Tabla 4.8. Se muestran las principales características de cada capa para el plano de usuario.

## **CAPÍTULO 5. SAE / EVOLVED PACKET CORE.**

## CAPÍTULO 5. SAE / EVOLVED PACKET CORE.

### 5.1. EPC.

Se inicia una parte sumamente delicada del estándar, conocida como el núcleo (“Core” en inglés), que es donde se lleva a cabo la transmisión de toda la información tanto que solicita el cliente, como la señalización generada por el mismo.

Éste estándar tiene como base una organización de arquitectura avanzada conocida como SAE “Sistema de Arquitectura Evolucionada”, con lo que se ha simplificado la red, y por ende se han obtenido beneficios de OPEX y CAPEX, elementos que pertenecen al estándar y que se explicaron en la sección 3.3.

Su núcleo al tener como base la “Conmutación de Paquetes” (“PS” por sus siglas en inglés) y por los protocolos que se usan, se conoce en general como “Circuito de Paquetes Evolucionado” (“EPC” por sus siglas en inglés), donde por medio de diversos medio físicos (ya sean cable UTP o fibra óptica) y de protocolos, se genera la señalización necesaria para brindar el servicio.

A diferencia de sus antecesores, en LTE/SAE se usa una menor cantidad de elementos involucrados en su EPC y por ende, tiene una mayor velocidad en la realización de la llamada o adquisición de datos por parte del cliente. Es importante resaltar que la mayoría de la información que se transmite a través del EPC viaja en medio físico de fibra óptica, con lo que se maneja un mayor tráfico de datos con mejores resultados de calidad en el servicio y se cumplen los estándares de calidad que se deben de obtener en este sistema.

#### 5.1.1. Arquitectura de EPC.

Como se observa en la Imagen 5.1, se despliega una arquitectura completa de lo que sería todo el estándar aplicado para una solución comercial, con ello se hace referencia a las características mínimas para la operación del estándar. Aunque para brindar servicios dedicados o nuevos, se necesitaría incorporar un equipo dedicado a éste como en otros estándares. *(Ali-Yahija Tara 2011)*

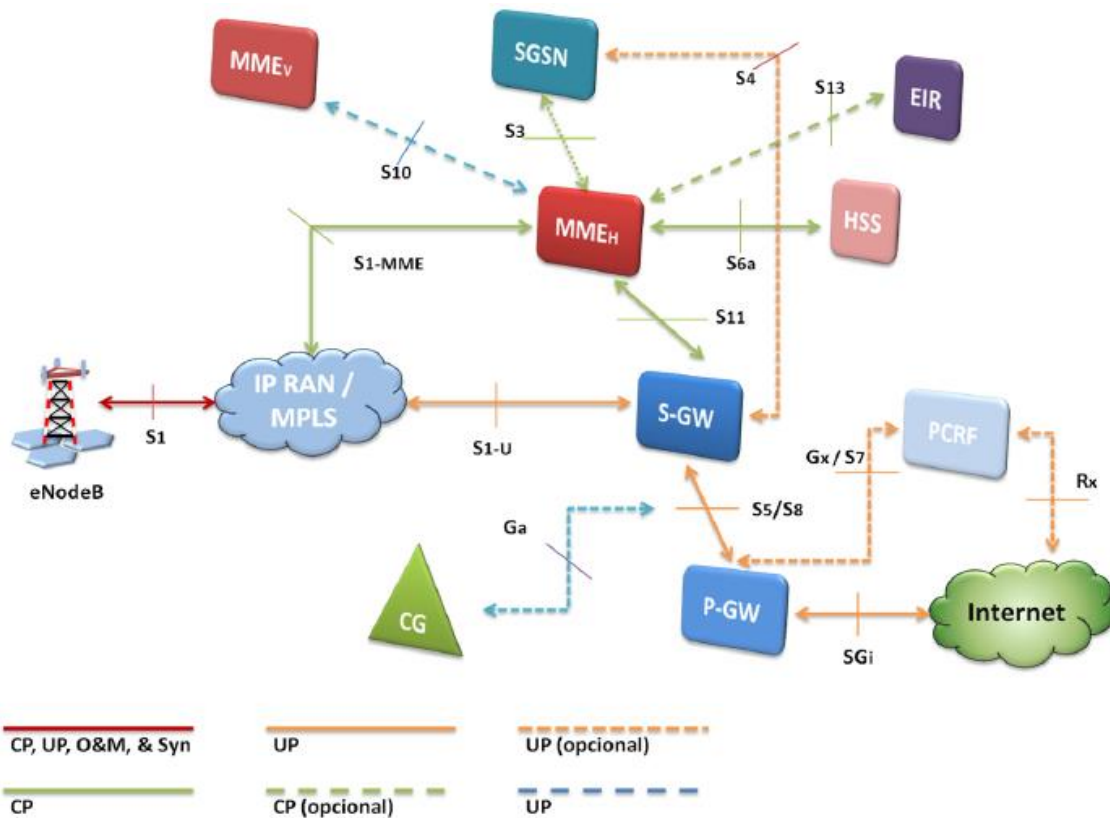


Imagen 5.1. Arquitectura básica comercial, sobre cómo se manejaría el Core del estándar LTE Release 9.

A continuación, se generará una lista de los elementos que están enmarcados en la imagen 5.1 y su principal función en la arquitectura.

- **MMEH**, este elemento se dedica a la administración de la red. En él se da la señalización de CP y es quien verifica la información del usuario y su equipo, así como características y privilegios con los que cuenta. La referencia H indica que es de la red de residencia.
- **MMEV**, es igual que el MME, sin embargo la referencia V indica que es de una red Visitante, esto se da en casos de roaming local o internacional o simplemente cuando se visita otra red a la que se tenga el permiso.
- **HSS**, equipo que se dedica a guardar toda la información del usuario, tanto los datos de registros de tiempo, monetarios, de última ubicación y de autorización, principalmente.
- **SGSN**, unidad que pertenece al estándar UMTS (3G) de 3GPP, su función es realizar la comunicación con la red de LTE para poder continuar brindando el servicio requerido.
- **S-GW**, es quien recibe las solicitudes de acceso y espera la aprobación por parte del MMEH para confirmar el servicio a brindar, su calidad y el tiempo.

- **P-GW**, continúa con el proceso de comunicación del S-GW. Este equipo es quien conduce la salida y entrada de la información que requiere el usuario, así como su encapsulación y preferencias de seguridad.
- **PCRF**, una de las principales funciones es brindar mayores indicaciones de seguridad al sistema, entre las cuales están las siguientes: un firewall, discriminador de datos, bloqueo de ataques, entre otras particularidades.
- **CG**, es un contador que lleva la cantidad de datos o tiempo utilizado del sistema por parte de usuario. Su función es la de generar las estadísticas para el cobro del servicio al cliente.
- **EIR**, al igual que el HSS, maneja la base de datos de IMEI a los cuales se les permitirá el acceso o se les negará conforme a la configuración que éste tenga. El EIR maneja tres tipos de listas, lista negra, aquellas IMEI que están bloqueadas; lista blanca, los IMEI que están permitidos; lista gris, aquellos IMEI que se les permite el acceso, pero serán monitoreados.

Estos son los principales componentes necesarios para una red LTE de forma comercial. Se reitera que todos los equipos tienen una capacidad máxima, ya sea como de usuarios o de tráfico, por lo cual, hay que contemplar este tipo de situaciones al momento de analizar la aplicación de ésta en un sector. Además de que como recomendación en ingeniería una red no debe de sobrepasar el 85% de su capacidad de forma usual, ya que en caso de emergencia, ésta capacidad será sobrepasada muy fácilmente, provocando que la red se desactive por seguridad o en un caso mayor, colapse.

### 5.1.2. MME (Mobility Management Entity).

Este elemento que se encuentra en el EPC de la red, es el encargado de la administración del flujo de información entre los componentes. Es quien organiza, distribuye y procesa la información de cada usuario que se opera en la red.

Entre sus funciones está la de comparar la información por parte del cliente con la información almacenada en el HSS, autorizar al S-GW la transmisión de la información solicitada por el usuario, generar los parámetros necesarios para una calidad en el servicio a brindar y funciones de roaming, entre otras.

Para conocer a profundidad este elemento, se presentan a continuación los protocolos que usa con cada interface que tiene y el para qué de su función.

#### 5.1.2.1. UE – eNB – MME. (Interfaz S1-MME).

Como se aprecia en la imagen 5.1, el eNodeB tiene una función muy importante la cual es cambiar la arquitectura de los protocolos que envía el UE para ser asimilada por el MME, supliendo las funciones que se realizaban antes en el RNC o BTS/BSS para estándares anteriores. Además, como se aprecia en la imagen 5.1, el protocolo de NAS no se descifra en el eNodeB, ya que éste contiene la información del usuario, por lo que no se valida en el eNodeB y simplemente se encapsula en el nuevo protocolo para ser enviado al MME, ya que ahí es donde será analizada y enviada a los distintos elementos de la red

para su confirmación y validación, en caso de que sea aprobada, se le dará acceso a la red. Esta señalización que se plasma es únicamente para las interfaces S1-Uu y S1-MME en el plano de control, ya que es éste el que le concierne a éste elemento de la red.

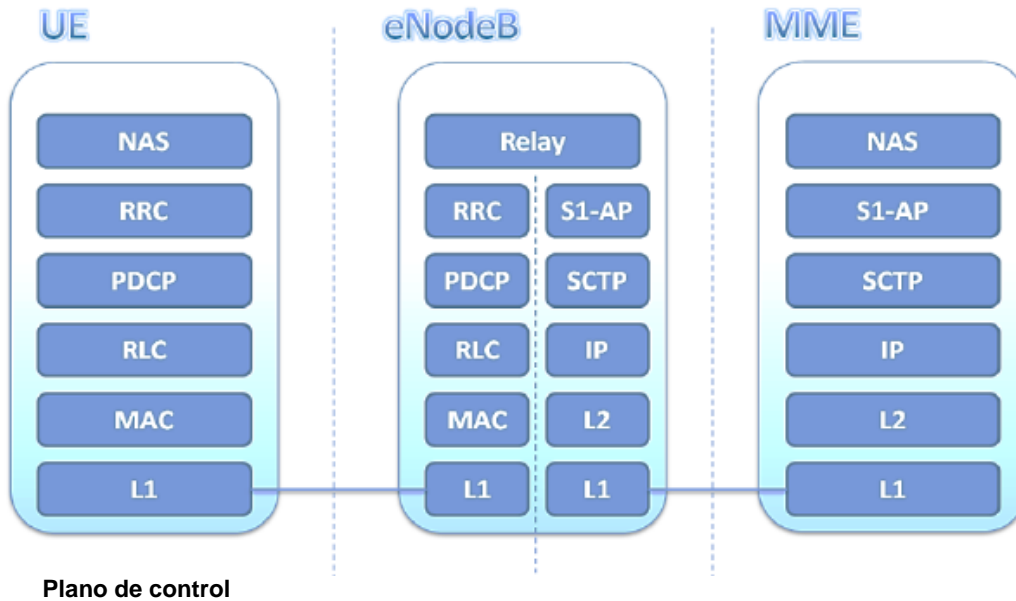


Imagen 5.2. Protocolos en el enlace del UE al MME en el plano de control.

#### 5.1.2.2. SGSN – MME & S-GW – MME. (Interfaces S3 & S11).

Recordando que en el estándar se divide en dos la transmisión, la información que se envía del SGSN hacia el MME es del plano de control, por lo que se encontrará la información del usuario de la red de 3G que desea conectarse a la red de LTE, y para el S-GW se envía la autorización de acceso a los servicios, indicando la calidad y cantidad de los mismos. El proceso se muestra la imagen 5.3.

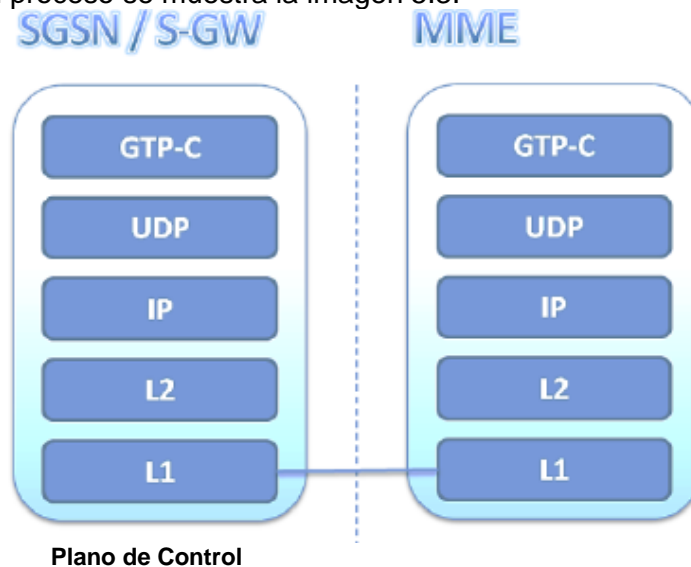


Imagen 5.3. Protocolos en el enlace del SGSN/S-GW al MME en el Plano de control.

Algo que es necesario precisar, es la adaptación que tiene el MME a los diversos protocolos con los cuales tiene que tratar. Para este caso se toma en consideración que un usuario de 4G pierde la cobertura del estándar, por lo que para seguir recibiendo el servicio, se conecta a los datos por medio de estándares de UMTS de forma inversa en la interfaz que contempla al SGSN. La interfaz S-GW es para el envío de la autorización para el acceso del usuario a los servicios solicitados, donde se incluye la calidad, capacidad y duración si es el caso, de los mismos.

### 5.1.2.3. HSS – MME. (Interfase S6a).

La información del MME hacia el HSS es fundamental, ya que en éste es donde se almacena la información del cliente, tanto sus códigos IMSI e IMEI, como la cuestión monetaria, el tipo de plan o accesos que tiene, regiones locales, nacionales e internacionales, para que el MME indique a donde se deberá de dirigir la información y con qué características, así mismo su salida a la red. La imagen 5.4 muestra su diagrama.

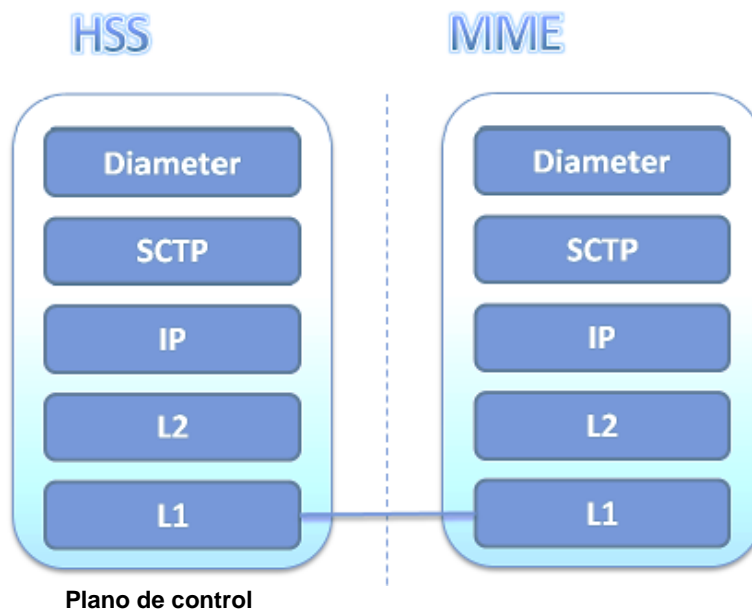


Imagen 5.4. Protocolos en el enlace del MME al HSS en el plano de control.

Como se ha analizado, los elementos que se manejan dentro del EPC tienden a usar los mismos protocolos inferiores, esto se debe al tipo de red donde están trabajando.

### 5.1.2.4 Funciones del MME.

Entre las múltiples funciones con las que cuenta el MME, se nombrarán las principales:

- Señalización de NAS.
- Seguridad de NAS.
- Interoperabilidad entre Estándar 3G a LTE.
- Aplicación de Paging.
- Administración del TAC.
- Mapeo de la localización del UE y su zona horaria.



- Selección de PDN-GW y S-GW.
- Selección de MME para Handover.
- Roaming (Sobre interfaz S6a)
- Autenticación.
- Autorización.
- Manejo de las funciones de Bearer, incluyendo el Bearer Default.

### 5.1.3. HSS (Home Subscriber Server).

Como todo sistema de comunicaciones, es necesario un equipo que contenga toda la información del usuario para ser verificada, en este caso se refiere a lo que puede ser el código IMSI e IMEI por mencionar algunos, así como la información sobre si es un plan de postpago, de prepago o híbrido, y con qué características se maneja cada uno. Por otro lado, también maneja la locación a la cual se encuentra y a la cual pertenece, esto también ayuda en casos de roaming locales, nacionales e internacionales.

