

**ESTUDIO SOBRE NORMAS Y PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS PARA LA
IMPLEMENTACION DE LA TELEFONÍA 4G LTE EN COLOMBIA**

JORGE MARIO OSPINA OVALLE
INGENIERIA ELECTRONICA

BOGOTÁ D.C. DICIEMBRE 15 DEL 2014
PROYECTO DE INVESTIGACION

CONTENIDO

CONTENIDO	2
1 INTRODUCCIÓN	5
2 PLANTEAMIENTO DE LA PREGUNTA O PROBLEMA	6
3 JUSTIFICACIÓN.....	6
4 REVISIÓN SISTEMÁTICA DEL AVANCE PÚBLICO NACIONAL Y MUNDIAL DE LA INFORMACIÓN Y DEL CONOCIMIENTO ACTUAL	7
5 OBJETIVOS	7
6 METODOLOGÍA.....	8
7 MARCO TEÓRICO.....	9
8 MARCO CONCEPTUAL	9
Orthogonal Frequency División Multiplexing OFDM:	9
Múltiple Input Múltiple Output – MIMO:	10
Arquitectura básica EPC:	11
Bandas de frecuencia	11
Terminales Móviles:	11
K:.....	12
HSS Home Subscriber Server:.....	12
EPS AKA Authentication and Key Agreement:	12
9 NORMATIVA PARA LA HOMOLOGACION DE TERMINALES	12
10 NORMATIVA TÉCNICA PARA EL ACCESO A LA RED MÓVIL LTE	14
11 SEGURIDAD DE ACCESO A LA RED.....	18
12 NORMATIVAS DE SEGURIDAD EN EL CORE DE LTE	21
12.1 SEGURIDAD EN LA INFRAESTRUCTURA DE RED	24
13 ESTUDIO TÉCNICO SOBRE EL ESTADO ACTUAL DE LTE	26
13.1 DESCRIPCIÓN DEL ESTABLECIMIENTO DE UN BEARER.....	26
13.2 DESCRIPCIÓN DE LAS INTERFACES	29
13.3 PROTOCOLOS USADOS EN LAS INTERFACES DESCRITAS.....	36
13.3.1 GTP-U	36
13.3.2 GTP-C.....	37
13.3.3 DIAMETER.....	39
14 DESCRIPCIÓN DE UNA LLAMADA DE VOZ EN LTE	40

14.1	MMTel.....	40
14.2	SRVCC (Single Radio Voice Call Continuity).....	41
14.3	VoLGA.....	43
14.4	SKIPE.....	45
14.5	CS Fallback.....	46
14.5.1	LLAMADA ORIGINADA DESDE LTE.....	49
14.5.2	LLAMADA ORIGINADA DESDE REDES DIFERENTES A 4G (MOBILE TERMINATING CALL) 50	
15	MOVILIDAD EN LTE.....	52
15.1	ACTUALIZACIÓN DE ÁREA DE SEGUIMIENTO (TAU).....	52
15.2	HANDOVER CON LA INTERFACE X2.....	55
15.3	HANDOVER SIN LA INTERFACE X2.....	57
16	ÚLTIMOS DESARROLLOS DE LA TECNOLOGÍA.....	59
16.1	VoLTE.....	59
16.2	DESCRIPCIÓN GENERAL.....	61
16.3	IMS (IP multimedia subsystem).....	62
16.4	DESCRIPCIÓN DE UNA LLAMADA EN VoLTE.....	64
16.5	INTERFACES EN VoLTE.....	67
16.5.1	Sgi Interface (P-GW – P-CSCF).....	67
16.5.2	Cx Interface (I/S-CSCF – HSS).....	67
16.5.3	Sh Interface (TAS – HSS).....	68
16.5.4	Gm Interface (UE – P-CSCF).....	68
16.5.5	Ut Interface (UE – TAS).....	68
16.5.6	Mw Interface (x-CSCF – x-CSCF).....	68
16.5.7	Mg Interface (x CSCF – MGCF).....	68
16.5.8	ISC Interface (S-CSCF –TAS).....	68
16.5.9	Mr Interface (S-CSCF – MRF).....	68
16.5.10	Mr' Interface (TAS – MRF).....	69
16.6	PROTOCOLOS EN VoLTE.....	69
16.6.1	SIP.....	69
16.6.2	H.248/MEGACO.....	71
16.6.3	RADIUS.....	72

17	CONCLUSIONES	74
18	BIBLIOGRAFIA	76

1 INTRODUCCIÓN

El siguiente proyecto tiene como finalidad dar a conocer un documento técnico donde el lector pueda entender y conocer la normativa técnica que se requiere para la implementación de 4G sobre LTE en Colombia, incluyendo las principales características técnicas de la tecnología y los últimos avances en la misma.

Además de la parte técnica se dará a conocer el estado del despliegue que tiene en Colombia en este momento, el cual es muy amplio, debido a que esta tecnología llegó hace más de un año, y el compromiso del gobierno con este tema es muy bueno, además de esto las empresas de telecomunicaciones tienen una competencia muy férrea, lo cual beneficia mucho al usuario final y al desarrollo de la tecnología en el país. En este momento se cuenta con 7 empresas que prestan el servicio de LTE en Colombia siendo el segundo país en sur América con más operadores prestando este servicio solo detrás de Brasil, el desarrollo en el último año ha sido tan grande que la cobertura nacional que comenzó con solo las ciudades principales hoy en día cuenta con cobertura de más del 75% del territorio nacional.

Este proyecto se elabora con el fin de que se conozca más sobre la tecnología más importante de las telecomunicaciones móviles, y que en Colombia ha llegado con gran fuerza hace más de un año, y que ha tenido un gran despliegue con un gran compromiso del gobierno nacional, pero además de ello se debe comprender que normas se deben seguir para poder implementar esta tecnología en nuestro país, porque el incumplimiento de las mismas, incluso puede afectar la salud y las finanzas.

También es importante comprender las características técnicas principales, y que se puedan comprender las grandes diferencias que existen con respecto a las tecnologías anteriores como son 3G y 2G pues esto cambiaría totalmente la experiencia con las comunicaciones móviles.

Para conseguir esto se va a consultar los diversos decretos establecidos por la CRC donde se reglamenta la implementación de LTE en los dos aspectos principales como son los terminales y el acceso, en el cual se contempla la implementación de antenas, cada uno de los cuales tiene una normativa diferente y en especial buscando proteger los aspectos sociales que tocan cada uno de estos temas como son la salud y seguridad de la población, además para acabar de comprender mejor esta normativa se estudian documentos técnicos de LTE de importantes empresas de telecomunicaciones como son Vodafone España, y Movistar Colombia, donde se puede comprender los principales aspectos técnicos que se están utilizando en la implementación de esta tecnología, debido a que es el tercer aspecto de más relevancia como es el Core de LTE, se debe comprender los aspectos técnicos de la tecnología, el Core juega una parte muy importante porque es en este donde se maneja la mayor parte de la información confidencial y por ende debe cumplir con toda la normativa

de seguridad como es el cifrado y demás características que mantendrán seguros nuestros datos.

2 PLANTEAMIENTO DE LA PREGUNTA O PROBLEMA

¿Es posible realizar el estudio de las principales características y normativa técnica para la implementación de 4G LTE en Colombia?

3 JUSTIFICACIÓN

La tecnología de LTE ya ha sido adoptada por muchos países a nivel mundial, teniendo en estos momentos un gran crecimiento en cuanto al despliegue de sus redes, generando con ello mayor cobertura y un crecimiento muy rápido de usuarios, que cada día notan la gran diferencia que existe entre ser usuarios de redes 3G a ser usuarios de redes 4G. Viendo que cada día es más sencillo adquirir un terminal de 4G que comenzó con precios supremamente altos y con terminales exclusivos y que ya hoy en día es mucho más sencillo adquirir un terminal, teniendo gran variedad de modelos y de diversas tecnologías, incluso se llega a pensar que la red 4G no debe ser un servicio privilegiado, sino un servicio común que deben prestar los operadores para sus usuarios sin costos adicionales como sucede con las redes 3G, aunque ya estamos empezando a ver esto en el país gracias a la gran competencia, es muy probable que con el pasar del tiempo y la gran competitividad que tenemos con 7 redes LTE desplegadas, muy pronto la tecnología 4G será algo muy común para todos los colombianos, por ello se debe conocer sus principales características técnicas que nos mostrara el gran cambio que hubo al pasar de la tecnología 3G a la tecnología 4G y que permita conocer mejor de que se trata esta nueva tecnología y los avances que se van teniendo en nuestro país.

Además de esto es muy importante que se conozca la normativa técnica y el estándar que deben cumplir los operadores móviles en nuestro país para poder lograr la implementación y expansión de las redes 4G, pues esto afecta directamente al usuario, ya que una mala instalación de una antena o un terminal defectuoso puede causar graves daños a la salud, y una mala implementación de seguridad en el core podría afectar las finanzas y la privacidad, pues si no hay seguridad en el core toda la información que se usa en los terminales será fácilmente vulnerable, y con el desarrollo que han tenido los mismos la información que se maneja hoy en día en los terminales es demasiado confidencial y no se quiere de ninguna manera que esta información caiga en manos de personas inescrupulosas.

Esta normativa técnica y estándares a seguir comienzan en el terminal, donde el mismo debe estar aprobado por la CRC y cumplir con ciertos parámetros de seguridad ya sea para que no cause daño físico y también para que pueda brindar el servicio correcto en las redes 4G, luego

se tiene el acceso a la red que es el estándar que deben cumplir las antenas, así mismo controlar la potencia que irradian las mismas para no afectar al usuario, y también cumplir con las características técnicas para que se pueda brindar correctamente el servicio de 4G, finalmente llegando al core donde se realizan los permisos de acceso a la red, toda la gestión de los datos y la seguridad, por todo esto los usuarios debemos conocer lo que se deben cumplir en estas partes para brindarnos un buen servicio y estar seguro que no afectan nada ni a nadie en la sociedad y que además la ciudadanía pueda conocer cómo funciona y como se implementó en Colombia.

4 REVISIÓN SISTEMÁTICA DEL AVANCE PÚBLICO NACIONAL Y MUNDIAL DE LA INFORMACIÓN Y DEL CONOCIMIENTO ACTUAL

Durante los últimos 5 años después del lanzamiento de LTE en 2009 por TeliaSonera se ha experimentado un crecimiento muy grande en las redes de LTE a nivel mundial. Este incremento se ve reflejado en las cifras que se tienen actualmente, hoy en día se cuenta con más de 300 redes LTE en 111 países. En Colombia se cuenta en la actualidad con 7 redes de LTE siendo el segundo país en Sur América con más redes después de Brasil que cuenta con 7 redes pero planea lanzar 3 más próximamente. Para finales de 2014 se esperó un crecimiento a nivel mundial de 350 redes de LTE, para el 2019 se espera un crecimiento aun mayor, se estima que habrá 1800 millones de usuarios de LTE lo que equivaldría al 22% de usuarios de la telefónica móvil.

En Colombia las redes 4G fueron lanzadas en diciembre del 2013 donde el primer operador en lanzar la red a nivel comercial fue Movistar y al día de hoy el operador con mayor despliegue de infraestructura y cobertura es claro que tiene cobertura en más de 100 municipios y 28 ciudades capitales, se estima que actualmente el 75% de la población del país tiene acceso a estas redes de 4G. En Colombia el desarrollo fue tal que como ya se mencionó somos el segundo país en sur América con más redes de LTE contando con 7 redes en funcionamiento y una gran competencia entre los operadores para su despliegue y cobertura.

5 OBJETIVOS

- Realizar un estudio técnico sobre el estado actual y las principales características usadas actualmente en la tecnología 4G.
- Recopilar y entender información de los últimos desarrollos de la tecnología 4G de fabricantes reconocidos.

- Analizar el estado actual en el que se encuentra a nivel nacional la tecnología 4G.
- Dar a conocer un documento técnico, donde un lector pueda entender y conocer la implementación de 4G de acuerdo a normas y estándares.

6 METODOLOGÍA

Para realizar el documento primero se realizó la búsqueda de información de todos los decretos creados por la CRC, que tuviesen relación con la telefonía móvil, en aspectos tales como terminales e instalación de antenas, se encuentran varios decretos que reglamentan el uso de terminales y las características deben cumplir los mismos para ser homologados como terminales 4G, esto con el fin de garantizar la calidad de terminales que nos pueden llegar a vender los operadores móviles y que estos puedan cumplir con las características técnicas necesarias para usar las redes 4G, además de esto se encuentran varios decretos que reglamentan la implementación de antenas, principalmente para proteger al usuario, pues una antena que no cumpla con las condiciones puede generar una radiación más alta de la permitida y causar graves problemas en la salud. Para lograr obtener estos decretos se dirigió personalmente a la CRC (Comisión de regulación de comunicaciones) en la ciudad de Bogotá, donde se brindaron los decretos que reglamentan la implementación de 4G en el país y decretos que reglamenten aspectos de telefonía móvil como tal, luego se tomó la información más pertinente de estos decretos, se entendieron y complementaron con las demás normativas existentes para así dar a conocer la información más importante hallada en los diferentes decretos ya establecidos.

Para obtener la información de las principales características y estándares usados en LTE, se tomaron documentos técnicos de empresas multinacionales como fue Vodafone España una importante empresa de telecomunicaciones en España, donde explica detalladamente en 500 paginas todas las características técnicas para la implementación tanto física como de software de la tecnología 4G, cabe aclarar que este estándar fue seguido en Colombia para la implementación de LTE. Además de ello se consultó cómo se implementó LTE en grandes empresas de telecomunicaciones en Colombia y que cuentan con gran despliegue de la red LTE en gran parte del territorio nacional como lo son Movistar y Claro, de donde pudimos obtener importantes documentos técnicos de la forma como esta implementado 4G en nuestro país y los aspectos técnicos más relevantes que se tuvieron en cuenta a la hora del desarrollo de dicha tecnología mostrándonos los puntos más relevantes y complicados a la hora de realizar el lanzamiento de dicha red para cada operador y la manera como lo unieron con las anteriores tecnologías como lo son 3G y 2G donde debe haber una perfecta convergencia, además en dichas empresas se pudieron ver las principales características técnicas con las que cuenta LTE en Colombia y se observan algunas diferencias con el estándar descrito en el documento técnico anteriormente mencionado.

De esta forma se logra obtener la información que buscábamos y de fuentes muy fiables donde se puede estar seguro que la información es verídica y real en todos los aspectos que buscaba.

7 MARCO TEÓRICO

Con base en la investigación titulada estudio de las características técnicas de LTE y su nivel de concordancia con los requerimientos de IMT-avanzado establecidos por la Unión Internacional de Telecomunicaciones realizado en el año 2011, por Jose Fernando Restrepo piedrita, docente de la universidad nacional. En su estudio técnico sobre LTE, muestra detalladamente la evolución que ha tenido LTE a lo largo de los años y las características técnicas que el mismo tiene, mostrando los documentos técnicos donde están los requerimientos técnicos para la nueva tecnología desarrollada por la 3GPP en sus Release 7, 8 y 9 que fueron saliendo paulatinamente y mejorando el estándar de LTE hasta llegar al rel 9 en el año 2009, que finalmente cumplió los requerimientos para la ITU para IMT avanzado. En el documento finalmente muestra las asombrosas características de LTE comparadas con las características técnicas de las tecnologías inmediatamente anteriores como lo son HSDPA en 3G, como lo son su latencia y la gran diferencia en ancho de banda parámetros de seguridad y demás. Por este motivo se tuvo en cuenta para el proyecto de investigación. [8].

8 MARCO CONCEPTUAL

Orthogonal Frequency División Multiplexing OFDM: Este método de modulación fue escogido para la descarga en datos por LTE por que brinda un mejor aprovechamiento del espectro, reduce el efecto ISI (interferencia entre símbolo) y proporciona una mejor protección contra en fading o debilitamiento de la señal, este tipo de modulación se basa en el uso de frecuencias ortogonales entre sí, es decir podemos añadir varias portadoras en el mismo espacio de frecuencia de una portadora simple, y que al ser ortogonales entre si no genera ninguna interferencia entre ellas, además esta técnica puede ser mejorada con OFDMA donde se le asigna una subportadora a cada usuario aprovechando aún más el espectro, lo cual es una gran ventaja puesto que cada vez es más difícil acceder a una frecuencia de espectro para transmitir y estas cada vez son mucho más costosas. En la figura 1 podemos ver como se divide la frecuencia en subportadoras en OFDMA.

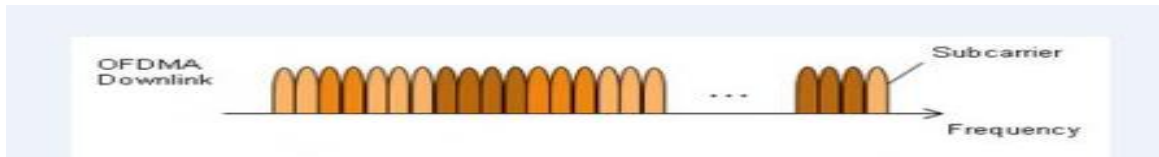


Figura 1. OFDMA. Fuente (3GPP.ORG).

Múltiple Input Múltiple Output – MIMO: Es una de las principales innovaciones que la tecnología LTE utiliza para mejorar el rendimiento del sistema, puesto que le proporciona una mejor transferencia de datos y una mejor utilización del espectro, incluso por encima de la obtenida con el uso de OFDM. Esta tecnología emplea la propagación por trayectorias múltiples, que en los estándares de radio transmisión habituales se percibe como interferencia perturbadora, En los sistemas MIMO sin embargo, cada ruta adicional entre el transmisor y el receptor amplía la distancia entre la señal y el ruido. La recepción por trayectorias múltiples beneficia especialmente a las aplicaciones móviles dado que se puede reducir el nivel de recepción mínimo. Por estas características especiales esta tecnología se hizo fundamental para la implementación de LTE y así poder brindar todas las características que marcan la diferencia con respecto a las tecnologías anteriores en la figura 2 podemos ver un mejor ejemplo con las múltiples antenas transmitiendo y múltiples antenas en el terminal recibiendo.

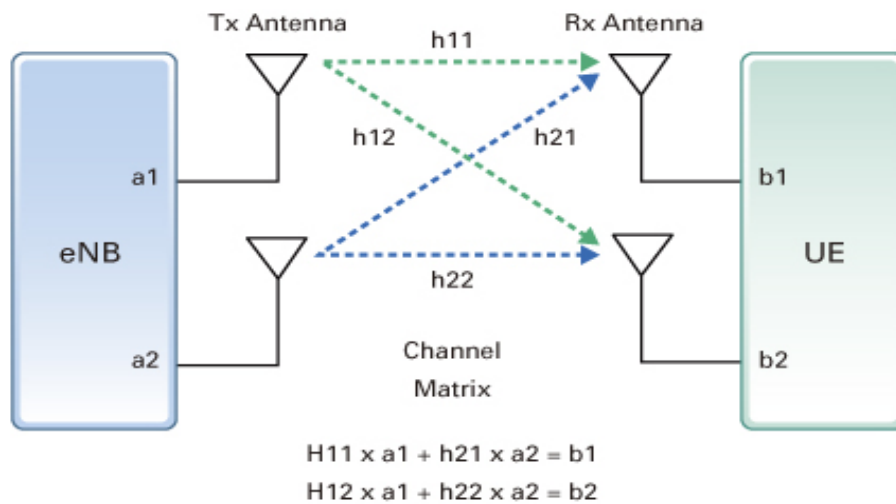


Figura 2. MIMO. Fuente (artiza.co.jp).

Arquitectura básica EPC: El diseño de la red troncal de LTE fue elaborado principalmente pensando en una conectividad IP, mediante una arquitectura de red optimizada que permite explotar las nuevas capacidades que ofrece la red de acceso E-UTRAN. Esta arquitectura también fue pensada para lograr conectividad a través de las otras redes de acceso ya sea GERAN, UTRAN, Wimax o CDMA, para lograr esto esta arquitectura se compone de 3 elementos principales como son el MME que es el encargado del plano de señalización y control, el S-GW y P-GW que son los encargados del plano de usuario. Gracias a esta arquitectura LTE tiene acceso a las demás redes por medio del P-GW, y se puede establecer la comunicación entre un usuario que este en cobertura 2G o 3G con un usuario que esté usando la red de acceso de LTE, lo cual era una de las prioridades para esta tecnología, además de ello se simplifica mucho la arquitectura con respecto a las implementadas en 2G y 3G, en la figura 3 podemos ver la arquitectura EPC resumida.

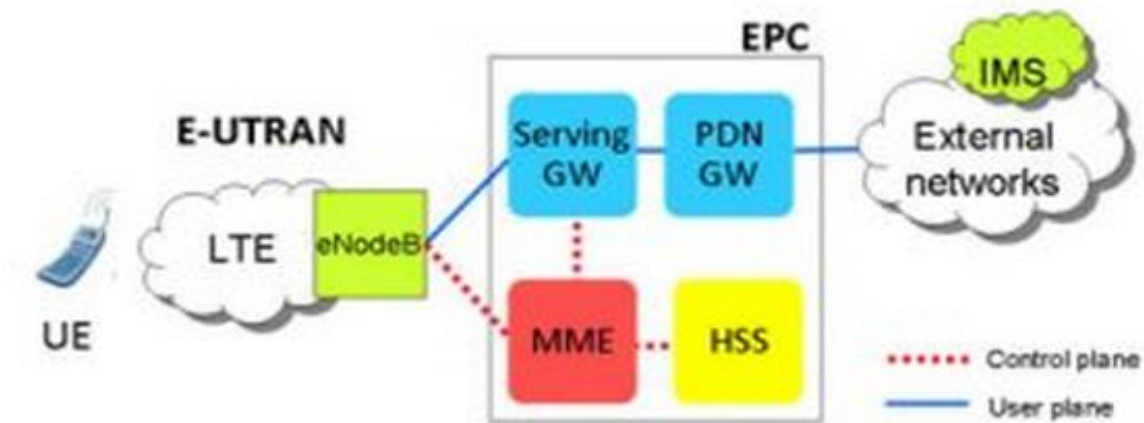


Figura 3. ARQUITECTURA EPC. Fuente (3gpp.org).

Bandas de frecuencia: Las bandas de frecuencia son intervalos de frecuencias del espectro electromagnético que se asignan para diferentes usos en las radiocomunicaciones, son reguladas por la UIT y varían según el lugar, para la telefonía móvil se usa la parte del espectro UHF ultra alta frecuencia, la comprende entre 300Mhz y 3000 MHz. en el caso de la telefonía móvil cada país decide que frecuencias usar y varía dependiendo del operador también, esto de acuerdo a lo que les sea más fácil de implementar para cada uno o las frecuencias que se encuentren disponibles en el momento.

Terminales Móviles: La telefonía móvil está conformada por dos grandes partes, la red de acceso y los terminales que son capaces de acceder a ella, estos terminales son más conocidos como celulares, el cual es un dispositivo electrónico inalámbrico capaz de acceder y utilizar los servicios de la red móvil. En los últimos tiempos estos dispositivos han tenido un gran avance con el fin de poder acceder a la gran variedad y cada vez mejores velocidades y servicios de la red móvil, en el caso de terminales para acceder a la red 4G, los cuales en un

comienzo debían ser solo de alta gama y se contaba con una pequeña variedad, pero con el pasar del tiempo y el gran despliegue de la red de 4G estos terminales han ido creciendo en su variedad y precio pudiendo conseguirse hoy en día una gran cantidad de terminales con las características necesarias para acceder a red de 4G y poder soportar sus niveles de velocidad, en estos momento una de las limitaciones para alcanzar aún mayores velocidades en las nuevas tecnologías son los terminales capaces de soportar estas mismas, comprendiendo así los terminales móviles una parte importante para el despliegue e implementación de la tecnología 4G.

K: Clave de seguridad intermedia utilizada en el sistema LTE para la obtención del conjunto de claves utilizadas en los diferentes servicios de confidencialidad e integridad. Esta clave se deriva de unas claves denominadas CK (Ciphering Key) e IK (Integrity Key) que son las utilizadas en UMTS. Por este motivo, a partir de un vector de autenticación válido en LTE puede derivarse un vector para UMTS (cinco parámetros en lugar de cuatro) y viceversa.

HSS Home Subscriber Server: El Servidor HSS registra información de los suscriptores y se comunica con el resto de la red para realizar autenticación y autorización. El Servidor HSS, como parte de una red convergente, puede autenticar usuarios para un amplio espectro de servicios de próxima generación, incluyendo internet inalámbrico y fijo, vídeo, voz, contenidos y otros servicios. El Servidor HSS cumple con todos los nuevos estándares definidos por 3GPP, permitiendo que la red se encuentre lista para una real convergencia fijo-móvil y tecnologías IMS, así como también ayudando a la creación de un Sistema de Paquetes Evolucionado (Evolved Packet Core – EPC).

EPS AKA Authentication and Key Agreement: El mecanismo EPS AKA asegura que las claves de cifrado e integridad no se han utilizado anteriormente. El mecanismo es compatible con otros sistemas 3G debido a que los principales organismos de estandarización (3GPP, 3GPP2) han adoptado el mismo protocolo de autenticación. El mecanismo EPS AKA puede soportarse con una tarjeta USIM Release 99 o posterior.

9 NORMATIVA PARA LA HOMOLOGACION DE TERMINALES

Según lo señalado en el artículo 22 numeral 8 de la Ley 1341 de 2009, corresponde a la Comisión de Regulación de Comunicaciones determinar estándares y certificados de homologación internacional y nacional de equipos, terminales, bienes y otros elementos técnicos indispensables para el establecimiento de redes y la prestación de servicios de telecomunicaciones aceptables en el país, además de esto la Comisión de Regulación de Comunicaciones debe propender por la eliminación de barreras técnicas al comercio de equipos terminales de telecomunicaciones, así como simplificar su proceso de homologación y a su vez, procurar por la protección al usuario de los servicios de telecomunicaciones asociados[19].

Teniendo en cuenta que en el año 2013, el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones realizó adjudicaciones de espectro en la banda 4 - AWS (1700 – 2100 MHz) y la banda 7 de 2.500 MHz, con el fin de que los proveedores de redes y servicios de

comunicaciones ofrezcan servicios móviles de cuarta generación (4G), es necesario que los equipos terminales móviles cuenten con las capacidades para hacer uso de esas bandas de frecuencia, y que dentro del proceso de homologación establecido se verifique el cumplimiento de las normas y estándares aplicables a la banda o bandas en las que operen dichos equipos.

Esta homologación es de suma importancia pues en estudios realizados por los fabricantes se evidencio que algunos terminales podían estar fabricándose con materiales peligrosos para la salud e inclusive podrían tener software malicioso; estos equipos, conocidos como subestándar se parecen a aquellos producidos por fabricantes legítimos pero que no han sido sujetos a pruebas ni tienen certificaciones, por lo cual podrían afectar las condiciones técnicas de operación de las redes y no garantizarían los niveles máximos permitidos de radiación para los usuarios[20].

Es claro que con el pasar del tiempo abran más equipos homologados para trabajar con las frecuencias disponibles para 4G en Colombia, por ello al momento de realizar la exhibición de terminales para la venta, se debe especificar claramente las bandas de frecuencia con las que puede trabajar dicho terminal, y además especificar claramente las características técnicas de dicho terminal con el fin de proteger los derechos del consumidor.

Dichos terminales deben cumplir con unas normas técnicas específicas, en una extraña decisión por parte de las CRC los terminales que trabajen con la banda de frecuencia AWS (1700/2100 MHz) deben cumplir con la norma FCC parte 27 y los que trabajen con la frecuencia de 2500 MHz, deben cumplir con la norma ETSI EN 301 908-13 ETSI EN 301 489-24.

Los terminales también deben cumplir con un límite de radiación que se mide en SAR, la exposición de celulares es más bien compleja si se compara con la exposición de una radio base como tal, pues este está mucho más cercano al cuerpo y además afecta una parte específica del cuerpo y delicada como lo es la cabeza, Pasa a ser necesario limitar no sólo el valor promedio de SAR en el cuerpo humano sino también el valor de pico del SAR en una dada región del cuerpo humano, debido a la proximidad del terminal, principalmente de la cabeza[21].

Por ende fueron establecidos los siguientes valores límites de SAR de peor caso medidos para un terminal móvil que se muestran en la tabla 1 dependiendo de la institución que lo decreta, en Colombia cumplimos la dictada por la ICNIRP.

Tabla 1 límites de SAR de peor caso medidos para un terminal celular: [21].

	ICNIRP	ANSI
Ocupacional	10W/kg	8W/kg
Publico	2W/kg	1,6W/kg
Masa del cubo	10g	1g

El valor máximo de SAR es específico para cada terminal, por lo tanto siempre se debe revisar.

Estos límites buscan prevenir los daños que puede causar el aumento de temperatura en el cuerpo y más en una parte tan sensible como es la cabeza, donde pudiese causar daños irreversibles, y más con campos de RF de alta intensidad que se ha demostrado que causan grandes daños en los tejidos que son irreversibles y con terribles consecuencias para la salud, aunque por extrañas razones no se han hecho estudios profundos sobre los daños que puede causar las exposiciones a campos de RF de baja intensidad se debe tener un especial cuidado con ello y se recomienda preferiblemente usar manos libres para usar los dispositivos móviles también Para terminales celulares es importante verificar el SAR del aparato utilizado. Este valor puede ser encontrado en el manual del aparato o en la página específica de proveedor [21].