La imagen 5.5 muestra el diagrama de conexión sobre la interfaz S6a hacia el MME, donde su principal protocolo será "Diameter", es necesario que los protocolos concuerden, de lo contrario, la comunicación fallará, de igual forma el elemento más básico y principal del HSS es su arquitectura y configuración de arreglo de discos, con ello se determina en parte su configuración y el hardware.

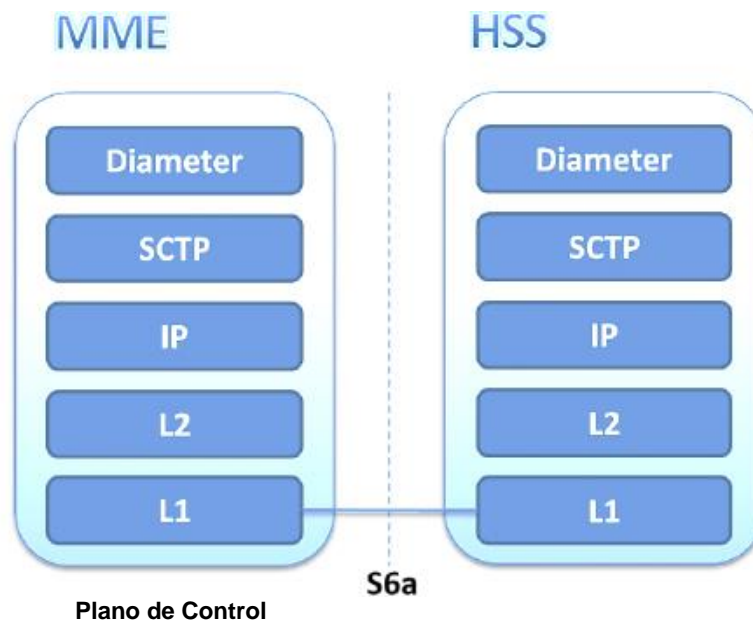


Imagen 5.5. Protocolos en el enlace del HSS a MME en el Plano de control.

#### 5.1.4. S-GW (Serving Gateway).

En la exposición anterior del comportamiento de la red se enfatiza en las dos grandes divisiones de la señalización, tanto en UP como para CP. Con lo visto en el MME se abarcó en su totalidad la señalización de CP. Ahora es necesario analizar el comportamiento para el UP, donde lo primordial que se encuentra es la transmisión y recepción de la información solicitada por el UE y el trato que se le da.

El S-GW es el elemento central de este proceso, ya que sobre éste fluye el tránsito del UP. Como muestra y mayor comprensión de ello, a continuación se presentan las interfaces con las cuales se relaciona, su funcionamiento y características del mismo.

##### 5.1.4.1. UE – eNB – S-GW. (Interfaz S1-U).

Es importante remarcar que el protocolo de aplicación se generará hasta que se encuentre afuera del sistema, mientras tanto no hay necesidad de que la información sea descomprimida en ninguno de los elementos por los cuales transitará. En la imagen 5.6 se muestra el trabajo por parte del eNodeB convirtiendo una serie de protocolos a otros, para su uso inalámbrico en su recorrido sobre la red.

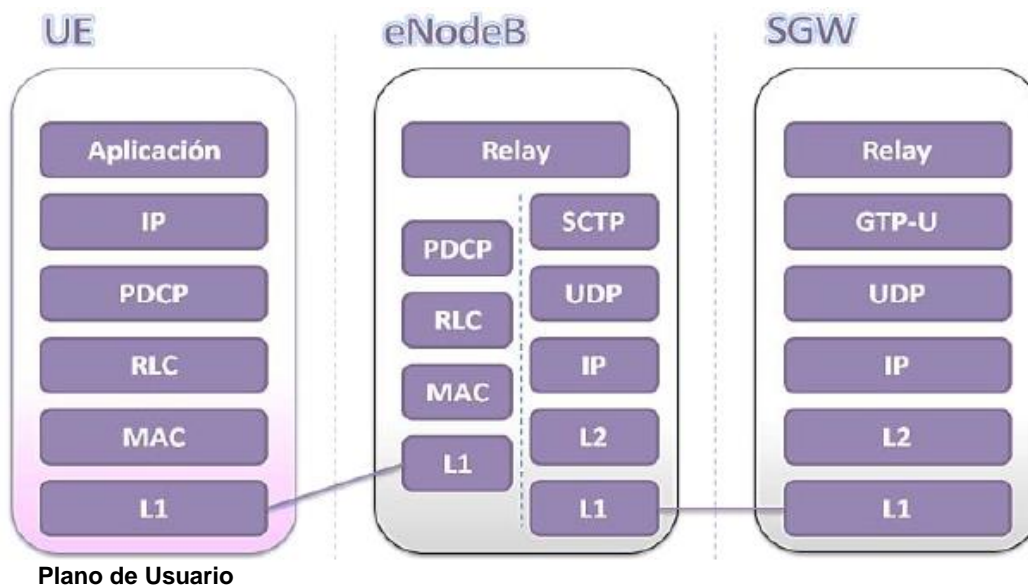


Imagen 5.6. Protocolos en el enlace del UE al S-GW en el plano de usuario.

##### 5.1.4.2. SGSN – S-GW. (Interfaz S4).

Como se ha mencionado, la comunicación que va hacia el S-GW es principalmente sobre el plano de usuario, y para el caso de comunicación sobre la interfaz S4 no es la excepción, en este caso la comunicación al respecto del usuario viajará sobre la interfaz S4 y se transmitirá la información de usuario desde el SGSN. Para ello, aunque el protocolo es correspondiente a GTP, tendrá una connotación U que indicará que lleva la información de usuario para realizar los diversos procesos que serán necesarios, este tipo

de información procede de sistemas UMTS 3G, por lo que ésta interface es de convolución con otros sistemas pertenecientes a 3GPP. Ver imagen 5.7.

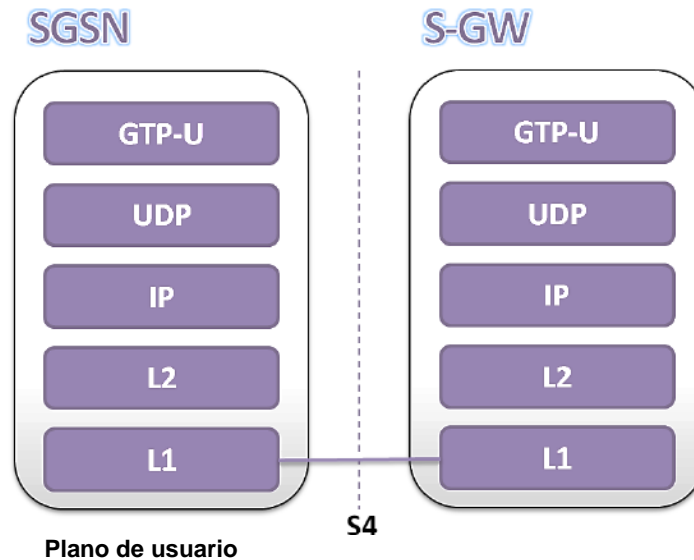


Imagen 5.7. Protocolos en el enlace del SGSN al S-GW en el Plano de Usuario.

Cabe mencionar, que en caso de conexiones de interoperabilidad de las redes de 3G a 4G, la información que se proporcionará será de datos, más no de voz, a menos que ésta sea voz sobre IP y se dé en alguna plataforma. La información general que se proporcionará será la que el usuario esté solicitando a la red.

#### 5.1.4.3. MME – S-GW. (Interfaz S11).

Aunque la mayoría de la información que recibe el S-GW es de usuario, no se debe de omitir que es necesaria la confirmación por parte del MME para dar continuidad a la solicitud de servicio o declinarla, por lo que la información que recibirá será con base en el protocolo GTP, pero con el detalle que será sobre el plano de control, por ello la terminación en C. Ver imagen 5.8.

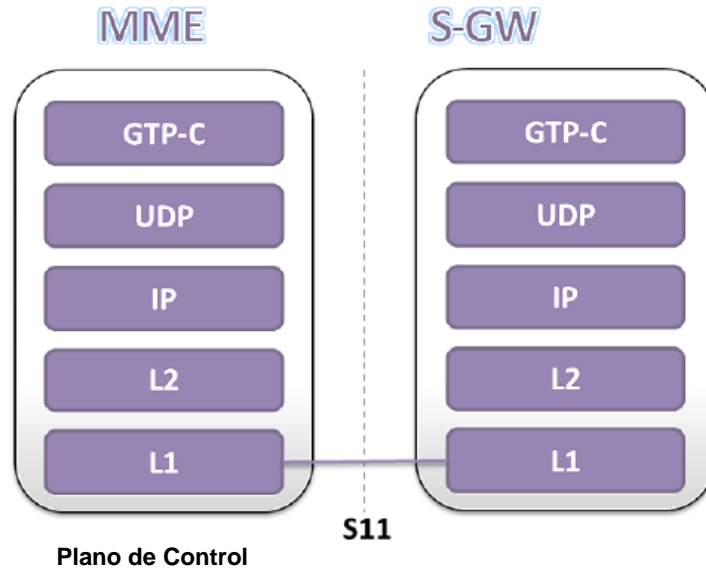


Imagen 5.8.- Protocolos en el enlace del MME al S-GW en el plano de control.

#### 5.1.4.4. P-GW – S-GW. (Interfaz S5/S8).

Una vez autorizado el acceso del usuario a la red y con privilegios de acceso a datos, se manda la solicitud de datos al P-GW quien le brindará las configuraciones de salida que van desde los protocolos de seguridad hasta la calidad y cantidad de datos que puede recibir y enviar el UE; toda esta información se verá reflejada bajo el plano de usuario. Ver imagen 5.9.

En caso de que el acceso a datos sea dentro de la región determinada del usuario, ésta será transmitida por la interface S5, en caso de que el acceso sea cómo roaming, se tiene que emplear la interface S8, tanto por políticas del estándar 3GPP, cómo por el envío de información para la autorización del mismo.

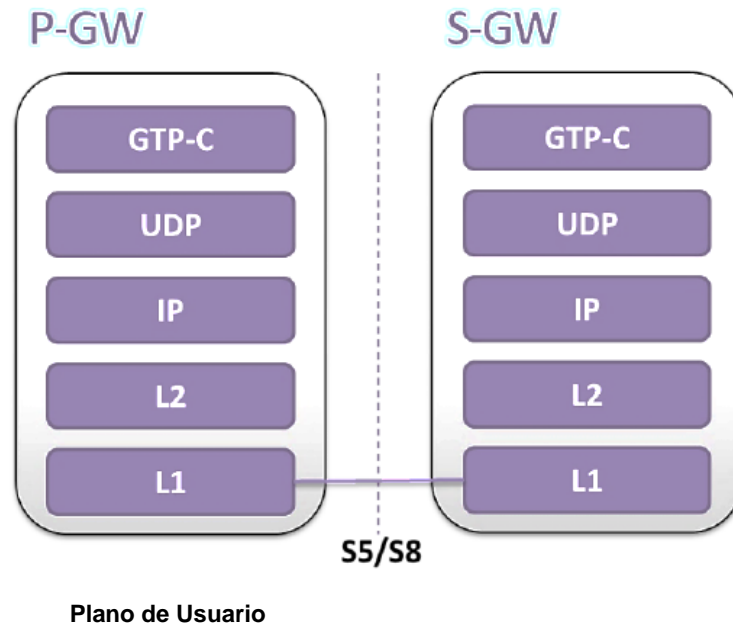


Imagen 5.9.- Protocolos en el enlace del P-GW al S-GW en el Plano de Usuario.

#### 5.1.5. PDN-GW (Packet Data Network Gateway).

El PDN-GW o P-GW es, en muchos casos, el último elemento de la red antes de que la información salga al internet, por lo cual cuenta con funciones de seguridad como es una codificación y aplicación de firewall, entre otras políticas. La información se recibe únicamente por parte del S-GW quien le da los parámetros tanto de calidad como de salida que tendrá la información por parte del UE, esto influye mucho ya que en sí, se convierte en la protección para el UE. La interfaz que conecta al S-GW es la S5 o S8, dependiendo de los casos en que la comunicación sea de forma local (S5) o para los casos en que la comunicación tenga que ser por medio de Roaming (S8). Ver imagen 5.10.

Actualmente, en las configuraciones de los equipos, de acuerdo al "Vendor"<sup>16</sup>, el S-GW y el P-GW pueden estar físicamente en un equipo conocido como SPGW, dónde las configuraciones de las interfaces son más sencillas debido a que son definidas físicamente.

<sup>16</sup> Vendor, número de identificación único del hardware.

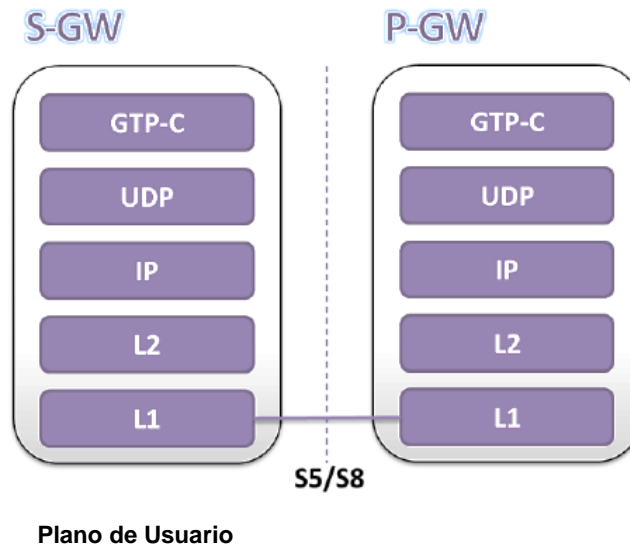


Imagen 5.10.- Protocolos en el enlace del S-GW al P-GW en el Plano de Usuario.

### 5.1.6. PCRF (Packet Data Network Gateway).

A grandes rasgos, el PCRF es el gestor y administrador de políticas extras que solicitará el proveedor de servicios hacia los UE que ocupen su red. Con esto se puede ampliar la seguridad de la red y brindarles a los usuarios una mayor certeza en la seguridad de la información que tanto reciben y envían por medio de la red.

Aunque existen previamente elementos que cuentan con funciones de seguridad, es importante indicar que la capacidad con la que cuenta el PCRF es mayor a las previamente vistas y con ello dar una mayor seguridad. Entre sus funciones que puede combinar están las siguientes: los contadores de cobro, prepago, seguridad por perfiles, sistemas de operación y mantenimiento.

### 5.1.7. SGSN.

En los casos en los cuales se tiene una red que cuente con diversas tecnologías dentro de los mismos estándares definidos por 3GPP, tiene que existir una convolución entre dichos sistemas. Es por medio del SGSN que existirá esa comunicación, con lo que se conectará de forma directa a los elementos de LTE, en este caso sería para el CP directamente al MME y para el UP hacia el S-GW, ya que en caso de que no exista cobertura en alguna región, y para continuar brindando el servicio al cliente sin tener fallas, o de forma inversa, que un cliente de 3G necesite servicio de 4G, se le pueda facilitar.

Aunque los cambios de velocidad si serán bastante notorios, el objetivo de esta interoperabilidad es el no dejar de brindar el servicio y generar una mayor confianza en el usuario, ampliar la cobertura, y que de una u otra forma el servicio de datos se le seguirá brindando con toda seguridad.

Los estándares con los que se trabaja se muestran en las imágenes 5.3 para CP y 5.6 para UP.

### 5.1.8. Otros componentes.

Entre otros componentes que puede contener la red de LTE serían como ejemplo los siguientes:

- CG (Charging Gateway), este elemento será conectado hacia la salida del S-GW hacia el P-GW o de forma inversa; el componente es un contador de datos individualizado, con el cual se llevara estadísticas e información concerniente a la calidad, tiempo y cantidad de datos transmitidos y recibidos por el usuario. Esto no quiere decir que sea el elemento contable el cual facturará; su función es solo de contador.
- EIR (Equipment Identity Registry), el componente que, para muchos proveedores de servicios y por recomendaciones de asociaciones sobre la calidad y seguridad de la red, es el recomendado y usado. Su principal función es generar registros sobre los códigos IMEI permitidos y cuáles no. Con ello, se da seguridad a los usuarios, de que en caso que su equipo móvil sea hurtado, al encontrarse o no en esta lista, se podrá conectar o no, y por ende, se genera una política de seguridad de forma indirecta hacia las sociedades que tienden a padecer de forma constante este tipo de situaciones.
- AAA (Amdocs Service Controller), para muchos proveedores a nivel mundial es una herramienta muy importante, ya que ofrece al proveedor de servicios, el control sobre las aplicaciones a las cuales puede o no puede tener acceso el usuario. Para ciertas redes o privilegios es importante este componente, ya que en menores de edad o simplemente por ética comercial, se negará el acceso a diversos programas o páginas, creando así confiabilidad en el usuario. También se usa para la interacción de redes que se pueden tomar como desconocidas o poco exploradas y así brindar seguridad.

Actualmente, se ha firmado un acuerdo donde todas las compañías de telefonía móvil en México junto con GSMA, comenzarán a bloquear de forma generalizada todos los teléfonos que sean reportados como robados. Esto se facilita el uso del EIR como una lista negra, donde una vez reconocido el código IMEI, éste será bloqueado y se le negará el acceso a las redes, independientemente de la tarjeta SIM que esté usando.

Para el EIR se pueden generar tres tipos de listas; la lista negra es aquella que guarda los IMEIs que se les niega el acceso; lista gris son aquellos IMEIs que pueden tener un acceso restringido en la red; y la lista blanca donde los IMEIs registrados son los únicos que tendrán acceso a la red.

Un detalle importante lo constituyen los protocolos que se utilizan, ya que para estándares UMTS su protocolo está con base en MAP<sup>17</sup>, y para LTE es Diameter. En caso que de que el protocolo no corresponda al estándar que se utiliza en la red, éste no servirá, ya que no se podrá comunicar.

---

<sup>17</sup> MAP, Mobile Application Part.

Una forma de solución para las nuevas plataformas tecnológicas que se plantean como “Single Core”, es que el SGSN solicite el permiso del IMEI a través del MME del estándar LTE por la interface S13, como se muestra en la imagen 5.11. De esta forma se podrá comenzar a reducir la cantidad de elementos que intervienen dentro del “Core”.

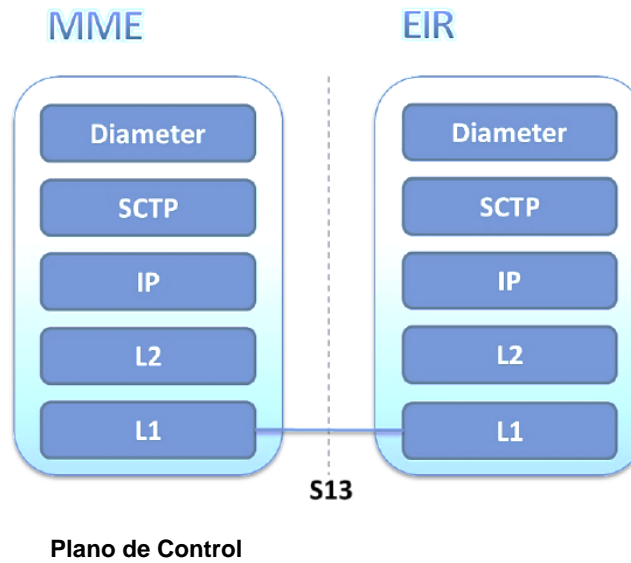


Imagen 5.11. Protocolos en el enlace del MME al EIR en el Plano de Control.



## **CAPÍTULO 6. TENDENCIAS AL ESTANDAR LTE-ADVANCED.**

## CAPÍTULO 6. TENDENCIAS AL ESTANDAR LTE-ADVANCED.

Como todo sistema de telecomunicaciones, LTE/SAE también tiene la capacidad de desarrollarse y mejorar de forma sustancial, a diferencia de sus antecesores, ya que por lo que se espera, LTE Advanced podría superar en muchas formas a su antecesor, con velocidades aproximadas de 1G en descarga y un diseño más dinámico en su red de EUTRAN. Se espera que continúe sin novedad alguna en su EPC, ya que solo serían mejoras mínimas; lo principal sería esperar que todas las conexiones hacia el Core sean con base en fibra óptica, con lo que se aseguraría un rendimiento bastante considerable a consideración de LTE/SAE, donde existen aún conexiones con base en cable coaxial para algunas de sus interfaces. No obstante, el cable coaxial generará de alguna forma lentitud en el sistema, no lo suficiente aun para ser detectado por el usuario, sin embargo lo es para ser medido en estadísticas de acceso. (*Ericsson\_ Next generation LTE, LTE-Advanced 2010*)

En el Mobile World Congress 2013 que se llevó a cabo en España, se contó con una extensa participación de diversos fabricantes quienes mostraron lo más reciente de sus tecnologías aplicadas sobre el estándar de 3GPP. El principal aspecto en el congreso fue la exhibición de LTE-Advanced en donde los agentes de Ericsson, Huawei y NSN tuvieron presencia en sus respectivos espacios.

Como parte de la respuesta generaliza, es que se agregarán pequeñas sub celdas, las cuales serán conectadas al eNodeB, haciendo más efectiva la comunicación y obteniendo mayores tasas de transmisión; otro aspecto es el uso de hasta 100 MHz de ancho de banda mediante arreglos MIMO de 4Tx4R (4 antenas transmisoras por 4 antenas receptoras) e incluso de 8Tx8R (8 antenas transmisoras por 8 antenas receptoras), obteniendo en conjunto velocidades de poco más de 1GB en la transmisión.

Solo como recordatorio, se necesitará una gran inversión por parte del proveedor de servicios para brindar la capacidad de LTE, sobre todo que su transmisión interna que incluye IP RAN y MPLS sea con base en medios aplicados sobre fibra óptica.

### 6.1. Comparativa de sus características principales contra LTE.

Como parte de las diversas diferencias entre LTE y LTE-Advanced, la realización de una comparativa no significaría como tal la comparación entre los dos estándares compitiendo en igualdad de condiciones, ya que como se vio, LTE- Advance contará con una diversidad muy grande a la configuración correspondiente.

A continuación, en la tabla 6.1, se podrán comparar de forma general las características más básicas entre los estándares.

Características	LTE R9	LTE Advanced R10
MIMO	1Tx1T, 2Tx2R & 4Tx4R	2Tx2R, 4Tx4R & 8Tx8R
Ancho de Banda máximo para DL.	20 MHz	100 MHz
Ancho de Banda máximo para UL.	20 MHz	40 MHz
Capacidad de Descarga a máxima configuración.	300 Mbps	1 Gbps
Capacidad de Carga a máxima configuración.	150 Mbps	500 Mbps
Cobertura en máxima capacidad.	5 Km.	5 Km, que serán divididos.
Anchos de Bandas Escalables.	1.4, 3, 5, 10 & 20 MHz	20 – 100 MHz
Capacidad en Usuarios a máxima configuración.	200 Usuarios activos.	Aproximadamente se triplica a según los arreglos de pico celdas.

Tabla 6.1. Tabla comparativa entre el Release 9 LTE contra el Release 10 LTE-Advance.

## CAPÍTULO 7. UTILIDADES.

## CAPÍTULO 7. UTILIDADES.

### 7.1. LTE vs 3G.

Desde la llegada de 3G en los años 90's, se ha hablado mucho de las velocidades de transferencia de datos adquiridas por los usuarios que eran en ese momento de 384kbps, aunque con el tiempo y con nuevas tecnologías agregadas como HSPA se ha llegado a tener velocidades de hasta 14 Mbps, pero la necesidad de mayor velocidad es cada día una necesidad que se resuelve a la implementación de la tecnología LTE, con la cual se llega a velocidades 10 veces más altas a las propuestas por 3.5G (HSPA) que es de 14Mbps.

LTE en comparación con el 3G brinda una serie de beneficios que, gracias a su mayor tasa de transferencia de datos, permite que las diversas labores multimedia sean realizadas de forma más rápida.

La tecnología LTE permite descargar una fotografía en un segundo, en comparación de los 25 segundos que puede tomar en 3G.

Bajar una película de dos horas en DVD en 3G toma 2 horas, mientras que en LTE solo 4.8 minutos. Si se trata de una cinta en alta definición de una hora, pasa de 8 horas en 3G a 17 minutos en LTE.

Por su parte, mientras que bajar una canción de 8 minutos toma 10 segundos, con LTE el tiempo se reduce a 0.38 segundos. En el caso de un álbum de 74 minutos de duración, la tarea en 3G es de 25 minutos, mientras que en LTE baja a 54 segundos.

### 7.2. Características de LTE.

Las características de LTE que se tienen desarrolladas con las empresas Telcel y Movistar son:

- 173Mbps en enlace de bajada con MIMO 2x2.
- 326Mbps en enlace de bajada con MIMO 4X4.
- 58Mbps en enlace de subida con 16QAM.
- 86Mbps en enlace de subida con 64QAM.
- Capacidad por celda de 200 usuarios para un ancho de banda de 5MHz.
- Menos de 10 mseg de retardo en recepción de la UE al servidor.

### 7.3. LTE en la industria.

Con la implementación de LTE en la industria apoyara a los operadores celulares del país a anteponerse a los problemas que se pueden presentar cuando estas alcancen niveles de saturación en sus redes y adicionalmente puedan ofertar otro tipos de servicios de consumo de datos con el fin de compensar los ingresos que tienen actualmente por servicios de voz que los mismos van a la baja por los niveles de competencia que se tienen actualmente.

La infraestructura LTE de extremo a extremo puede representar una solución eficaz y económica, y a un menor costo por bit de información a transmitir ya que con sus infraestructuras actuales, enfrentan el dilema de tener que impulsar los servicios y aplicaciones móviles, porque es allí donde se encuentra un gran potencial de crecimiento en ingresos, pero a la vez de enfrentar los retos en calidad de servicio y congestión de redes, entre otros, que generan los incrementos notables en el consumo de ancho de banda por parte de los usuarios.

Un estudio en Estados Unidos hecho por Alcatel-Lucent sobre el tráfico de redes inalámbricas (sin incluir voz y voz sobre IP) reveló que durante una hora de uso de las redes móviles, los usuarios consumen el 33% del tiempo y el 69% del ancho de banda navegando en la Web, mientras que el correo electrónico se usa el 30% del tiempo, pero sólo consume el 4% del ancho de banda. Ver figura 7.1.

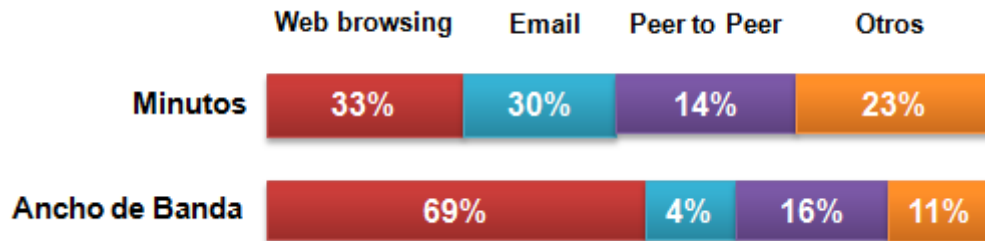


Imagen 7.1. Alcatel-Lucent 9900 Wireless Network Guardian Research.

LTE es un estándar móvil diseñado para transportar datos a una mejor tasa y desempeño, por ello, con los crecientes niveles de tráfico en las redes móviles, LTE reduce considerablemente los costos que éstos generan.

Referente a los nuevos servicios de datos que apoyarían la generación de ingresos, una infraestructura de red más inteligente con base en LTE proporcionaría una plataforma versátil en la que los operadores puedan ofrecer aplicaciones móviles tales como redes sociales, contenidos generados por usuarios, juegos, aplicaciones sociales de geolocalización y TV de alta definición (HDTV) multi-pantalla entre otras.

#### 7.4. Puntos que serán importantes en el desarrollo de LTE.

El despliegue de los nuevos teléfonos inteligentes denominados Smartphones, así como los equipos de cómputo Tablets, han generado una explosión de aplicaciones móviles y en consecuencia de consumo de datos. Estos dispositivos hacen que sus usuarios generen entre 4 y 10 veces más transferencias que los de otros equipos, sin importar si se trata de usuarios personales o corporativos.

La computación en la nube (cloud computing) sigue en ascenso; este concepto, que consiste en llevar a Internet u otras redes públicas o privadas los documentos y archivos, en lugar de mantenerlos almacenados en los propios dispositivos, está creciendo gracias a los teléfonos inteligentes, a las mayores necesidades de seguridad de la información, especialmente ante los riesgos de pérdida y robo de los equipos, y a la mayor necesidad de trabajar en ambientes colaborativos en las empresas.

Así, cada día es más común que una persona quiera tomar fotos en su teléfono y luego subirlas a una red social, o almacenarlas en servicios web; o que una empresa decida alojar en la 'nube' sus documentos de trabajo, para protegerlos ante los riesgos de pérdida física de los equipos.

- SaaS (Software como Servicio) trae nuevos servicios. Este modelo permite que empresas y personas “alquilen” capacidades y facilidades de la red (Internet) en lugar de comprar y almacenar aplicaciones.
- Mashups (sitio web o aplicación web que usa contenido de otras aplicaciones Web para crear un nuevo contenido completo) evolucionan y generarán más tráfico. Los operadores móviles podrían aprovechar la innovación proporcionada por la Web 2.0 para crear aplicaciones inteligentes que se pueden acceder desde cualquier dispositivo en cualquier lugar.

La explosión de usuarios y aplicaciones multimedia, es decir, los usuarios personales y empresariales usan cada vez más los dispositivos móviles (smartphones y tablets) como reemplazo momentáneo de las computadoras portátiles, lo cual crea nuevas exigencias, tales como las interfaces móviles, el tamaño de las pantallas y la facilidad de uso. Las interfaces de los dispositivos móviles deben ser multimedia y soportar transferencias intensivas de datos. (*Qualcomm\_ LTE Advanced, Evolving and expanding into new frontiers 2013*)

Ya no se tiene una sesión de conexión, sino múltiples sesiones simultáneas. Se espera que las sesiones inalámbricas sean dirigidas automáticamente por aplicaciones, no por los llamantes. Así, por ejemplo, un teléfono inteligente podría estar conectado simultáneamente con el navegador web, descargando actualizaciones de seguridad, sincronizando calendarios y correo electrónico y transfiriendo los datos que pide un mashup de datos de la bolsa o de geolocalización.

## 7.5. LTE y sus aplicaciones con diferentes proveedores.

Las aplicaciones en los teléfonos inteligentes denominados Smartphone están cambiando a la industria y están creando un nuevo modelo en internet. Esta tendencia continuará creciendo y se incrementara fuertemente con la integración de LTE en México.

En la actualidad hay más de 800,000 aplicaciones disponibles, para varios celulares en una amplia gama de sistemas operativos. Uno de los principales beneficios de las aplicaciones es la habilidad de transformar un dispositivo en algo más que para lo que fue creado. Hoy en día fácilmente un teléfono celular se convierte en una consola de videojuegos, un recetario, o una revista.

Lo anterior se ve reforzado considerando que, además del incremento de velocidad, las tecnologías y protocolos usados en LTE, buscan garantizar la calidad de servicio y la seguridad de las comunicaciones, incluso en movimiento; lo que permitirá la aparición de nuevas aplicaciones sobre internet y masificación de algunas ya existentes que facilitaran la vida de los ciudadanos.

Entre las aplicaciones y beneficios que entregara LTE, se encuentran los siguientes:

- **Televisión en vivo:** La mayor velocidad de este servicio no solo permitirá tener servicios de streaming de videos, sino que estos podrán ser vistos en alta definición y ser recibidos en vivo.
- **Juegos en línea:** Para jugar en línea, la latencia es fundamental, porque permite mantener el juego fluido. La norma LTE reduce estos tiempos de espera a casi cero, permitiendo jugar de forma instantánea.
- **Mejores llamadas:** Esta tecnología no solo sirve para transmitir datos, sino que puede usarse en servicios como Skype, para mejorar la calidad del audio en las llamadas e incorporar video chat.
- **Más que celulares:** Al igual que ahora, esta tecnología no está pensada solo en móviles, también se tienen equipos de cómputo denominados tablets con módems LTE integrados, modems USB LTE para la laptops o FemToCell para proveer de internet a toda la casa.

La demanda de acceso a Internet de banda ancha, es el servicio con una mayor tasa de crecimiento. En este momento, las redes fijas ADSL, solo están satisfaciendo las zonas más densamente pobladas y constituyen en México un duopolio, presentando costos muy altos, en relación con el ancho de banda ofrecido, llegando a una penetración de un 33% de los hogares mexicanos conectados a Internet. Para que este desafío sea positivo en la oferta de servicios de banda ancha, la nueva tecnología móvil LTE, se presenta como una herramienta eficaz y factible, para incrementar el acceso a Internet e introducir una competencia en el mercado de las telecomunicaciones.