10 **NORMATIVA TÉCNICA PARA EL ACCESO A LA RED MÓVIL LTE**

Como dice en la constitución política de Colombia, todos los ciudadanos tienen derecho a un ambiente sano, y corresponde al estado velar por ello. Todas las formas de energía radiante, distintas de las radiaciones ionizantes que se originen en lugares de trabajo, deberán someterse a procedimientos de control para evitar niveles de exposición nocivos para la salud o eficiencia de los trabajadores, pero sabemos que es deber también del gobierno Nacional promoverá la cobertura nacional de los servicios de telecomunicaciones y su modernización, a fin de propiciar el desarrollo socio económico de la población [17].

Se sabe que la creciente demanda en las telecomunicaciones por parte de la población en el país ha generado la necesidad de construir un elevado número de instalaciones radioeléctricas, con el fin de ampliar los niveles de calidad y cobertura de los servicios y garantizar el acceso de los mismos a todas las personas, actividad que genera emisión de ondas electromagnéticas, dicha modificación de las condiciones en el ambiente condujo a que el Gobierno Nacional, a través de la Comisión de Regulación de Telecomunicaciones, con el fin de valorar los aspectos asociados a la radiación producida por emisores intencionales de radiación o antenas de telecomunicaciones, contratara un estudio con la Pontificia Universidad Javeriana cuyo resultado fue el documento "Estudio de los límites de

exposición humana a campos electromagnéticos producidos por antenas de telecomunicaciones y análisis de su integración al entorno". Dicho estudio recomendó la adopción de los niveles de referencia de emisión de campos electromagnéticos definidos por la Comisión Internacional para la Protección de la Radiación No Ionizante, Icnirp, ente reconocido oficialmente por la Organización Mundial de la Salud, OMS [18].

Los niveles aceptados de máxima exposición se muestran en la siguiente tabla donde el rango que debe cumplirse para las antenas de LTE sería el rango de 2 a 300 GHz tanto en ocupacional como público en general, y el tiempo promedio para estas exposiciones es de 6 minutos.

Límites máximos de exposición según la frecuencia de operación.

Tabla 2 valor de exposición a campos electromagnéticos [22].

Tipo de exposición	Gama de frecuencias	Intensidad de campo eléctrico E (V/m)	Intensidad de campo magnético H (V/m)	Densidad de potencia de onda plana equivalente, S (W/m ²)
Ocupacional	9 - 65 KHz	610	24,4	-
	0,065 - 1 MHz	610	1,6/f	-
	1-10 MHz	610/f	1,6/f	-
	10 - 400 MHz	61	0,16	10
	400 - 2.000 MHz	3 f ^{1/2}	0,008 f ^{1/2}	f/40
	2 - 300 GHz	137	0.36	50
Público en general	9 - 150 KHz	87	5	-
	0,15 - 1 MHz	87	0,73/f	-
	1-10 MHz	87/f ^{1/2}	0,73/f	-
	10 - 400 MHz	28	0,073	2
	400 - 2.000 MHz	1,375 f ^{1/2}	0,0037 f ^{1/2}	f/200
	2 - 300 GHz	61	0,16	10

Hay otro caso a evaluar, y es si hay exposición simultánea de fuentes, es decir, Aun cuando los niveles de emisión de las distintas estaciones radioeléctricas que se encuentran dentro de una determinada zona, cumplan de manera individual con los límites señalados en la Tabla 2, se debe verificar que el nivel de exposición porcentual para campo eléctrico o magnético sea menor a la unidad, menor al ciento por ciento (100%), según la banda de frecuencia estudiada. En caso de que en alguna zona el nivel de exposición porcentual llegase a ser mayor a la unidad, debe medirse el nivel de emisión de cada fuente radiante o estación radioeléctrica, e identificar cuáles de ellas supera el límite máximo de exposición correspondiente a su frecuencia de operación. Aquellas fuentes radiantes o estaciones radioeléctricas que lo superen deben ajustarse empleando técnicas de mitigación que permitan mantener los niveles de emisión dentro de los márgenes permitidos, tales como: Aumentar la altura de las antenas, uso de apantallamientos o mecanismos similares de protección, limitar la accesibilidad de personas a la zona ocupacional en cuestión, reducir la potencia de emisión, trasladar la fuente de radiación a otro sitio, entre otras, hasta que cada una de ellas emita por debajo de su respectivo límite. Cuando el tamaño del predio lo permita, se podrá trasladar la delimitación de las zonas de exposición a campos electromagnéticos, siempre y cuando la nueva delimitación entre la zona ocupacional y la de público en general siga estando dentro del predio donde se encuentran las estaciones radioeléctricas. Si una vez cumplido lo anterior, el nivel de exposición porcentual continuase siendo mayor a la unidad, todas las fuentes radiantes deben mitigarse proporcionalmente al aporte que realiza dicha fuente radiante [22].

También para la autorización de instalación de las antenas y demás instalaciones radioeléctricas, los municipios y distritos deberán tener en cuenta las disposiciones que en materia de medio ambiente y recursos naturales renovables hayan expedido las autoridades ambientales, y en el caso de que en una estación radioeléctrica con más de una persona natural o jurídica autorizada para el uso del espectro, requiera emplazar sus antenas transmisoras sobre la misma infraestructura de soporte, tales como: Torres, mástiles, edificaciones, entre otras, deben verificar que el nivel de exposición porcentual no exceda a la unidad, En tal sentido, los operadores de Estaciones radioeléctricas se suministrarán mutuamente los datos técnicos necesarios para realizar el estudio y verificar el cumplimiento individual y conjunto. En caso de presentarse diferencias con ocasión del cumplimiento de los límites de exposición, en las zonas donde se presentan múltiples fuentes radiantes, y los propietarios de las mismas no ajustan la radiación de la estación radioeléctrica o demás condiciones para el cumplimiento del Nivel de Exposición Porcentual, el Ministerio de Comunicaciones impondrá las sanciones a que haya lugar por el incumplimiento.

Adicionalmente los operadores de estaciones radioeléctricas deberán consultar los lineamientos contenidos en los textos y cuadros de la Recomendación UIT-T K. 52, según corresponda, para la determinación de las distancias y/o alturas necesarias para determinar la zona de rebasamiento y delimitar la zona ocupacional, alrededor de las antenas a la cual debe

limitar el acceso del público en general, por medio de barreras físicas y señalización adecuada [19].

Otra norma que se debe cumplir es no superar los límites de exposición basados en el SAR (Specific Absorption Rate”) que es la tasa de absorción de energía por tejido del cuerpo, en Watt (Vatios) por kilogramo (W/kg), específica para una determinada fuente de energía electromagnética. Es la medida dosimétrica utilizada para establecer límites a la emisión de radiación por campos electromagnéticos no ionizantes.

Al definirse el SAR, se buscó establecer una unidad de medida correlacionada a los efectos de la elevación de la temperatura del cuerpo.

Para la radiación emitida por sistemas celulares no es posible establecer una definición simple de dosis y correlacionada a los efectos de la elevación de la temperatura. Las ondas electromagnéticas penetran mucho más en el cuerpo que la luz o el infrarrojo los cuales son absorbidos en los primeros milímetros de la piel.

El aumento de la temperatura depende de muchas variables, como son la potencia del campo magnético, la frecuencia a la que este esté irradiando, como también del cuerpo humano y su capacidad de termorregulación.

Hay evidencias que demuestran que la exposición del cuerpo humano a un una determinada radiación por 30 minutos generan un SAR de 1 a 4W/kgr, lo que genera un aumento en la temperatura del cuerpo en menos de un grado celsius. Pero la exposición a campos magnéticos más intensos, que generen un SAR mayor a 4W/kgr, podrán generar un aumento en la temperatura tal que el cuerpo no tendrá la capacidad de autorregulación de la temperatura causando efectos nocivos en los tejidos.

Los límites de exposición fueron dictados por la ICNIRP, sigla en inglés de la Comisión Internacional de Protección Contra las Radiaciones No Ionizantes y son basados en el SAR, que además depende de unas variantes:

- Onda plana: con el hombre de pie paralelo al campo magnético, que tendría la mayor absorción.
- Tiempo de medición para la prueba: se aconseja que sean 6 minutos para una correcta medición y relación de temperatura contra intensada de campo magnético.

El ICNIRP estableció los niveles de exposición para los profesionales del área (ocupacional) y público en general, con factores de seguridad de 10 y 50 veces en relación al umbral para efectos irreversibles como se ve en la tabla 3. [21].

Tabla 3 niveles de exposición [21].

	SAR	Factor de seguridad
Efectos irreversibles	$> 4\text{W/kg}$	-
Limite ocupacional	$0,4\text{W/kg}$	10
Limite público en general	$0,08\text{W/kg}$	50

Los efectos térmicos de este tipo de radiación están bien definidos y los valores de SAR promedio y localizado establecidos en las normas ofrecen protección con factores de seguridad adecuados.

11 SEGURIDAD DE ACCESO A LA RED

La seguridad en la parte de acceso es un factor muy importante a tener en cuenta, pues el core de acceso se compone principalmente por interfaces de radio que son muy vulnerables y por donde viaja información confidencial, tanto de señalización como datos de usuario, y cualquier persona con conocimientos básicos en telecomunicaciones podría llegar a observar el tráfico que cursa por estas interfaces, ahora, esto no significa que pueda entenderlas, y de esto se debe encargar el área de ingeniería que maneja la seguridad en el core de acceso, llevándolo a cabo con diferentes métodos para brindar dicha seguridad, como lo son mecanismos de confidencialidad e integridad en todas las interfaces de radio, como la señalización NAS y la señalización RRC cursada en la interface de radio entre el eNB y el terminal, además del plano de usuario de las mismas como se ve en la figura 4. También aparte de un posible robo de información, se debe procurar por proteger el acceso a la red, pues no se debe permitir que cualquier ente pueda ingresar a la red, y si tiene permiso de acceso que se delimite claramente los permisos que tiene en la red, pues un ente mal intencionado que tenga acceso a la red puede llegar a causar muchos problemas y gran vulnerabilidad en la seguridad, este problema se debe evitar con un buen sistema de autenticación en la red como el que brindan para LTE la combinación entre el MME y el HSS como se ve en la figura 4. La mayor parte de esta seguridad se brinda por medio de la generación de claves secretas y un adecuado manejo de las mismas.

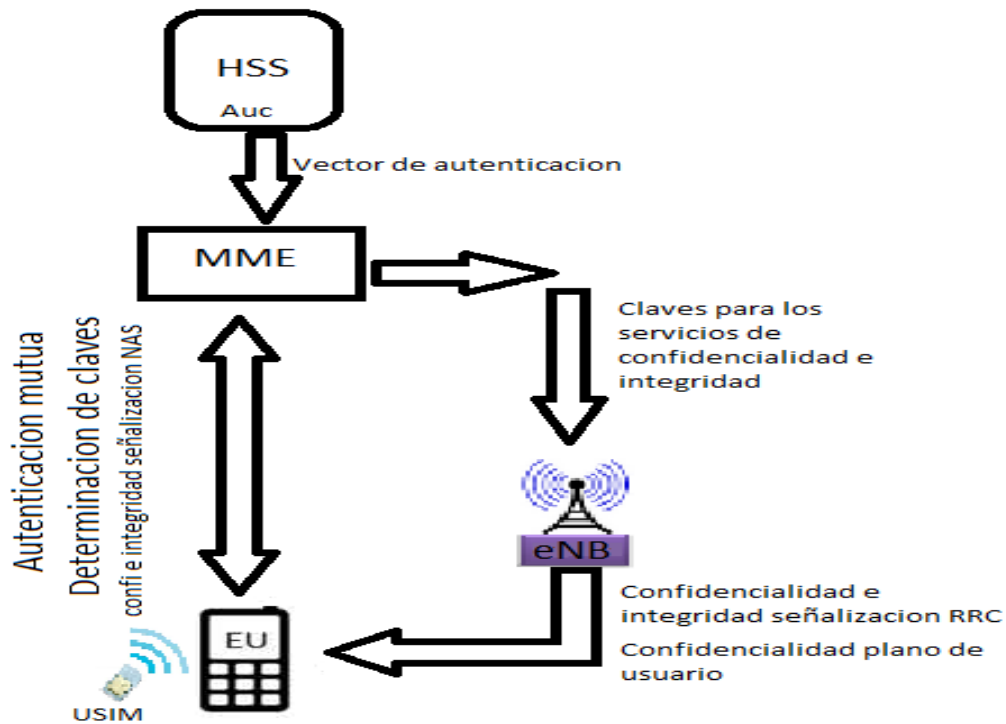


Figura 4. Enlaces de seguridad. [Fuente propia].

Las claves usadas para la seguridad en el core de acceso tienen un origen en común, todas descienden de una clave principal, denominada la clave K, que se encuentra en el Authentication Center, el cual hace parte del HSS, además de estar en el HSS está clave también se encuentra en el terminal, en la USIM para ser más exacto, donde está impresa como tal. De esta clave descienden todas las claves a utilizarse, comenzando con la generación del vector de autenticación que llega hasta el MME y al terminal. Este vector de autenticación se compone de 4 parámetros principales que son: RAND, XRES, AUTN y la clave K Asme. El RAND es un número aleatorio que se utiliza en la SIM para la generación de las claves, esto se logra combinándolo con el AUTN, que es el parámetro que permite la autenticación del usuario, el algoritmo realizado con estos dos parámetros da como resultado el XRES que permite la generación de la clave K Asme que es lo que realmente usa el MME para soportar las demás claves que se deben generar. Este vector de autenticación debe generarse tanto en el terminal como en el HSS para así poder soportar la demás generación de claves sin que estas tengan que viajar nunca por las interfaces de radio.

Otro parámetro que se usan en la generación del vector de autenticación es la IMSI (International Mobile Subscriber Identity) que funciona como la cedula de un abonado, pues no pueden haber dos IMSI idénticas en el mundo para dos terminales, además que funciona para la identificación del usuario en el acceso a la red, y que las entidades como el MME puedan saber a qué país y a que red pertenece cada abonado. La IMSI además va acompañada del SQN, el cual es un número de secuencia que brinda más seguridad al usar la IMSI para la generación de claves. El otro parámetro usado en la generación del vector de autenticación

es el SN-ID que es el identificador de la red que brinda el servicio y que puede variar en caso de roaming.

Con la mezcla de estos parámetros se genera el vector de autenticación como se ve en la figura 5.

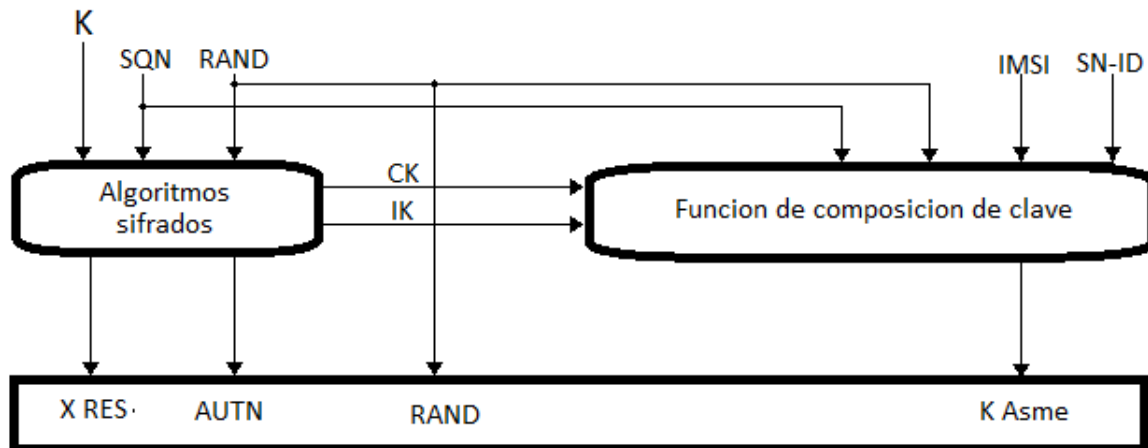


Figura 5. Vectores de autenticación en LTE. [Fuente propia].

La MME utiliza este vector de autenticación para soportar toda la seguridad que esta deba brindar en la red, además del vector de autenticación, más precisamente de la clave K Asme, se derivan las demás claves para la protección completa del acceso a la red. De la clave K Asme se derivan las claves necesarias para la protección de la señalización NAS como se ve en la figura 6, estas claves deben generarse tanto en el terminal como en la MME pues es allí donde tiene su final y comienzo la señalización NAS, ahora no se debe pensar que hay una interface de radio directa entre el MME y el terminal, como si ocurre entre el eNB y el terminal, la señalización NAS debe lógicamente viajar del terminal hasta el eNB y de allí ser retransmitida hacia el MME por medio de la interface S1-MME, solo que en un aspecto lógico se ve que esta señalización va desde el terminal hasta el MME. Además de derivarse las dos claves para la autenticación y confidencialidad de la señalización NAS, de la clave K Asme se deriva una tercera clave, que es la clave K eNB, la cual es derivada al eNB por medio de la interface S1-MME. Ya conociendo esta clave tanto el eNB como el terminal se pueden derivar las claves para la protección tanto del plano de control como para el plano de usuario que cursa entre estos dos entes, en este caso serán tres claves como se ve en la figura 6, dos para la protección de la señalización o plano de control y una para la protección del plano de usuario.

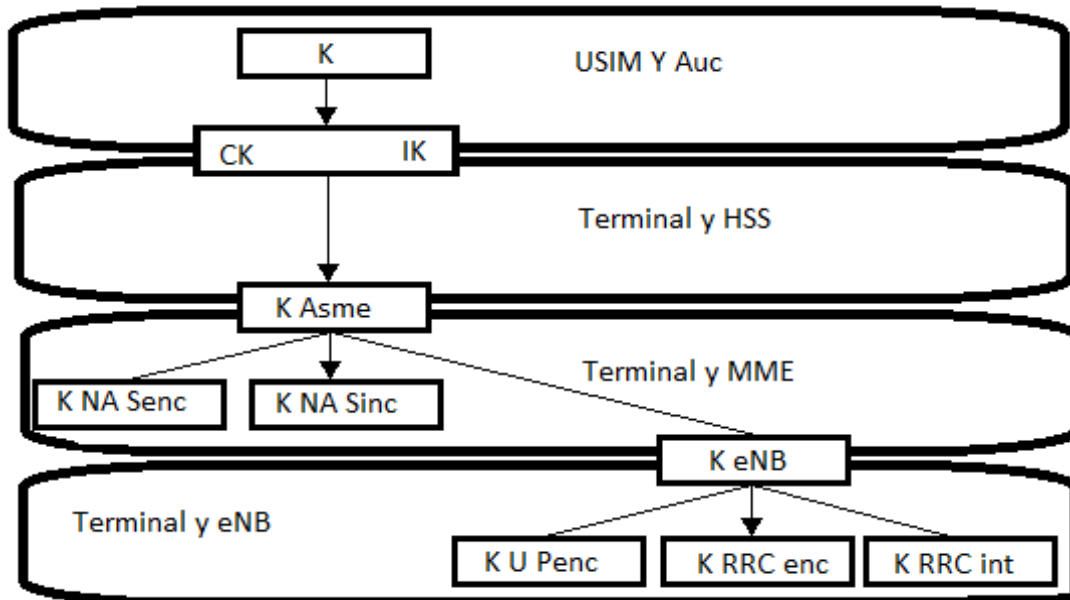


Figura 6. Jerarquías de claves de seguridad. [Fuente propia].

12 NORMATIVAS DE SEGURIDAD EN EL CORE DE LTE

Los diferentes mecanismos para garantizar la seguridad en la red, tienen un papel muy relevante y de suma importancia en las telecomunicaciones como ya se mencionó anteriormente, pues en un sistema de telecomunicaciones, y más al ser comunicaciones móviles viaja mucha información delicada en las interfaces de radio, que son el tipo de interface más vulnerable y de fácil acceso para personas inescrupulosas, en dichas interfaces viaja información tan delicada como claves bancarias, de correos, redes sociales y demás, es por esto que se debe tener un cuidado especial en la seguridad del acceso a la red, pero a aparte del acceso a la red, también se debe brindar protección en las diferentes comunicaciones que se tienen entre los diferentes equipos del core de LTE, que entre la más vulnerable se encuentra la comunicación entre los eNB pues por lo general la interface X2 es una interface de radio, o como ocurre en Colombia la comunicación entre los eNB se realiza a través de los MME y la interface S1-MME, la cual en algunas partes de su trayecto puede ser un enlace de microondas por donde viajara información muy delicada. La seguridad en la red en general se compone de 5 aspectos fundamentales que debe tener cualquier sistema de comunicaciones como son:

Autenticación: como ya se mencionó la autenticación es un aspecto muy importante en la red, pues permite que la red identifique el usuario que quiere acceder a esta y delimite muy bien sus funciones, además de que también el usuario pueda asegurarse que la red a la que quiere acceder sea la correcta, en LTE esto se lleva a cabo por medio de la entidad MME y

la base de datos HSS, los cuales utilizan las claves anteriormente mencionadas para soportar correctamente esta labor.

Control de acceso: como se menciona anteriormente el control acceso compone una de las partes más delicadas y vulnerables de la red en general y debe procurar evitar no solo la pérdida o robo de información sino también delimitar correctamente el acceso que tenga cada usuario, el control de acceso debe ir muy de la mano con la autenticación y la confidencialidad, solo la mezcla correcta de los tres factores brindara una protección adecuada.

Confidencialidad: la confidencialidad debe estar presente principalmente en las interfaces de radio, pues como también ya se mencionó por estas interfaces viaja información muy delicada, y la misión que debe cumplir la confidencialidad es que por más que un receptor pueda captar la señal transmitida no debe ser capaz de entender ni descifrar lo que allí se envía, esto se logra principalmente con la encriptación de dicha información. Además el nivel de confidencialidad puede llegar incluso al hecho de que el receptor no deseado no pueda saber cuándo se comenzó a transmitir ni cuanto se terminó de transmitir.

Integridad: además de poder espiar la información que viaja por las interfaces, también se puede alterar la misma, es por esto que se debe velar también por la integridad de la información, pues de esta manera se pueden efectuar diferentes ataques informáticos que podrían llegar alterar el correcto funcionamiento de la red, llegando incluso a generar un daño bastante grande y un deterioro en la prestación del servicio por parte del operador, lo que le puede llevar a grandes sanciones económicas por parte del gobierno.

No repudio: este servicio es más útil para llevar un correcto control dentro del core de LTE pues le permite a una entidad tener constancia de que recibió una información por parte de otra entidad, estas entidades puede ser cualquier equipo que forme parte del core de LTE ya sea un MME, S-GW etc., con el no repudio se puede verificar que una información está llegando desde alguna parte y la hora en la que esta llego.

Además de los aspectos que se deben tener en cuenta para la seguridad en la red en general, se elaboró por parte de la 3GPP un esquema completo de los factores de seguridad que se deben contemplar a la hora de brindarle protección tanto al usuario como al operador que brinda el servicio, este esquema se ve en la figura 7 y es para la red LTE.

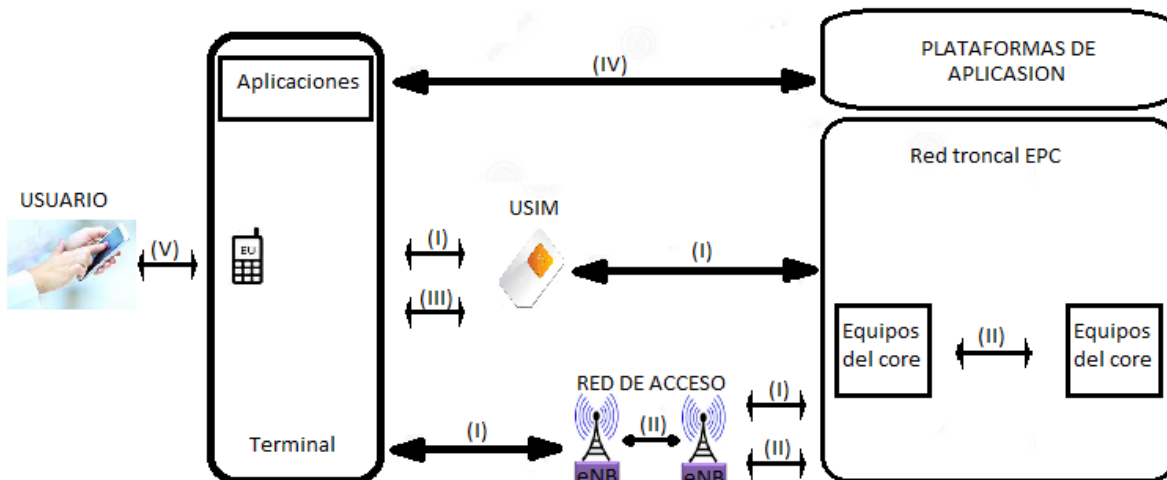


Figura 7. Esquema de la red con sus factores de seguridad. [Fuente propia].

La arquitectura de seguridad que se ve en la figura 7 esta partida en varios dominós, donde cada dominio cumple una función de seguridad específica, cada una tan importante como la otra pero con diferentes niveles de seguridad en cada una de ellas, en general son cinco dominios y se describen a continuación:

Seguridad de acceso a la red (I): Este dominio de seguridad como se ve en la figura 7 consta de los elementos ya mencionados, como son autenticación, confidencialidad e integridad, que son de vital importancia en las interfaces de radio que hacen parte del acceso a la red, como lo son las interfaces que hay desde el terminal hasta el eNB y del eNB hasta la EPC.

Seguridad en el dominio de red (II): La seguridad en el dominio de red es la protección que se debe prestar en la información que se transfiere entre los equipos que hacen parte del core de LTE, ya sea la información del plano de control que cursa entre el MME y el HSS, o la información de usuario que curse entre el S-GW y el P-GW, o la más delicada que sería la comunicación entre eNBs, la manera como se protege esta información se ve en el apartado **12.1** donde se ve como se encripta y protege dicha información.

Seguridad en el equipo de usuario (III): este dominio de seguridad es la protección que debe haber en el terminal del usuario en el uso de la USIM, pues de esto depende la correcta autenticación del usuario con la red y evitar suplantaciones de identidad, un ejemplo de esta seguridad es el uso de un PIN para poder acceder a la información que se encuentra en la USIM, esto lo puede decidir el usuario, pues desde el terminal se puede configurar los niveles de seguridad.

Seguridad en nivel de aplicación y servicios (IV): este dominio de seguridad es la parte encargada de brindar la seguridad al usuario cuando este quiere acceder a servicios complementarios como los que brinda el IMS o cualquier plataforma de servicios, estas plataformas pueden estar en la red de internet o en otra red diferente como las de 2G o 3G. Como se ve en la figura 7 esta seguridad es transparente para el core de LTE, pues este solo

crea un túnel IP hacia el servicio que solicite el usuario, y la seguridad en este dominio solo actúa entre el terminal del usuario y la plataforma a la que quiera acceder.

Visibilidad y configuración de la seguridad (V): este dominio de seguridad está especialmente en el terminal, y se trata de que el usuario pueda saber qué nivel de seguridad tiene el servicio al cual está accediendo y que además pueda configurarlo dependiendo de su necesidad. Un ejemplo del uso de este dominio está en la web, cuando navegamos desde un ordenador, donde podemos ver en la URL el nivel de seguridad que tiene la página web, esto observando el candado de colores que allí aparece. Como se ve en el uso de terminales móviles no es muy frecuente este servicio, y lo ideal sería que el usuario pueda ver el nivel de seguridad que tiene y pueda usar los servicios ofrecidos con tranquilidad.

12.1 SEGURIDAD EN LA INFRAESTRUCTURA DE RED

El método escogido para brindar la seguridad en las interfaces internas que componen el core de LTE fue Network Domain Security for IP (NDS/IP). Este método brinda los mecanismos de seguridad necesarios para una comunicación confiable entre los diferentes equipos que componen la red de un mismo operador, pero también la comunicación que puedan tener estos con equipos de otras redes, como en el caso de roaming, donde se realiza la consulta a base de datos (HSS) de otros operadores. Este método fue diseñado principalmente para la protección del plano de control que curse entre los equipos de la red que se basan en IP, como se sabe la red de LTE se basa completamente en comunicación IP, por esta razón este método también se usa para la protección del plano de usuario que cursa entre los diferentes equipos de la red y que son obviamente basados en IP.

Este método se basa en la utilización de IPSec, que es un conjunto de protocolos y algoritmos que se usan para la protección en la capa de red, y que además es capaz de gestionar las claves mencionadas en apartados anteriores. IPSec consta de tres protocolos, en este método se usan dos de ellos, el primero es ESP (Encapsulating Security Payload), el cual es un protocolo que encapsula los paquetes originales que se quieren transmitir entre dos entidades y forma un túnel entre las entidades para la transmisión segura de la información. Es de recordar que en varias interfaces entre los equipos del core se usa el protocolo GTP, el cual también encapsula los paquetes, por ende se puede decir que el paquete viaja doblemente encapsulado.

Este protocolo brinda los servicios de confidencialidad e integridad que son de alta relevancia en la red. La trama de este protocolo se muestra en la figura 8 donde se puede ver que la cabecera del paquete original queda cubierta por las cabeceras del protocolo y al final de la trama se encuentran los bits de relleno que son muy útiles para realizar correctamente el algoritmo de encriptación, pues por lo regular trabaja con tramas de bits completas. Después de estos bits de relleno se ven los bits de autenticación y cifrado, estos bits son los que cumplen la función de proporcionar la seguridad adecuada a toda la trama, pues es con esta parte de la trama con la que se realiza la autenticación y cifrado. Aclarando que la trama que se ve en la figura 8 es el protocolo ESP en modo túnel, pues este protocolo tiene la variante de modo transporte donde la cabecera original del paquete será la cabecera externa, esto con el fin de que los routers de la red puedan realizar el correcto enrutamiento.

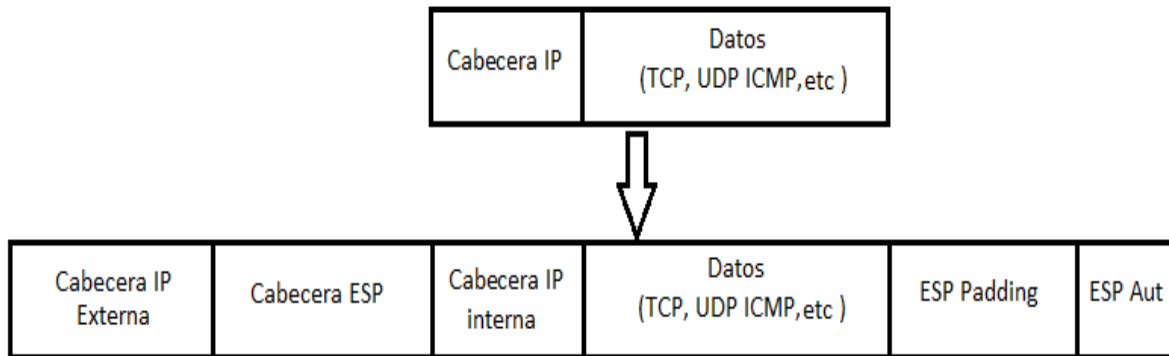


Figura 8. Formato de un paquete IPsec ESP en modo túnel. [Fuente propia].

El modo de uso de la aplicación IP Sec en el método NDS/IP varía dependiendo como se encuentre estructurada la red a nivel de dominios de seguridad. Estos dominios son decididos por el operador, y como ocurre en los operadores colombianos el dominio de red está compuesto por el core de LTE completo, aunque esto no significa que tenga que ser así, pues un operador más estricto en su nivel de seguridad podría separar el plano de control del plano de usuario en la red de LTE, siendo mucho más estricto en el nivel de seguridad del plano de control, donde va información confidencial de la empresa que podría llegar a ser usada en su contra de caer en la manos equivocadas.

En la figura 9 se ve como se realiza la comunicación entre las diferentes entidades que hacen parte de la red, estas entidades puede ser cualquier equipo de la red, ya sea el MME, el S-GW o el P-GW. Un ejemplo claro de lo que se ve en la figura 9 sería un dominio del plano de control conformado por el MME y el HSS comunicándose con el plano de usuario como sería el S-GW y el P-GW y que por decisión del operador están en dominios de seguridad diferentes. Como se ve en la figura para establecer la comunicación entre los dos dominios se debe usar una pasarela de seguridad (SEG), y para poder establecer la correcta comunicación entre entidades se debe usar el segundo protocolo que hace parte de IPsec como lo es IKE (Internet Key Exchange) el cual se encarga de la negociación de parámetros para las claves de seguridad que se van a usar en dicha comunicación.

El operador también puede decidir el nivel de seguridad que aplica en cada interface que comunique las diferentes entidades, dependiendo de lo delicada de la información y de la vulnerabilidad que esta tenga. Por ejemplo los operadores para la red de LTE tienen especial cuidado en la interfaces que son por enlaces de microondas como pueden llegar a la interface S1-MME y si hay, la interface X2.

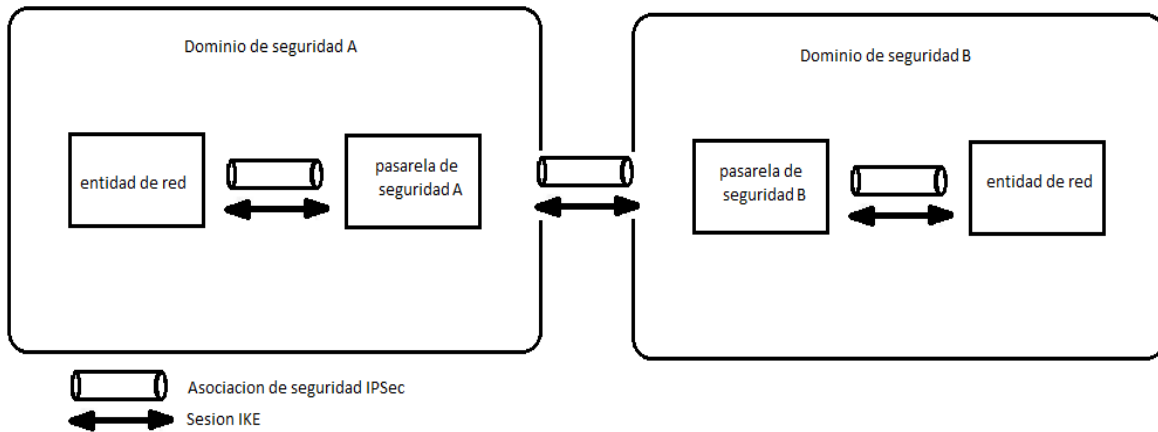


Figura 9. Arquitectura de la solución NDS/IP. [Fuente propia].

13 ESTUDIO TÉCNICO SOBRE EL ESTADO ACTUAL DE LTE

13.1 DESCRIPCIÓN DEL ESTABLECIMIENTO DE UN BEARER

Como es conocido, en estos momentos en Colombia la red de LTE está diseñada exclusivamente para la transmisión y recepción de datos ya que no cuenta con un core de CS (Circuit switch) para realizar llamadas de voz. Para realizar una llamada de voz actualmente se debe realizar un CS fallback descrito en el apartado **14.5** y solicitar recursos en las redes de 3G o 2G. A continuación se describirá como se lleva a cabo el proceso para poder realizar envío y recepción de datos en la red de LTE.

El procedimiento comienza desde el terminal, el cual debe estar homologado para trabajar en las bandas de frecuencia con las que cuenta Colombia para la utilización de la red 4G, que son AWS y 2500Mhz. El terminal quiere acceder a alguna información que se encuentra en la red de internet ya sea servicios de Yahoo!, Facebook, YouTube etc., este debe estar cubierto primeramente por un eNB (Envolved Node B) que es la radio base en LTE, la cual se encarga del control de la potencia, control de la movilidad y demás parámetros de RF (Radio Frecuencia). El eNB se conecta a la MME (Mobility Management Entity) por medio de la interface S1- MME la cual se basa en la pila de protocolos S1-AP. La MME se encarga de la Autenticación y autorización del acceso de los usuarios a través de E-UTRAN a partir de los datos de usuario obtenidos desde el HSS. La entidad MME es la entidad encargada del acceso por ende esta se conecta con el HSS (Home Subscriber Server) que es la base de datos donde está la información necesaria para el registro y autenticación, y se conecta a esta por medio de la interface S6a que se basa en la pila de protocolos diameter, estas dos interfaces S1-MME y S6a son las primeras en ser usadas, pues el primer procedimiento que debe realizar el terminal es el registro o “atache” a la red. Este proceso comienza con la creación

de un APN en el HSS, un APN es un nombre asociado con un perfil que se crea en el HSS, este perfil tiene la información básica de un abonado y lo que se hace es asociar el número móvil del terminal con este APN, es decir el número 316456XXXX se asocia con un APN de nombre X previamente creado en el HSS y que tiene un perfil asociado, de esta manera se crea o se da de alta el abonado en el HSS.

El HSS es muy importante en las redes móviles, pues es donde se guarda toda la información de los abonados, como los permisos que tiene, la calidad de servicio asociada, el ancho de banda asignado y demás información vital para la red móvil. Ahora el HSS no es el único equipo que tiene información del perfil de un abonado, supongamos que un usuario adquiere un plan de datos solo para redes sociales, por lo cual no tiene navegación libre en la red, este segundo perfil se crea en otro equipo importante en la red de LTE que es el PCRF (Policy and Charging Rules Function), este equipo se encarga de decidir los servicios específicos a los que puede o no acceder el usuario a nivel de aplicación. Entonces al crear un abonado se deben crear dos perfiles, uno en el HSS y otro en el PCRF. Supongamos que ahora el abonado que se acaba de activar quiere acceder a la red de LTE. El terminal debe tener configurado un APN para poder llevar a cabo el proceso de registro y establecimiento, si no lo tiene se debe configurar el nombre del APN en el terminal manualmente, o como ocurre en la mayoría de operadores, estos tienen una plataforma que se encarga de enviar esta información automáticamente. Después que el terminal ya tiene configurado el APN comienza el proceso de registro. Lo primero que hace el terminal es enviar un mensaje al MME diciéndole que quiere acceder a la red, el MME le responde con otro mensaje donde solicita la información básica de todo terminal, para poder saber si tiene o no tiene acceso a la red, entre la información que envía el terminal va el IMSI (International Mobile Subscriber Identity) que es la información básica que idéntica y hace único a cada terminal. De esta manera el MME puede saber si el usuario es de la red propia o si es un usuario que pertenece a otra red, en tal caso sería descartado de inmediato a menos que se tenga acuerdo de roaming como debe estar configurado en todos los operadores del país. Después que el MME comprueba que si pertenece a su red, procede a enviar un mensaje al HSS con la información necesaria del usuario, con el fin de que el HSS le responda si este usuario tiene permiso o no para acceder a la red, y el si el perfil concuerda con lo que solicita el abonado, el HSS recibe este mensaje y le responde al MME otro mensaje donde le envía información del perfil de este abonado con el fin de que el MME pueda comparar con la información que le envió el terminal, si la información coincide el MME le envía de nuevo un mensaje al HSS donde le informa la localización del abonado para que este la tenga en su base de datos y al mismo tiempo también actualiza dicha información en el MSS de overlay para que se puedan realizar llamadas de voz. Finalmente el MME envía un mensaje al terminal diciéndole que si tiene acceso a la red, es decir el terminal ya se registró en la red, pero aún no se ha levantado ninguna sesión de datos.

Ya con el terminal registrado, el MME le envía un mensaje al móvil pidiéndole la información del APN con la cual se quiere iniciar sesión, el terminal debe responder con la información solicitada y el MME procede a compararla con la información que obtuvo del HSS y la que le envía ahora el terminal, las cuales deben coincidir para poder continuar con la creación del BEARER (túnel o sesión desde el terminal hasta la red IP de internet), si la información es correcta, el terminal envía un mensaje pidiéndole al MME que le levante un bearer con el perfil del abonado enviado, lo que sigue ahora es que el MME busque un S-GW (Serving Gateway) que le preste un servicio a este móvil, pues el MME es el encargado de la parte de control pero no tiene nada que ver con la parte de usuario, de esto se encarga ahora el S-GW. El S-GW es el equipo encargado de actuar como pasarela del plano de usuario entre la conexión del E-UTRAN y la EPC (Evolved Packet Core) y funciona también como punto de anclaje para el usuario, es decir por más que el usuario se movilice lo atenderá el mismo S-GW. Es por esto que el eNB debe comunicarse también con el S-GW para enviar la información del plano de usuario, y lo hace a través de la interface S1-U, la cual se basa en la pila de protocolos GTP-U. Por ende, ahora el MME debe buscar un S-GW que le preste servicio al terminal que solicita la creación del bearer, y se conecta a este por medio de la interface S1-M la cual se basa en la pila de protocolos GTP-C, el MME escoge al S-GW que le va prestar el servicio principalmente basándose en la geografía, el MME toma esta información de un equipo llamado iDNS, que es como un servidor DNS convencional pero que no resuelve nombres de URL convencionales, sino que resuelve IPs para SGSN, S-GW y P-GW, este equipo es administrado por el personal de ingeniería, esto con el fin de manejar el tráfico de usuario de la manera más adecuada y óptima para la red, y como ya se dijo asignar el S-GW geográficamente más cercano. El MME toma la información de localización del terminal basándose en los primeros mensajes que este envió para su registro, luego el MME toma la información pertinente del iDNS y asigna el S-GW geográficamente más cercano tomando como referencia el TA (tracking area) que tenga el eNB que cubre el área donde se encuentra este terminal, el TA está programado en el iDNS y cada TA está asociada con un S-GW en base a la información geográfica, de esta manera el iDNS le envía la información adecuada al MME para que pueda escoger adecuadamente el S-GW, pero además en este mismo momento también se debe definir el P-GW (Packet Data Network Gateway) que va a utilizarse para levantar el bearer pues en ocasiones no es necesariamente el más cercano geográficamente. Si el P-GW que puede prestar el servicio solicitado está en una ciudad distinta es necesario que se escoja este P-GW y no el más cercano, esto lo hace el MME ya no basándose en el TA sino ahora se basa en el APN, que también se encuentra programado por ingeniería en el iDNS. Entonces el iDNS le envía al MME tanto la información para escoger el S-GW como para escoger adecuadamente el P-GW. Ya cuando se tiene la información correcta para escoger los equipos, la MME se conecta con el S-GW adecuado y este al mismo tiempo establece sesión con el P-GW adecuado, el S-GW se conecta con el P-GW a través de la interface S5 que se basa en la pila de protocolos GTP-C y GTP-U, ya que la comunicación entre estos dos equipos lleva información tanto de control plane como de user plane. El P-GW es el equipo encargado de conectar la red LTE con las redes externas, es decir hace al terminal visible para la red IP y toda información proveniente de la red IP que se dirija hacia el terminal que está en la red de LTE debe pasar por el P-GW, el P-GW debe estar previamente configurado para saber que APN's puede manejar y el pool de direcciones IP a las que puede acceder y asignar, el S-GW le envía el APN que se está solicitando y el P-GW mira si tiene ese mismo APN en su base de datos, si es así el P-GW mira los atributos del APN para asignar la dirección IP con la que se va a reconocer el

terminal en la red, además de ello mira si el APN tiene un perfil de Gx, si es así el P-GW le debe preguntar al PCRF, que como se menciona al principio es un equipo muy importante de la red donde se creó el perfil del abonado, aunque en Colombia esto no funciona así, pues el P-GW no tiene aún la función de inspección de paquetes por que se debió añadir un equipo adicional al core, este equipo es el DPI (Deep Packet Inspection) el cual realiza la inspección de los paquetes para poder saber a qué servicio es el que quiere acceder el usuario, es decir este equipo tiene la capacidad de ver en la trama y saber a qué servicio pertenece, ya sea de correo, Facebook, YouTube y demás, estos dos equipos se conectan por medio de la interface Gx que se basa en la pila de protocolos diameter. Luego que el P-GW tiene la información del perfil obtenido del PCRF pasando por el DPI, este le asigna una dirección IP al terminal, y de ahora en adelante este terminal será conocido por la red con esta dirección IP, que fue asignada por el P-GW, a continuación se devuelve esta información hacia el S-GW y el mismo le envía esta información al MME, en esta información va la IP asignada por el P-GW y la dirección IP del S1-U con la que el terminal podrá establecer el bearer, ahora el MME envía esta información al eNB dándole toda la información pertinente, el cual finalmente le contesta al terminal como puede establecer su sección y de esta forma, ya con esta información finalmente se establece un bearer y el terminal podrá acceder a los servicios que tenga contratados, al ya estar establecido el bearer la EPC se conecta a las redes externas por medio de la interface SGi que se basa en la pila de protocolos RADIUS/DHCPv4 y como se menciona se conecta con el P-GW[15,16,17].

13.2 DESCRIPCIÓN DE LAS INTERFACES

En las figuras se ven los equipos anteriormente mencionados y la forma como están conectados junto con las pilas de protocolos usados en cada conexión. En la siguientes figuras veremos completa la red de LTE con todas sus interfaces y luego más detallado cada una de sus conexiones.

En la figura 10 se visualiza toda la red de LTE desde el terminal hasta la nube de internet a la cual se debe conectar para la descarga de datos pasando por todos los equipos que intervienen.

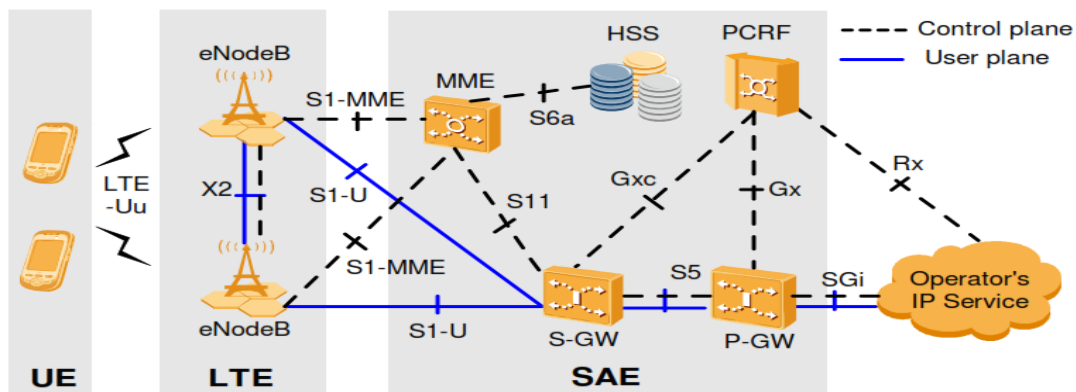


Figura 10 .Red de LTE. [17].

En la figura 11 se ve la comunicación entre el eNB y el MME en combinación con el S-GW, además de las pilas de protocolos que usan estas interfaces para poder conectarse, el eNB está conectado en simultaneo con el MME y el S.GW como se ve en la figura 10 siendo control plane con la MME y user plane con el S-GW.

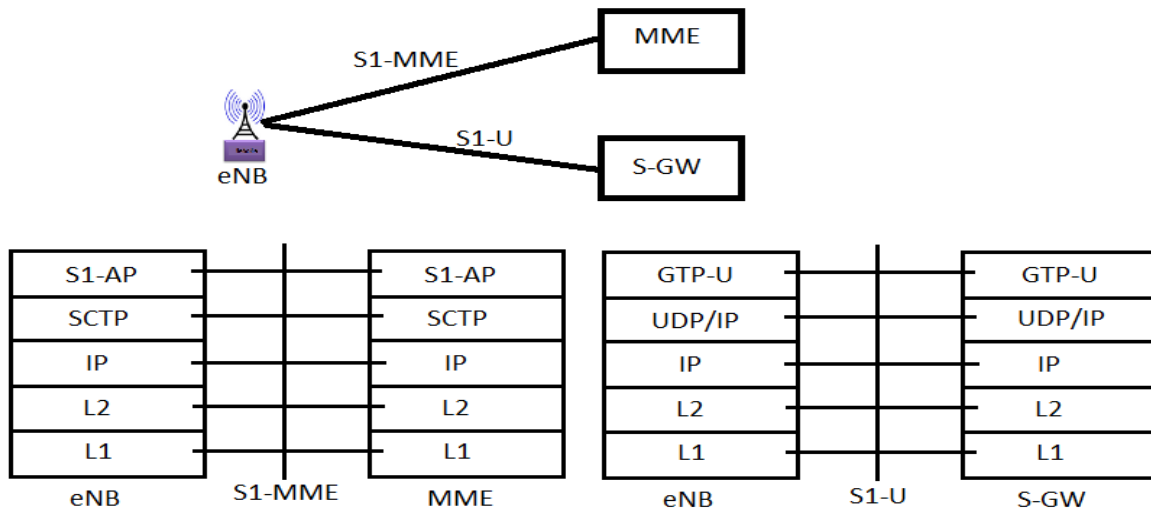


Figura 11. Interfaces S1. [Fuente propia].

Primero se verá la descripción de la interface S1-U que es del plano de usuario, como se puede ver en la figura 10 esta interface se basa en el protocolo GTP-U (GPRS Tunneling Protocol – User Plane). El protocolo GTP-U es un protocolo heredado de GPRS que en la redes GSM y UMTS se utiliza dentro del dominio de paquetes de la red troncal (en la interfaz entre SGSN y GGSN) así como en el plano de usuario de la interfaz Iu-PS de la red de acceso UTRAN. En la interface S1-U, el protocolo GTP-U se transporta sobre UDP/IP y fundamentalmente se utiliza para multiplexar los paquetes IP de múltiples usuarios. Dada su gran relevancia en el contexto de las redes 3GPP. Finalmente, es importante destacar que los planos de usuario de la interface no contemplan mecanismos de entrega garantizada para la transferencia de los paquetes de usuario, ni tampoco mecanismos de control de errores o control de flujo y básicamente es la creación de un túnel para transmitir la información segura entre el eNB y el S-GW.

Ahora se verá la interface S1-MME que es del plano de control, esta interface se basa en el protocolo S1-AP (S1 - Application Part). Este protocolo es el que sustenta los procedimientos soportados en la interfaz S1. La especificación del protocolo se realiza en el documento 3GPP TS 36.413. La transferencia de los mensajes de señalización del protocolo S1-AP entre eNBs y MMEs se realiza mediante el servicio de transferencia fiable que ofrece el protocolo de transporte Stream Control Transmission Protocol (SCTP). SCTP es un protocolo de transporte de propósito general estandarizado por IETF en la RFC4960, que fue creado principalmente para el envío de señalización de redes telefónicas sobre redes IP. SCTP hereda muchas de las funciones contempladas en TCP pero adiciona importantes mejoras como robustez y versatilidad en la transferencia de diferentes tipos de información lo cual llevo a que se escogiera este protocolo en vez de usar el ya conocido TCP. En general, al

igual que TCP, SCTP dispone de mecanismos de control de flujo y de congestión en la conexión, denominada asociación en SCTP. Por lo tanto esta interface si cuenta con entrega segura de paquetes pues ya para el plano de usuario es más importante que la información llegue completa, pero es de recordar que hay entrega segura de paquetes y retransmisión de los mismos en caso de pérdida, pero no hay QoS pues la transmitidos y en general todo el sistema de LTE hasta hoy es de solo datos, por lo que no se le da mayor importancia a la calidad de servicio al momento de transmitir, esto tendrá que cambiar con la llegada de VoLTE pues siempre se le tendrá que dar prioridad a la voz que va en los paquetes de datos y se omitirán unas funciones de SCTP como lo es retransmitir la información, pues es de recordar que para la voz no sirve de nada retransmitir información. [16].

En la figura 12 se puede ver la conexión con la que el MME obtiene información del HSS donde está toda la información del usuario que quiere acceder a la red la interface usada en la S6a que usa la pila de protocolos de diameter como se ve en la figura 12.

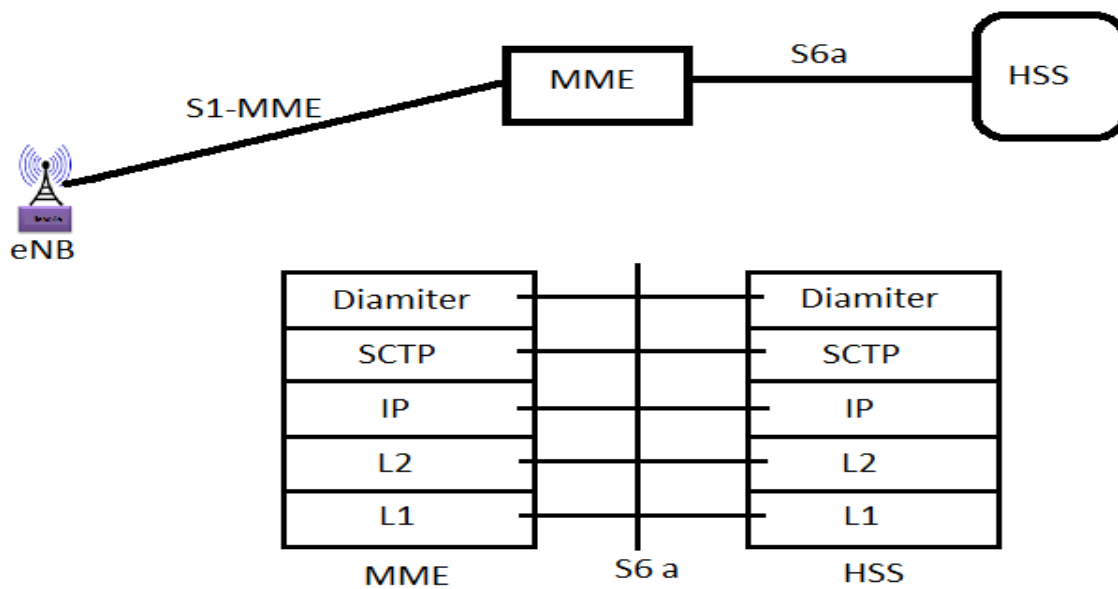


Figura 12. Interface de conexión entre el MME y la HSS. [Fuente propia].

La interface S6 se encarga de la conexión del MME y el HSS y soporta las siguientes funciones:

- Actualización de información de gestión de la localización. La base de datos HSS tiene unos campos que contienen la identificación del MME que controla a cada abonado que ya fue registrado en la red de LTE. Esta información es actualiza por el MME que corresponda a través de la interfaz S6a. Esta información hace posible que cuando un terminal se conecta a un MME nuevo, este MME pueda

actualizar información relativa al MME que previamente estaba prestando este servicio.

- Autorización de acceso a la red LTE. La base de datos HSS almacena los datos de suscripción de los usuarios que permiten el acceso a los servicios que ofrece la red. El perfil de suscripción de un usuario se transfiere desde el HSS al MME, que es la entidad encargada de ejecutar las comprobaciones pertinentes.
- Autenticación de los usuarios. A través de S6a, el MME descarga la información que permite llevar a cabo el procedimiento de autenticación. Dicha información es el vector de autenticación que se mencionó en el apartado 12.

En la figura 13 se ve una conexión que no se había mencionado pero que es muy necesaria y es la conexión entre las MME que usa la interface S10 que se basa en stack de protocolos GTP-C.

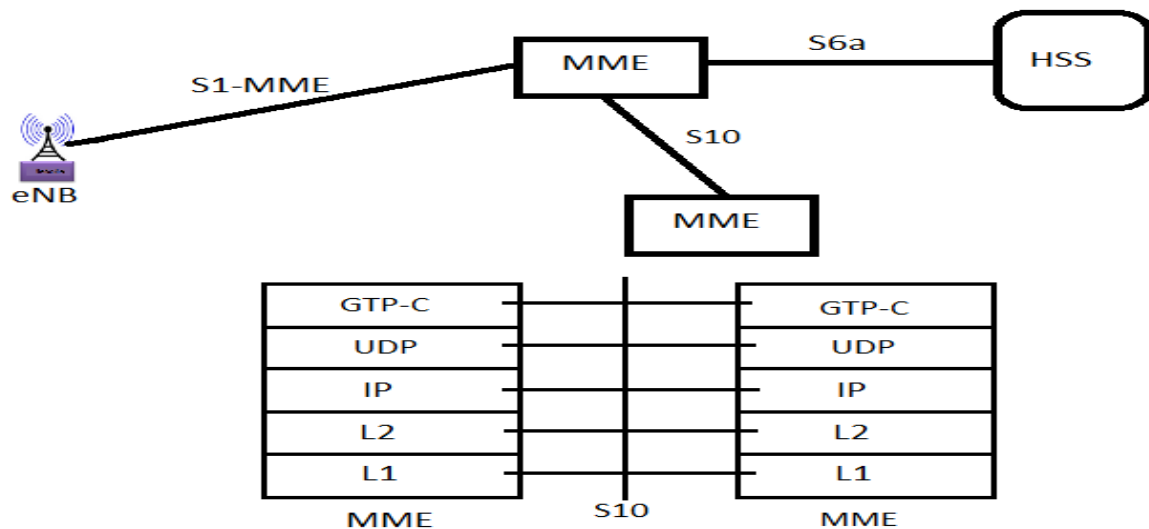


Figura 13. Interface S10 entre MMEs. [Fuente propia].

La interfaz S10 es la interface que hay entre dos MME. la principal función de esta interface es soportar el procedimiento de handover entre dos MMEs cuando por ejemplo un abonado se desplazó desde Bogotá hasta Cali aunque no ocurra un procedimiento de handover en caliente como tal, si se lleva a cabo la actualización de dicha información y se transfiere la información pertinente entre las dos MME. [16].

En la figura 14 se observa la conexión que hay entre el MME y el S-GW la cual se usa después de que el MME obtiene la información del HSS y se la trasmite al S-GW para que se realice la conexión entre el eNB y el S-GW, la interface usada es la S11 que se basa en stack de protocolos GTP-C.

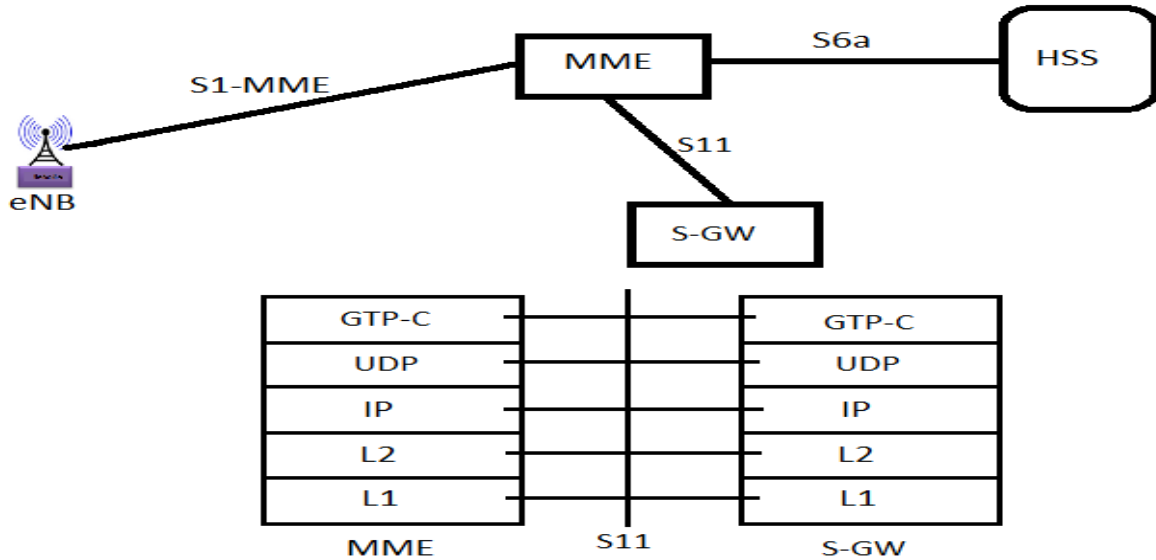


Figura 14. INTERFACE S11. [Fuente propia].