El cambio cultural que se ha comenzado a observar, por la presión ejercida por las nuevas generaciones y el impacto que están provocando las empresas productoras de equipos móviles, con el desarrollo de nuevas tecnologías que potencian los “Servicio de Valor Agregado”, está provocando una transformación en la que los operadores móviles han debido cambiar su forma de manejar el mercado e incluir en su catálogo los servicios de datos.

Dentro de lo que se espera para LTE, es que permita continuar con la tendencia de crecimiento de las conexiones inalámbricas, las que han presentado un crecimiento muy por encima del de las conexiones tradicionales. Este punto dependerá de la estabilidad de las conexiones y los costos de las mismas, ya que mientras se mantengan relativamente competitivas frente a las conexiones tradicionales, tendrán un importante mercado dentro del país.

Se puede mencionar que al dar paso a la portabilidad numérica, se rompe una de las barreras de salida más relevantes para el cliente, al cambiarse de operador, por lo que se presionaría a nuevas formas de fidelización de parte de estos últimos, haciendo una necesidad la implementación de nuevos “Servicios de Valor Agregado”. Por todo lo anterior, es inminente que las compañías operadoras generaran planes de fidelización distintos a los actuales y en este sentido, la tendencia mundial es seguir el ejemplo de Japón, el que a través de un aumento de sus Servicios de Valor Agregado, ha creado un nuevo modelo de negocio.

## **CAPÍTULO 8. DISEÑO RED LTE.**

## CAPITULO 8. DISEÑO RED LTE.

En este capítulo se muestra como se realiza el diseño de eNodos B LTE para la ciudad de Cuernavaca Morelos cuya superficie territorial es de 151.20 Km<sup>2</sup> conforme a datos del INEGI 2001.

Inicialmente se realiza un estudio socioeconómico de población para determinar el mercado objetivo a ofertar el servicio de LTE.

### 8.1 Mercado objetivo oferta servicio de LTE.

En la siguiente tabla se muestra los datos de crecimiento poblacional de Cuernavaca desde el año 2000 hasta 2010 conforme a datos del INEGI, esto con la finalidad de realizar una proyección al año 2014 y determinar el mercado objetivo para ofertar el servicio de LTE.

Año	2000	2005	2010
Población total	338,706	349,102	365,168
Población en edad activa "mercado objetivo LTE"	203,224	226,916	262,921
Tasa de Crecimiento		3%	5%

Tabla 8.1. Crecimiento Poblacional de Cuernavaca [INEGI 2014]

Para realizar la proyección de población para el 2014 donde se centra el desarrollo de la presente tesis, se utilizara el método exponencial o logarítmico.

$$Pf = Pi e^{Km (tf-ti)}$$

$$Km = \frac{\ln pf - \ln pi}{pf - pi}$$

Cálculo del valor de K entre 2000 y 2005

$$K1 = \frac{\ln(349102) - \ln(338706)}{2005 - 2000} = 0.006046334$$

Cálculo del valor de K entre 2005 y 2010

$$K2 = \frac{\ln(365168) - \ln(349102)}{2010 - 2005} = 0.008998676$$

Cálculo del valor de K entre 2000 y 2010

$$K2 = \frac{\ln(365168) - \ln(338706)}{2010 - 2000} = 0.007522505$$

$$Km = \frac{K1 + k2 + k3}{3} = \frac{0.006046334 + 0.008998676 + 0.007522505}{3} = 0.007522505$$

Para el cálculo de población en el 2014, se tiene:

$$P_f = 365168 e^{0.007522505 (2014-2010)} = 376,323 \text{ habitantes}$$

Conforme al anterior cálculo, la proyección del mercado objetivo 2014 a ofertar el servicio de LTE en Cuernavaca queda de la siguiente forma:

Año	2000	2005	2010	Proyección 2014
Población total	338,706	349,102	365,168	376,323
Población en edad activa "mercado objetivo LTE"	203,224	226,916	262,921	291,451
Tasa de Crecimiento		3%	4%	3%

Tabla 8.2. Proyección Crecimiento Poblacional de Cuernavaca.

Estimamos que para el primer año el 30% del total del mercado objetivo adquiere el servicio de LTE, donde tenemos los siguientes valores.

	Cuernavaca
Usuarios LTE primer año	87,435
% referente a la población en edad activa	30%
% referente a la población total	23%

Tabla 8.3. Mercado Objetivo oferta servicio LTE en Cuernavaca.

## 8.2 Servicios LTE a ofrecer.

Para la población de Cuernavaca se propone lanzar el servicio de LTE con tres planes tarifarios, donde se ofrecerá a los usuarios comunicación por voz, comunicación por texto y datos para navegar en web, los tres planes propuestos son:

Plan LTE	1	2	3
Tarifa Mensual IVA Incluido	\$ 199.00	\$ 299.00	\$ 349.00
Minutos incluidos	40	100	300
SMS incluidos	0	50	75
Datos incluidos	2 GB	3GB	5GB
Kb Adicional	\$ 0.0012	\$ 0.0012	\$ 0.0012
Minuto adicional	\$ 1.30	\$ 1.30	\$ 1.30
SMS adicional	\$ 0.88	\$ 0.88	\$ 0.88
Velocidad Uplink	2Mbps	2Mbps	2Mbps
Velocidad Downlink	2Mbps	3Mbps	4Mbps

Tabla 8.4. Servicios LTE a ofertarse en Cuernavaca.

### 8.3 Ingeniería de la red LTE.

Una vez realizado el estudio de mercado, así como de haber descrito los tipos de servicios a ofrecer, a continuación se mostrará el diseño de la red para Cuernavaca en lo que respecta al cálculo y las consideraciones que involucra diseñar una red de acceso y una red de transporte.

#### 8.3.1 Descripción de la banda elegida y cálculo de la cobertura teórica de un eNodoB.

##### 8.3.1.1 Banda de operación.

Para el cálculo del diseño de red elegimos la banda LTE 4 ó Class 4 ó LTE AWS, que se compone de 1700MHz y 2100MHz (1700 para upload y 2100 para download), esta banda fue elegida por Radiomóvil Dipsa S.A de C.V. para su despliegue de su red LTE en México.

Bloque	Rango de frecuencias	
	Uplink (MHz)	Downlink (MHz)
A	1710-1730	2110-2130
B	1730-1750	2130-2150
C	1750-1770	2150-2170

Tabla 8.5. Distribución en bloques de la banda AWS

La disponibilidad de una canalización con anchos de banda de 2x20 MHz en la banda AWS (20 MHz para el canal de subida y 20 MHz para la bajada), permitirá implementar redes LTE y ofrecer velocidades de datos de más de 120 Mbps (por sector) usando antenas MIMO 2x2. Esta velocidad podría duplicarse con antenas MIMO 4x4.

En la actualidad, para un despliegue a corto plazo, ya se dispone de ecosistemas (equipamiento e infraestructura) en los bloques A y B. Dichos bloques corresponden a la banda 4 del 3GPP – AWS, que cuentan con un rango de frecuencias en el uplink entre 1710 MHz y 1755 MHz; mientras que en el downlink entre 2110 MHz y 2155MHz.

Por lo que, de acuerdo a la clasificación de las distintas bandas de operación LTE, que se muestra en la tabla 8.6, se tiene que se trabajará con la banda 4 con el ancho de banda de 20MHz.

Banda LTE	1.4 MHz	3 MHz	5MHz	10MHz	15MHz	20MHz	Duplex Mode
4	x	x	x	x	X	x	FDD

Tabla 8.6. Canales según bandas LTE (*LTE Resources Guide Anritsu 2013*)

En LTE, la mínima estructura de modulación es el Resource Element (RE). Un RE es una subportadora de 15 kHz por cada símbolo. Los REs conforman un Resource Block (RB), un RB está dimensionado entre subportadoras y símbolos. En general, un RB lo conforman 12 subportadoras en el dominio de la frecuencia y 6 o 7 símbolos en el dominio del tiempo.

El número de símbolos depende del Cyclic Prefix (CP) en uso. Cuando un CP normal se utiliza, el bloque de recursos contiene siete símbolos. Mientras que cuando un CP es extendido, el bloque de recursos contiene seis símbolos. Este último caso se da generalmente cuando existe una dispersión del retardo. (*LTE Resources Guide Anritsu 2013*)

En la Imagen 8.7 se observa la explicación gráfica.

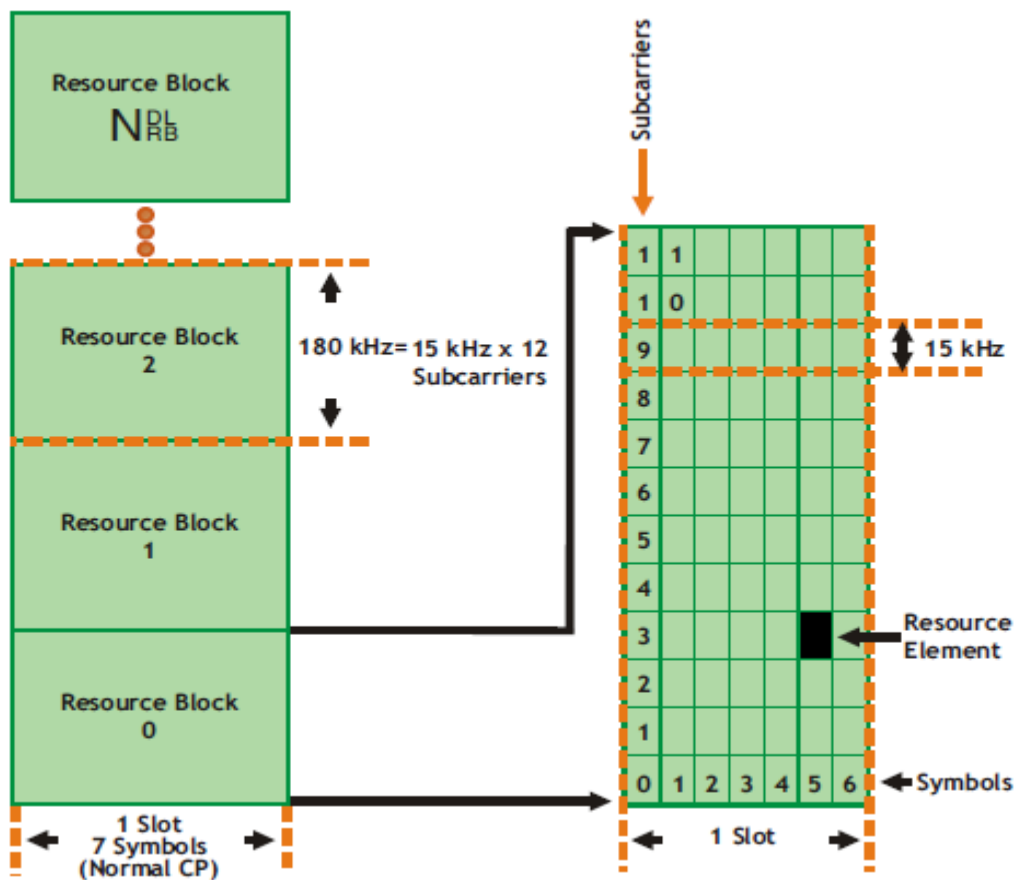


Imagen 8.7. Estructura del frame en LTE  
(*LTE Resources Guide Anritsu 2013*)

Por lo tanto se contará con un Ancho de Banda del Canal de 20 MHz. Sin embargo, para fines de cálculo, este valor no es el indicado, sino el llamado Ancho de Banda de Transmisión ya que con este tenemos el mayor ancho de banda permitido en el Uplink o en el Downlink en un canal dado, medido en RBs.

Finalmente, el ancho de banda de transmisión, también conocido como Transmission Bandwidth, es el ancho de banda activo que se usa para la comunicación; es decir, es el número de Resource Blocks activos en una transmisión. A medida que aumenta el ancho de banda, el número de Resource Blocks aumenta. El máximo Ancho de Banda ocupado se halla multiplicando el número de Resource Blocks por 180 kHz. En la Imagen 8.8 se observa esta relación.

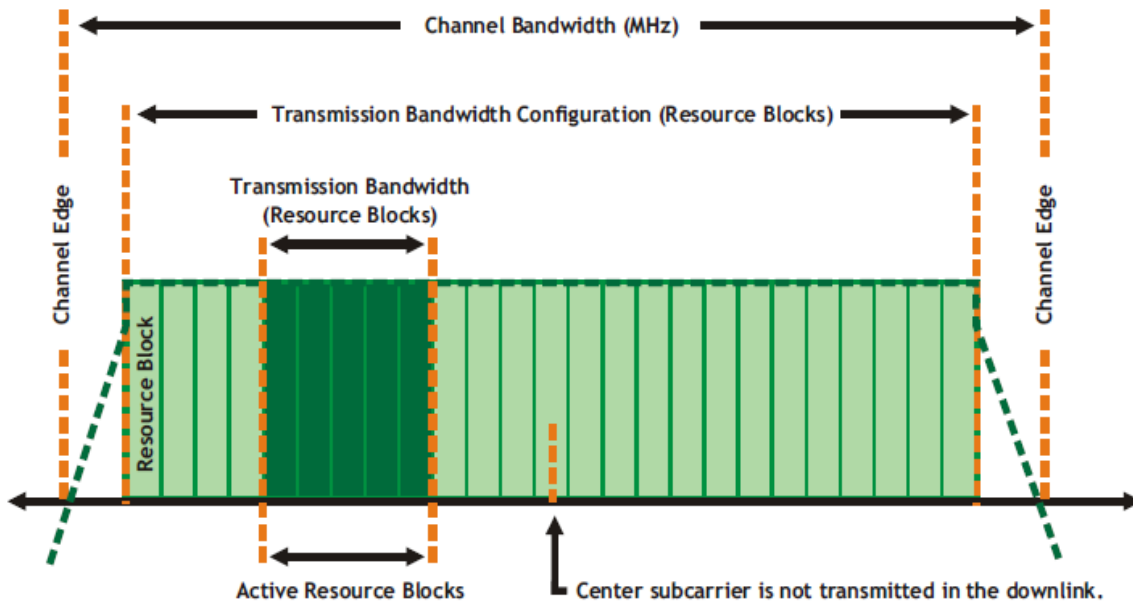


Imagen 8.8. Distribución del dominio de frecuencias  
(*LTE Resources Guide Anritsu 2013*)

Para la Banda 4 de LTE que se ha escogido, según la tabla 8.6 se tiene que están habilitados los canales 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz y 20 MHz. De acuerdo a estos anchos de Banda de Canal, se tendrán el Transmission Bandwidth Configuration y el Ancho de Banda de Transmisión que se muestran a continuación.

Ancho de banda del canal (MHz)	Configuración ancho de banda de transmisión(RB)	Ancho de Banda de Transmisión (MHz)
1.4	6	1.08
3	15	2.7
5	25	4.5
10	50	9
15	75	13.5
20	100	18

Imagen 8.9. Relación de anchos de banda. (*LTE Resources Guide Anritsu 2013*)

### 8.3.2 Cálculo de Cobertura del eNodo B.

Para el cálculo de la cobertura del eNodo B, lo primero que se tiene que hacer es calcular las pérdidas por propagación en el Espacio Libre. Esto se realiza analizando el Link Budget tanto para el Uplink como para el Downlink.

#### 8.3.2.1 Análisis del link budget para el uplink.

En la Tabla 8.10 se observa los valores que toman los parámetros del User Equipment (UE) y del eNodo B, ambos para el Uplink.

Parámetro	Valor	Unidad
<b>Transmisor – UE</b>		
Máxima potencia de transmisión	23	dBm
Ganancia de la antena de transmisión	0	dBi
Pérdida del cuerpo	0	dB
EIRP	23	dBm
<b>Receptor-eNodo B</b>		
Figura de ruido del eNodoB	2	dB
Ruido térmico	-118.4	dB
Ruido del receptor	-116.4	dBm
SINR	-7	dBm
Sensitividad de recepción	-123.4	dB
Margen de interferencia	1	dBm
Desviación estándar de shadowing	8	dB
Pérdida por cable	0	dB
Ganancia de la antena receptora	18	dBi
Ganancia de MHA <sup>18</sup>	2	dB
Margen de rápido desvanecimiento	0	dB
Ganancia de softhandover	0	dB
Máxima pérdida permitida	163.4	dBm

Imagen 8.10. Link Budget del Uplink (*LTE Radio Link Budgeting and RF Planning 2011*)

Para zonas urbanas, la probabilidad de cobertura es del 90%. Por lo que considerando la tabla 8.11 se podrá hacer el cálculo del margen de shadowing.