Esta interface permite manejar el plano de usuario que viaja a través del S-GW desde el MME, Así los procedimientos soportados en esta interfaz permiten la creación, eliminación, modificación y cambio de los servicios portadores que los terminales tienen establecidos a través de la red troncal LTE. Por lo tanto, dado que la entidad MME es la entidad de control que termina los protocolos NAS con los usuarios, la interfaz S11 permite establecer el nexo del plano de control con las funciones del plano de usuario de la red troncal LTE.

Los que ocurra en la interfaz S11 tienen su origen en los diferentes eventos relacionados con la señalización entre el terminal y la red troncal, como por ejemplo el registro de un terminal en la red LTE donde recordemos que se envía la información para crear el bearer hacia el P-GW, o la incorporación de un nuevo servicio portador EPS a una conexión, el establecimiento de una nueva conexión con otra red externa, indicación de handover, etc.

Esta interface también soporta cuando se realiza un proceso de handover o actualización de TA que conlleve un cambio de S-GW, pues por esta interface se trasfiere toda la información del plano de usuario para la modificación del bearer y en ocasiones como ocurre en Colombia se transporta la información de usuario entre dos eNB en el momento de realizar el handover sin la interface X2. [16].

En la figura 15 se muestra la conexión entre el S-GW y el P-GW el cual es el encargado de la conexión con las redes externas ya sea las de telefonía móvil o la red IP de internet la interface usada es la S5, la cual se basa en la pila de protocolos de GTP-C tanto en user plane como en control plane como se vio en la figura10.

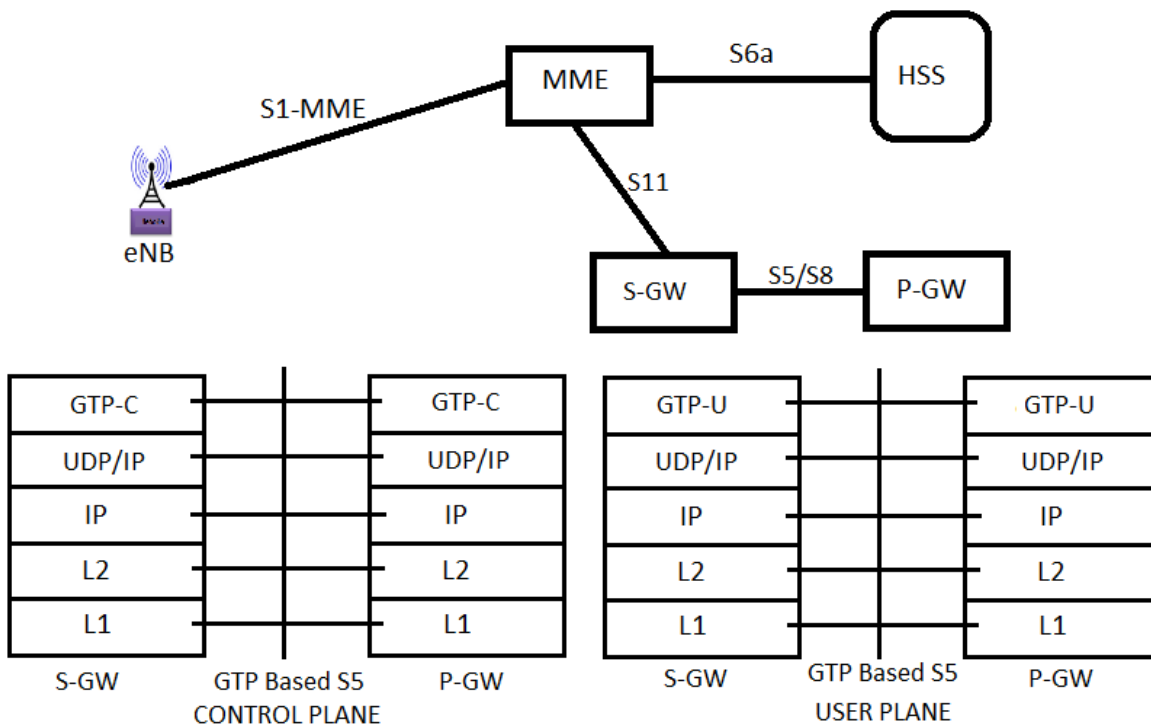


Figura 15. Interface S5 entre el S-GW y el P-GW. [Fuente propia].

La interface S5 proporciona el servicio para el plano de usuario en la conexión que se realiza entre el S-GW y el P-GW, en este caso pueden haber dos tipos de interfaces, las cuales son S5 cuando la comunicación se realiza entre equipos del mismo operador y la S8 cuando se realiza un proceso de roaming hacia las redes de otros operadores o de otro país.

El servicio basado en GTP proporciona las funciones de creación, eliminación, modificación y cambio del servicio portador del plano de usuario entre S-GW y P-GW de los usuarios conectados a la red LTE. [16].

En la figura 16 se ve la conexión que hay desde la P-GW hacia la red ya sea un servidor privado o servidores web de las páginas de internet y de esta forma permitir la navegación de los terminales que se encuentran en la red 4G, la interface usada para esta labor es la S4 que se basa en el stack de protocolos RADIUS/DHCPv4.

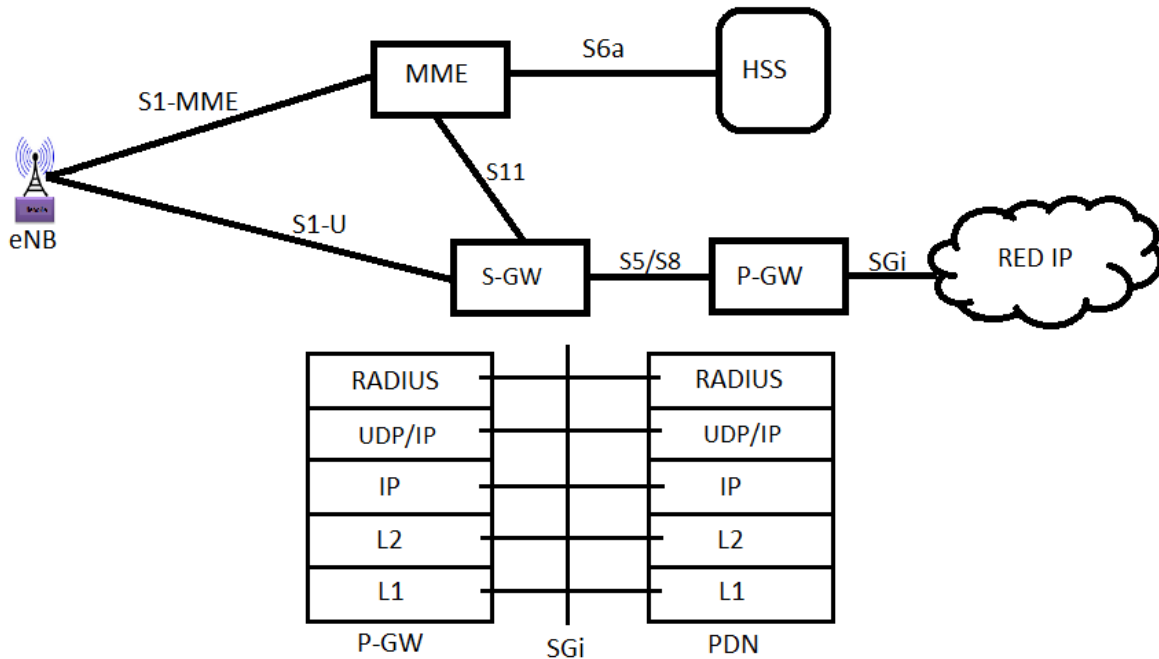


Figura 16. INTERFACE SGi. [Fuente propia].

A través de la interfaz SGi se realiza la interconexión del P-GW con redes externas IP. La red externa puede ser tanto una red pública (Internet) como cualquier otra red privada como por ejemplo la red del core de IMS que se implementara para la implementación de VoLTE. La interfaz SGi es equivalente a la interfaz Gi que se encuentra en las redes de 3G para conectar el SGSN con las redes externas, por lo general en ingeniería se habla de interface Gi para referirse a cualquier interface de las redes 3G o 4G que se conecta con las redes externas.

La interfaz SGi soporta la interconexión tanto a redes IPv4 como IPv6. Aunque en Colombia no se ha implementado este servicio con las redes IP basadas en IPv6.

Desde la perspectiva de la red externa, el P-GW es visto como un router IP convencional, pues básicamente se trata de eso, un enrutador que se encarga de darle dirección a los paquetes que provienen de la red de LTE y permisos de acceso.

Finalmente en la figura 17 se ve un resumen del servicio de paquetes en 4G, los equipos involucrados y las conexiones, ya sea de user plane o de control plane utilizadas para establecer la comunicación con la nube de internet, comenzando en el terminal y finalizando en la red de internet.

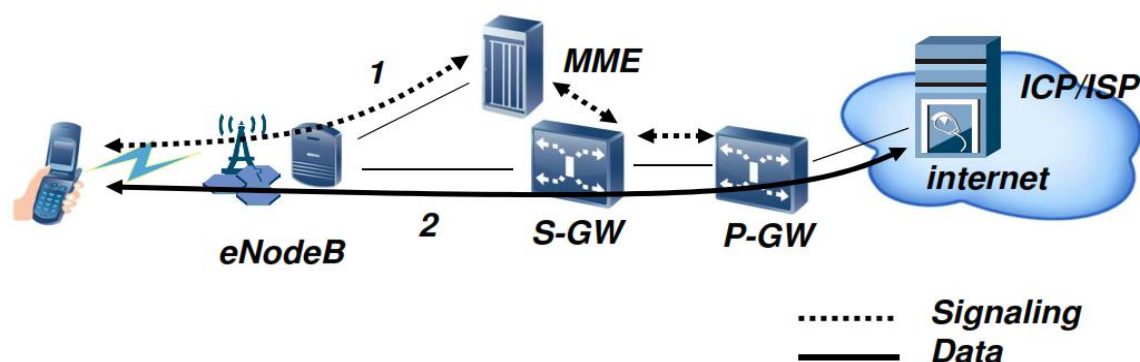


Figura 17. Resumen del establecimiento de sección. Adaptado [17].

13.3 PROTOCOLOS USADOS EN LAS INTERFACES DESCRITAS

A continuación se describen las pilas de protocolos mencionadas anteriormente, dado que varias interfaces se basan en una misma pila de protocolos se enfocara únicamente en la descripción del protocolo y se generalizaran las interfaces.

13.3.1 GTP-U

Todas las interfaces para el transporte de información de plano de usuario entre los diferentes elementos de la red troncal EPC se soportan a través del protocolo GTP-U, con excepción de la interface usada para roaming en el plano de usuario (S8) que se basa en el protocolo PMIPv6.

Este protocolo fue desarrollado por la 3GPP para dar solución a la implementación del servicio GPRS de 2G. Por ende el plano de usuario entre los equipos de red del dominio GPRS así como el plano de usuario de la interfaz Iu-PS de UTRAN se soportan también con este protocolo, por lo que es un protocolo conocido por ingeniera, y que no fue de difícil implementación en la red de LTE.

Como ya se mencionó en apartados anteriores GTP-U proporciona un mecanismo de encapsulado para el envío de paquetes de usuario entre equipos de una red de LTE. Los paquetes que hacen parte de un mismo servicio portador se transportan con un identificador de túnel único denominado TEID (Tunnel Endpoint Identifier).

Entonces, para proceder al envío de estos paquetes IP de usuario hacia el P-GW, el S-GW los encapsula mediante el protocolo GTP-U y lo envía por la interface S5. El paquete o la trama resultante tiene como IP de origen la IP del S-GW y como IP de destino la IP del P-GW. De esta manera el paquete GTP puede ser enviado por la red IP que conecta los dos equipos. Cuando el paquete GTP llega al P-GW, éste extrae el paquete IP del usuario y lo envía hacia la red IP externa. La anterior descripción se ve en la figura 18. La creación de un túnel GTP-U consiste básicamente en la elección del identificador TEID asociado a un determinado servicio portador EPS en ambos extremos del túnel. La señalización que se necesita para establecer el túnel se realiza mediante otros protocolos como GTP-C o S1-MME. [16].

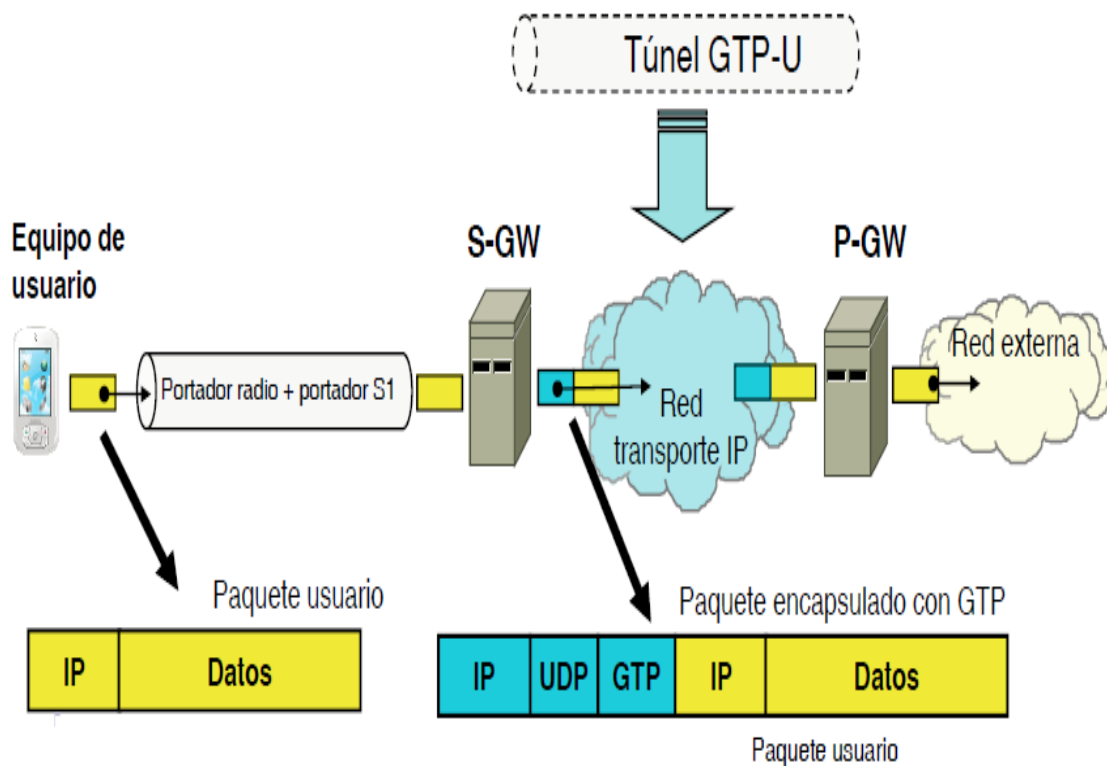


Figura 18. Túnel GTP-U adaptado [16].

13.3.2 GTP-C

Este protocolo es usado donde sea necesaria la información de control plane, como es el caso de la comunicación entre el MME y el S-GW, y en la comunicación entre eNBs por medio de la interface X2. Este protocolo tiene las siguientes funciones:

Gestión de sesión: con los mensajes y procedimientos de señalización GTP-C se gestiona la creación de los túneles para el uso del GTP-U, por esto vemos que en la interface S11 que comunica el MME con el S-GW están los dos protocolos en funcionamiento, uno para el control plane que se encarga de gestionar la información la señalización y además gestiona la creación del otro protocolo para el plano de usuario. Con estos túneles que se crean tanto en control plane como en user plane se realiza el mantenimiento actualización y liberación de las conexiones y demás servicios portadores que sean necesarios es decir información del plano de usuario que es el más cursado en esta interface.

Gestión de la movilidad: este protocolo se usa también para la gestión de la movilidad en los casos donde se necesite transferir la información de usuario de un equipo a otro como ocurre en los procedimientos de actualización de TA o la realización de un handover, el ejemplo más claro para esto, aunque no ocurre en el país, es la transferencia de información entre los eNB por medio de la interface X2, y lo que si puede ocurrir es la transferencia de información entre los MME donde está presente el protocolo GTP-C en la interface S10.

En la figura 19 se ve la pila de protocolos de las interfaces basadas en GTP-C y las interfaces que usan dicho protocolo, además podemos ver que no tiene que haber una relación directa entre las interfaces que usan GTP-C con las interfaces que usan GTP-U, pues no es norma que siempre estén presentes los dos protocolos, por lo que queda claro que GTP-C realiza funciones diferentes a ayudar a crear el túnel GTP-U.

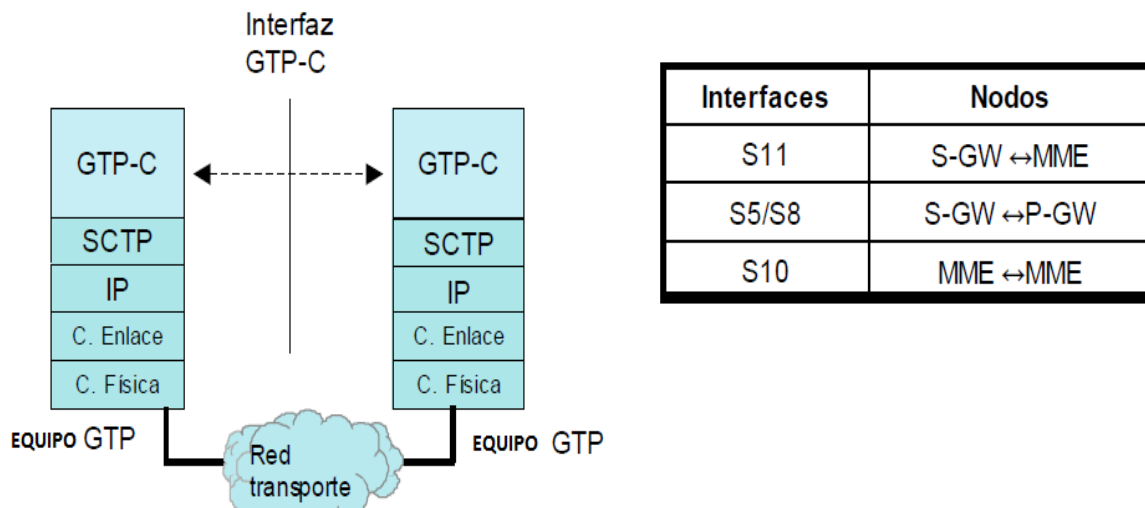


Figura 19. Pila de protocolos e interfaces de GTP-C. Adaptado [16].

13.3.3 DIAMETER

El protocolo Diameter es la evolución del protocolo RADIUS, que es un protocolo que se usa para la autenticación y autorización (AAA). Diameter mejora los aspectos que tenía su predecesor en aspectos como seguridad, robustez y pérdidas de mensajes, y se realizan mejoras para que pueda salirse del ámbito de autenticación y autorización y por ello en la red de 4G reemplaza al protocolo MAP que se usa en la red de 3G para la consulta a la base de datos HSS, diameter en 4G ahora cumple todas estas funciones con mejoras en robustez y seguridad, y como es lógico se maneja sobre transporte IP como se ve en la figura 20.

El protocolo Diameter se utiliza en un elevado número de interfaces de la red de LTE, En la figura 20 se puede ver la pila de protocolos sobre la que se sustenta Diameter junto con una tabla donde se indican todas las interfaces del sistema LTE basadas en dicho protocolo. Como se ve en la pila de protocolos, al ser IP no es muy diferente a los demás protocolos usados en LTE, solo que en la capa de transporte usa protocolos que garanticen la entrega segura de la información, como son los protocolos SCTP y TCP algo que puede variar según el protocolo y sus necesidades.

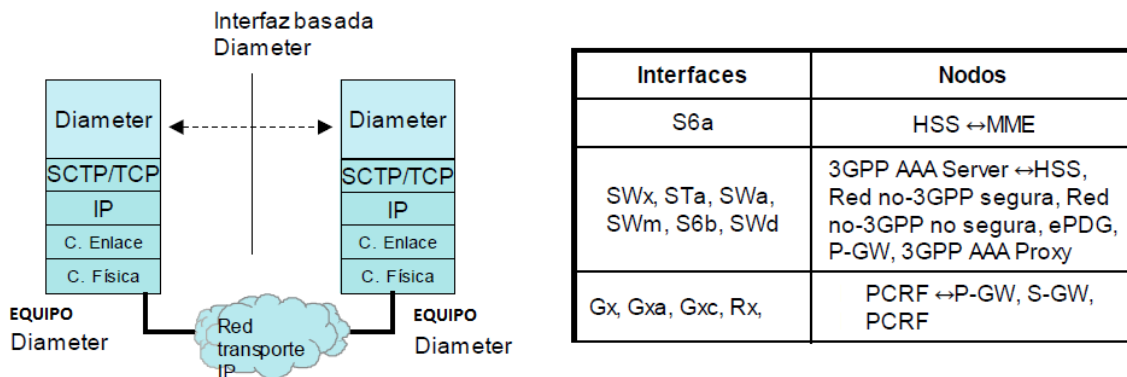


Figura 20. Pila de protocolos e interfaces en diameter. Adaptado [16].

El protocolo diameter es el protocolo que se escogió en LTE para realizar toda la consulta de base de datos, como se ve en la red de LTE se usa en la consulta a las dos bases de datos donde se encuentra la información del abonado como son el HSS y el PCRF, y se usa para la autenticación autorización y actualización de información en dicha base de datos, además de que ya se venía implementando en otras interfaces como se puede ver en la figura 20, el protocolo ha tomado mucha robustez en las nuevas redes IP al punto de que se hizo necesaria la implementación de un DRA que realiza la función de enrutar correctamente toda la señalización que lleve diameter y aun mas con la implementación de VoLTE donde muchas interfaces llevaran dicho protocolo.

Cada una de las aplicaciones de Diameter se ven en un documento de especificación técnica del 3GPP. A modo de ejemplo, La aplicación de Diameter para la interfaz S6a/S6d se define en 3GPP TS 29.272, donde se puede obtener más información de los mensajes internos del protocolo y las demás funciones que dicho protocolo puede realizar. [25]

14 DESCRIPCIÓN DE UNA LLAMADA DE VOZ EN LTE

Como se menciona anteriormente la red de LTE se diseñó específicamente para manejar el contexto de PS y no cuenta con funcionalidad de CS, por ende en la red de LTE no es posible establecer llamadas de voz ni enviar mensajes de texto, ya que estas dos funciones se realizan en el core de CS. Para las redes de 4G se dieron 3 opciones provisionales para poder realizar llamadas de voz en cuanto a 3GPP y dos más que no pertenece al estándar 3GPP. Las opciones de 3GPP son las siguientes IMS (MMTEL), CS fallback y sistemas de continuidad de llamada de voz de Radio única (SRVCC). Las otras soluciones de voz sobre LTE que no se basan en el estándar 3GPP son los servicios basados en internet VoLGA y Skype.

A continuación se describirán las soluciones de voz para LTE.

14.1 MMTel

MMTel Está basado en el Subsistema Multimedia IP (IMS) que al día de hoy no está lo suficientemente desarrollado para implementarse correctamente, pero ya está en dicho proceso para migrar su uso de la telefonía fija a la móvil. MMTel ofrece cobertura fija y móvil, servicios multimedia en tiempo real que permite que le permiten al operador ofrecer los diferentes servicios como vídeo llamadas, conferencias y demás servicios basados en IP.

MMTel cuenta en sus atributos con servicios de calidad, interoperabilidad, eficiencia, servicios suplementarios y de regulación cuya base de comunicación es la red de Internet. El objetivo de MMTel es eliminar progresivamente la telefonía móvil y fija que se basa en la tecnología de conmutación de circuitos, cambiándola por la comunicación sobre IP como se ve que migran las comunicaciones de hoy.

La principal característica del estándar MMTel es que el acceso móvil es a partir de IP, lo cual significa que los accesos de las tecnologías móviles que se centran en MMTel se enfocan en accesos del tipo HSPA (Acceso de Paquetes de Alta Velocidad), LTE y EDGE evolucionado, los cuales tienen un buen desarrollo en el acceso sobre IP, principalmente por esta razón se pensó para la red de LTE que se basa completamente en IP pero que se descarta por la inmadurez del IMS.

MMTel es un servicio que usa el core de IMS. El core IMS es un conjunto de equipos, protocolos e interfaces para el control y la entrega de servicios multimedia que se basan en IP para el transporte, y un protocolo de iniciación de sesión (SIP, Session Initiation Protocol) para la señalización de gestión y establecimiento. Para que este servicio funcionase en el mercado era enseria la implementación de una interface (NNI, Network to Network Interface) la cual se capaz de soportar la conexión entre operadores. MMTel garantiza el soporte a las llamadas desde una red LTE hacia la PSTN y hacia redes de segunda y tercera generación, lo cual se está desarrollando en este momento para poder brindar los servicios de VoLTE.

Entre los beneficios que ofrece MMTel al usuario es que ofrece un servicio completo para dispositivos móviles y fijos como lo son los servicios de multimedia sobre IP. El objetivo de

MMTel era asegurarse como la principal solución de voz, aunque esto no fue posible. A pesar de que la estandarización NNI permite que los operadores se puedan interconectar entre sí, creando un mercado global de gran aceptación y rentabilidad. Como MMTel está pensado para un mercado grande permitirá el desarrollo de dispositivos baratos. El estándar es compatible con otras tecnologías (2G y 3G), esto significa que una llamada VoIP en MMTel puede interconectarse con una red telefónica pública conmutada o bien una llamada de vídeo en MMTel puede interconectarse con una llamada de vídeo en 3G. Mantener la calidad del servicio ante rendimientos mínimos de voz y soportar los códec del estándar 3GPP para voz y vídeo. Todas las virtudes anteriores de MMTel serán implementadas cuando llegue voz sobre LTE, el cual es un estándar muy parecido a MMTel por el uso del IMS para poder brindar los servicios de voz sobre IP y en este caso voz sobre las redes de LTE [24].

14.2 SRVCC (Single Radio Voice Call Continuity)

Cuando se realice el lanzamiento de VoLTE será posible implementar este sistema, pues al igual que MMTel esto va ligado directamente al uso del IMS, por lo que actualmente no se puede implementar. El SRVCC sirve para realizar el paso del servicio de PS que presta LTE al servicio de CS que brindan las redes de 2G o 3G sin que se pierda la llamada, es decir cuando VoLTE esté en funcionamiento, y la llamada se esté llevando a cabo entre dos terminales que están en la red de 4G y uno de ellos sale de dicha cobertura, el terminal podrá regresar a las redes 3G sin que se pierda la llamada, lo cual ayudara muchísimo al servicio de voz sobre LTE para que puede tener un correcto despliegue

Supongamos que la cobertura de las redes 4G no podrá ser nacional, y actualmente se encuentra en este estado, pues aún no se completa el plan de despliegue total de las redes 4G en Colombia pues el plan de cobertura se planeó hasta mediados del 2016, esto ocasionará que se tengan sectores con dicha cobertura mientras que el resto de la ciudades estará bajo la cobertura por ejemplo de GERAN (redes de acceso GSM) o bien por UTRAN (redes de acceso WCDMA), como actualmente se tienen algunas ciudades, mientras se realiza la cobertura completa como es lo ideal, esto hace notar que la transferencia entre E-UTRAN basado en el dominio de conmutación de paquetes y GERAN/UTRAN basados en el dominio de conmutación de circuitos no es soportado, una solución a este problema es el sistema SRVCC que permite habilitar la interoperabilidad entre E-UTRAN y GERAN/UTRAN para las llamadas de voz, obteniendo de esta manera la transferencia de las funciones LTE al dominio CS es decir podemos pasar en una llamada activa de 4G a 3G.

El sistema de SRVCC se basa en la solución de IMS y la mejora del MSS, MME y UE Como condiciones importantes para implementar la solución SRVCC, además es necesario que el UE inicie una llamada de voz usando el IMS en la cobertura LTE, y el servidor de aplicaciones usado para la transferencia de sesión. Además de que el IMS debe de estar siendo introducido en la ruta de señalización durante el establecimiento de la sesión de la llamada de voz es decir al momento de realizar la llamada de voz debe pasar por el core de IMS para que se pueda llevar a cabo el procedimiento de SRVCC.

La solución usa un procedimiento de transferencia para el acceso a la red y un procedimiento de continuidad de sesión en el IMS. El UE le indica su capacidad SRVCC a la MME durante el manejo de la movilidad, en el cual este a su vez activa el procedimiento SRVCC, indicándole al eNB. Cada vez que en SRVCC el UE está perdiendo la capacidad de cobertura LTE el eNB la detecta y dispara el procedimiento de transferencia hacia la MME. La MME soporta una nueva interface, la interface Sv hacia el servidor que fue mejorado MSS para SRVCC y envía la solicitud de entrega SRVCC hacia la red de destino 2G o 3G a través del MSS. El MSS actúa como medio de interconexión y prepara el destino para la transferencia correspondiente algo parecido a lo que ocurre con el MSS de gateway de overlay usado en el procedimiento de CS fallback que se describirá en apartados posteriores.

Para la realización de una llamada de voz utilizando el sistema SRVCC es necesario que se tengan cambios en el UE con el fin de mantener la llamada en CS y además para la señalización de su capacidad SRVCC hacia la red por lo que los abonados que funcionaran para VoLTE deben tener esta capacidad. Además se tiene que el eNB necesita una mejora con el fin de preparar la información adecuada para el destino a la red de acceso de radio y activar la entrega SRVCC. La MME separa la portadora que lleva la voz desde otras portadoras y también las señales del MSS sobre la entrega SRVCC.

La arquitectura de esta solución se ve en la figura 21 y como se observa es la combinación de las redes 3G-2G con la red de 4G unidos por el core de IMS y las interfaces entre servidores para transferencia de información y plano de control.

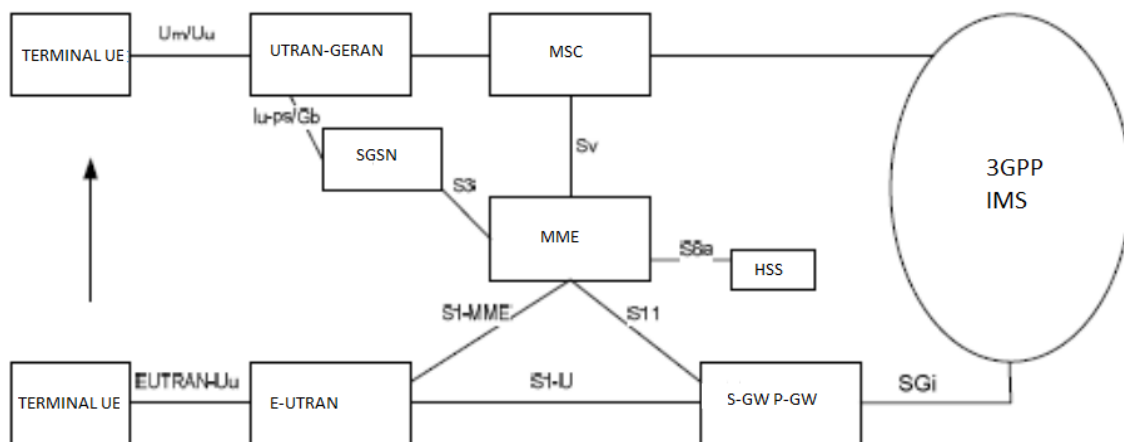


Figura 21. Arquitectura SRVCC. [24].

Una de las ventajas que presenta SRVCC en comparación con los sistemas de circuitos conmutados que se están usando actualmente, es que solamente se activa una vez que el UE está perdiendo la cobertura en LTE, lo cual es lo que se busca, y que sirva solo de soporte en dicho caso y que no se active de no ser en serio, además de que con el pasar del tiempo su activación disminuya notablemente. Otra de las ventajas importantes sobre este sistema es que con la próxima implementación de VoLTE todos los operadores tendrán que usarlo probablemente para lograr el despliegue operativo deseado. Ahora bien algunos inconvenientes o desventajas que SRVCC presenta es que es un sistema que se basa en IMS

la cual involucra aspectos como lo son costos muy elevados, además de que representa una solución compleja que tomará cierto tiempo en lograr un crecimiento significativo en posicionarse comercialmente, razón por la cual aún no es implementado en el país pero en los próximos meses se llevara cabo su desarrollo completo e implementación.

Las soluciones no basadas en 3gpp son VoLGA y SKIPE y se describen a continuación.

14.3 VoLGA

La voz sobre LTE usando Acceso Genérico (VoLGA, Voice Over LTE vía Generic Access) se basa en un concepto en el cual se conectan los ya existentes centros de conmutación móvil como es la MSS a la red LTE a través de una puerta de enlace algo parecido a lo que ocurre en el SRVCC pero que no usa el core de IMS. VoLGA tampoco presenta el mismo principio de funcionamiento del sistema CS fallback por lo que el tiempo de llamada no se incrementa como si ocurre en el CS fallback, esto permite que la calidad del servicio de voz que experimenta el usuario presenta un entorno consistente a 2G o 3G, por que fue la segunda opción más considerada por los operadores para ser implementada pero que no llego a feliz término pues no se quería añadir nada nuevo a la red pues se quería una solución provisional hasta la llegada de VoLTE.

VoLGA se guía en el estándar de red 3GPP de Acceso Genérico (GAN), del cual el objetivo es extender los servicios móviles a través de una red IP de acceso genérico, de esta forma el estándar GAN extiende la cobertura 3GPP utilizando teléfonos móviles de manera que estos tengan acceso a la red 3G a través de WiFi, lo cual fue otro aspecto que llevo a la decisión de no usar este método, pues las dificultades en cuanto a seguridad serian un desafío. GAN pretende lograr su implementación introduciendo una puerta de entrada entre WiFi y la red 3GPP, la cual es capaz de transmitir la señalización entre el terminal y la red 3GPP. Operadoras como T-Mobile en Estados Unidos y Orange en Francia han desplegado el estándar GAN, las cuales son redes de telecomunicaciones móviles que han tenido un gran auge en Colombia no fue así y el método escogido como se menciona posteriormente fue el CS fallback que brinda el servicio de llamadas sin tener que implementar nuevos equipos a la red, solo basto con la actualización de un MSS.

Aunque para implementar esta solución de voz sobre LTE solamente es necesario realizar cambios en el software en el circuito de entrada, no se requieren modificaciones en el MSS, ni en los equipos de acceso a la red como la RNC o modificaciones en los eNB de LTE, esto hace posible que se facilite su desarrollo y comercialización, razón por la cual se implementó en otros países con gran apogeo. VoLGA permite el uso de todos los servicios basados en CS sobre LTE sin la necesidad de modificar la red como lo son los SMS (mensajes cortos), que es un importante generador de ingresos y además necesarios para informar a los suscriptores sobre las tarifas de voz y datos y lógicamente servicios convencionales. Los cambios en el software si son necesarios dado que permiten incluir en el acceso a la tecnología LTE un portador de radio junto con una versión modificada del procedimiento de entrega, otro aspecto importante en VoLGA es que permite una transferencia fluida en las llamadas de voz en curso ya sea en las redes 3G o 2G, cuando se está fuera de la cobertura LTE.

VoLGA está pensado de manera que se permita una introducción sin problemas en el roaming global de LTE algo se suma importancia para desarrollar este servicio pues un gran porcentaje de las llamadas se realiza entre operadores móviles diferentes. Todos los servicios pueden ser entregados a través del circuito de entrada de paquetes de VoLGA y en los centros de conmutación móvil de la otra red con la que se tenga la necesidad de comunicarse. Los dispositivos móviles requeridos por GAN deben presentar una interfaz de radio ya sea GSM o UMTS y una interfaz de radio WiFi, lo cual es muy común en la mayoría de terminales de última generación o Smartphone. El funcionamiento de estos sistemas móviles duales en general una vez que detectan una red WiFi se conectan a dicho punto de acceso y se registran en el núcleo de red GSM o UMTS a través del enlace WiFi e internet, así bien una entrada GAN conecta al abonado a la infraestructura de red del operador teniendo las llamadas de voz y otros servicios de conmutación de circuitos transfiriéndose entre el dispositivo móvil y la puerta de enlace sobre el medio WiFi y la red de enlace de acceso a Internet, VoLGA implementa este principio remplazando el acceso a WiFi con LTE. La arquitectura básica de cómo funciona VoLGA se ve en la figura 22. Como se ve en la imagen es una implementación sencilla que no conlleva demasiados cambios el problema es que aunque sean pocas si requiere una nueva implementación, diferente a lo que ocurre con el CS fallback donde no se necesita ningún equipo solo configuraciones y actualizaciones de software.

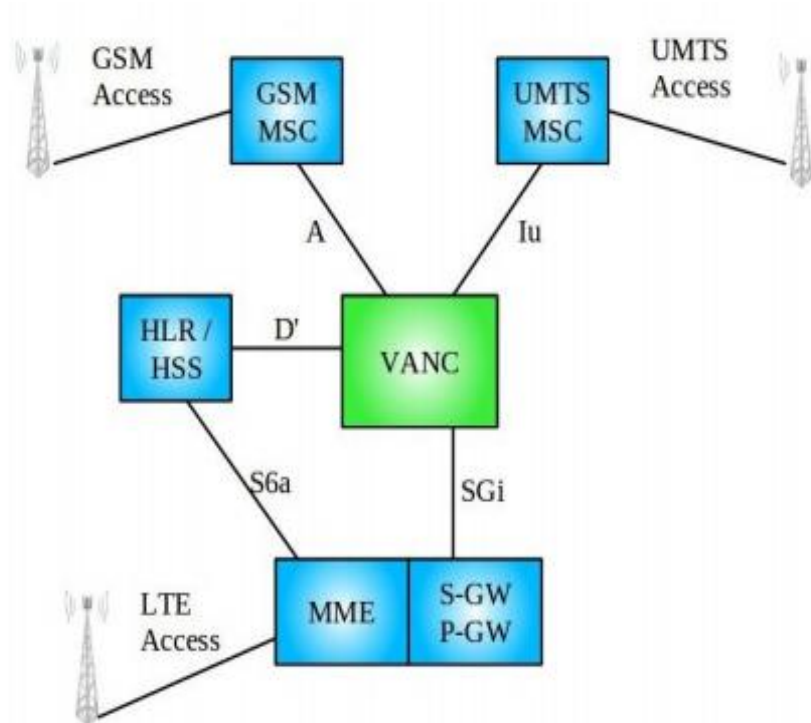


Figura 22. Arquitectura básica VoLGA. [25].

La arquitectura del sistema VoLGA incluye un nuevo elemento denominado Controlador de Acceso de red VoLGA (VANC, VoLGA Access Network Controller) como se ve en color verde en la figura 22, el cual es el elemento adicional mencionado anteriormente contra el que toca levantar varias interfaces, siendo un punto que no se quería desarrollar. Todos los

demás elementos de la red e interfaces ya existen y se vuelven a implementar en la red, lo cual era una de las prioridades de los operadores, pues como todos los métodos es un algo temporal. La arquitectura VoLGA presenta una interfaz “A” la cual permite la conexión con la red GSM también tiene otra interface la interface Iu que permite la conexión del VANC con la red UMTS, las interfaces se utilizan sin ningún tipo de mejoras, por lo que para las MSS estas interface no representan ningún cambio con las que ya vienen usando, pero como se menciona estas interfaces están conectados a través de LTE. En consecuencia, no se requieren cambios en los nodos de la red para soportar servicios de voz, SMS y otros servicios sobre la red LTE. Una vez que un dispositivo móvil detecte una red LTE, inicialmente este se registra con el MME a través de la red de acceso LTE. La MME utiliza la interface S6a para obtener los datos de identificación del suscriptor los cuales están presentes en el HSS (Home Subscriber Server), una vez que se ha registrado con la red LTE el UE establece una conexión con el VANC. El controlador de la red de acceso VoLGA se conecta con el P-GW a través de la interface estándar SGI. Tanto la señalización y el tráfico de datos del usuario (es decir los paquetes de voz) se trasportan por esta interface. Desde el núcleo de red LTE, VANC se ve como cualquier otro equipo de base externa IP, así se tiene que los paquetes IP intercambiados entre el dispositivo inalámbrico y VANC se enviarán en forma transparente a través del Núcleo de Paquete Evolucionado (EPC, Evolved Packet Core) de la red. En general VANC es el elemento que necesita VoLGA para conectar el Centro de Conmutación Móvil (MSC, Mobile Switching Centre) a la conmutación de paquetes de la red LTE.

Entre las ventajas que presenta VoLGA es que habilita otros servicios de conmutación de circuitos desde el primer día sin necesidad de agregar nuevos desarrollos en el sistema, se puede desarrollar muy rápidamente dado a la pila de protocolos ya existentes GAN que pueden ser reutilizados en su mayoría, el único cambio importante en el manejo del software es la entrega, además otras de las ventajas es que este sistema puede ser introducido en un roaming mundial sin problemas. La principal desventaja de VoLGA es que su estandarización no ha sido normalizada todavía. En conclusión VoLGA hace que sea más fácil aprovechar la infraestructura de las redes 2G y 3G existentes para LTE. Esto se da más que todo porque no es necesario modificar el software existente en los equipos de red, por lo tanto VoLGA podría ser uno de los puentes entre las redes 2G y 3G con LTE entre otras soluciones de voz implementadas.

14.4 SKIPE

Skype es un servicio con aplicaciones de software gratuito, el cual permite a los usuarios realizar llamadas a través de Internet. Realizar llamadas a otros usuarios en otros países no tiene cargo alguno empleando este método lo que es algo que puede llamar mucho la atención a los usuarios, mientras que llamadas con otras líneas de telefonía fija o móvil se hacen pero pagando un precio relativamente bajo. Skype además incluye servicios como lo son mensajes cortos, vídeo conferencias y transferencia de archivos. Las terminales que están habilitados para LTE pueden usar Skype como un cliente descargable para VoIP tal cual cómo está funcionando también whatsapp. Sin embargo Skype no soporta una interfaz estandarizada entre operadores algo que dificultaría mucho su implementación como opción para brindar voz sobre LTE. Dado que inicialmente la cobertura LTE es irregular, una llamada en Skype podría involuntariamente desconectarse cuando la transferencia de PS a CS es necesitada. En

la figura 23 podemos ver el esquema reducido del como funcionaria Skype como solución de voz sobre LTE.

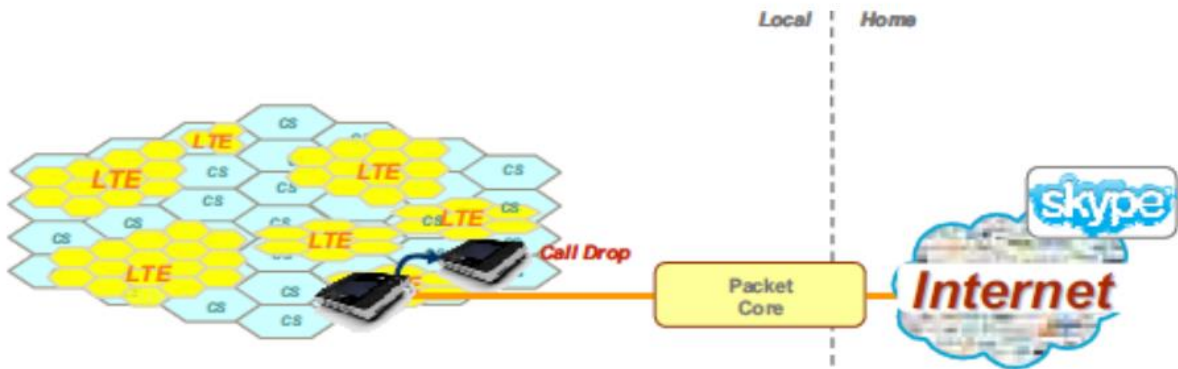


Figura 23. Esquemático solución Skype con LTE. [24].

Skype hace uso de la red de telefonía por IP llamada protocolo Skype. Este protocolo no está disponible al público y aquellas aplicaciones que lo usan son de código cerrado. La diferencia entre Skype y el estándar de clientes VoIP es que Skype opera en un modelo de punto a punto, más que un modelo usual de servidor cliente. Skype puede representar una opción barata para el usuario final, pues podría realizar llamadas a distintas partes del mundo sin que se le cobre una tarifa diferente. El gran problema de es Skype es que no tiene la posibilidad de conexión con otros operadores pues recordemos que no es una solución desarrollada por la 3GPP, por lo que fue una opción inmediatamente descartada por los operadores pues brindar voz sobre LTE sin conexiones hacia otros operadores e incluso hacia las mismas redes 3G o 2G de la misma compañía sería un servicio inútil y sin acogida.

Ahora bien la solución que se escogió en Colombia fue el CS fallback por ende se profundizará más es esta solución y se describirá un poco más detallada su funcionamiento y la manera como se realizó la implementación en Colombia.

14.5 CS Fallback

Esta solución permite que un equipo registrado en una red de LTE pueda acceder a servicios de llamada y mensajes cortos que son permitidos por en el dominio de CS, como ya se mencionó LTE no cuenta con funciones de CS, solamente de PS, por ello para que se puedan prestar estas funciones se deben realizar el procedimiento de CS fallback.

El CS fallback es un procedimiento que ofrece el servicio de llamadas de voz en LTE en el dominio CS. La solución basada en CS fallback utiliza la infraestructura de las tecnologías de 2G y 3G cada vez que el equipo del usuario en LTE hace o recibe una llamada. Esta función consiste en tres técnicas, una técnica para notificar a una terminal móvil en una celda o eNB de LTE que la solicitud de una llamada está siendo hecha desde un sistema CS de 3G,

una segunda técnica que habilita una terminal móvil que recibe la llamada solicitada para cambiar el sistema de acceso de radio y una tercer técnica combinada LTE y 3G que administra la movilidad. Un requisito indispensable para que se lleve a cabo el procedimiento del CS fallback es que donde haya cobertura de LTE también debe haber cobertura de 3G o 2G puesto que el terminal debe realizar la llamada normalmente desde las redes 3G o 2G, en Colombia se implementó únicamente sobre coberturas de 3G es decir donde hay cobertura 2G únicamente no se están instalando las antenas para 4G.

Para poder realizar una llamada de voz desde LTE, usando el procedimiento del CS fallback, el CS necesita saber el área de registro de LTE, para esto el MME debe comunicar al MSS/VLR que un usuario se acaba de registrar en su red y que cuenta con la funcionalidad de CS fallback esto lo realiza por una interface entre estas dos entidades, en Colombia esta información es comunicada únicamente a una sola MSS.

De manera general el CS fallback tiene una interface S-Gs que conecta al MME con la central de conmutación de las redes 2G y 3G que es la MSS, esta MSS no puede ser cualquier MSS de la red de 3G o 2G, debe ser una MSS previamente configurada como una gateway de overlay y la implementación se realiza conectando toda la red LTE por medio de esta MSS. Esta interface se encarga de toda la movilidad y del envío y recepción de los mensajes que se requieran para llevar a cabo el procedimiento de handover entre las dos redes.

El MME requiere además una actualización que le permita conectar la interface S-Gs de una manera correcta con la MSS con el fin de llevar a cabo la conexión del terminal. La MME necesita además obtener el número de registro de localización del usuario de la MSS para contactar el terminal que está ligado a la red LTE.

El CS fallback es un procedimiento para brindar el servicio de voz sobre LTE, combinando la movilidad que brinda 3G Y 2G con las mejoras del EPC en el inicio del despliegue de LTE, y todo esto hace posible brindar el servicio de voz antes de que se complete la cobertura de LTE y antes de que lance el servicio de VoLTE o la voz sobre LTE, lo que ha hecho posible el gran despliegue de la red, pues no se podría imaginar la red de LTE sin que se pueda realizar llamadas de voz cuando un abonado se encuentre en dicha cobertura, de esta manera nadie quisiera migrar su móvil a un servicio de 4G.

Entre las ventajas que presenta el CS fallback es que hay facilidades para los operadores, dado que pueden utilizar la infraestructura ya existente de las tecnologías 2G o 3G para realizar una llamada de voz sobre LTE, razón por la cual se escogió este método para poder realizar las llamadas de voz en los operadores colombianos. Se puede decir que el CS fallback es un paso antes de implantar sistemas basados en IP, como lo es MMTel. Por otro lado esta solución presenta el inconveniente que se incrementa bastante el tiempo de establecimiento de llamada, esto se debe principalmente a que se debe de realizar la transferencia a las redes 2G o 3G para iniciar o recibir una llamada, ocasionando que el usuario experimente una degradación del servicio de voz, se destaca que este proceso de transferencia a las redes 2G o 3G debe ser repetido para cada llamada, pues al finalizarse la llamada el terminal queda de nuevo registrado en la red LTE. Otra desventaja con CS fallback es que cada vez que el usuario inicia o recibe una llamada de voz el terminal será transferido al sistema 2G y 3G ocasionando que la calidad del servicio de las conexiones existentes de datos PS(datos) se

vean degradadas al igual que la voz. Si por ejemplo el sistema GERAN no soporta el dominio PS y CS simultáneamente, se presenta el caso en el cual el servicio de datos no se podrá brindar, por lo que es necesario actualizar el MSS, esto representa un problema para el operador pues la actualización de la MSS es bastante compleja.[24].

Como se mencionó para el CS fallback se tienen diversos escenarios, se realizara la explicación más detallada de los escenarios donde la llamada se realiza desde las redes 3G hacia la red de LTE y el otro escenario donde la llamada comienza con un terminal registrado en la red de LTE y llama a un abonado en las redes de 3G.

La configuración básica para la realización del CS Fallback se observa en la figura 24, donde se pueden observar las interfaces que conectan la red 3G con la red 4G como lo son la SGs que conecta la MME con el MSS de la red 3G y la interface S3 que conecta el MME con el SGSN del core de datos de 3G pues en el CS fallback también se debe migrar el bearer o conexión de datos y que este se siga brindando con normalidad.

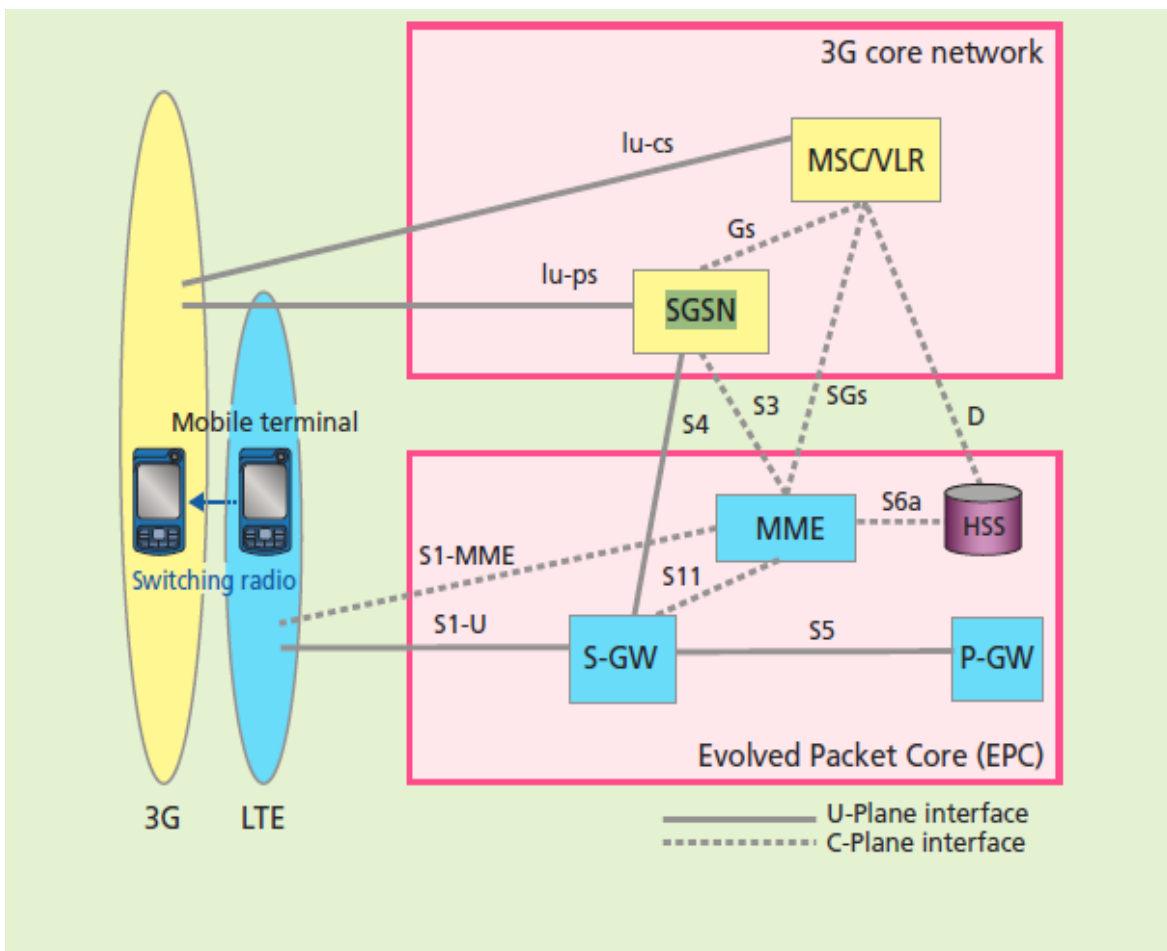


Figura 24. Arquitectura básica para el CS Fallback. [26].

14.5.1 LLAMADA ORIGINADA DESDE LTE

Para comenzar la llamada de voz desde un terminal este envía un mensaje “Call original Request” al MME como se ve en la figura 25. en la conexión del terminal con la red LTE siempre existirá un túnel o bearer para poder tener siempre un servicio de datos activos, este túnel también debe ser cambiado hacia 3G. Para lograr tanto la llamada como la actualización del túnel hacia 3G el MME envía un mensaje “handover command” al terminal ordenándole que realice un handover hacia 3G como se ve en la figura 25, de inmediato el terminal comienza el handover hacia la red de 3G, el terminal en este momento debe cambiar su interface de radio y debe acceder a la red ya no por E-UTRAN sino ahora accede por UTRAN es decir la interface de radio de 3G, esto se ve en el paso 3 en la figura 25. Ahora el terminal ya en la red 3G inicia un requerimiento de llamada hacia el MSS que utiliza el servicio de CS que está disponible en la red de 3G y establece la llamada con el terminal que se encontraba en la red de 3G. Para la comunicación con las redes 3G, con el fin de llevar a cabo el CS fallback se usa una interface que comunica el MME con el MSS, esta interface es la SGs por donde se transmite la información de registro y ubicación del abonado, aclarando que esta interface no se usa en este procedimiento, ya que el abonado llamante es el que está en 4G y no el abonado al que llaman, por lo que la red de LTE no necesita saber la ubicación del abonado. Este procedimiento es más sencillo que si el terminal se encontrara en las redes de 3G y se dirige la llamada a un terminal que se encuentra en 4G pues como se vio el MME simplemente se encarga de decirle al terminal que debe realizar un handover hacia la red 3G y desde allí establecer la llamada, el procedimiento de handover hacia la red 3G no se describirá en este apartado.

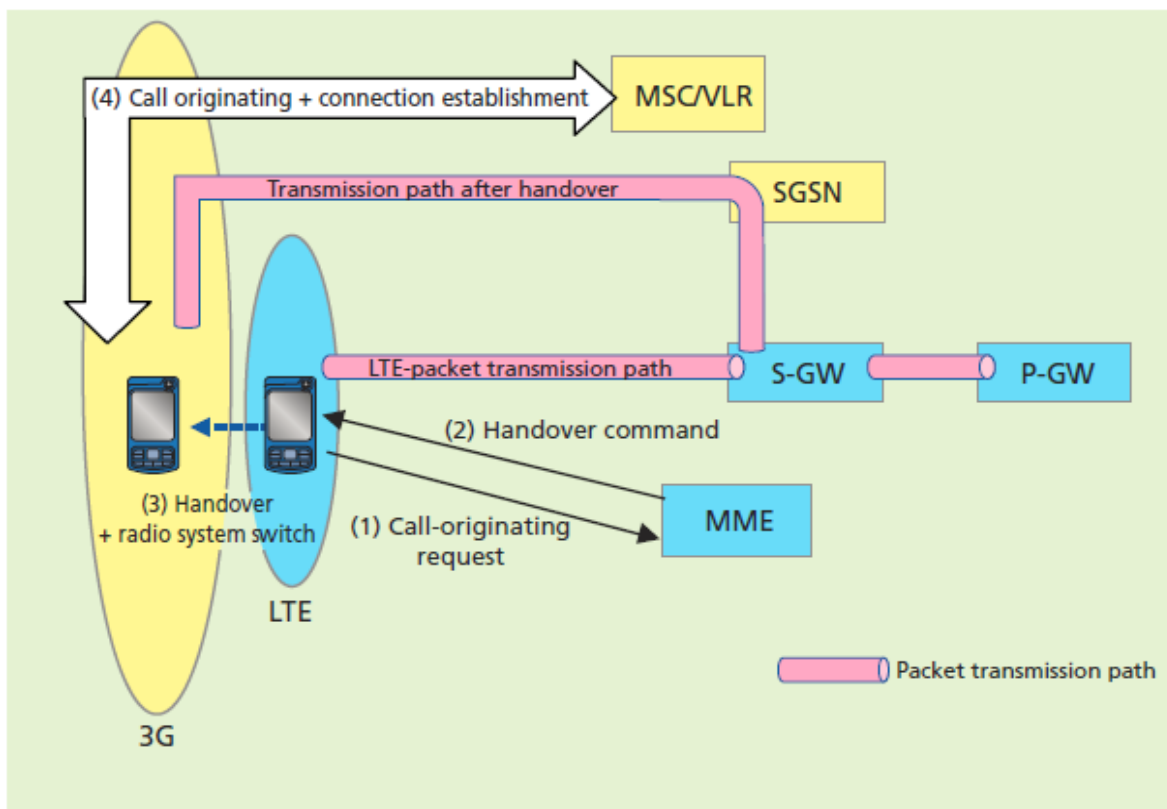


Figura 25. Proceso de llamada originada desde LTE. [26].