<sup>18</sup> Mast Head Amplifier (MHA), es un amplificador de bajo ruido (LNA) montado lo más cerca posible de la antena en los mástiles móviles o estaciones base de transceptor. Un MHA reduce la figura de ruido estación de transceptor de base (NF) y, por tanto, mejora su sensibilidad global, en otras palabras el mástil móvil es capaz de recibir señales más débiles.



El shadowing, es el fenómeno que se produce cuando la línea de vista se obstruye debido a los obstáculos que pueden estar en el trayecto de propagación ya sean montañas, árboles, construcciones hechas por el hombre, etc. Dado que las características de todos estos obstáculos (dimensiones, formas y materiales de construcción) son aleatorias, también lo será el valor de la potencia recibida. Es por ello que el shadowing produce una variación aleatoria muy lenta en el valor medio de la señal recibida; debido a que el shadowing es producto de la combinación de diversas variables aleatorias, aplicando el teorema del límite central, tendrá un comportamiento similar a una distribución de Gauss, es decir, el shadowing produce fluctuaciones de la señal alrededor de su valor medio, ya que considera el hecho de que a una misma distancia del transmisor se pueden obtener valores aleatorios de potencia debido a la presencia de obstáculos.

Margen de shadowing normalizado	Probabilidad de cobertura
1.2	88.49%
1.25	89.44%
1.3	90.32%
1.35	91.15%
1.4	91.92%
1.45	92.65%
1.5	93.32%
1.55	93.94%
1.6	94.52%
1.65	95.05%

Tabla 8.11. Relación del margen de Shadowing Normalizado (*Ali-Yahija Tara 2011*)

Por lo que, como se había indicado, considerando una probabilidad de cobertura aproximada de 90% (según la tabla 8.11, lo más aproximado es 90.32%), se tendrá que el margen de shadowing normalizado es de 1.3. Por lo que se obtiene que:

Margen de shadowing (dB) =  
(Margen de shadowing normalizado) + (Desviación estándar de shadowing)

Entonces, si:

- Margen de shadowing normalizado = 1.3
- Desviación estándar de shadowing (dB) = 8dB

Se tiene:

Margen de shadowing (dB) =  $1.3 \times 8\text{dB} = \underline{10.4 \text{ dB}}$

Posteriormente, calculamos la sensibilidad del receptor (eNodoB)

$$S \text{ (dBm)} = -174 + 10\log(B) + NF + \text{SINR} + \text{IM} - 3$$

Dónde:

- B: Ancho de Banda en Hz.
- SINR: Señal de ruido.
- IM: Margen de implementación.

Hay que tomar en cuenta que el SINR y el IM dependen del tipo de modulación y del Code rate que se emplee. En la tabla 8.12 se muestran precisamente los tipos de modulación para LTE relacionándolos con su Code rate.

Modulación	Code Rate	SINR (dB)	IM (dB)
QPSK	1/8	-5.1	2.5
	1/5	-2.9	
	1/4	-1.7	
	1/3	-1	
	1/2	2	
	2/3	4.3	
	3/4	5.5	
	4/5	6.2	
16QAM	1/2	7.9	3
	2/3	11.3	
	3/4	12.2	
	4/5	12.8	
64QAM	2/3	15.3	4
	3/4	17.5	
	4/5	18.6	

Tabla 8.12. Tipos de modulación en LTE (Ali-Yahija Tara 2011)

Para cada tipo de modulación se toma un valor mínimo y otro máximo, con lo que tendríamos para cada uno de ellos, los valores que se muestran en la tabla 8.13.

Modulación	SINR Mínimo (dB)	SINR Máximo (dB)
QPSK	-5.1	7.9
16QAM	7.9	15.3
64QAM	15.3	N/A

Tabla 8.13. Valores mínimos y máximos para cada modulación

Con estos datos, se calculará la Sensibilidad mínima y máxima, según el tipo de modulación que se emplee. Por lo que se tendrá:

- Para QSPK
  - $S_{min} = -174 + 10\log(18 \times 10^6) + 2 - 5.1 + 2.5 - 3 = \underline{-105.0472749 \text{ dBm}}$
  - $S_{max} = -174 + 10\log(18 \times 10^6) + 2 + 7.9 + 3 - 3 = \underline{-91.54727495 \text{ dBm}}$
- Para 16QAM
  - $S_{min} = -174 + 10\log(18 \times 10^6) + 2 + 7.9 + 3 - 3 = \underline{-91.54727495 \text{ dBm}}$
  - $S_{max} = -174 + 10\log(18 \times 10^6) + 2 + 15.3 + 4 - 3 = \underline{-83.14727495 \text{ dBm}}$
- Para 64QAM
  - $S_{min} = -174 + 10\log(18 \times 10^6) + 2 + 15.3 + 4 - 3 = \underline{-83.14727495 \text{ dBm}}$

\* Para éste caso, no existe un  $S_{max}$ , debido a que tampoco existe un SINR máximo.

Finalmente, con estos datos se realiza el cálculo de la pérdida en el espacio.

$$S_{rx} = P_{tx} - L - P_{cc} + G_{ant} - M_{sha} - P_{int} - P_{mat} + MHA$$

De donde se obtiene la siguiente expresión:

$$L = P_{tx} - S_{rx} - P_{cc} + G_{ant} - M_{sha} - P_{int} - P_{mat} + MHA$$

Donde:

- $S_{rx}$ : Sensibilidad en el receptor.
- $P_{tx}$ : Potencia de transmisión.
- $L$ : Pérdida en el espacio.
- $G_{ant}$ : Ganancia de la antena de transmisión.
- $P_{cc}$ : Pérdidas por cable y conectores.
- $M_{sha}$ : Margen de shadowing.
- $P_{int}$ : Pérdida de interferencia.
- $P_{mat}$ : Pérdida de interiores (generalmente se toma el valor de 15dB; debido que el material causantes de la pérdida es el ladrillo).
- $MHA$ : Ganancia debido al amplificador Mast Head (amplificador de bajo ruido).

Se sabe:

- $P_{otx} = 23 \text{ dBm}$
- $G_{ant} = 18 \text{ dBm}$
- $P_{cc} = 0 \text{ dB}$
- $M_{sha} = 10.4 \text{ dB}$
- $P_{int} = 1 \text{ dB}$
- $P_{mat} = 15 \text{ dB}$
- $MHA = 2$

Con lo que tendríamos finalmente la siguiente expresión:

$$L = 16.6 - S_{rx}$$

Al reemplazar los valores de sensibilidad hallados anteriormente, obtenemos valores para la pérdida en el espacio que se muestran en la tabla 8.14.

Modulación	Sensibilidad de referencia (dBm)	Pérdida en el espacio libre (dB)
QSPK	-105.0472749	121.647
	-91.54727495	108.147
16QAM	-91.54727495	108.147
	-83.14727495	89.747
64QAM	-83.14727495	89.747

Tabla 8.14. Valores para la pérdida en el espacio libre en el Uplink

### 8.3.2.2 Análisis del link budget para el downlink.

Para el análisis del link budget para el downlink, se siguen los mismos pasos, pero tomando en cuenta los valores para link budget en el downlink que se muestran en la tabla 8.15.

Parámetro	Valor	Unidad
<b>Transmisor eNodoB</b>		
Máxima potencia de transmisión	46	dBm
Ganancia de la antena de transmisión	18	dBi
Pérdida del cable	2	dB
EIRP	62	dBm
<b>Receptor-UE</b>		
Figura de ruido del eNodoB	9	dB
Ruido térmico	-104.5	dB
Ruido del receptor	-97.5	dBm
SINR	-9	dBm
Sensitividad de recepción	-107.7	dB
Margen de interferencia	4	dBm
Desviación estándar del fading	8	dB
Pérdida por cuerpo	0	dB
Cabecera del control channel	1	dB
Máxima pérdida permitida	163.4	dBm

Tabla 8.15. Link Budget del Downlink (*LTE Radio Link Budgeting and RF Planning 2011*)

Al igual que en el caso del uplink, en el downlink se halla la sensibilidad mínima y la sensibilidad máxima para cada modulación.

- Para QPSK
  - $S_{min} = -174 + 10 \log(18 \times 10^6) + 9 - 5.1 + 2.5 - 3 = \underline{-98.0472749 \text{ dBm}}$
  - $S_{max} = -174 + 10 \log(18 \times 10^6) + 9 - 7.9 + 3 - 3 = \underline{-84.547 \text{ dBm}}$
- Para 16QAM
  - $S_{min} = -174 + 10 \log(18 \times 10^6) + 9 - 7.9 + 3 - 3 = \underline{-84.5472 \text{ dBm}}$
  - $S_{max} = -174 + 10 \log(18 \times 10^6) + 9 - 15.3 + 4 - 3 = \underline{-76.1575 \text{ dBm}}$
- Para 64QAM
  - $S_{min} = -174 + 10 \log(18 \times 10^6) + 9 - 15.3 + 4 - 3 = \underline{-76.1587 \text{ dBm}}$

Para este caso, no existe un  $S_{max}$ , debido a que tampoco existe un SINR máximo.

Finalmente, con estos datos se realiza el cálculo de la Pérdida en el Espacio.

$$S_{rx} = P_{otx} - L - P_{cc} + G_{ant} - M_{sha} - P_{int} - P_{mat} + MHA$$

De donde se obtiene la siguiente expresión:

$$L = P_{otx} - S_{rx} - P_{cc} + G_{ant} - M_{sha} - P_{int} - P_{mat} + MHA$$

Se sabe:

- $P_{otx} = 46 \text{ dBm}$
- $G_{ant} = 18 \text{ dBm}$
- $P_{cc} = 0 \text{ dB}$
- $P_{int} = 1 \text{ dB}$
- $P_{mat} = 15 \text{ dB}$
- $M_{sha} = 10.4 \text{ dB}$

Con lo que tendríamos finalmente la siguiente expresión:

$$L = 37.6 - S_{rx}$$

Al reemplazar los valores de sensibilidad hallados anteriormente, obtenemos valores para la pérdida en el espacio que se muestran en la tabla 8.16.

Modulación	Sensibilidad de referencia (dBm)	Pérdida en el espacio libre (dB)
QSPK	-98.05	135.65
	-84.55	122.15
16QAM	-84.55	122.15
	-76.15	113.75
64QAM	-76.15	113.75

Tabla 8.16. Valores para la pérdida en el espacio libre en el Downlink

### 8.3.2 Cobertura por Celda.

La 3GPP recomienda que los cálculos de cobertura se realicen para el Uplink. Esto debido a que amplificar la señal que emite el equipo móvil en la estación base sería más recomendable que hacerlo en el UE ya que implicaría menos gastos, los cuales financiaría la empresa operadora. A diferencia que si se implementan estos amplificadores en el UE, en que lo tendría que financiar el cliente. Además si se desea mejorar la señal se podrían implementar antes MIMO, para la cual lo convenientes sería implementarlas en la estación base.

Dicho ello, la cobertura de una celda queda definida por la siguiente expresión:

$$L = 40 (1 - 0.004 \times D_{hb}) \times \log(R) - 18 \log(D_{hb}) + 21 \log(f) + 80$$

Dónde:

- *L: Pérdida en el espacio.*
- *D<sub>hb</sub>: Altura de la antena (medida en metros)*
- *R: Radio de cobertura (medido en Km)*
- *f: Frecuencia de la portadora (medida en MHz)*

Es importante indicar que para D<sub>hb</sub> se toma en cuenta la altura de la antena más la altura promedio de las edificaciones. Con lo que se tendría una altura promedio de D<sub>hb</sub> ≈ 15 metros.

Además, se sabe que para la frecuencia de la portadora se tiene 1720 MHz en el UL y 2120 MHz en el DL.

Con estas aclaraciones se tendrá:

$$L = 40 (1 - 0.004 \times 15) \times \log(R) - 18 \log(15) + 21 \log(1720) + 80$$

Operando, se llega a la siguiente expresión:

$$\frac{L - 126.7764547}{37.6} = \log(R)$$

Con la expresión final:

$$R = 10^{\frac{L - 126.7764547}{37.6}}$$

Se observa que el radio de cobertura depende de la pérdida en el espacio hallado anteriormente. Por lo que en la 8.17 se muestra los valores que tomará el radio de cobertura para las distintas pérdidas en el espacio dependiendo de la modulación que se emplee.

Modulación	Mínima pérdida en el espacio (dB)	Máxima pérdida en el espacio (dB)	Mínimo radio de cobertura (Km)	Máximo radio de cobertura (Km)
QSPK	108.147	121.647	0.319547761	0.730429546
16QAM	89.747	108.147	0.103555716	0.319547761
64QAM	N/A	89.747	N/A	0.103555716

Tabla 8.17. Radios de cobertura según modulación.

La cobertura en LTE está determinada por un hexágono regular como se muestra en la imagen 8.18.

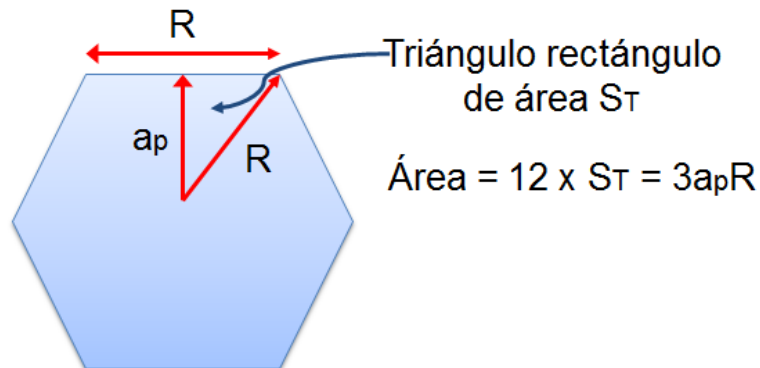


Tabla 8.18. Área de una celda (Ali-Yahija Tara 2011)

Con lo que se define que:

$$ap = \frac{((3)\frac{1}{2}) \times R}{2}$$

De ello, se tiene finalmente que:

$$\text{Área} = \frac{3 \times ((3)\frac{1}{2}) \times R^2}{2}$$

Se observa que el área de cobertura depende del Radio máximo y mínimo, por lo que tendríamos que:

$$\text{Área} = \frac{3 \times ((3)\frac{1}{2}) \times ((R_{max})^2 - (R_{min})^2)}{2}$$

Con ello, se obtendrán los valores obtenidos en la tabla 8.19

Modulación	Mínimo radio en la cobertura (Km)	Máximo radio en la cobertura (Km)	Área Hexagonal (Km <sup>2</sup> )	Área Total (Km <sup>2</sup> )
QSPK	0.319547761	0.730429546	1.120853076	1.386145
16QAM	0.103555716	0.319547761	0.237430352	
64QAM	N/A	0.103555716	0.027861214	

Tabla 8.19. Radios de cobertura según modulación.



Por lo que obtenemos que el área de cobertura es de 1.386145 km<sup>2</sup>. Pero hay que considerar que esta área corresponde a un tercio del área total ya que se empelan antenas con un diagrama de radiación que ocupan sólo 120 grados. Por lo que se tendría un área total para el eNodo B de 4.158435 km<sup>2</sup>.

### 8.3.3 Cálculo del número de eNodos B

La superficie territorial de la ciudad de Cuernavaca es de 151.20 Km<sup>2</sup>, por lo que se necesitarán 37 eNodos B para cubrir toda el área superficial de Cuernavaca.

Sin embargo, esta es solo una cantidad referencial ya que para hallar el número de eNodos B a necesitar, es necesario hallar la cantidad de tráfico total que se tendrá.

Es por ello que en la tabla 8.20 se muestra la distribución de los clientes de acuerdo al tipo de servicio.

Número de Usuarios	Plan LTE	Porcentaje Usuarios	Usuarios por Plan LTE
87,435	1	50%	43,718
	2	20%	17,487
	3	30%	26,231

Tabla 8. 20. Distribución de los usuarios.

Para el cálculo del tráfico, se analizarán tanto el consumo de datos como el consumo de voz.

#### 8.3.3.1 Consumo de Datos.

Para el cálculo de consumo de datos, se tiene en cuenta que para los 3 servicios se cuenta con un factor de simultaneidad de 40% y un factor de overbooking de 10 (*LTE Radio Link Budgeting and RF Planning 2011*). Por lo que se realizará el cálculo teniendo presente la siguiente fórmula:

$$\text{Consumo (Mbps)} = \frac{[N^{\circ} \text{ clientes} \times \text{Factor Simultaneidad} \times \text{Velocidad (Mbps)}]}{\text{Factor de Overbooking}}$$

Se analizará según el tipo de servicio, donde en la tabla 8.21 se muestra el consumo total en Mbps para los planes LTE que se ofertarán al mercado.