14.5.2 LLAMADA ORIGINADA DESDE REDES DIFERENTES A 4G (MOBILE TERMINATING CALL)

Cuando el MSS recibe el mensaje que un terminal en su red quiere realizar una llamada hacia un terminal que se encuentra en las redes 4G, el MSS busca de inmediato al MME que le pueda brindar este servicio como se ve en el paso 2 de la figura 26, a continuación el MSS envía un pagin hacia la MME correspondiente esto por medio de la interface SGs, luego la MME envía un mensaje de pagin hacia el terminal que se encuentra en LTE, en esta mensaje va el dato que se requiere un servicio de CS y un identificador de usuario como tal (IMSI) como se ve en el paso 4 de la figura 26. Al recibir este mensaje el terminal envía una petición de CS fallback hacia el MME y este responde con el mensaje ordenándole al terminal que realice el handover hacia 3G y seguido a esto se realiza el paso hacia 3G como se ven en los pasos 6 y 7 de la figura 26. Ahora el terminal que esta switchado a la red 3G envía un mensaje al MSS para su registro, y finalmente se establece la llamada usando los servicios de CS que están disponibles en 3G. Como se vio el procedimiento de CS fallback cuando la llamada proviene de las redes 3G hacia 4G es un poco más compleja pues la llamada comienza en 3G y se le debe informar al equipo en la red 4G que lo están llamando y quede regresarse a 3G para poder realizar esta llamada, como ya se mencionó este proceso conlleva un tiempo adicional que el usuario percibí al realizar la llamada pues tarda unos segundos en comenzar a timbrar indicando la solicitud de llamada al número B.

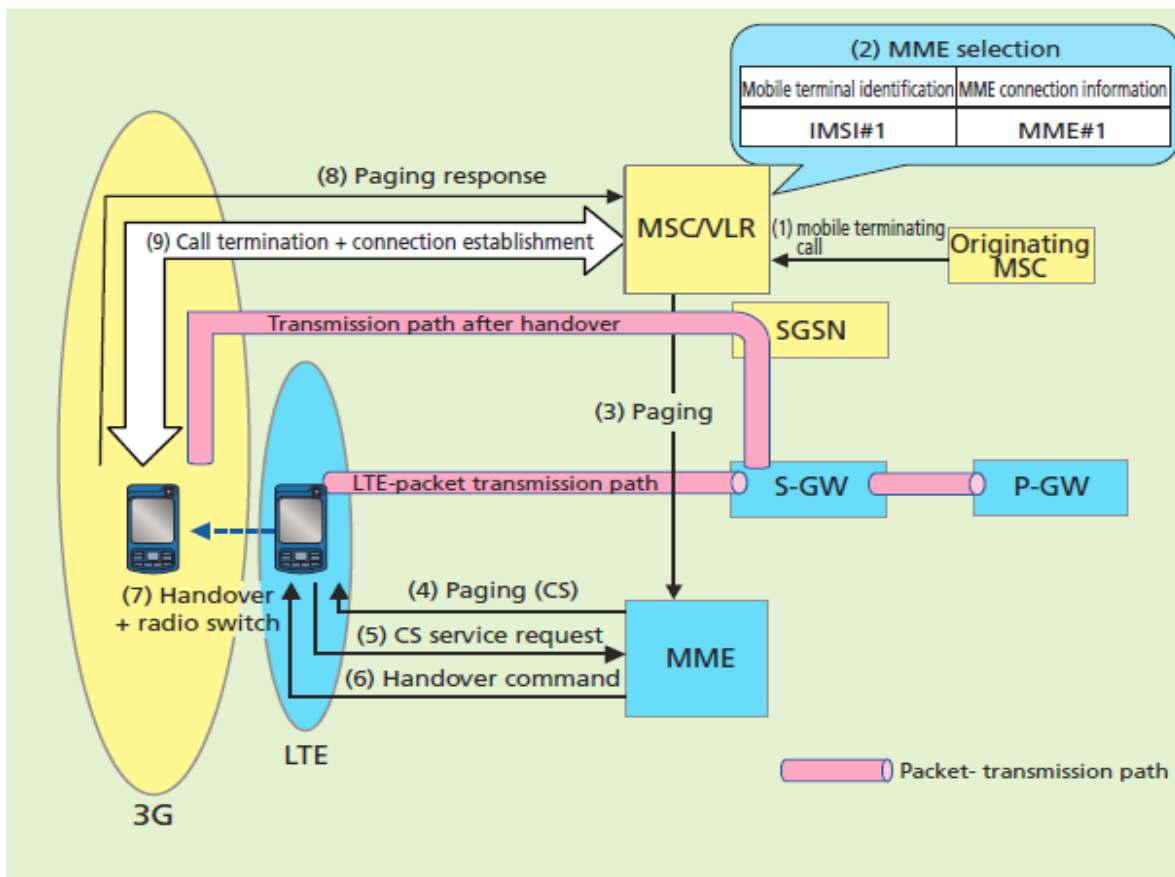


Figura 26. Proceso de llamada desde 3G hacia la red LTE. [26].

Ahora bien el funcionamiento del CS Fallback ya aplicado en las redes en Colombia funciona de la siguiente manera.

Cuando se tiene el servicio de CS Fallback en una red es necesario contar con un MSS de gateway overlay, y es en esta central donde se registran los abonados que están en 4G para la red de 3G, es decir el equipo de usuario al registrarse en la red de 4G al mismo tiempo el MME se encarga de comunicarle a esta MSS de overlay por medio de la interface SGs que un terminal se ha registrado en su red y que tiene funcionalidad de CS fallback, por lo tanto el terminal queda registrado tanto en 4G como en 3G. El inicio de la llamada originada desde una red de 3G inicia normalmente, el terminal comienza la solicitud de llamada que llega hasta el MSS con el mensaje send routing info (SRI), como el MSS desconoce donde se encuentra el abonado solicitado, entonces le debe preguntar esta información al HSS, quien tiene todo el registro de los abonados, pero para el HSS el terminal buscado se encuentra registrado en el MSS de gateway overlay, por lo tanto le envía una solicitud de número temporal (PRN) a el MSS de overlay y el MSS de overlay responde como si el tuviera registrado este abonado en su red, y envía la respuesta normal al HSS con el número temporal (PRN Ack), al recibir esta información con el número temporal del rango de la MSS de overlay el HSS le envía un SRI response al MSS que está cubriendo el abonado que realiza la llamada, al recibir este mensaje el MSS y consultar el número temporal que le envían, este sabe que la llamada la debe enrutar hacia el MSS de overlay y procede a enviar el mensaje de señalización número siete (SS7) el cual es un mensaje de initial address message (IAM) que es ya un mensaje de iniciación de circuito de llamada. Cuando la MSS de overlay recibe este mensaje se da cuenta que es una llamada hacia un equipo que está en la red de 4G, entonces procede a enviar un pagin hacia la MME por medio de la interface SGs, cuando el MME recibe este mensaje procede a buscar al terminal que están buscando y le envía un pagin de CS Fallback, cuando el terminal recibe este mensaje realiza el handover hacia 3G liberando todos los bearer que tenga levantados, y comienza un registro normal en la red de 3G con la MSS que lo esté cubriendo, que muy probablemente no sea la MSS de overlay, ni la misma MSS que cubre al terminal que está llamando. Se llamara a esta MSS la MSS de cobertura. Ya cuando el abonado que estaba en 4G se libera de esta red y comienza el registro en la red de 3G la MSS de cobertura debe informarle al HSS que un nuevo abonado se está registrando en su red, por ende le envía al HSS todos los datos para el nuevo registro y entre ellos un location update, cuando ya se completa el location update que es donde se informa la nueva localización del abonado, el HSS envía al MSS de cobertura un location update ack y al mismo tiempo envía un cancel location al MSS de overlay para completar la actualización de los datos en el HSS. Cuando el MSS de overlay recibe el mensaje de cancel location, este sabe que debe proseguir con la llamada que ya tiene sostenida, entonces hace como si fuese el que está realizando la llamada, es decir simula que por esta MSS de overlay fuese por donde ingreso la llamada y comienza un proceso normal de la misma enviándole al HSS un mensaje de SRI, ya en el HSS este abonado no está en el MSS de overlay sino que ya con la actualización realizada el HSS sabe que el abonado está en la MSS de cobertura, por lo que le envía a esta el mensaje de PRN hacia dicha MSS y como el MSS de cobertura ahora si tiene este abonado en su red, responde normalmente con un PRN ack, donde va la información del número temporal correspondiente a su rango, luego de esto el HSS envía el mensaje de SRI response hacia el MSS de overlay, ya con este mensaje donde contiene el número temporal del rango de la MSS de cobertura, el MSS de overlay replica el mensaje de IAM que tenía sostenido desde el inicio de la llamada y lo dirige hacia la MSS de cobertura,

el cual responde normalmente con el ACM (address complet mensaje) donde se indica que si se cuenta con el abonado en su red y que se puede iniciar la llamada de voz, pues en su cobertura ahora si se encuentra el abonado solicitado. Ya con este mensaje el MSS de overlay lo replica hacia el MSS donde realmente se originó la llamada, con este mensaje recibido, la MSS donde se inició la llamada realmente ya se tiene establecida la llamada de voz con el abonado que estaba en 4G, y la llamada sigue pasando por el MSS de overlay y enrutandose hacia el MSS de cobertura. La sección de datos también debe de seguir vigente por lo que el abonado hace un nuevo registro en el core de datos de 3G y por medio del SGSN de 3G se establece la comunicación con el P-GW que estaba prestando este servicio en 4G y la sección de datos continua normalmente.

15 MOVILIDAD EN LTE

Un aspecto muy importante en la telefonía móvil es brindar la movilidad al usuario y poder brindarle el servicio donde quiera que esté este y sin importar el desplazamiento que el mismo tenga, este aspecto lo tienen las redes de 3G y 2G y por supuesto no puede faltar en las redes de 4G.

Para garantizarle la movilidad a un usuario se deben realizar diferentes procedimientos, los cuales son: el procedimiento de registro el cual se describió en apartados anteriores, el procedimiento de actualización de áreas de seguimiento (trakin área update) y el procediendo de handover (HO). Estos procedimientos son fundamentales para garantizar la movilidad al usuario, y se describirán en los siguientes apartados para que queden claros los nuevos procesos de movilidad en la red de 4G y el estándar que se adoptó en Colombia para este propósito.

15.1 ACTUALIZACIÓN DE ÁREA DE SEGUIMIENTO (TAU)

En la figura 27 se describe el flujo donde se realiza una actualización de área del tipo más complejo, pues allí se cambia además del TA (trakin área), el MME que cubre al nodo, como también el S-GW por donde trascurren los datos de dicho usuario. En los escenarios más simples solamente se omiten los procedimientos mencionados a continuación donde se realiza el cambio del MME o del S-GW, pues en los escenarios más simples solo se cambia de TA. Se aclara que en Colombia este procedimiento se realiza de la manera más sencilla es decir en ningún momento se cambia de MME ni de S-GW, esto por motivos de cobertura, pero se espera que se implemente al completar la cobertura a nivel nacional.

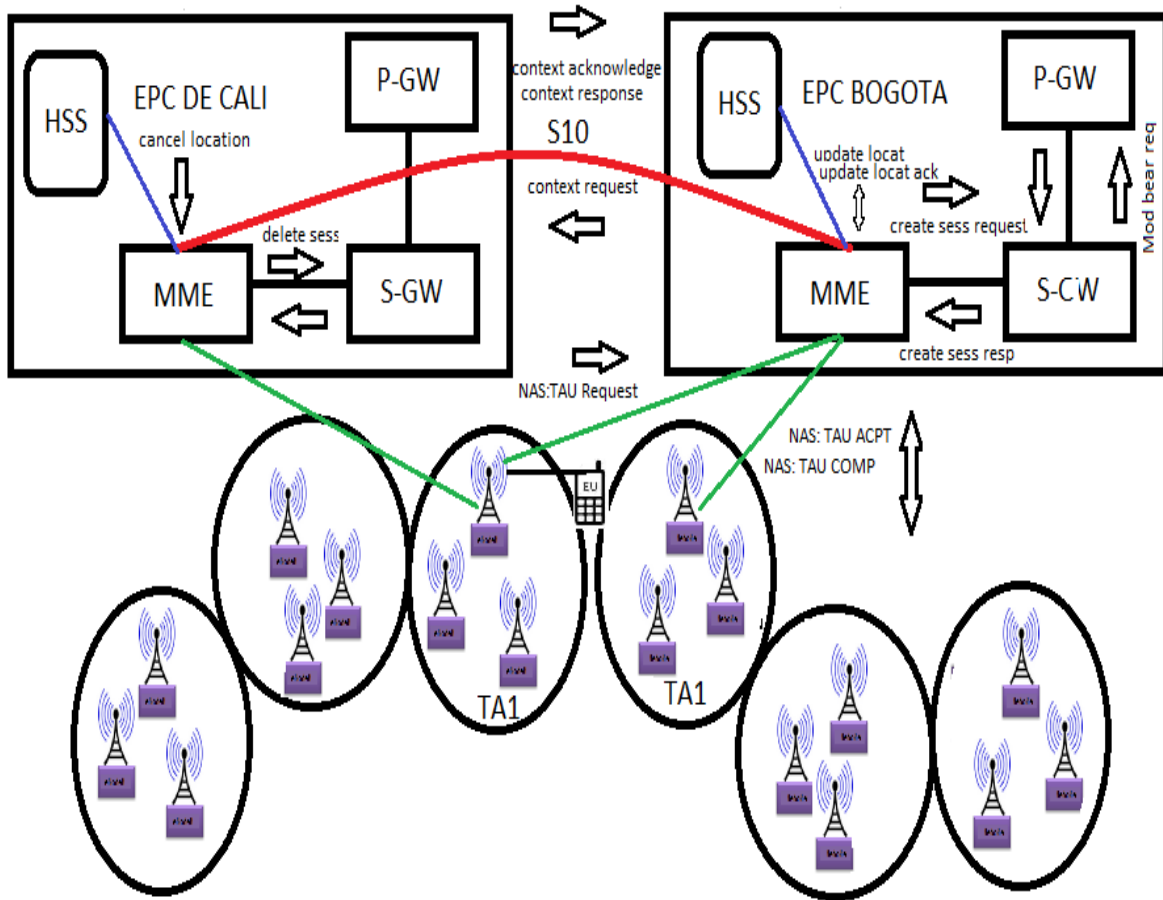


Figura 27 Flujo de actualización del área de seguimiento. [Fuente propia].

Los pasos que se ven en la figura 27 serán explicados a continuación donde se describirá el procedimiento que se realiza en este escenario y los mensajes de señalización empleados.

El proceso comienza en el terminal, el cual detecta una nueva celda vecina que en su canal de radio está transmitiendo una información de TA que el terminal no tiene en su lista de TAs. Dicho terminal comienza la actualización de TA enviando un mensaje al eNB donde le informa de este hecho, y solicitando la actualización, el mensaje enviado como se ve en la figura 27 es un TAU Request, en dicho mensaje le envía la información de usuario del abonado y además la información del MME que le presta el servicio a la celda vecina que detecto el terminal, como en este caso la celda vecina o el nuevo eNB no está cubierto por la misma MME como se aprecia en la figura 27, el eNB procede a enviar el mensaje de TAU Request hacia el MME que le brinda cobertura a la celda vecina y no hacia el MME que brinda cobertura actual, pues es este MME el que tiene el nuevo listado de TA que el terminal solicita.

Cuando la MME nueva recibe este mensaje donde se solicita una actualización de TA esta toma de este mensaje la información del usuario, donde obtiene la información de la MME

que estaba brindando el servicio anteriormente y por medio de la interface S10 procede a solicitar toda la información de usuario que se encuentra en la anterior MME y lo hace enviando el mensaje context Request como se ve en la figura 27. La anterior MME revisa esta solicitud de actualización de TA que recibe de la otra MME y si todo es correcto procede a enviar toda la información pertinente en el mensaje context response. En caso de que ocurriese algún error la nueva MME debe realizar un proceso completo de actualización y registro como el descrito en apartado **13.1**.

Ahora que ya el nuevo MME tiene la información que extrajo del anterior MME, procede a cambiar el plano de usuario es decir a cambiar el S-GW que estaba brindando el servicio, aclarando que esto solo ocurre en el escenario de la figura 27 donde también se debe realizar el cambio de S-GW. El MME entonces envía un mensaje al nuevo S-GW que considera debe prestar este servicio, esto basándose en el iDNS, este mensaje es el Create Session Request donde va toda la información de usuario conseguida anteriormente por la MME y además la dirección IP del P-GW que está prestando el servicio, esta información es enviada con el fin de que se mantengan los mismos servicios portadores que se venían usando para el usuario. Al recibir esta información el nuevo S-GW procede a levantar el túnel con el P-GW que debe prestar el servicio enviando el mensaje Modify Bearer, el cual es contestado por el P-GW luego de que este realiza los ajustes necesarios para que el usuario tenga la prestación de su servicio, como opción el P-GW puede informarle al PCRF el cambio geográfico que realizó el abonado, pues es posible que se deba cobrar de una manera distinta dependiendo la región, caso que no sucede en Colombia. Luego que el P-GW responde al S-GW este también debe contestarle al MME y lo hace por medio del mensaje Create Session Response, a partir de este momento el bearer queda establecido por el nuevo S-GW, es decir el plano de usuario que cursaba por el anterior S-GW ahora cursa por el nuevo S-GW.

Ahora que el plano de usuario ha sido migrado, el MME procede a actualizar la localización geográfica del abonado con el HSS y lo hace enviando el mensaje update location como se ve en la figura 27 hacia el HSS, el cual luego de actualizar su información responde con el mensaje update location ack, y al mismo tiempo envía un mensaje de cancel location hacia la MME antigua, a este mensaje se le programa un retardo de tiempo con el fin de que si falla la actualización o el abonado retorna rápidamente hacia donde se encontraba se pueda realizar el proceso de vuelta rápidamente. Al mismo que tiempo que la MME anterior recibe y procesa el mensaje de cancel location esta envía un mensaje de Delete Session hacia el anterior S-GW esto con el fin de eliminar los servicios portadores que tenía contra este y liberar recursos.

Finalmente el proceso de actualización de TA culmina con el envío del mensaje TAU Acept de la nueva MME hacia el terminal, donde va toda la información del listado de TAs solicitado, el terminal procesa dicha información y contesta con el mensaje TAU Complete finalizando así el procedimiento.

Ahora el otro proceso que se debe realizar en la gestión de movilidad son los handover (HO), que pueden presentar distintos escenarios en LTE, pues en algunas redes se tiene la interface X2 que es la interface encargada de una conexión directa entre dos eNBs, la cual hace mucho más simple el proceso de handover, y con menos perdida de paquetes o como en el caso de Colombia un escenario donde se cuente con la interface X2. A continuación se describirán dichos procedimientos.

15.2 HANDOVER CON LA INTERFACE X2

Este procedimiento se realiza para transferir la conexión de un terminal entre dos eNBs que tienen una conexión directa por medio de la interface X2, el proceso que se muestra en la figura 28 es el caso más común, que es donde no cambia ni de MME ni de S-GW, el terminal tiene una conexión de radio con el eNB actual y está en modo activo teniendo activos servicios portadores con el EPS, como ya se mencionó para la red de LTE es mucho más conveniente contar las interfaces X2 para realizar el procedimiento de handover, pues se evita que la señalización tenga que subir hasta el core y sea mucho más eficiente. En Colombia no se ha implementado hasta el momento esta interface, pues estos procedimientos de handover para los datos no son muy notorios, en el momento en el que se empiece a comercializar la voz sobre LTE es muy probable que se comience a implementar esta interface, pues para el handover de voz sería mucho más conveniente contar con estas interfaces, y de esta manera poder brindar un mucho mejor servicio sin que el usuario final pueda notar el momento en el que se realizare el handover entre dos eNBs, además de ahorrar muchos servicios en el EPS principalmente en la MME que será la encargada de realizar el procedimiento de handover en caso de no contar con la interface X2 como se describirá más adelante.

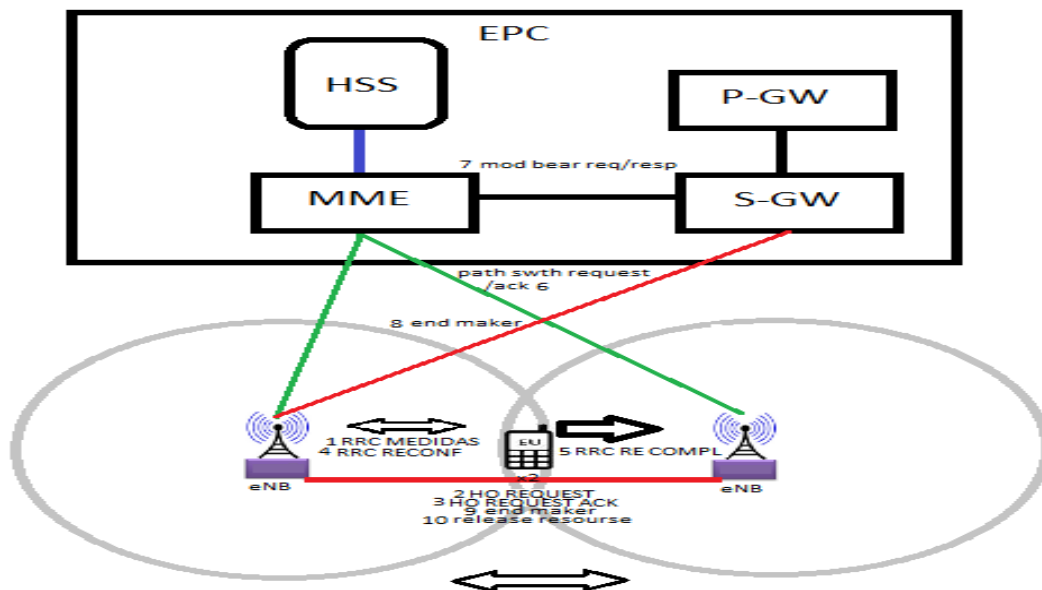


Figura 28. Procedimiento de handover con la interface X2. [Fuente propia].

Como se realizó en la actualización de TAU se describirá el procedimiento que se realiza para hacer efectivo un handover con la interface X2.

En la red de LTE el que toma la decisión de iniciar el handover ahora es el eNB pues como ya se mencionó anteriormente el eNB toma las funciones que realizaba la RNC en 3G, para tomar esta decisión el eNB le pide información al terminal, el cual le envía la información de potencia recibida desde otras celdas vecinas y demás parámetros para que el eNB tome la decisión de realizar un handover, el eNB realiza un algoritmo con la información recibida y toma la decisión de si es o no necesario realizar el handover.

Luego de que el eNB de origen toma la decisión de realizar el handover basándose en el resultado del algoritmo que realiza, este envía un mensaje de solicitud de handover hacia el eNB que considere es el más adecuado para brindar el servicio al usuario, este mensaje es el HO Request el cual es enviado sobre la interface X2, en este mensaje va toda la información de los servicios portadores de radio que tiene activos el usuario además de toda la información necesaria para que el eNB destino pueda tomar la decisión de si recibe o no el abonado, ya con esta información el eNB de destino toma la decisión si realiza o no el procedimiento, si es así este responde el mensaje hacia el eNB que lo solicitó y aparta todos los recursos para recibir el nuevo abonado.

El proceso de handover comienza con él envió de un mensaje del eNB de origen hacia el terminal, ordenándole el cambio de celda y además transfiere la información necesaria desde el eNB destino. Al mismo tiempo el eNB origen puede enviar información pertinente al plano de usuario con el fin de mantener la sesión que se está cursando. A partir de este momento todos los paquetes IP que son enviados o que se encontraban almacenados en el eNB de origen son enviados por la interface X2 hacia el nuevo eNB.

En la interface de radio el terminal ya se sincroniza con el nuevo eNB y el eNB destino realiza ya una asignación inicial de recursos radio por donde comienza el envió de paquetes hacia el nuevo eNB.

Finalmente mediante el mensaje 5” reconf complete” el terminal señala al nuevo eNB donde le confirma que ya se realizó el cambio. A partir de esto momento ya quedan activos los servicios portadores de radio para la transferencia de información tanto del plano de usuario como de control. Según la 3GPP el tiempo que debe transcurrir entre el mensaje 4 y el mensaje 5 de la figura 28 es de 50 a 130 ms pues este es el tiempo que dura sin servicio el usuario cuando se realiza este handover, por lo tanto no debe ser superior a este tiempo que además se le deben añadir unos milisegundos más mientras sincroniza completamente con el terminal.

Una vez el terminal está conectado con el eNB de destino, la conexión en la EPC del plano de usuario aún se encuentra establecido mediante el eNB de origen pues el túnel de la interface S1-U aún tiene su origen desde el eNB anterior y por supuesto esto debe cambiarse.

Para realizar la actualización en la red troncal EPC se inicia con el envío de un mensaje “Path Switch Request” desde el eNB de destino hacia la MME correspondiente, el mensaje contiene la información de la nueva celda, ya con esta información el MME decide si hay que cambiar de S-GW pues recordemos que esta decisión se toma con respecto al área geográfica en la que se encuentre el eNB que le brinda cobertura el nodo. En el caso que se está ilustrando esto no sucede. Luego de que la MME decide con cual S-GW continuara la sesión de datos interactúa con este y actualiza el contexto de datos asociado al usuario, tan pronto como la pasarela procesa el mensaje “modify bearer” que es el mensaje 7 que se ve en la figura 28 esta comienza a enviar los paquetes de usuario ahora hacia el eNB nuevo. En este mismo momento el S-GW también puede enviar un mensaje “end marker” hacia el eNB de origen informándole que ya se realizó el cambio, después de esto el eNB de origen reenvía esta información hacia el eNB nuevo con el fin de terminar ya la comunicación entre los dos eNBs. Dicha actualización termina con el envío del mensaje “Path Switch Request ack”.

Finalmente el eNB destino le informa al eNB de origen que el handover fue un éxito y este procede a eliminar el contexto de datos de usuario y si no lo ha hecho aún, deja de enviar paquetes a través de la interface X2 y se finaliza de esta forma el proceso de handover entre dos eNB con soporte sobre la interface X2.

15.3 HANDOVER SIN LA INTERFACE X2

Este procedimiento se denomina handover basado en S1, y se realiza en el caso de requerirse un handover entre 2 eNBs que no estén conectados directamente por medio de la interface X2, en la figura 29 se muestra este procedimiento. También se describirá dicho procedimiento tomando en cuenta los mismos parámetros en lo descrito en el handover soportado con la interface X2, es decir no se realizara cambio de MME ni cambio de S-GW con el fin de realizar una comparación más sencilla ente los dos escenarios.

Como se sabe este es el método utilizado en Colombia actualmente pero que muy probablemente después del mes de julio del 2015 se comenzara a implementar el método de handover basado en la interface X2.

A continuación se describirán los pasos en el handover basado en S1 comparándolos y basándose en el handover realizado con la interface X2, donde se podrá observar que el mayor cambio que hay entre los dos métodos es la intervención directa del MME. Se ara evidente que es mucho mas sencillo y con un consumo inferior de recursos si se realiza el handover con la interfaces X2, pues como se ve en la figura 29 toda la señalización y mensajes en esta tendrán que ir hasta el MME, e incluso se usara el S-GW para trasferir información correspondiente al plano de usuario. Como se vio en el anterior procedimiento estos no intervenían para soportar dicho procedimiento, solo para modificar el bearer, procedimiento que es mucho más corto y sencillo.

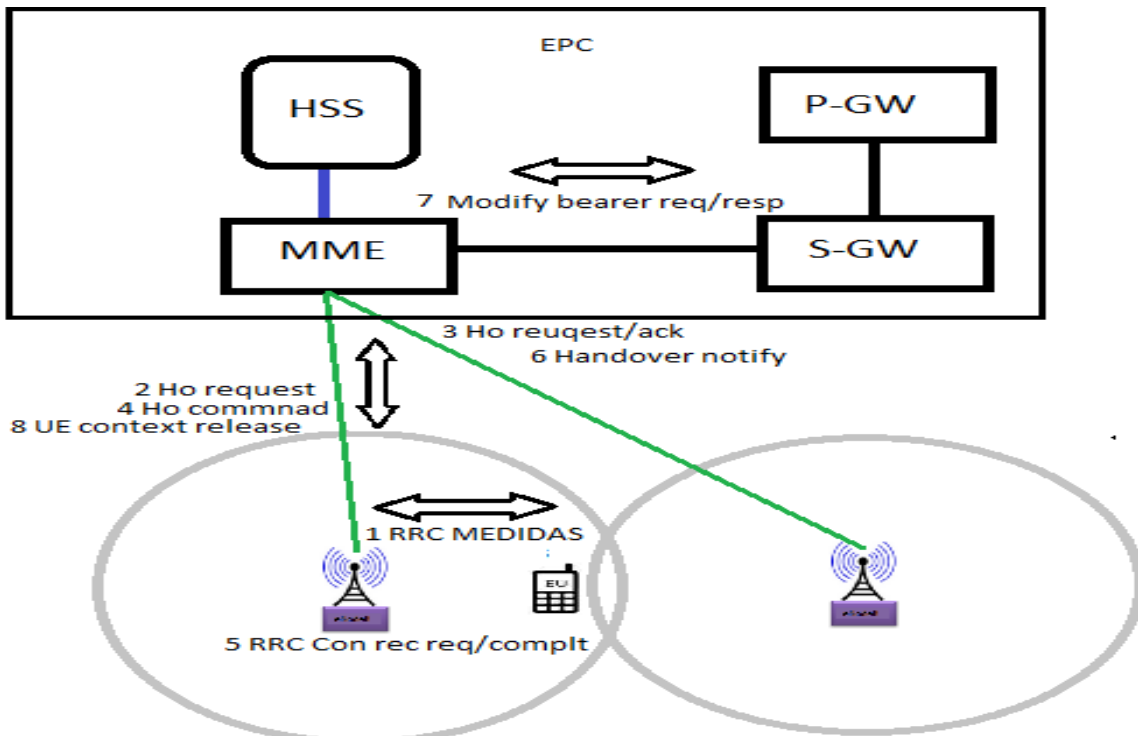


Figura 29. Proceso de handover basado en S1. [Fuente propia].

A continuación se describirán los pasos con los que se realiza este procedimiento.

La iniciación del handover en este caso es el mismo que se realiza teniendo la interface X2 pues es el eNB es el que toma la decisión de iniciar el handover basándose en la información recibida desde el terminal como ocurría en el anterior procedimiento.

La gran diferencia que existe entre este tipo de handover y el basado en la interface X2 es que la solicitud de handover no es enviada directamente hacia el eNB de destino, sino que en este caso el mensaje de solicitud HO Request es enviado hacia el MME por medio de la interface S1 con la información del eNB destino suficiente para que el MME pueda enviar la solicitud hacia este, el MME reenvía el mensaje recibido hacia el eNB destino el cual al recibirlo realiza el mismo procedimiento que en el caso de tener la interface X2, es decir separa los recursos y toma la decisión de realizar o no el handover, si la respuesta por parte del eNB destino es positiva este responde al MME con el mensaje HO Request ack que es nuevamente retransmitido con el nuevo mensaje HO Command hacia el eNB de origen donde le confirma que puede llevar a cabo la realización del handover. En este mismo momento se el MME puede crear un túnel con el S-GW con el fin de transmitir la información de usuario que cursa aun por el eNB destino, esto con el fin de que la sección del usuario se mantenga.

La ejecución en la interface de radio es casi la misma que realiza en el procedimiento descrito en el apartado anterior, donde el handover es basado en la interface X2, Las dos únicas diferencias son que el mensaje equivalente al mensaje “SN StatusTransfer” donde va la información de usuario cursada actualmente se envía ahora entre eNBs a través de la entidad MME, y una vez detectado el acceso del terminal en el nuevo eNB, éste lo señala a la entidad MME mediante el mensaje “Handover Notify” que es el mensaje 6 en la figura 29.

Después de recibida la solicitud de handover la MME interactúa con el S-GW para levantar el túnel entre los dos eNB y poder transferir los datos de contexto de usuario del eNB de origen hacia el eNB de destino como se menciona anteriormente, pero igualmente como sucede con el handover basado en la interface X2, el plano de usuario aun es transmitido hacia el eNB de origen pues el S-GW aún no se entera del cambio, es por esto que el MME procede a enviar el mensaje Modify Bearer Request hacia el S-GW, el cual procesa este mensaje que contiene toda la información de usuario necesaria para levantar la sección nuevamente con el P-GW y comenzar a transmitir la información de usuario hacia el eNB de destino y responder el mensaje recibido con un nuevo mensaje Modify Bearer Response notificándole al MME que el cambio se realizó.

Finalmente la MME le notifica al eNB de origen que el handover se ha realizado con éxito, por ende el eNB procede a realizar la eliminación de los datos del contexto de usuario que tenía establecidos, y en caso de tener levantado el túnel a través del S-GW que conectaba los dos eNB, también se procede a la eliminación del mismo, y de esta manera se finaliza el proceso de handover entre los dos eNB por medio de la interface S1 donde pudimos apreciar la participación activa del MME la cual fue la intermediaria de todos los mensajes que se deben enviar entre los dos eNBs para realizar el procedimiento.

16 ÚLTIMOS DESARROLLOS DE LA TECNOLOGÍA

16.1 VoLTE

Ya hoy en día se oye hablar mucho de las redes de 4G o mejor de LTE, puesto que ya hace más de un año que en Colombia se lanzaron al mercado las redes 4G, y los operadores han estado realizando un gran despliegue, teniendo hoy en día un despliegue bastante amplio por el territorio nacional, pero como se sabe las redes de LTE fueron diseñadas para brindar únicamente datos y así funcionan actualmente en Colombia y en gran parte del mundo, pero esto está a punto de cambiar.

En Colombia los diferentes operadores se encuentran en una competencia silenciosa hasta hoy a los medios y población en general, pero que muy pronto se comenzara a oír de VoLTE. Lo que se busca con esta nueva tecnología es permitir las llamadas de voz usando la arquitectura de datos de LTE, aunque a primera impresión no se vea algo de importancia o relevancia pues ya se cuenta con un servicio de voz brindado por las redes de 3G y 2G.

El uso de las llamadas de voz sobre LTE cambiara radicalmente la forma como conocemos las llamadas actualmente, pues las llamadas ya no serán como las conocemos tradicionalmente sino que ahora serán llamadas sobre IP, lo cual traerá muchas ventajas y cambios para los servicios de voz.

Uno de los cambios más importantes que traerá la voz sobre LTE, es la calidad de la voz pues se sabe que en la tecnología usada en 3G y mucho más en 2G, el ancho de banda que se tiene para transportar la voz es algo limitado, como ahora se cuenta con un muy buen ancho de banda gracias a la tecnología 4G, se brindara un ancho de banda mucho más grande que cubrirá más frecuencias que contiene la voz humana, y con esto se podrá brindar lo que se llama voz HD, según los expertos después de probar la calidad del audio que además traerá eliminación de ruidos, no se querrá volver a las redes de 2G o 3G. Además de poder brindar una alta calidad en la voz durante la llamada, otras ventajas que traerá la implementación de la voz sobre LTE es que la llamada se establecerá hasta 20 veces más rápido por lo que el usuario ya no sentirá esos segundos de espera antes de recibir el tono de marcación, que ya hoy en día no son demasiado notorios pero que ahora serán eliminados por completo, y en un momento de suma urgencia serán un alivio para el usuario. Además de que también se sentirá un ahorro de batería en los Smartphone, lo cual será de gran agrado para el usuario, pues se conoce los problemas que se tiene con las baterías de los Smartphone, ya que la duración de la batería es muy corta, este ahorro de batería mencionado se debe al hecho que al realizar una llamada o recibir una llamada estando en la red de 4G ya no se tendrá que realizar el proceso de handover o cambio hacia las redes 3G o 2G como funciona hoy en día, este proceso lleva un gran consumo en la batería pues el terminal debe registrarse en una red y al terminar la llamada debe salir de la misma y nuevamente buscar la red 4G y realizar el registro correspondiente, todo esto ya no será necesario pues la llamada de voz se realizara usando la misma red con la que se encuentre registrado en ese instante que será la red de 4G.

Otro cambio muy importante que se va a tener es que como ya se mencionó, la llamada se realizara ahora sobre datos, por lo que la forma de cobrar los minutos debe cambiar, este cobro dependerá del operador que deberá tomar importantes decisiones en cuanto a mercadeo, pues un operador algo agresivo podría ofrecer un plan de datos único con todo incluido donde el consumo de datos ira mesclado con el consumo de llamadas de voz a precios mucho más económicos de los ofrecidos actualmente y además con las nuevas ventajas y cualidades que conlleva VoLTE, o bien un operador más conservador podrá seguir cobrando las llamadas por minutos, pues técnicamente nada se lo impide. Ahora bien como es conocido hoy en día ya hay llamadas de voz sobre IP como lo que brinda por ejemplo Skype y Whatsapp, la diferencia crucial que existe entre estos servicios y los que ofrecerá VoLTE es que los operadores que brindan el servicio de VoLTE tendrán el control completo de su red y podrán administrarlas como desean, mientras que servicios como Skype son dependientes de otros servicios y factores. Muy probablemente como sucedió con los mensajes cortos SMS a la llegada del whatsapp los operadores de telefónica se verán obligados a brindar paquetes de datos con voz incluida, lo cual siempre terminara beneficiando al usuario que vera una reducción notable en el costo de una llamada de voz.

Las desventajas que tiene este servicio son muy pocas comparadas con las grandes ventajas que tiene desplegar este sistema, la principal desventaja es la cobertura, pues aunque ya hoy

en día se tenga un gran despliegue, no se compara con la cobertura de las redes 3G y 2G y para que funcionen todas las virtudes de VoLTE la llamada se debe realizar entre dos terminales que estén cubiertos por la red 4G y que los terminales sean compatibles para su uso, y además de ello no se podrán comunicar usando VoLTE dos terminales que se encuentren en diferentes redes, es decir un usuario está usando la red del operador A y el otro terminal está usando la red 4G del operador B, en este escenario se deberá seguir usando las redes de 3G, esto sucederá al menos en los primeros meses de despliegue de VoLTE, mientras los operadores llegan a acuerdos de roaming, además de las dificultades técnicas que esto conlleve.

En el momento que comience el despliegue comercial de VoLTE no habrá una cobertura total de las redes 4G y se va a presentar el caso que se deba usar 3G para continuar con la llamada, este escenario será resuelto por los operadores usando SRVCC (Single Radio-Voice Call Continuity) lo cual permitirá que al estar a punto de salir de cobertura 4G alguno de los dos terminales se realice un handover hacia 3G por medio del IMS ya implementado y la llamada continúe sin que se interrumpa la llamada, con este método se soluciona el problema de la cobertura y permitirá el despliegue de VoLTE sin ningún inconveniente hasta que se llegue en un futuro a una cobertura completa de 4G sin que se vea bloqueado su despliegue, pues en caso de no estar este método al salir de la cobertura 4G la llamada se perdería, lo cual sería de mucha incomodidad para el usuario y no permitiría una buena penetración en el mercado del servicio brindado por VoLTE.

16.2 DESCRIPCIÓN GENERAL

Para poder brindar el servicio de voz sobre LTE se requiere el uso del core de IMS, que es un conjunto de equipos, interfaces y protocolos que brindan la posibilidad de manejar la voz sobre LTE, el IMS actualmente es utilizado en la red fija para manejar la voz sobre IP que se usa actualmente, además de poder brindar servicios multimedia como vídeo, conferencias y demás servicios que van sobre la red IP, por esta razón se decidió utilizar el core de IMS, pues la mayoría de operadores ya cuentan con uno, y de esta manera se le sacara un mayor provecho a dicho core que hasta hoy no era muy popularizado, pero con la llegada de VoLTE se dará a conocer mucho más. En el apartado **16.3** se verá más a profundidad la descripción del IMS, y en la figura 30 se ve el esquemático funcional de VoLTE donde se observan las interfaces y los equipos que hacen parte y que brindan servicios al IMS.

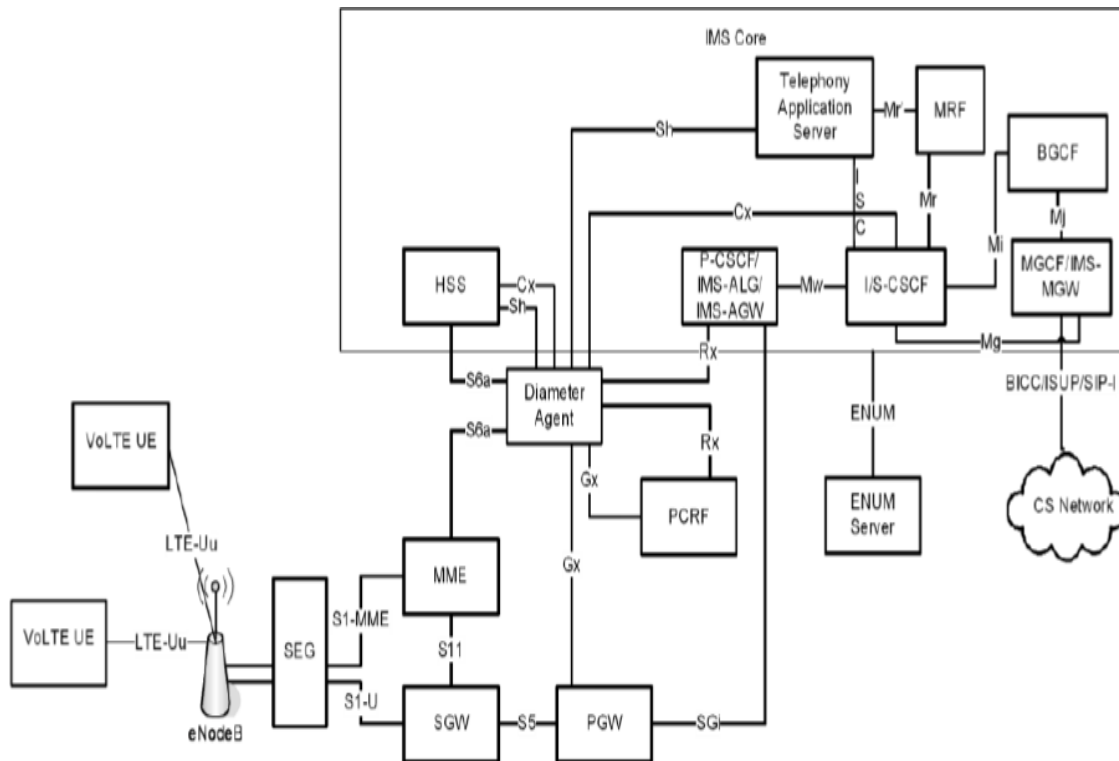


Figura 30. Arquitectura VoLTE. [27].

16.3 IMS (IP multimedia subsystem)

El core de IMS es un conjunto de equipos y protocolos que brinda los mecanismos de control necesarios para poder brindar los servicios de comunicación multimedia basados en protocolos IP. El core de IMS cuenta con una serie de elementos como son equipos de CSCF, servidores de bases de datos y servidores de aplicaciones que se comunican entre sí con diferentes interfaces y protocolos IP, como lo son diameter y SIP los cuales permiten gestionar la provisión de servicios, tales como voz y vídeo sobre IP, llamadas grupales y demás. El acceso al core de IMS se realiza por medio de la interface SGi que sale del P-GW de la red LTE combinado así la red de LTE con el core de IMS. El brindar servicios de comunicaciones móviles a través del IMS pretende cambiar a corto plazo los servicios equivalentes ofrecidos actualmente en la conmutación de circuitos. Lo cual se puede deducir al ver que una arquitectura tan importante como la de la red LTE fuese solo diseñada para brindar servicios de PS y no de CS, por lo cual ya es claro que la red de LTE quiere brindar el servicio de voz sobre IP usando la red de LTE.

El hecho de usar los protocolos IP que fueron definidos por el IETF para brindar los servicios de multimedia en el IMS, permite reducir bastante el ciclo de desarrollo para los terminales

y equipos, pues estos protocolos ya se vienen utilizando y están implementados en otras redes como las de internet o redes de área local. Además esto facilita la conexión con las demás redes que usan el mismo estándar definido por la 3GPP como son las redes 3G, 2G y la red fija conmutada, este aspecto es de suma importancia para los operadores, pues lógicamente el servicio de voz sobre LTE debe poder comunicarse sin ningún problemas con las demás redes ya implementadas. La 3GPP escogió el protocolo SIP de gran desarrollo en los últimos años para soportar la principal señalización en el core de IMS y es por esto que los equipos que son el corazón de IMS como son los CSCF se comunican por medio de la interface Mw que es soportada por el protocolo SIP.

El core de IMS se basa en tres capas como son el transporte, control y aplicación como se ve en la figura 31. La capa de transporte es la manera como se accede al core de IMS que para VoLTE será la red de LTE. En la capa de control se ubican los elementos especializados en la gestión de sesiones tales como los servidores de señalización SIP, así como otros elementos específicos para la interacción con redes telefónicas convencionales. Y la capa de aplicación son los servicios de multimedia que es capaz de brindar el core de IMS con sus servidores de aplicación y en ocasiones con servidores de aplicaciones de otras redes. [16].

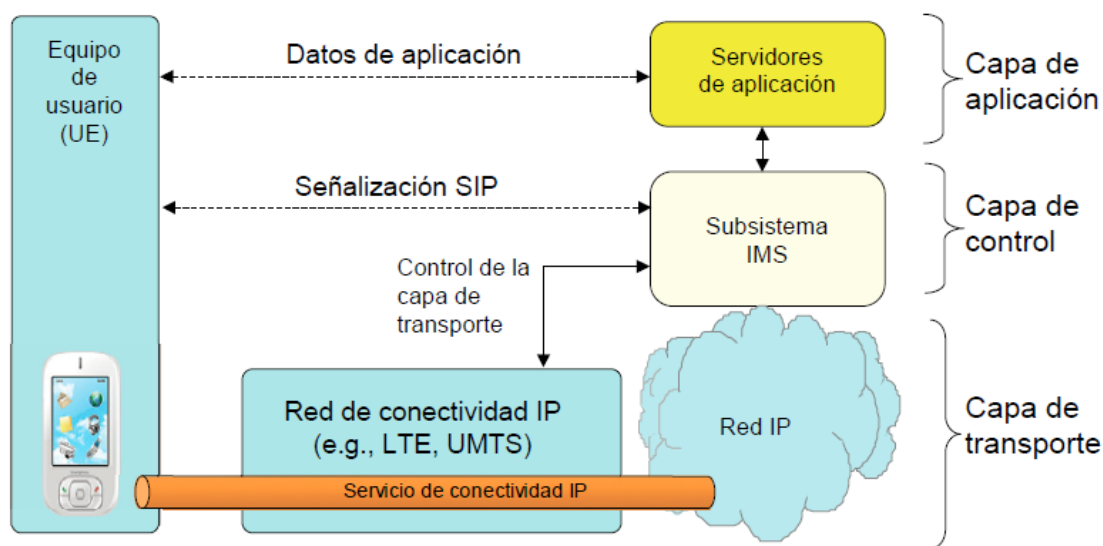


Figura 31. Provisión de servicios en base al IMS. [16].

Para el establecimiento y liberación de sesiones a través del IMS este se basa en el protocolo de señalización SIP complementado con una serie de extensiones definidas por el 3GPP. Como se ve en la Figura 31, un terminal conectado por medio de LTE, utiliza SIP para su interacción con IMS al ingresar por el SBC. Se trata de un protocolo en crecimiento, muy respaldado por organismos de normalización y por la industria, y que continúa evolución. Además de SIP, en el core de IMS como ya se mencionó se emplean otros protocolos de señalización, tales como Diameter y MEGACO/H.248, para escenarios de comunicación en los que intervienen pasarelas de medios (por ejemplo, pasarelas VoIP para interconectar redes

IP con redes telefónicas convencionales). Los principales componentes del IMS se ven en la figura 32 y se describirán a continuación.

Para explicar este estándar a continuación se realiza una explicación basada en el documento de Vodafone España en el (capítulo 2 sección -2.7): “El Serving CSCF (S-CSCF) actúa como el nodo central de la señalización en sesiones IMS. El S-CSCF actúa como servidor de registro SIP (SIP Registrar) de forma que, cualquier mensaje de señalización SIP dirigido al usuario mediante la dirección SIP correspondiente, siempre termina pasando por el S-CSCF donde el usuario se encuentra registrado. S-CSCF puede proporcionar por si solo algunos servicios al usuario (servicio de re direccionamiento de llamadas, listas de marcado, etc.) o bien encaminar la señalización SIP hacia los servidores de aplicación correspondientes (servidores que implementan un servicio de mensajería instantánea).

El Proxy CSCF (P-CSCF) es un servidor SIP que actúa como la puerta de entrada al subsistema IMS desde la red de conectividad IP: toda la señalización SIP de los terminales LTE/UMTS transcurre a través de este servidor. Entre otras funciones, el P-CSCF es el elemento que interacciona con las funciones de PCC (Policy and Charging Control) de la red de conectividad (a través de la entidad PCRF). Por tanto, a través del P-CSCF, el subsistema IMS puede controlar la operativa de la capa de transporte (servicios portadores EPS en LTE).

El Interrogation CSCF (I-CSCF) es un servidor SIP que actúa como puerta de entrada de la señalización SIP proveniente de redes externas. En este sentido, la dirección IP del servidor I-CSCF es la que está incluida en los servidores de nombres de las redes externas (servidores DNS de Internet) de forma que la resolución de nombres de dominio (usuario@operadorLTE.com) conduce al envío de los mensajes SIP a la dirección IP del servidor I-CSCF quien, posteriormente, re-dirige los mensajes a los servidores S-CSCF correspondientes con ayuda del HSS quien le brinda la información necesaria para poder saber cuál es el S-CSCF que corresponde al usuario.”

El core de IMS también tiene mecanismos que le permiten la interoperabilidad con los servicios equivalentes a los ofrecidos con los sistemas de circuitos conmutados, de esta manera un usuario de VoLTE puede fácilmente comunicarse con un abonado que se encuentre en las demás redes sin que se tenga ningún, donde es el IMS el que se encarga de convertir la información que está en datos en los diferentes codecs para que puedan ser entendido y manejados por la demás redes esto lo realizan las media Gateway especializadas con las que cuenta el IMS y que se pueden ver en la figura 32 como es la MGCF que a través del protocolo H.248 escoge y controla la señalización adecuada para establecer la comunicación con las demás redes ya sean las redes móviles y lo red fija.

16.4 DESCRIPCIÓN DE UNA LLAMADA EN VoLTE

Para poder realizar una llamada entre dos usuarios que se encuentren en la red de 4G sin necesidad de usar el CS de otras redes, se debe contar principalmente con dos terminales que

soporten la tecnología 4G, y adicionalmente que sean capaces de soportar el servicio de VoLTE, lo cual requiere un software adicional y diferentes parámetros que deben configurarse en el terminal. Actualmente en Colombia hay 5 tipos distintos de terminales que soportarían el servicio de VoLTE, entre ellos los más conocidos el IPHONE 6 y Samsung Galaxy S5/S6. Para comenzar la llamada en primera instancia se debe tener un bearer establecido hasta la interface SGi como se describe en el apartado **13.1**, después de esto por medio de este bearer se envía un mensaje SIP invite, el cual ingresa a el IMS por medio del SBC (Session Borderer Controller) que actúa como un firewall para protección de la red, luego llega al P-CSCF por donde ingresa cualquier conexión que se dirija hacia el IMS, es decir la dirección IP del IMS que se ve desde el EPC de LTE es la del P-CSCF, luego de que llega al P-CSCF este mensaje es retransmitido hacia el I-CSCF quien utiliza a el ENUM para convertir los números E.164, en URI's, es decir el número del abonado móvil se convierte en una SIP URI que puedan entender los demás equipos del IMS, además de ello el I-CSCF necesita saber cuál es el S-CSCF que le puede brindar el servicio al usuario, por ende el I-CSCF procede a realizar la consulta al HSS por medio de la interface Cx enviándole mensajes basados en diameter, primero desde el I-CSCF se envía un mensaje LIR(Location info Request) y el HSS responde con un mensaje LIA(Location info Answer) donde le envía la SIP URI correspondiente al S-CSCF, con el fin de que se proceda a enviar la solicitud, la conexión entre el I-CSCF y el S-CSCF se realiza por medio de la interface Mw la cual se basa en el protocolo SIP. Adicionalmente el S-CSCF necesita saber los servicios suplementarios con los que cuentan los abonados que requieren el servicio, por ende realiza un intercambio de mensajes SIP con el MTAS(Multimedia Telephony Application Server) que es el servidor que tiene los servicios adicionales que se pueden manejar en la llamada, como lo son desvío de llamadas, número invisible y multiconferencias. Además del servidor MTAS, pueden haber muchos más servidores que brinden servicios complementarios, dependiendo de lo que requieran los abonados llamantes y los servicios que el operador quiera brindar.

El MTAS también debe comunicarse con el HSS para saber si los servicios solicitados por los abonados son posibles de realizar y si están provisionados correctamente, esta comunicación la realizan por medio del protocolo diameter y la interface Sh con los mensajes UDR (User Data Request) y UDA (User Date Answer) con el cual el MTAS descarga la información del perfil del usuario necesaria para poder brindarle los servicios adicionales. Ya con esta información el S-CSCF puede brindarle los servicios al usuario por lo que se envía un mensaje SIP hacia el terminal indicándole que puede iniciar como tal la llamada, este mensaje SIP es el SIP 200 ok que indica el correcto registro del abonado en el IMS, después de esto el terminal inicia la llamada con el protocolo RTP por medio del SBC por donde seguirá cursando el flujo de la llamada mientras el IMS continua realizando el control y monitoreo de dicha llamada. Esto es para dos abonados que están en cobertura LTE.

Ahora bien si un abonado que se encuentra en la red de 4G, y cuenta con el servicio y la capacidad de uso para VoLTE quiere llamar a un abonado que está en las redes de 3G y de 2G, la llamada se podrá realizar, pero se perderán beneficios de VoLTE como lo es la voz HD, pues la voz ahora tendrá que regresar a las redes de CS de la telefonía 2G o 3G. Para este procedimiento se debe iniciar de la misma manera con el registro y la creación del bearer, pero ahora intervienen unos equipos adicionales que hacen parte del IMS. Cuando el mensaje SIP llega al S-CSCF y este se da cuenta que la llamada se dirige hacia un terminal que se encuentra en la red de 3G o 2G este procede a establecer una comunicación con el BGCF por medio de la interface Mj que se basa en el protocolo SIP. El BGCF (Breakout Gateway Control Function) es responsable de determinar el siguiente salto para el enrutamiento de mensajes SIP. Esta determinación se basa en la información recibida dentro de los datos de configuración SIP/SDP y enrutamiento (que pueden ser los datos de configuración interna o ENUM / DNS). Para las terminaciones en el dominio de CS, la BGCF determina la red en la que se va a brindar el servicio de CS y selecciona la MGCF apropiado. Después de que el BGCF selecciona el MGCF (Media Gateway Control Function) adecuado para continuar el flujo de la llamada hacia 3G o 2G, la MGCF se encarga del control de la llamada que se lleva a cabo en el CS de la otra red y lo hace por medio de las MG siendo capaz de manejar protocolos como BICC/ISUP/SIP-I que se encuentran en las redes de 2G o 3G por donde ya se establece la llamada desde el terminal que se encuentra en 4G y el terminal que se encuentra en las redes de 3G o 2G. Finalmente en el caso en el que por algún motivo, principalmente de movilidad, el usuario que está en 4G comience a perder cobertura de la red de LTE este debe regresar a la cobertura de 3G o 2G y este procedimiento lo hace por medio del SRVCC (Single Radio Voice Call Continue) que fue descrito en el apartado **14.2** el cual permite que la llamada continúe sin que se interrumpa y sin que el usuario tan siquiera note el cambio. En la figura 33 se ve la arquitectura básica necesaria para poder brindar el servicio de voz sobre LTE y las interfaces que intervienen para ello, además en colores se puede diferenciar el protocolo que se usa en cada interface.

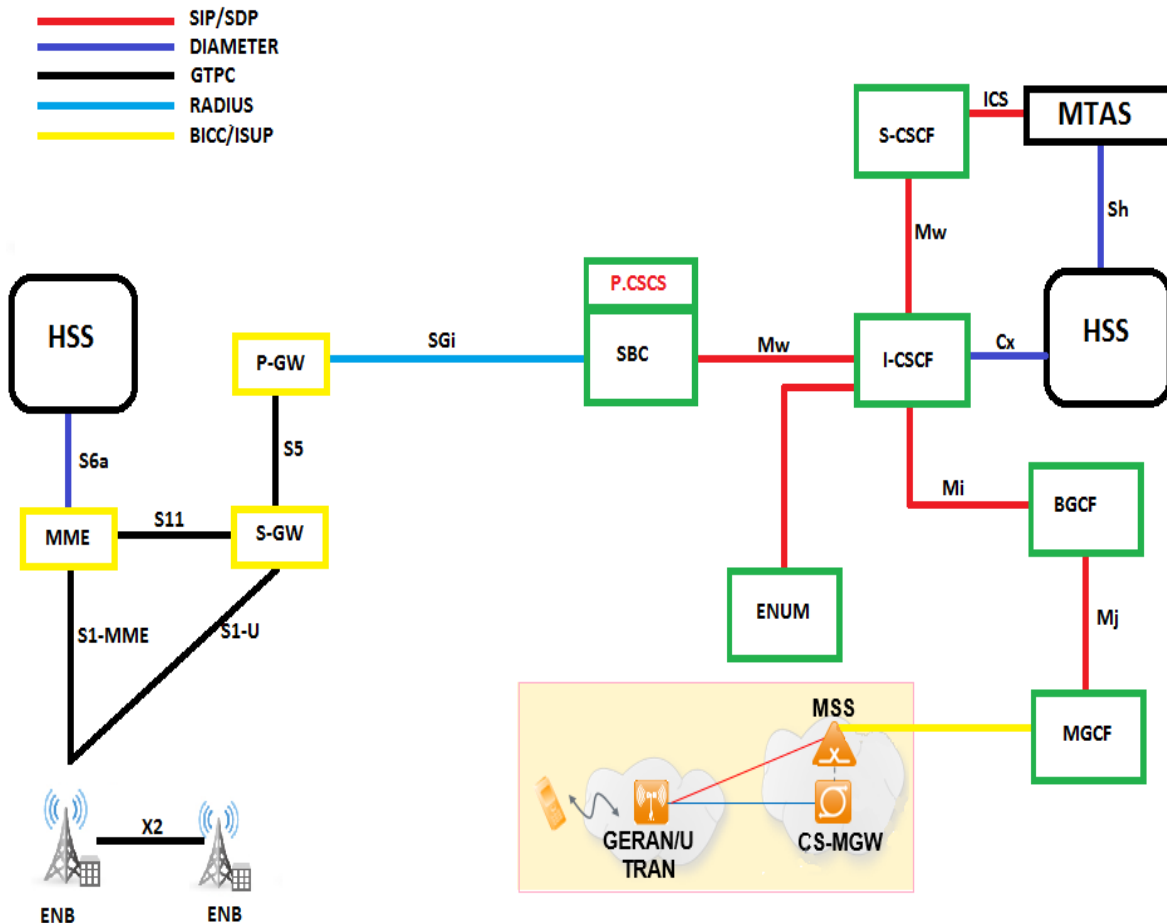


Figura 32. Esquema Básico para VoLTE. [Fuente propia].