Plan LTE	Número de Usuarios	Factor de Simultaneidad	Velocidad (Mbps)	Factor de Overbooking	Consumo por tipo de plan LTE (Mbps)
1	43,718	40%	2	10	3,497
2	17,487		2		1,399
3	26,231		3		3,148
				<b>Total</b>	<b>8,044</b>

Tabla 8. 21. Consumo de datos para los planes LTE.

### 8.3.3.2 Consumo de Voz.

Para el cálculo de consumo de voz, se tiene en cuenta que para los 3 servicios se cuenta con un Factor de Simultaneidad de 17% y un Factor de Overbooking de 1 (*LTE Radio Link Budgeting and RF Planning 2011*).

Además, se considera que la llamada promedio por clientes es de 3 minutos, con lo que utilizando la Calculadora de Erlang B se tiene un consumo promedio por cliente de 23.34 mErl. Con ello, se realizará el cálculo teniendo presente la siguiente fórmula:

$$\text{Consumo (mErl)} = \frac{[N^{\circ} \text{ clientes} \times \text{Fac. Simult.} \times \text{Consumo Promedio Cliente (mErl)}]}{\text{Factor de Overbooking}}$$

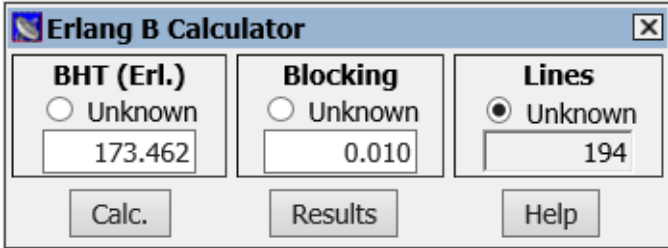
Se analizará según el tipo de servicio. En la 8.22 se muestra el consumo total en mErl para para los planes LTE que se ofertarán al mercado, en lo que respecta a voz.

Plan LTE	Número de Usuarios	Factor de Simultaneidad	Consumo Promedio por cliente (mErl)	Factor de Overbooking	Consumo por tipo de plan LTE (Mbps)
1	43,718	17%	23.34	1	173,462
2	17,487				69,385
3	26,231				104,077

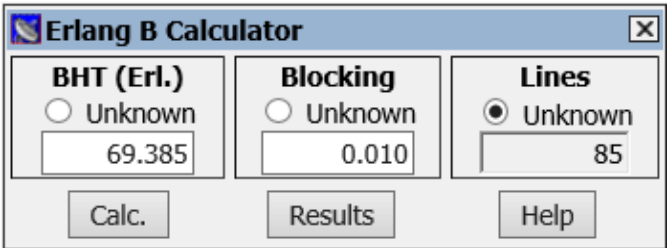
Tabla 8. 22. Consumo de voz para planes LTE en mErl.

Con ello, con la calculadora de Erlang B, se calcula el número de líneas por Plan LTE como se observa en la imagen 8.23.

**Plan LTE1**



**Plan LTE2**



**Plan LTE3**

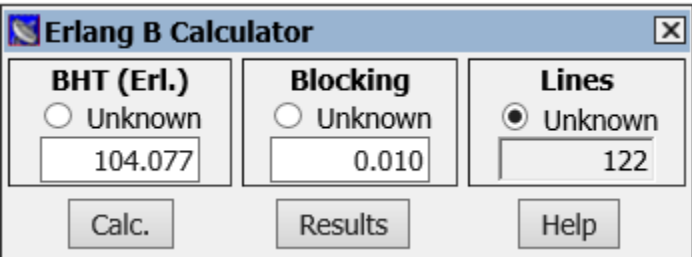


Imagen 8. 23. Cálculo del Número de Líneas para cada plan LTE.

Luego de ello, se procede a realizar el cálculo del Consumo Total de voz con la siguiente fórmula:

$$\text{Consumo Total (Mbps)} = N^{\circ} \text{ Líneas} \times \text{Velocidad (Mbps)}.$$

El resultado se observa en la tabla 8.24.

Plan LTE	Consumo Total (mErl)	Número de Líneas	Velocidad (Mbps)	Consumo Total (Mbps)
1	173,462	194	0.064	12.416
2	69,385	85	0.064	5.44
3	104,077	122	0.064	7.808

Tabla 8. 24. Consumo de voz para planes LTE en Mbps.

Finalmente, se podrá realizar el cálculo de la cantidad de eNodos B, teniendo en cuenta que el consumo por eNodo B en el DL para el “Alcatel-Lucent eNode B Digital Module” (equipo que se piensa emplear) es de 172.8 Mbps (*Alcatel-lucent eNode B 2014*). Por lo que se emplea la siguiente fórmula para el cálculo del número total de eNodos B requeridos:

$$N^{\circ} \text{ eNodoB requeridos} = \frac{\text{Consumo Total (Mbps)}}{\text{Consumo por eNodoB (Mbps)}}$$

El resultado se observa en la tabla 8.25, el cual debe ser el máximo entero del resultado obtenido.

<b>Consumo Total (Mbps)</b>	8,070
<b>Consumo por enodoB (Mbps)</b>	172.8
<b>Número de eNodos B requeridos</b>	47

Tabla 8.25. Número de eNodos B requeridos

Como resultado nos da que se necesitan en total 47 eNodos B para cubrir la superficie territorial de Cuernavaca, así como para soportar el tráfico de los usuarios por los planes LTE ofertados a estos.

## **CAPÍTULO 9. PRESENCIA Y PERSPECTIVA DE LTE EN MÉXICO.**

## CAPÍTULO 9. PRESENCIA Y PERSPECTIVA DE LTE EN MÉXICO.

### 9.1. Capacidad de convergencia en tecnologías móviles presentes en México.

México, como nación que se encuentra en vías de desarrollo, está teniendo una gran cantidad de cambios a lo referente en las comunicaciones, donde hace apenas unos años se estaría hablando sobre sistemas de GSM de primera generación, los cuales fueron los precursores de una búsqueda por generalizar los estándares existentes a nivel mundial y ahora en el 2013 el Presidente Enrique Peña Nieto firmó el decreto de la “Reforma Constitucional en Materia de Telecomunicaciones, Radiodifusión y Competencia Económica”.

Gracias a esta reforma del mercado de las telecomunicaciones mexicano, a las nuevas tecnologías, beneficios y aplicaciones, los concesionados, permisionados, organismos gubernamentales y la sociedad civil concuerdan en dinamizar el mercado de las telecomunicaciones y fomentar la competencia, esto a través del IFETEL (Instituto Federal de Telecomunicaciones), donde el mayor beneficio de estas es la disminución de las tarifas por servicios de banda ancha e internet al haber un órgano controlador y que haya mayor competencia en el mercado.

Actualmente las mayorías de las redes que existen en México son estándares provenientes de 3GPP y la mayoría de los proveedores de servicios están actualizando sus redes a estándares de HSPA+ e incluso LTE/SAE, sin embargo, el cambio de un estándar a otro no es tan sencillo; las velocidades y capacidades de las redes actuales, son superadas fácilmente por el estándar LTE/SAE, por lo que esto implica una mayor inversión en elementos como IP RAN y MPLS, cambiándolos de tecnologías con base en cable UTP a fibra óptica, y ampliando así la capacidad de tráfico a cientos de GB, incluso a manejar TB, y su calidad sea la acordada en los estándares por la 3GPP.

La necesidad de tener mayores velocidades y calidad en los servicios de comunicación es una necesidad ya que los operadores de telefonía móvil en México al migrar sus redes a LTE/SAE existe un mejor aprovechamiento en el uso de los anchos de banda, que generaría ahorros a la compañía y le brindaría certeza al usuario sobre los datos, y también se reduciría la brecha digital que existe actualmente en México, sobre todo al poder brindar este servicio en regiones distantes o de difícil acceso.

Como otra singularidad actual, sería que el marco que contiene a la Ley Federal de Telecomunicaciones y los documentos anexos y circundantes sobre ésta, no cumplen con ningún aspecto de actualización, contenido, calidad, capacidad y definición del uso en materia del espectro radioeléctrico que se trata.

Analizando a profundidad, se tiene un rezago a nivel nacional en diversas disciplinas y aplicaciones del campo de las telecomunicaciones, por lo que se podrían evadir fácilmente las leyes actuales referentes al uso del espectro radioeléctrico y sistemas de comunicaciones de telefonía móvil. En un periodo aproximado de 5 años serán mayormente sistemas basados en conmutación de paquetes, y no así de circuitos, como actualmente son, por lo que el fin inmediato de estos no podría ser determinado sencillamente.

Como comentario final, se debe de ver al estándar de LTE/SAE como una herramienta que ayudará en diversos aspectos y que, aunque su despliegue sea inmediato y masivo, no se podrá suplir a los anteriores sistemas tan fácilmente. Prueba de ello es que aún existen proveedores de servicio con equipos TDMA instalados y radiando, haciendo así una transición más lenta de lo esperado.

## **9.2. Expectativas de la aplicación del estándar LTE/SAE en México con perspectiva a futuro.**

Como se ha presentado en el desarrollo de los marcos de investigación, desarrollo y de análisis sobre las entidades de regulación en México, se puede determinar que como tal, no existe plan alguno para el desarrollo de las nuevas tecnologías y/o medio de comunicación electrónicos tanto en materia de regularización como en materia de aplicación. Esto podría generar un mayor atraso en las aplicaciones de las mismas, y por ende en los sistemas de comunicación primarios en México.

Actualmente en los sistemas de comunicación para la telefonía móvil, no se cuenta con las capacidades necesarias para alcanzar estos tipos de desarrollos necesarios. De igual forma, para alcanzar las metas de desarrollo tecnológico comprometidas con la ONU en el plan de las metas del Milenio, mismas donde se esperaba lograr acortar la brecha tecnológica que divide actualmente al país y lo sume en un gran rezago tecnológico, no podrán ser alcanzadas en el corto plazo.

Como escenarios de estas situaciones complicadas y a la vez comprobadas, se podría indicar que el primer escenario sería que por la falta de compromiso con los intereses de la nación y de sus gobernados, haciendo caso a los intereses políticos, económicos y privados, no se mantenga una legislación adecuada a los nuevos estándares tecnológicos que crearan nuevos servicios y necesidades a la población en general y soluciones de educación para las clases emergentes y marginadas. Con ello se marca claramente una línea divisoria entre las clases y se generan calidades de ciudadanos en el país. Como ejemplos simples, la transición de la televisión analógica a la televisión digital, así como recorrer el espectro en las estaciones que emiten por AM y así liberar el suficiente espectro radioeléctrico a nivel nacional, para comenzar a colocar sistemas como el estándar LTE para atender de forma simultánea las necesidades de movilidad y de acceso a la tecnología a nivel nacional.

Como siguiente escenario sería que con el compromiso por una legislación efectiva y una adecuada aplicación del espectro radioeléctrico, se pueda avanzar en la propagación de los estándares de tecnológicas para 4G, con lo que claramente se ampliarían a comunidades remotas fácilmente, haciendo así un acceso simple y efectivo a los diversos medios de comunicación y de educación a nivel nacional, sin la necesidad de una sobreinversión en cuestión de infraestructura para obtener los objetivos encomendados.

Con lo anterior también se podría generar mayores concesionados y permisionados, que permitan la libre competencia en un mercado variado y competitivo, lo que crearía nuevas fuentes de trabajo y de desarrollo.

Como se denota, las comunicaciones son parte del motor de acción de los actuales gobiernos y naciones, y si estas son atrasadas o no se encuentran a las medidas de los actuales requerimientos, se diría que por ende, se tendrían mayores atrasos.

La Banda ancha móvil (MBB por sus siglas en inglés), es una excelente alternativa para la ampliación de los servicios y aplicaciones que necesita la sociedad a fin de mejorar la comunicación y fortalecer su economía, independientemente de la ubicación. Esto afectará positivamente a los sectores clave del gobierno como: educación, salud, seguridad pública y el acceso de los ciudadanos a todos los servicios de gobierno. LTE ofrece un mejor acceso a Internet a una fracción de los costos actuales. Como resultado, la experiencia de la gente con el uso los servicios de banda ancha móvil será mejor, más rentable y permitirá una gama más amplia de servicios.

A nivel nacional, la expansión de la banda ancha mejorará el rendimiento económico en sectores clave como: energía y servicios públicos, salud, transporte, servicios financieros y seguridad pública. Para ofrecer banda ancha móvil, hay un recurso clave llamado espectro. El espectro es el bien capital más importante para los operadores móviles y es asignado o vendido por el gobierno. Una adecuada política de espectro contribuirá al crecimiento económico.

Una parte de la política del espectro es la asignación de una frecuencia adecuada para las zonas rurales y urbanas. Las frecuencias más bajas cubren distancias más largas y son muy recomendables para las zonas rurales y suburbanas, donde hay menos personas para dar servicio; las frecuencias más altas son más utilizadas para las zonas densamente pobladas.

Hay muchos ejemplos de los beneficios de LTE. En Educación LTE permitirá clases interactivas multimedia de forma remota. Los estudiantes podrán acceder a las clases desde cualquier terminal y en cualquier lugar; podrán interactuar con otros profesores o compañeros de clase a través de video, audio y datos compartidos. Para las empresas, el uso de LTE y computación en nube permitirá la asistencia de todas las actividades de negocio, incluyendo videoconferencias y teletrabajo.

La integración de los servicios de Gobierno y la colaboración unificada proporciona una respuesta eficiente a las necesidades de los ciudadanos y para los casos de emergencia. La información médica será centralizada y compartida entre todas las unidades de salud para mejorar el control del paciente y reducir los períodos de espera en los hospitales públicos.

Para emergencias de seguridad pública, LTE ofrece el ancho de banda requerido en demanda para apoyar la búsqueda y rescate de personas. Eso significa, en caso de desastres naturales, salvar vidas gracias a un mejor envío de los primeros auxilios.

Vigilar y controlar las zonas públicas es también un beneficio importante de los servicios de banda ancha móvil. Por ejemplo, todos los accesos principales de la ciudad, calles, lugares públicos y lugares importantes pueden ser controlados si se añaden sistemas de inteligencia artificial, de control de multitudes y el acceso seguro a las áreas donde ya se utiliza esta tecnología: de esta manera, se incrementa la seguridad pública y se reducen índices de criminalidad.



Al final, es la sociedad quien más se beneficia el despliegue en México de la tecnología LTE. La asignación del espectro tiene un impacto importante en el desarrollo social y económico de la humanidad. Como resultado de ello el gobierno debe apoyar a todo el ecosistema para impulsar el crecimiento, mejorar la educación y servicios de salud e incrementar los niveles de seguridad, solo por nombrar algunos de los beneficios de esta tecnología.

## CONCLUSIONES.

En el mercado de las comunicaciones móviles se ha asumido globalmente la idea de implementar un servicio de alta velocidad que sea capaz de enfrentar las nuevas necesidades de los usuarios. Los operadores tienen conciencia que las actuales redes 3G, a pesar de sus actualizaciones con HSPA+, poseen una estructura limitada, lo que no permite garantizar la entrega a largo plazo de un mejor servicio. Para mantener la competitividad, sobre todo para la Banda Ancha Móvil, se hizo necesario el desarrollo de un nuevo sistema que permitiera entregar los nuevos requerimientos.

En términos técnicos LTE a través de sus mejoras en velocidades de transmisión, cobertura y capacidad, entrega un servicio de Banda Ancha Móvil de calidad similar a la Banda Ancha Fija. Por otra parte, gracias a su diseño de red simplificada y eficiente logra reducir los costos de capital y de operación en comparación a las redes UMTS/HSPA+.

El escenario actual del mercado móvil es idóneo para LTE porque aunque GSM sigue siendo la más utilizada ya se encuentra estancada en aumento de abonados y en contraste los sistemas UMTS han crecido considerablemente. Las redes que se encuentran en operación en su mayoría se encuentran actualizadas con HSPA y las nuevas redes que se están incorporando lo harán directamente con servicios HSPA/HSPA+. Todo esto refleja el interés de los operadores y usuarios por redes de mayor velocidad y servicios ligados a conexiones de Banda Ancha Móvil, lo que promueve el desarrollo de redes LTE.

Con la aplicación de este nuevo estándar en las telecomunicaciones móviles con lleva que los operadores celulares del país desarrollen nuevos servicios de datos enfocados a generar nuevos ingresos adicionales a los que tienen actualmente por los servicios de voz y los mismos deben estar enfocados no sólo para ciertos sectores de la población, sino para un marco más amplio que cubra los diferentes niveles socioeconómicos del país.