16.5 INTERFACES EN VoLTE

16.5.1 SGi Interface (P-GW – P-CSCF)

La interface SGi es la interface que conecta el P-GW con las redes externas de LTE en este caso es la interface encargada de conectar el P-GW con el IMS como tal, el cual se conectaría ya sea con el P-CSCF o con el SBC que brinda la seguridad de acceso al core de IMS.

16.5.2 Cx Interface (I/S-CSCF – HSS)

La interface Cx es la interface que permite la conexión entre el I-CSCF y el S-CSCF con el HSS para poder obtener la información del usuario y realizar el enrutamiento adecuado, esta interface se basa en el protocolo diameter descrito en el apartado 13.3.3.

16.5.3 Sh Interface (TAS – HSS)

La interface Sh es la interface que permite la conexión entre el TAS (Telephony Application Server) y el HSS con el fin de permitir la activación de servicios adicionales contenidos por el TAS o para descargar la información relacionada con el abonado que está en el HSS. Esta interface se basa en el protocolo diameter.

16.5.4 Gm Interface (UE – P-CSCF)

La interface Gm es la interface que permite la conectividad entre el terminal del usuario y la red de IMS ingresando por el P-CSCF, para permitir el registro, autenticación y cifrado. Esta interface se basa en el protocolo SIP /SDP.

16.5.5 Ut Interface (UE – TAS)

La interface Ut es la interface que permite la conexión entre el terminal del usuario y el TAS, con el fin de poder configurar los servicios suplementarios que brinda el TAS como los son desvío de llamadas, identificador de llamadas, números visibles y demás. Esta interface se basa en el protocolo XCAP.

16.5.6 Mw Interface (x-CSCF – x-CSCF)

La interface Mx es la interface que se encuentra en el centro del core de IMS pues es la que permite la conexión entre los diferentes CSCF para completar los procedimientos necesarios entre estos equipos. Esta interface se basa en el protocolo SIP/SDP.

16.5.7 Mg Interface (x CSCF – MGCF)

La interface Mg es la interface que permite la conectividad entre los distintos equipos del CSCF con la MGCF (Media Gateway Control Function) la cual permite la interacción con las redes de CS de 2G y 3G y que se puedan realizar las llamadas desde 4G hasta 3G.

16.5.8 ISC Interface (S-CSCF –TAS)

La interface ISC es la interface que permite la conexión entre el S-CSCF y el TAS con el fin de interactuar con los servicios adicionales de MMTel que se encuentran en el TAS. Esta interface se basa en el protocolo SIP/DSP.

16.5.9 Mr Interface (S-CSCF – MRF)

La interface Mr es la interface que permite la conexión entre el S-CSCF y el MRF (Media Resource Function) con el objetivo de poder brindar los servicios suplementarios de telefonía

que tiene el MRF como los son los tonos, tras codificación, conferencias, anuncios de red y demás. Esta interface se basa en el protocolo SIP/SDP.

16.5.10 Mr' Interface (TAS – MRF)

La interfaz del Mr' es la conexión entre el Telephony Application Server y el MRF para permitir la interacción con los recursos de los medios de comunicación de los servicios suplementarios específicos (por ejemplo, llamadas de conferencia). El protocolo utilizado en la interfaz Mr 'es SIP / SDP. [27].

16.6 PROTOCOLOS EN VoLTE

Para la implementación de VoLTE es necesario la adición de un core completo de IMS lo cual conlleva que se necesiten varios equipos más y conexiones entre ellos, lo cual lleva a que se requieran conexiones entre ellos, por lo tanto diferentes interfaces basadas en distintos protocolos, que son protocolo IP pues se sabe que el IMS se basa en comunicaciones sobre IP, los dos protocolos usados en el IMS son respectivamente diameter que fue descrito en el apartado **13.3.3** y SIP que ser descrito en el apartado **16.6.1**.

16.6.1 SIP

SIP fue el protocolo escogido por la 3GPP y el adoptado por los operadores para la señalización que cursa entre los elementos que hacen parte del core de IMS, las entidades que usan el protocolo SIP para comunicarse lo hacen por medio una las URI (Uniform Resource Identifier), estas URI llevan la suficiente información para que se pueda establecer la comunicación entre las dos entidades, las URI son muy similares a las direcciones de correo electrónico que permiten ver las especificaciones del encabezado y haciendo posible también ver el destinatario la manera general como se ven las URI es la siguiente:

Sip:usuario:contraseña@direccion_del_equipo;parámetros _URI

Cada parte de la URI se especifica a continuación:

Usuario: el termino usuario en una URI permite identificar un destino en particular y hace referencia a un dominio en general

La información de un usuario en una URI cuenta con el campo de usuario mencionado además del campo de la contraseña seguido por el @. Esta parte de la URI es opcional y no se usa en caso de que el equipo de destino no tenga noción de usuario es decir que no le interesa o que está usando otro método de identificación.

Contraseña: la contraseña esta relacionada con un usuario, y aunque la sintaxis de la URI en el protocolo SIP permite su uso, este no se recomienda pues se ha visto que para el proceso de autenticación en texto plano como es la URI puede ser un riesgo y como se ha visto en muchas ocasiones al ser usada ha sido un fracaso, recordemos que el protocolo SIP para VoLTE no se usa para la autenticación pues no es el fuerte de este protocolo.

Dirección del equipo: Es la dirección por la cual se identifica un destino en red, que por lo general es una dirección IP, como se menciona en el procedimiento de una llamada en VoLTE los distintos equipos del IMS tienen una dirección IP específica y por medio de las SIP URI obtenida de las bases de datos se levantan las secciones entre los equipos del core y en Colombia siempre son IP de versión 4.

Puerto: es el número del puerto donde se envía la información para poder iniciar el dialogo entre dos equipos.

En la figura 34 se puede observar un ejemplo de cómo funciona SIP en el plano de control mientras para el plano de usuario que viene después de la negociación y establecimiento previamente realizado por el protocolo SIP se establece la comunicación usando el protocolo RTP (Real Time Protocol).[28].

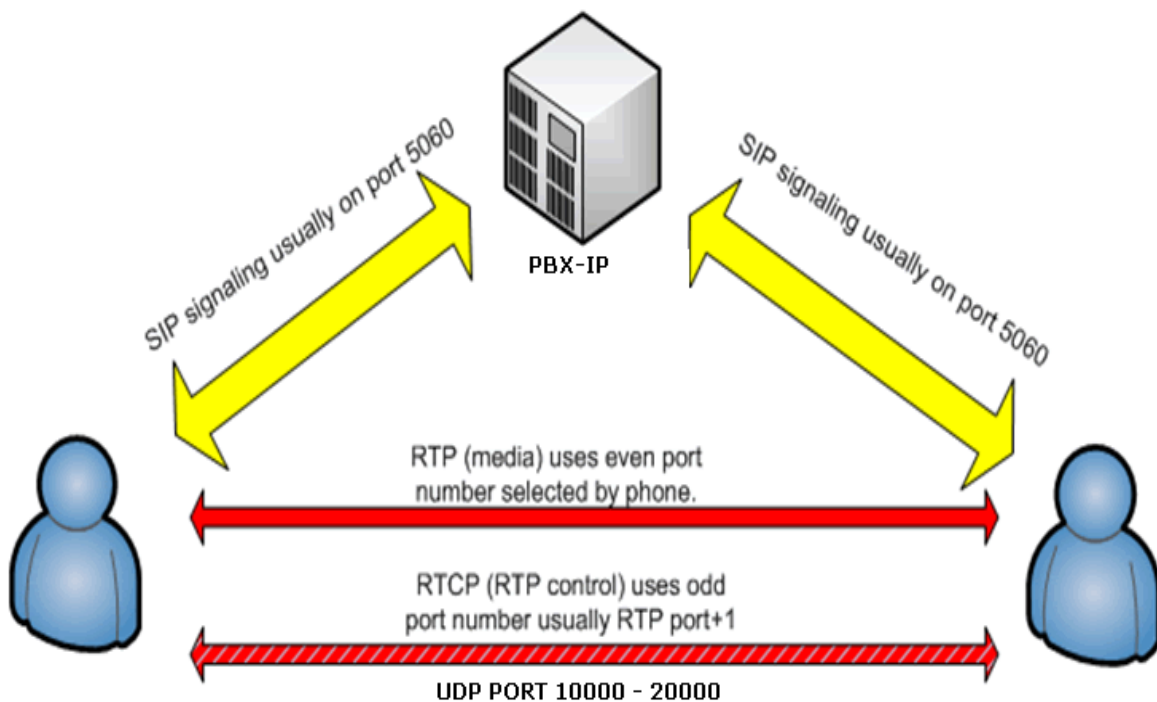


Figura 34. Ejemplo del uso del protocolo SIP. [27].

16.6.2 H.248/MEGACO

MEGACO es un protocolo utilizado para el control de las media gateways, como su nombre lo indica (Media Gateway Controller). Este protocolo también es conocido como H.248 pues fue definido por dos entidades diferentes, MEGACO es el nombre que le dio la IETF y H.248 es el nombre que le dio la ITU-T. MEGACO como es más conocido funciona con el envío de mensajes entre el ente de control como puede ser un MSS en 3G o el BGCS en VoLTE y la media Gateway, estos equipos se comunican por medio de mensajes de Transaction Request por una de las entidades y la respuesta de un Transaction Reply por parte del otro ente, donde uno lleva un conjunto de instrucciones y el otro lleva un conjunto de respuestas respectivamente.

Este protocolo tiene ocho instrucciones que permiten el control de las entidades lógicas del modelo de conexión, que son los contextos y las terminaciones. La gran mayoría de las instrucciones son emitidas por un MGC hacia un MGW pues la MGC es el control de la media gateway. las instrucciones son: Add (la cual añade una terminación a un contexto), Modify (Modificación de una terminación en un contexto), Subtract (Extracción de una terminación de un contexto), Move (Desplazamiento de una terminación de su contexto a otro contexto), AuditValue y Audit Capabilities (lectura de los valores actuales y posibles de las propiedades de una terminación), Notify (notificación del suceso de un evento sobre una terminación) Service Change (suspensión o retoma de una terminación). Se pueden emitir dos instrucciones de un MGW a un MGC: Notify (notificación de eventos sucedidos en el MGW) y Service Change (notificación de la suspensión o retoma de una terminación). En la figura 35 se ve un escenario en el que se muestra como se utiliza el protocolo MEGACO en el establecimiento de sección simple entre dos entidades que necesitan de una media gateway. Este protocolo es la base y fundamental para que VoLTE se pueda comunicar con las demás redes, pues las media gateways son las encargadas de todo este control pero claramente basándose en las instrucciones recibidas por los equipos principales, en el caso de VoLTE son el BGCF y la MGC que manejan las diferentes media gateways de las demás redes basadas en este protocolo. [29].

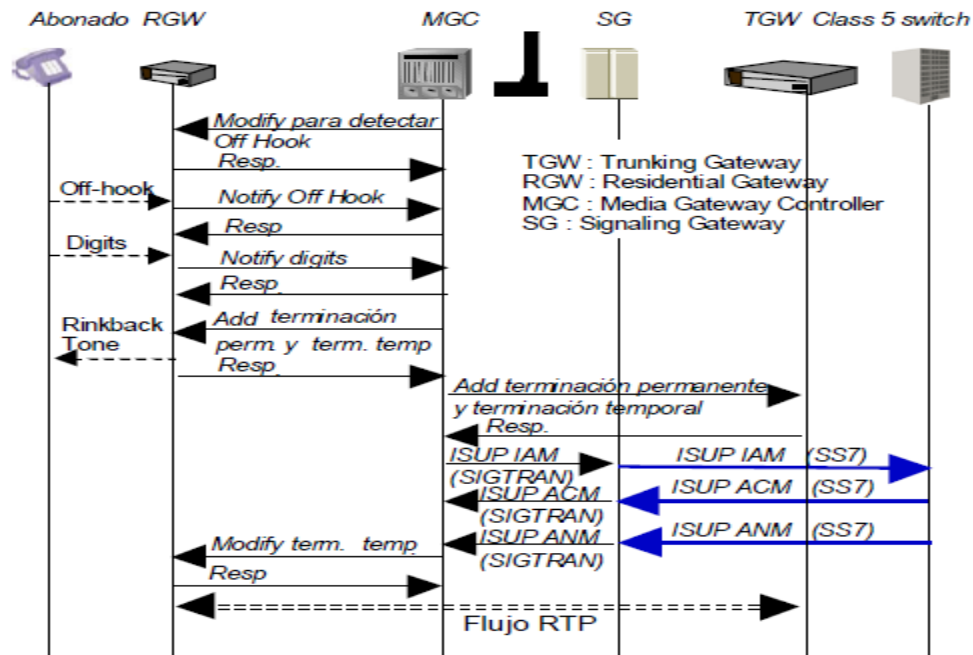


Figura 35. Escenario establecimiento de llamada con MEGACO. [29].

16.6.3 RADIUS

Este protocolo es la versi3n anterior a diameter y es utilizado en interfaces donde se requiera tener seguridad y permisos de acceso a un servidor como es el caso de la interface SGi al conectarse con el SBC el cual actúa como una especie de firewall que permite o niega el acceso al core de IMS, el protocolo RADIUS tiene funciones de autenticaciones donde verifica si alguien o algo es quien dice ser, adem3s de manejar tambi3n autorizaci3n y Accounting, donde le indica al usuario si puede acceder o no y con el Accounting almacena los datos del inicio de secciones y de c3mo y cu3ndo se realizan las peticiones de ingreso y si son denegadas o no , otras caracter3sticas con las que cuenta dicho protocolo son Manejo de sesiones, Permite control total sobre cada llamada, Monitorizaci3n y generaci3n de estad3sticas y utiliza un puerto UDP para realizar las comunicaciones a diferencia de su versi3n actual diameter que utiliza puertos TCP para garantizar entrega de paquetes.

Este protocolo es usado en las l3neas conmutadas, siendo muy 3til para los operadores proveedores de telefon3a, adem3s de ser usado en redes Wireless y VoIP como es en el caso de la interface SGi que va a manejar la voz sobre IP, siendo tambi3n utilizado para extraer datos necesarios para la tarificaci3n que es un tema a pensar por los operadores al cobrar la el servicio de VoLTE. Teniendo este protocolo un problema en cuando a hardware pues es muy limitado en usuarios lo cual puede afectar mucho a una red creciente y en desarrollo adem3s que es un hardware de dif3cil escalabilidad. En la figura 36 se puede ver los mensajes del protocolo RADIUS que se deben intercambiar para la autenticaci3n a un servidor desde el punto de acceso.

Este protocolo no es muy utilizado en las redes de 3G o VoLTE pues ya se cuentan con distintos protocolos que han mejorado sus funciones y que además trabajan sobre IP como lo es diameter, como se menciona este protocolo solo es utilizado en la interface SGi que conecta la red LTE con el core de IMS en el caso VoLTE, y se usa para la autenticación y seguridad con el SBC.

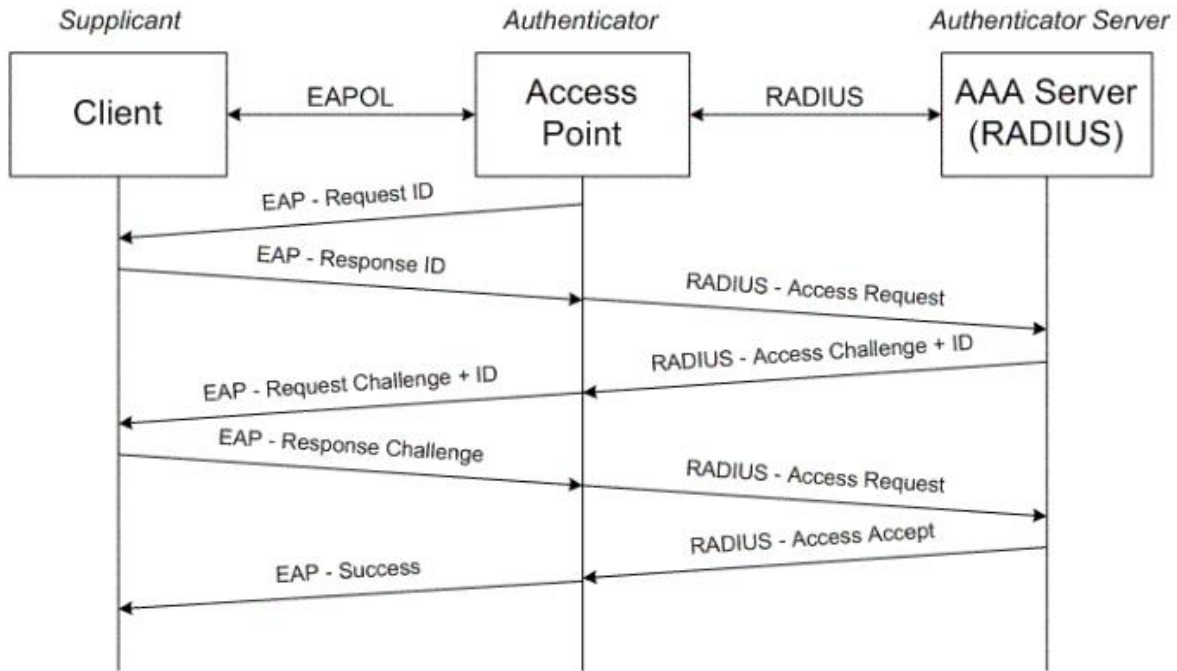


Figura 36. Flujo para autenticación con RADIUS. [30].

Como se ve en la figura 36 los mensajes que se intercambian entre el punto de acceso y el servidor de autenticación son para pedir un acceso a dicho servidor y que sirven también para realizar la autenticaciones y registro, también se observa que los mensajes no son tantos como en otros procedimientos que se deben realizar para llevar a cabo una llamada o un inicio de sección de datos es un protocolo más bien simple en cuanto a la mensajería que conlleva su señalización razón por la cual se decidió usar en la interface SGi .

17 CONCLUSIONES

En este proyecto se mostraron las normas técnicas y los estándares que se deben seguir para poder llevar a cabo una correcta implementación de las redes LTE, con el objetivo de proteger al usuario y que pueda conocer cómo se implementa y cómo funcionan las redes de LTE en Colombia en la actualidad, además de ello se espera despertar un mayor interés en los jóvenes estudiantes de electrónica o carreras similares, como se menciona a lo largo del documento, esta tecnología está revolucionando el mundo de las telecomunicaciones, por cómo se mueve y se maneja la vida cotidiana, porque cada día necesitamos estar más conectado con la red, ya sea para estudiar, trabajar o realizar diligencias en las que anteriormente era necesario desplazarse hasta el sitio, sumándole a esto los trancones y grandes filas.

Ahora las nuevas tecnologías en telecomunicaciones como lo son 2G, 3G y hoy en día 4G nos permiten conectarnos a la red desde nuestros teléfonos móviles, y teniendo en cuenta que cada día se necesitara mayor capacidad para navegar, y que por ende se necesitara un mayor ancho de banda, causa que estas tecnologías tengan que seguir transformándose y mejorando, por lo que es de suma importancia que los usuarios en general, y aún más los estudiantes de carreras afines a las telecomunicaciones tengan un conocimiento muy amplio de estas tecnologías, por esta razón con este documento se buscó despertar el interés de los estudiantes, describiendo el funcionamiento de las red de LTE y las nuevas tecnologías que se están implementando actualmente en el mundo, y que Colombia no se queda atrás en cuanto a dichas implementaciones, lo que es de admirar para el país pues se encuentra por encima de muchos países en cuanto a telecomunicaciones móviles se refiere.

En el mundo de las telecomunicaciones Colombia es de los primeros países que piensa implementar la Voz sobre LTE, por encima de todos los países suramericanos y grandes potencias europeas y además es uno de los países con mejor acogida de las redes LTE, esto se debe al gran movimiento económico que generan estas tecnologías y las técnicas de mercado utilizadas, dado que representa un ahorro para el operador móvil al brindar el servicio y mejora la calidad del servicio. Como se pudo evidenciar en el país, hubo un gran despliegue y acogida a las redes de LTE. Después que un usuario usa la red de LTE y nota la gran diferencia en cuanto al servicio y la experiencia de usuario, referente a no presentar retardos de información, detenciones molestas en los videos, una gran cobertura a nivel nacional y una buena calidad en la prestación del servicio, éste no querrá volver a utilizar una tecnología diferente a la de LTE.

En el documento se mencionaron las opciones que tenían los operadores para brindar el servicio de llamadas de voz a los usuarios registrados en la red de 4G, la red de LTE esta principalmente diseñada solo para brindar los servicios de datos. En el documento se especificó la opción que escogieron los operadores colombianos y de la mayor parte del mundo, y el porqué de esta elección, además de describir cada una de las opciones y enfatizar

aún más la forma como se implementó en Colombia y la manera como se está brindando el servicio de voz actualmente para las redes de 4G, esto con el objetivo de que el lector conociera la manera como se realiza una llamada al momento de marcar desde su terminal registrado en la red de LTE, y el porqué de la demora de su establecimiento en ocasiones, y que además de ello tenga el conocimiento de cómo se desarrolló esta implementación y la forma como se realizó en Colombia, brindando así la forma para que los interesados en conocer y estudiar la forma como se brinda dicho servicio pueda obtener información de la manera real como se implementa dicha funcionalidad y despertar el interés del lector para profundizar sus conocimientos en cuanto al despliegue verídico de la red LTE y las dificultades y soluciones que se tienen.

Ahora en el país se espera la llegada del servicio de voz sobre LTE, que brindará a los usuarios de la red LTE una mejor experiencia en la calidad de sus llamadas de voz, incluyendo ya las bondades en el servicio de datos. Por esta razón en el documento también se realiza una descripción de esta tecnología y como se va a implementar en el país, para poder brindar un correcto y completo funcionamiento, además de mencionar la competencia actual que hay entre los distintos operadores para lanzar este servicio en primer lugar, adicionalmente se menciona que los usuarios se verán beneficiados por dicha competencia pues se verá como se la juegan los operadores para poder adquirir una posición de beneficio en el mercado actual, lo cual es algo complicado por la férrea competencia que existe entre ellos, como se menciona anteriormente hay 7 operadores móviles brindando este servicio, prestando una gran variedad de planes y beneficios para los usuarios, y que al momento de lanzar el servicio de voz sobre LTE tendrán que mejorar y ofrecer mejores planes para el usuario final.

Finalmente a largo plazo se espera la llegada al país de nuevas tecnologías como será LTE Advance, que será la mejora de las redes LTE, trayendo consigo nuevas velocidades de descarga y mejor experiencia para el usuario, después de esto vendrá la implementación de la tecnología 5G que ya encuentra en desarrollo y se espera que nuevamente Colombia continúe estando a la vanguardia de los avances mundiales en cuanto a desarrollo en tecnologías de telecomunicaciones se refiere y que los usuarios se interesen por estas tecnologías y aún más los estudiantes en carreras afines a las telecomunicaciones.

18 BIBLIOGRAFIA

- [1] P. Rodriguez. “Estado del arte LTE en el mundo: velocidades y latencias.” En febrero del 2013 <http://www.xatakaon.com/internet-movil/estado-del-arte-del-lte-en-el-mundo-velocidades-y-latencias>
- [2] C. manosalva uhart. “4G, estado del arte”. Santiago de chile: En diciembre de 2010. <http://www.usach.cl/4G-estado-del-arte>.
- [3] C. escobar. “La próxima generación de telefonía móvil 4G, LTE y Wimax estado del arte”. Noviembre de 2010 <http://www.coit.es/publicaciones/bit/bit183/77-83.pdf>
- [4] N. Cardona, J. J Olmos. “Tecnologías habilitadas LTE”. Narcis Cardona, Juan Jose Olmos, Mario Garcia, Jose F Monserrat. *3GPP LTE hacia la 4G Móvil*. Barcelona. Abril del 2011.
- [5] J. F Monserrat “El núcleo de red EPC”. Narcis Cardona, Juan Jose Olmos, Mario Garcia, Jose F Monserrat. *3GPP LTE hacia la 4G Móvil*. Barcelona. Abril del 2011.
- [6] E. Páez. “Hay 331 redes y 280 millones de usuarios LTE en el mundo”. Media telecom. Septiembre 2014.
- [7] E. Gonzales Lopez “Boletín de telecomunicación” Edición 14, febrero 2012 3
- [8] J. Fernández Restrepo “Estudio de las características técnicas de LTE y su nivel de concordancia con los requerimientos de IMT-avanzado establecidos por la Unión Internacional de Telecomunicaciones.” Universidad nacional, año 2011. <http://www.bdigital.unal.edu.co/4836/2/josefernandorestrepopedrahit.2011.parte2.pdf>.
- [9] J. Rújeles Uribe “Análisis de los límites de exposición humana a campos electromagnéticos de acuerdo a la norma UIT-K.52 para frecuencias entre 10 kHz y 3 GHz en áreas urbanas de Bucaramanga” Bogotá, Diciembre del 2007. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S012056092007000300017&script=sci_arttext.

- [10] R. Agustí Comes, Francisco Bernardo Álvarez, “LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles”, Editorial: Fundación Vodafone España, 2010.
- [11] Erik Dahlman, Stefan Parkvall, Johan Sköld, Per Beming “3G Evolution HSPA and LTE for Mobile Broadband” Editorial: Academic Press, 2008.
- [12] S. Sesia, Issam Toufik, Matthew Baker, “LTE-The UMTS Long Term Evolution-From theory to practice” Editorial: Wiley & Sons, 2009.
- [13] H. Holma, Antti Toskala, “LTE for UMTS – OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access” Editorial: Wiley & Sons, 2009.
- [14] L. Sequeira. “¿Qué es 4G y cuáles son las características técnicas más importantes?”. Costa Rica, 2011. <http://www.telecomsharing.com/es/biblioteca/lte-4g/item/31-que-es-4g-y-cuales-son-las-caracteristicas-tecnicas-mas-importantes/31-que-es-4g-y-cuales-son-las-caracteristicas-tecnicas-mas-importantes>.
- [15] J. A. Núñez Coral. “Diseño de una red de nueva generación LTE-A para una zona urbana en Bogotá bajo el estándar 3gpp y la recomendación ITU-R M.1457” Universidad nacional de Colombia, facultad de ingeniería. Bogotá, 2013. <http://www.bdigital.unal.edu.co/11717/1/2300612.13.pdf>.
- [16] R.A. Comes. “LTE: nuevas tendencias en comunicaciones móviles” Fundación Vodafone España Madrid España 2009.
- [17] Huawei tecnología ” EPC network fundamental “ Huawei tecnología 3GPP TS23401 R8
- [18] Presidente de la república” DECRETO 195 DE 2005” República de Colombia enero 31 del 2005
- [19] CRC “Resolución N. de 2014” Comisión de regulación de comunicaciones, Bogotá D.C 2014
- [20] J.E. Potes “Radicado 14-28315- -2-0” Súper intendencia de industria y comercio, Bogotá D.C 2014
- [21] Telecomunicações de Engenharia em Telecomunicações “SAR” Brasil 2013
http://www.teleco.com.br/es/tutoriais/es_tutorialrsar/pagina_2.asp

- [22] J.J. Rugeles “Análisis de los límites de exposición humana a campos electromagnéticos de acuerdo a la norma UIT-K.52 para frecuencias entre 10 kHz y 3 GHz en áreas urbanas de Bucaramanga” Bogotá diciembre del 2007
<http://www.scielo.org.co>
- [23] 3gpp. TS 23.272 “LTE, circuit mode, UMTS, GSM”
<http://www.qtc.jp/3GPP/Specs/23272-840.pdf>
- [24] L.A Víctor “Tecnología de voz sobre LTE, un paso hacia el futuro telefónico.” Universidad de costa rica. Noviembre del 2011.
http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb2011/pb2011_032.pdf
- [25] M Sauter, “Voice over LTE via Generic Access (VoLGA)” Agosto del 2009
<http://cm-networks.de/volga-a-whitepaper.pdf>.
- [26] _TECHNOLOGY REPORTS” CS fallback function for combined LTE and 3G circuit switch services” 1 marzo del 2011- EEUU. lte-epc.blogspot.com/.../circuit-switched-fallback-cs
- [27] GSMA ”VoLTE Service Description and Implementation Guidelines” 07 October 2014
- [28] W. Santana Gonzales “PROTOCOLOS DE SEÑALIZACIÓN USADA ACTUALMENTE PARA TERMINALES MÓVILES E IP” fundación universitaria Konrad Lorenz, facultad de ingeniería, Bogotá D.C 2011
www.konradlorenz.edu.co/.../explorando_bases_telecomunicaciones.pdf
- [29] EFORT “Protocolo Megaco/H.248” Bogotá D.C 2011
http://www.efort.com/media_pdf/MEGACO_ES_EFORT.pdf.
- [30] IETF 2865, “Remote Authentication Dial In User Service (RADIUS)”. Junio 2000
<https://tools.ietf.org/html/rfc2865>