Tomará aun varios años para que la aplicación del estándar LTE/SAE alcance un nivel de desarrollo considerado, no solo para conexiones de datos de alta velocidad o por los recursos económicos, despliegue o instalación de las redes LTE, también se debe considerar los múltiples intereses internacionales que existen en cada país y el poco control que cuentan las autoridades de cada país para crear un ambiente regulatorio y normalización que permita auditar a los operadores celulares cumplan que los usuarios finales puedan tener servicios de datos de calidad.

Varias compañías prestadoras de servicio en México ya han liberado sus redes LTE donde se enfrentaron a realizar pruebas de compatibilidad con sus sistemas actuales de 3G y principalmente el reto más grande es mejorar las redes de núcleo que cuentan actualmente y convertirlas de forma gradual a fibra óptica, ya que éstas puedan soportar tráfico superiores a los 100 Gbps.

Enfocando a la situación que concierne a México como parte del marco regulatorio que actualmente rige para las telecomunicaciones, éste tiene varios problemas de administración tanto con los proveedores de servicios y los organismos públicos encargados de la supervisión, aplicación y en su caso sanción de las fallas cometidas por los concesionados y permisionados, debido a múltiples intereses particulares y a la falta de un objetivo público. Al tener un marco jurídico y técnico insuficiente en relación a las capacidades de las nuevas tecnologías, se determina que existe un retraso tecnológico, social y legal de la aplicación de esta tecnología como de cinco años al menos. Esto no significa que la ausencia de la capacidad por parte del gobierno se traduzca en una deficiencia para el despliegue de las nuevas tecnologías, pero sí un atraso para las mismas.

Actualmente, RadioMóvil Dipsa (Telcel) y Telefónica México (Movistar), son los pioneros de éste estándar en México, desplegando ya sus primeras redes con base en LTE/SAE R9 con compañías como Ericsson, Huawei y Nokia Siemens. Donde de forma inicial solo están ofertando conexión de datos a gran velocidad a su base actual de clientes, donde esta es una visión corta de negocio para obtener mayores ingresos que supla la inversión inicial de implementar una red LTE, lo que se puede aplicar es comunidades del país donde no exista fibra óptica o tecnología ADLS, se podría ofertar el servicio de conexión de datos de alta velocidad a través un Modem/WIFI LTE a estas comunidades supliendo con esto los altos costos de comunicación satelital que existen actualmente, ya que en la mayoría de estas, es más viable conectar una radio base celular con un enlace de microondas, que el mantenimiento constante de un enlace satelital, que es fácilmente afectado por los elementos atmosféricos

El estándar LTE/SAE no se puede ver solo como la evolución de las comunicaciones y un puerto más eficiente de acceso a los datos de plataformas o sistemas, sino como una herramienta que tiene bastante que brindar y por desarrollar, que traerá beneficios mayores en áreas como la educación a distancia, medicina remota, sistemas remotos de supervisión y vigilancia, aplicaciones monetarias y sobre todo, aplicaciones que en general benefician a las comunidades más marginadas de la nación, con el único objetivo de acercarlas a los sistemas de justicia, equidad, igualdad y de normatividad que ofrece la nación.

La comprensión de estándar, tanto para su ejecución como aplicación no es difícil, al contrario es simple, la evolución de las telecomunicaciones en México llega algo tarde, debido en parte a su evolución constante, al no existir una demanda cómo tal del servicio y la carencia de una visión que pueda satisfacer los ámbitos público y privado. Las convergencias de las comunicaciones son parte fundamental, no solo para la interconexión e interrelación de las mismas, sino para la evolución y transición de un estándar a otro sin afectar a la población, ejemplo de ello ha sido la transición de TDMA hasta HSPA+ que son estándares que se han usado y usan en México.

## REFERENCIAS

### BIOGRAFIA

1. Méndez Docurro Eugenio 1999, "El Instituto Mexicano de Comunicaciones: Una opción al Futuro", número 79 Págs. 27 – 29, Revista de Administración Pública, ISSN 0482-5209, México, D.F.
2. Ali-Yahija Tara 2011, Understanding LTE and its Performance, 1ra Edición 254 p. ISBN 978-1-4419-6456-4, New York, USA.
3. Dahlman Erik, Parkvall Stefan and Sköld Johan 2011, 4G LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband, 1ra Edición 455 p., ISBN: 978-0-12-385489-6, Inglaterra, UK

### REFERENCIAS

4. COFETEL 1957 y 1989, Título de Concesión y Autorización de la SCT a: Servicio Organizado Secretarial, S.A. de C.V. (S.O.S. actual Iusacell), México, D.F.,
5. COFETEL 1989, Título de Concesión y Autorización de la SCT a: Radiomovil Dipsa, S.A. de C.V. (Telcel), México, D.F.
6. Cofetel \_ Antecedentes 2010 [Página web], consultado: 10 Noviembre 2013, [http://www.cofetel.gob.mx/es/Cofetel\\_2008/Cofe\\_antecedentes](http://www.cofetel.gob.mx/es/Cofetel_2008/Cofe_antecedentes)
7. International Telecommunications Union (ITU) [Página web], consultado 8 Noviembre 2013, <http://www.itu.int>
8. ITU Radiocommunication Sector [Página web], consultado 8 Noviembre 2013, <http://www.itu.int/ITU-R>

### PAGINAS WEB

9. 3GPP [Página web], consultado 6 Noviembre 2013, <http://www.3gpp.org>
10. 4G Américas [Página web], consultado 6 Noviembre 2013, <http://www.4gamericas.org>
11. AHCIET [Página web], consultado 7 Noviembre 2013, <http://www.ahciet.net>
12. Comisión Interamericana de Telecomunicaciones (CITEL) [Página web], consultado 5 Noviembre 2013, <https://www.citel.oas.org/es/Paginas/default.aspx>
13. GSMA [Página web], consultado 5 Noviembre 2013, <http://www.gsmworld.com>
14. Next Generation Mobile Networks (NGMN) [Página web], consultado 10 Noviembre 2013, <http://www.ngmn.org/home.html>

15. ITU\_ Recomendación ITU-R M2012 sobre IMT-Advance 2012 [Página web], consultado Noviembre 8 2013, [http://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.2012-0-201201-!!!PDF-S.pdf](http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.2012-0-201201-!!!PDF-S.pdf)
16. Huawei\_ LTE-Advanced: The leading technology in the new MBB era 2011 [Página web], consultado Diciembre 22 2013, <http://www.huawei.com/en/static/hw-094163.pdf>
17. Ericsson\_ Next generation LTE, LTE-Advanced 2010 [Página web], consultado Diciembre 23 2013, [http://www.ericsson.com/res/thecompany/docs/publications/ericsson\\_review/2010/next-generation-lte.pdf](http://www.ericsson.com/res/thecompany/docs/publications/ericsson_review/2010/next-generation-lte.pdf)
18. Qualcomm\_ LTE Advanced, Evolving and expanding into new frontiers 2013 [Página web], consultado 27 Diciembre 2013, <http://www.qualcomm.com/solutions/wireless-networks/technologies/lte-advanced>
19. Rohde & Schwarz\_ LTE-Advanced Technology Overview [Página web], consultado Diciembre 27 2013, [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/123400\\_123499/123401/09.15.00\\_60/ts\\_123401v091500p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/123400_123499/123401/09.15.00_60/ts_123401v091500p.pdf)
20. LTE Resources Guide Anritsu 2013 [Página WEB, consultado Marzo 17 de 2014, <http://www.anritsu.com/en-GB/Promotions/LTE-resources/registration.aspx>
21. LTE Radio Link Budgeting and RF Planning 2011 [Página WEB], consultado Marzo 15 de 2014, <https://sites.google.com/site/lteencyclopedia/lte-radio-link-budgeting-and-rf-planning>
22. Alcatel-lucent eNode B 2014 [Página WEB], consultado Marzo 18 de 2014, [http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=1&sqi=2&ved=0CCcQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww3.alcatel-lucent.com%2Fwps%2FDocumentStreamerServlet%3FLMSG\\_CABINET%3DDocs\\_and\\_Resource\\_Ctr%26LMSG\\_CONTENT\\_FILE%3DData\\_Sheets%2FAlcatel-Lucent\\_9926-Digital-2U-eNode-B\\_datasheet.pdf%26lu\\_lang\\_code%3Den\\_WW&ei=HlwwU6CLEYXJkAeghoGoBQ&usq=AFQjCNEwgHblGeHCFWdKeltPpBe10BYEQw](http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=1&sqi=2&ved=0CCcQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww3.alcatel-lucent.com%2Fwps%2FDocumentStreamerServlet%3FLMSG_CABINET%3DDocs_and_Resource_Ctr%26LMSG_CONTENT_FILE%3DData_Sheets%2FAlcatel-Lucent_9926-Digital-2U-eNode-B_datasheet.pdf%26lu_lang_code%3Den_WW&ei=HlwwU6CLEYXJkAeghoGoBQ&usq=AFQjCNEwgHblGeHCFWdKeltPpBe10BYEQw)
23. Cofetel\_ Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencia 2012 [Página web], consultado 10 Diciembre 2013, [http://www.cofetel.gob.mx/swb/Cofetel\\_2008/CNAF](http://www.cofetel.gob.mx/swb/Cofetel_2008/CNAF)
24. Cofetel \_ Ley Federal de Telecomunicaciones de los Estados Unidos Mexicanos 2013 [Página web], consultado Diciembre 15 2013, <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/118.pdf>
25. Cofetel\_Reglamento de Telecomunicaciones 2001 [Página web], consultado Diciembre 20 2013, <http://www.sct.gob.mx/fileadmin/normatividad/web/telecomunicaciones/76.pdf>

26. Cofetel \_ Reglamento Interno de la Comisión Federal de Telecomunicaciones 2006 [Página web], consultado Diciembre 20 de 2013 [http://www.cft.gob.mx/es\\_mx/Cofetel\\_2008/Cofe\\_reglamento\\_interno\\_cofetel](http://www.cft.gob.mx/es_mx/Cofetel_2008/Cofe_reglamento_interno_cofetel)
27. Cofetel\_ Lineamientos Operativos del Consejo Consultivo de la Comisión Federal de Telecomunicaciones [Página web], consultado 20 Diciembre 2013, <http://consejoconsultivo.cft.gob.mx/portal/2013/02/lineamientos>
28. Cofetel\_ Reglas de Operación del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Telecomunicaciones (CCNN-T) 2010 [Página web], consultado 21 Diciembre 2013, [http://www.cft.gob.mx/es\\_mx/Cofetel\\_2008/Cofe\\_reglas\\_de\\_operacion\\_del\\_ccnnt](http://www.cft.gob.mx/es_mx/Cofetel_2008/Cofe_reglas_de_operacion_del_ccnnt)
29. Reforma Constitucional Telecomunicaciones 2013 [Página WEB], consultado 17 de Marzo 2013. <http://www.ift.org.mx/iftweb/wp-content/uploads/2013/10/DOF-ReformaConstitucional.pdf>

**ACRÓNIMOS.**

<b>Acrónimo</b>	<b>Significado</b>
3GPP	3rd Generation Partnership Project.
3GPP-2	Tecnologías no pertenecientes a 3GPP. NON 3GPP.
AHCIET	Asociación Iberoamericana de Centros de Investigación y Empresas de Telecomunicaciones.
ATIS	The Alliance for Telecommunications Industry Solutions.
BCCH	Broadcast Control Channel.
BCH	Broadcast Channel.
BPSK	Binary Phase Shift Keying.
CAPEX	Capital Expenditures (Gastos de Capital).
CARRIER	Nombre usado para determinar a los prestadores de servicio de Telecomunicaciones.
CCCH	Common Control Channel.
CCNN-CTI	Comité Consultivo Nacional de Normalización de Comunicaciones y Tecnologías de la Información.
CCNN-RTSP	Comité Consultivo Nacional de Normalización de Radifusión, Telegrafía y Servicios Postales.
CCNN-T	Comité Consultivo Nacional de Normalización de Telecomunicaciones.
CCP	Comité Consultivo Permanente,
CCSA	China Communications Standards Association.
CDM	Code Division Multiplexing (Multiplexaje por División de Código)
CDMA200	Code Division Multiple Access version 2000.
CEPT	Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones.
CIDET	Centro de Investigación y Desarrollo de Telecomunicaciones.
CITEL	Comisión Interamericana de Telecomunicaciones.
CLUSTER	Consta de una celda central hexagonal, rodeada a su vez de otras 6, en conjunto son 7 eNB que crean un Clúster.
CNAF	Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias.
COFETEL	Comisión Federal de Telecomunicaciones.
COM/CITEL	Comité Directivo Permanente de la CITEL.
CP	Cyclic Prefix o Prefijo Cíclico.
CQI	Channel Quality Indicator.
DCCH	Dedicated Control Channel.
DFT	Discrete Fourier Transform (Transformada Discreta de Fourier)
DGIDT	Dirección General de Investigación y Desarrollo Tecnológico.
DL	Down Link (Descarga)
DL-SCH	Downlink Shared Channel



<b>Acrónimo</b>	<b>Significado</b>
DTCH	Dedicated Traffic Channel.
EARFCN	E-UTRAN Absolute Radio Frequency Channel Number.
eNB	Evolved NodeB.
eNodeB	Evolved NodeB.
EPC	Evolved Packet Core.
ETSI	European Telecommunications Standards Institute.
EUA	Estados Unidos de Norteamérica.
EUTRA	Evolved Universal Terrestrial Radio Access.
EUTRAN	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network.
E-UTRAN	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network.
FAC	Final Assembly Code (Código de Ensamado Final).
FDD	Frequency Division Duplex.
FDM	Frequency Division Multiplexing (Multiplexaje por División de Frecuencia).
FFT	Fast Fourier Transform (Transformada Rápida de Fourier).
GB	Gigabyte.
GSMA	Global System Mobile Association.
GTP-C	GPRS Tunneling Protocol for the Control Plane.
GTP-U	GPRS Tunneling Protocol for the User Plane.
GUTI	Globally Unique Temporary UE Identity.
HSPA	High Speed Packet Access.
HSS	Home Subscriber Server.
IDFT	Inverse Discrete Fourier Transform (Transformada Discreta de Fourier).
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers.
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform (Transformada Inversa Rápida de Fourier).
IMC	Instituto Mexicano de Comunicaciones.
IMSI	International Mobile Subscriber Identity.
IMT-Advanced	International Mobile Telecommunications-Advanced.
IP RAN	Internet Protocol for Radio Access Network.
ITU	International Telecommunication Union.
ITU-R	ITU - Radiocommunication.
Kc	Ciphering Key.
L1	Capa Física.
L2	Capa de Transmisión.
LTE	Long Term Evolution.
MAC	Medium Access Control.
MBMS	Multimedia Broadcast Multicast Services.
MBSFN	MBMS Single Frequency Network.
MCC	Mobile Country Code.
MCCH	Multicast Control Channel.
MCH	Multicast Channel.



<b>Acrónimo</b>	<b>Significado</b>
MIMO	Multiple Input Multiple Output.
MME	Mobility Management Entity.
MMSE	Minimum Mean Square Error. (Mínimo Error Cuadrático Medio)
MNC	Mobile Network Code.
MPLS	Multi-Protocol Label Switching.
MTCH	Multicast Traffic Channel.
NAS	Non-Access Stratum.
NCR	Neighbor Cell Relation List.
NGMN	Next Generation Mobile Networks.
O&M	Operation & Maintenance (Operación y Mantenimiento).
OEA	Organización de los Estados Americanos.
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing.
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access.
OPEX	Operational Expenditures. (Gastos de Operación).
Padding	Cualquier espacio extra entre los encabezados de las capas se conoce como Padding.
PBCH	Physical Broadcast Channel.
PCCH	Paging Control Channel.
PCFICH	Physical Control Format Indicator Channel.
PCH	Paging Channel.
PCI	Physical Cell Identity.
PDCCH	Physical Downlink Control Channel.
PDCP	Packet Data Convergence Protocol.
PDSCH	Physical Downlink Shared Channel.
P-GW	PDN Gateway.
PHICH	Physical Hybrid ARQ Indicator Channel.
PMCH	Physical Multicast Channel.
PS	Packet Switch.
QAM	Quadrature Amplitude Modulation.
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying.
RET	Remote Electrical Tilt
RIT	Red Interamericana de Telecomunicaciones.
RLC	Radio Link Control.
RRC	Radio Resource Control.
S1-AP	S1 Application Protocol.
SAE	System Architecture Evolution
SC-FDMA	Single Carrier-Frequency Division Multiple Access (Acceso Multiple por División de Frecuencias en una Portadora).
SCT	Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

<b>Acrónimo</b>	<b>Significado</b>
SCTP	Stream Control Transmission Protocol.
S-GW	Serving Gateway.
SNR	Serial Number Registry.
SPARE	Número de confirmación del IMEI
SYNC	Synchronization (sincronización).
TAC*	Type Allocation Code (Código de Tipo Ubicación).
TB	Terabyte
TDD	Time Division Duplex
TDM	Time Division Multiplexing.
TIC	Tecnologías de la Información y Comunicación.
TILT	Inclinación.
TS	Technical Support.
TTA	Telecommunication Technology Association.
TTC	Telecommunication Technology Committee.
UDP	User Datagram Protocol.
UE	User Equipment.
UL	UP Link (Carga).
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System.
VENDOR	Vendedores, nombre usual de las compañías generadoras de equipos de comunicaciones y tecnologías de la información.
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access.
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access.

## ANEXOS.

### A1. Marco regulatorio de las telecomunicaciones en México.

Como se vio al principio de esta tesis, las comunicaciones en México han tenido un gran impacto en su desarrollo, y actualmente son la punta de la lanza para la generación de más y mejores empresas en el territorio nacional.

Teniendo una aplicación del estándar LTE a nivel nacional, el alcance de aplicaciones, desarrollo de sistemas y fidelidad en la información, incrementaría más allá de lo sustancialmente viable, con lo que se crearía una eficacia en los sistemas empresariales.

Siendo una nación con vocación a ser un país desarrollado, es importante la aplicación de este tipo de estándares lo más pronto posible, cabe recalcar que no solo el gobierno está obligado a la generación de esta tecnología, sino que funge solo como regulador del espectro radioeléctrico correspondiente a México, y que cae la responsabilidad por completo en las compañías concesionadas y permisionadas de frecuencias del espectro radioeléctrico, las encargadas de satisfacer las necesidades del país y por ende, tener una mayor calidad de los servicios que puedan ofrecer.

Los temas a tratar a continuación, brindarán una visión general de los objetivos que se tienen actualmente en México para la aplicación de LTE y los inconvenientes a resolver para poder desplegar correctamente toda la capacidad.

### A2. Marco de trabajo en el espectro radioeléctrico de México.

En México, el gobierno en turno, a través de sus instituciones, es el encargado de la administración, renta, explotación, uso y seguridad del espectro radioeléctrico que se ejerce a nivel nacional, incluyendo sus territorios comprendidos tanto como terrestres y acuíferos.

Por ende, en el CNAF (Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias) de forma comparativa explícita se muestra el uso de los rangos de frecuencias correspondientes a México en cotejo al aplicado de forma internacional, con ello se obtiene un mayor margen de la aplicación de los rangos de frecuencias.

Para ser más precisos, en el CNAF se encuentra el uso y aplicación de las tecnologías a ocupar en los rangos de frecuencias, que van desde los sistemas más simples como los sistemas de radio de banda corta, pasando por los sistemas de radiodifusión en AM y FM, hasta llegar a las comunicaciones por microondas y los enlaces satelitales; el ancho de banda que se trabajará en el estándar corresponde la mayoría a la familia de microondas, sin embargo, en general se maneja una amplia gama de frecuencias como se plasma en el documento de 3GPP TS 36.101 versión 10.5.0, que muestra tanto las combinaciones de frecuencias a utilizar como en qué sistema de operación sería el más conveniente. ([Cofetel\\_ Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencia 2012](#))

Para concretar, en México, los proyectos de 4G (conocido comercialmente así el estándar LTE) se desarrollarán en bandas que estarán entre los 1700 MHz a los 2700 MHz, aproximadamente, esto dependerá de las frecuencias que se encuentren disponibles en México y la asignación por parte de los concesionados.

Se debe de aclarar que entre mayor es la frecuencia, es menor su penetración y mayor su difracción, por lo cual, se tienen pérdidas considerables. De igual forma, se necesitarán más eNodeB's para cubrir las áreas en donde se brindará el servicio, esto debido a que su atenuación se acentúa por su alta frecuencia.

### **A3. Organismo gubernamentales regulatorios Mexicanos.**

Los organismos encargados del uso del espectro radioeléctrico en México son:

- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT en siglas, Ministerio Federal de la Republica o Nacional) encargada de administrarlo de forma general.
- Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL en siglas) la encargada de designar y especificar el uso, sobre todo en cuestiones técnicas, mantener al margen el uso ilegal o no autorizado del espectro y la actualización continua de los concesionados y permisionados activos en la nación.

Es necesario recalcar que aunque existen organismos autónomos u organizaciones civiles que supervisan y/u observan el desarrollo y aplicación de las concesiones, no cuentan con injerencia directa en la aplicación de los estándares, por lo cual, al no existir una relación como tal, no son contempladas en esta tesis.

A continuación se verá una breve visión de sus antecedentes, funciones y su aplicación de cada uno de los organismos regulatorios en el margen actual de las telecomunicaciones en México. ([Cofetel \\_ Reglamento Interno de la Comisión Federal de Telecomunicaciones 2006](#))

#### **A3.1. Secretaría de Comunicaciones y Transportes.**

La Secretaría (Ministerio) de Comunicaciones y Transportes (SCT), tiene como función principal la de salvaguardar por el bien común sobre los bienes de la nación en pro de los gobernados. Esto indica que es el encargado de ratificar, dar o denegar el otorgamiento de las concesiones y permisos sobre el uso de los antes mencionados.

Actualmente las funciones sobre las comunicaciones recae sobre la Subsecretaría de Comunicaciones, derivada de la SCT, que se encarga exclusivamente del área de las telecomunicaciones y coadyuva en la toma de decisiones sobre las concesiones y permisionarios.

Todas las funciones y características de esta dependencia vienen enmarcadas en la Ley Federal de Telecomunicaciones de los Estados Unidos Mexicanos, de igual forma tiene un organismo descentralizado llamado Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL en siglas) quien es el responsable de la actualización, supervisión, recomendación y análisis de todo lo relacionado tanto a los concesionados y permisionados. ([Cofetel Reglamento de Telecomunicaciones 2001](#))



### **A3.1.1. Subsecretaría de Comunicaciones.**

La Subsecretaría tienen como función principal el coadyuvar en todos los aspectos relacionados con las telecomunicaciones, esto abarca desde las comunicaciones radioeléctricas o de espectro, hasta las de fibra óptica y derivados.

Anteriormente la conformación y funciones de la Subsecretaría eran más extensas, sin embargo debido a la continua evolución de las telecomunicaciones, fue necesario desplazar ciertas responsabilidades a un órgano descentralizado sin fines o tintes preferentes que generará imparcialidad en los análisis y toma de decisiones. Actualmente la Subsecretaría también funge como intermediario entre la COFETEL y la SCT para las cuestiones relacionadas a las concesiones brindadas, denegadas y que serán suprimidas.

### **A3.2. Comisión Federal de Telecomunicaciones.**

Es una entidad que citando a la letra la Ley Federal de Telecomunicaciones, Artículo 9-A dice “es el órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría, con autonomía técnica, operativa, de gasto y de gestión, encargado de regular, promover y supervisar el desarrollo eficiente y la cobertura social amplia de las telecomunicaciones y la radiodifusión en México, y tendrá autonomía plena para dictar sus resoluciones”. Por lo anterior, se entiende que proviene de la SCT y coadyuva en la regulación, promoción y supervisión no solo del espectro radioeléctrico, sino de las tecnologías que son ejercidas en dicho espectro, sus concesionados y permisionados.

Para tener un mayor criterio se definirá lo que es un concesionado y un permisionado. Concesionado es una figura ya sea en persona física o moral a la cual se le brinda una concesión del espectro radioeléctrico de un región en específico sobre el territorio nacional, a fin de instalar, operar y explotar redes públicas de telecomunicaciones. Sin embargo se necesita un permiso que permita el poder instalar, operar y explotar una comercializadora de servicios de telecomunicaciones sin tener el carácter de red pública, así como las estaciones terrenas transmisoras. Por ambos conceptos, el gobierno recibirá una compensación económica como contraprestación.

Es necesario también conocer su ámbito de acción citado de su sitio web oficial, que a la letra menciona “Que todos los mexicanos tengan acceso a servicios integrales de telecomunicaciones, prestados en un ambiente de sana competencia y donde prevalezcan condiciones propicias para el desarrollo de mayor infraestructura, la eficiente prestación de los servicios y la introducción de nuevas tecnologías.”. Con esto se refuerza la imparcialidad de este organismo descentralizado. ([Cofetel\\_Reglamento de Telecomunicaciones 2001](#))

### **A3.2.1. Pleno de la Comisión Federal de Telecomunicaciones.**

Como previamente se vio, al ser un órgano descentralizado, necesita un Pleno, en el cual, por ley se encontrarán cinco consejeros, y de entre ellos se votará al consejero que presidirá la Comisión (Presidente de la COFETEL). Este Pleno será la máxima autoridad dentro de la comisión y será quien también desarrolle y coordine las actividades correspondientes a la comisión, siempre apegado al margen de derecho enmarcado en el reglamento interno de la COFETEL. (*Cofetel \_ Reglamento Interno de la Comisión Federal de Telecomunicaciones 2006*)

### **A3.2.2. Consejo Consultivo de la Comisión Federal de Telecomunicaciones.**

Como un medio de comunicación más directo entre los actores del sector, la sociedad civil y por el interés general, se crea el Consejo Consultivo, este órgano de consulta permanente de la COFETEL, brindará opinión, asesoría y ayuda sobre los lineamientos, reglamentos y promoción de las políticas públicas por parte del gobierno. Citando el texto del Artículo 1 del Lineamiento del Consejo Consultivo de la COFETEL... “El Consejo Consultivo es un órgano de consulta permanente de la Comisión Federal de Telecomunicaciones”. Su función es brindar opinión, asesoría y ayuda a la promoción de políticas públicas en materia de telecomunicaciones.

Su objetivo principal es fungir como organismo de consulta en temas clave para el desarrollo y fomento de la industria de telecomunicaciones en México. En la persecución de estos objetivos, buscará fomentar un debate abierto, imparcial y transparente.

Las opiniones, posturas y recomendaciones que formule el Consejo Consultivo serán preeminentemente prospectivas, serán facultativas y no tendrán carácter vinculatorio, ni para la Comisión, ni para sus órganos o funcionarios. Con ello, su principal característica será crear también foros de interés común, donde se generen diversos puntos de vista sobre los problemas, necesidades y bondades de los sistemas actuales de las telecomunicaciones donde la COFETEL tenga injerencia y pueda aplicar un campo de acción. Esto no significa que tengan carácter de obligatorio las conclusiones obtenidas por dicho consejo, sino que serán totalmente personales sin involucrar ningún órgano gubernamental. (*Cofetel\_ Lineamientos Operativos del Consejo Consultivo de la Comisión Federal de Telecomunicaciones*)

### **A3.2.3. Comité Consultivo Nacional de Normalización en Telecomunicaciones.**

Como previamente se vio en la historia de las comunicaciones en México, han existido diversas necesidades en la forma de organización y control de las nuevas tendencias de las tecnologías. Como respuesta a ello es la creación del CCNN-T, quien es presidido por el presidente de la COFETEL en conjunto con representantes de diversas asociaciones mexicanas de ingeniería, centros de investigación, centros de estudios y actores del sector; se encarga de la normalización de las nuevas y actuales tecnologías en México, creando así Normas Oficiales Mexicanas, que cuentan con la experiencia y conocimientos de los antes mencionados. Esto con el fin de adaptar las nuevas tecnologías y estándares a las necesidades de la nación, siempre y cuando no modifiquen como tal al estándar original para que su interacción con otros sistemas no se vea perjudicada.

Su división es sencilla y directa, ya que después del Presidente, se divide en subcomités. Estos son lo que verán a detalle parte de las diversas tecnologías presentes con influencia en el desarrollo de la nación, sus subcomités son: Subcomité de Redes de Telecomunicaciones, Subcomité de Radiocomunicación y Servicios Satelitales, Subcomité de Tecnologías de la Información y Subcomité de Radiodifusión; cada uno abocado a las principales necesidades del país. ([Cofetel\\_ Reglas de Operación del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Telecomunicaciones \(CCNN-T\) 2010](#))

### **A3.2.4. La reforma constitucional y el Instituto Federal de Telecomunicaciones (“IFETEL”)**

En 2013 se libera la reforma constitucional en materia de competencia, radiodifusión y telecomunicaciones, misma que tiene los siguientes objetivos:

- el fortalecimiento de los derechos vinculados con la libertad de expresión e información y el establecimiento del derecho al acceso a las tecnologías de la información y comunicación, así como de los servicios de radiodifusión y telecomunicaciones;
- la adopción de medidas de estímulo a la competencia efectiva en televisión abierta y restringida, radio, telefonía y servicios de datos y telecomunicaciones en general;
- el fortalecimiento de la capacidad rectora del Estado en estos sectores; y, la generación de condiciones para incrementar la infraestructura y mejorar su aprovechamiento.

La reforma representa una oportunidad histórica para corregir anomalías estructurales en mercados sumamente disfuncionales y fortalecer el rol del Estado para generar bienestar social y económico. Dicha reforma combina aspectos de régimen jurídico, órganos reguladores y políticas públicas:



Régimen jurídico	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fortalecimiento de hechos fundamentales.</li> <li>▪ Telecomunicaciones y radiodifusión como “servicios públicos de interés general”, mismos que deben sujetarse a una serie de lineamientos de orden público.</li> <li>▪ Desagregación de la red local y regulación asimétrica sobre los agentes preponderantes.</li> <li>▪ Tribunales especializados en materia de competencia económica y telecomunicaciones.</li> <li>▪ Adecuaciones al marco jurídico y emisión de nuevas leyes para implementar la reforma.</li> <li>▪ Sistemas de concesiones únicas.</li> <li>▪ Revisión de títulos vigentes.</li> <li>▪ Obligaciones de “mejor operador” y “mejor oferta”.</li> <li>▪ Tipos penales que castiguen prácticas monopólicas.</li> </ul>
Reguladores	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Creación de la Comisión Federal de Competencias Económicas (CFCE) y el instituto Federal de Telecomunicaciones (IFETEL), con autonomía constitucional y poderes especiales.</li> </ul>
Políticas públicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dos nuevas cadenas de televisión con cobertura especial.</li> <li>▪ Red compartida de servicios de telecomunicaciones al mayoreo.</li> <li>▪ Política de inclusión digital universal.</li> <li>▪ Red troncal de telecomunicaciones de cobertura nacional.</li> <li>▪ Medidas de fomento a la competencia en televisión, radio, telefonía y servicios de datos.</li> <li>▪ Programas a banda ancha, transición a Televisión Digital Terrestre y Programa Nacional de Espectro Radioeléctrico.</li> </ul>

El IFETEL es un regulador en materia de radiodifusión y telecomunicaciones, el cual tiene una autonomía constitucional, así como de personalidad jurídica y patrimonio propios. Su mandato está enfocado al “desarrollo eficiente” de dichos sectores, para lo cual está a cargo de “la regulación, promoción y supervisión del uso, aprovechamiento y explotación del espectro radioeléctrico, las redes y la prestación de los servicios de radiodifusión y telecomunicaciones, así como del acceso a infraestructura activa, pasiva y otros insumos esenciales”.

Adicionalmente, el IFETEL es la nueva autoridad en materia de competencia económica para los sectores de radiodifusión y telecomunicaciones. El IFETEL es independiente en sus decisiones y funcionamiento, profesional en su desempeño e imparcial en sus actuaciones”, para lo cual:

- A) dicta sus decisiones con “plena autonomía”;
- B) ejerce su presupuesto de forma “autónoma”;
- C) emite su propio “estatuto orgánico”;
- D) emite disposiciones administrativas de carácter general “exclusivamente para el cumplimiento de su función regulatoria en el sector de su competencia”; y
- E) separará las etapas de investigación y resolución de procedimientos seguidos en forma de juicio.



La Constitución establece – sin perjuicio de lo que adicionalmente dispongan las leyes que el IFETEL puede:

- otorgar y revocar concesiones en materia de radiodifusión y telecomunicaciones, así como autorizar cesiones o cambios de titularidad o control accionario;
- regular asimétricamente a los participantes en los mercados; e
- imponer límites a la concentración nacional y regional de frecuencias, al concesionamiento y a la propiedad cruzada en medios, y ordenar la desincorporación de activos, derechos o partes necesarias para asegurar el cumplimiento de estos límites.

Con estas regulaciones de la nueva reforma de Telecomunicaciones y el nuevo órgano IFETEL se tendrá una regulación principalmente en fomentar la competencia, calidad de servicio y precios de los servicios de internet y banda ancha, donde beneficiará a los usuarios. (*Reforma Constitucional Telecomunicaciones 2013*)