

DELIMITACIÓN DE LOS ESTÁNDARES NECESARIOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE 4.5G EN COLOMBIA

JOHAN SEBASTIAN CANDELA HERRERA

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS DE AQUINO
FACULTAD DE INGENIERÍAS
INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ D.C.
2019**

**DELIMITACIÓN DE LOS ESTÁNDARES NECESARIOS PARA LA
IMPLEMENTACIÓN DE 4.5G EN COLOMBIA**

Presentado por:

JOHAN SEBASTIAN CANDELA HERRERA

CÓDIGO: 2163657

**Trabajo opción de grado basado en delimitación de los estándares necesarios para la
implementación de 4.5g en Colombia para el título de ingeniero de telecomunicaciones**

Director: John Alexander Aponte Moreno

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS DE AQUINO
FACULTAD DE INGENIERÍAS
INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ D.C.
2019**

RECTOR GENERAL
Padre Juan Ubaldo López Salamanca, O.P.

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO Y FINANCIERO GENERAL
Padre Luis Francisco Sastoque Poveda, O.P.

VICERRECTOR ACADÉMICO GENERAL
P. Mauricio Antonio Cortés Gallego O.P

SECRETARÍA GENERAL
Doctora Ingrid Lorena Campos Vargas

DECANO DE DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
Fray Luis Antonio Alfonso Vargas

DECANO FACULTAD DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES
Ingeniero Germán Macías Muñoz

Nota de Aceptación.

Firma Ingeniero. John Alexander Aponte Moreno
Tutor Asignado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Fecha

CONTENIDO

1. Objetivos:	6
1.1 General:	6
1.2 Específicos:	6
2. Antecedentes y justificación	7
3. Problemática	9
4. Introducción a las redes móviles	10
4.1 Tecnologías Móviles previas (GSM, UMTS, LTE)	13
4.1.1 GSM (Global System for Mobile communications)	17
4.1.2 UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)	21
4.1.3 LTE (Long Term Evolution)	25
4.2 Tecnologías futuras (5G)	27
5. Estado del arte	28
5.1 Nokia	28
5.2 ZTE	30
5.3 Ericsson	33
6. Propuesta técnica de Huawei relacionada con 4.5G	34
6.1 La velocidad en Gbps	37
6.1.1 Massive MIMO	39
6.1.2 Massive CA	41
6.1.3 High-order modulation	43
6.1.4 Flexible bandwidth	43
6.2 Experience 4.0	44
6.2.1 VoLTE Plus	44
6.2.2 Video Plus	47
• La experiencia del usuario en la red, un principio fundamental.	47
• Incremento del tráfico de vídeo móvil en más del 50%	48
6.3 Connection +	49
6.3.1 NB-IoT	50
7. Lineamientos Técnicos Mínimos para 4.5G	52
7.1 Massive MIMO (4x4)	53
7.2 Massive Carrier Aggregation	54
7.3 High-order modulation 256 QAM	56
7.4 4.5G como generación móvil.	56
8. Caso Colombia	58
9. Pruebas realizadas en Colombia	60
10. Conclusiones	67
10. Referencias	69

1. Objetivos:

1.1 General:

Proponer un lineamiento técnico para la implementación de 4.5G a partir de la experiencia obtenida en las pasantías en Huawei.

1.2 Específicos:

Identificar las tecnologías de las diferentes generaciones de redes móviles a través del tiempo, su arquitectura y su funcionalidad.

Identificar los requerimientos técnicos mínimos necesarios para poder considerar una red como 4.5 LTE Advanced Pro según las recomendaciones de la 3GPP.

Analizar el caso de implementación de 4.5G en Colombia y sus diferencias respecto al 4.5G de otro país (China).

2. Antecedentes y justificación

Ante el constante avance de las telecomunicaciones, y la necesidad de los usuarios por conseguir mayores velocidades y mejoras en las redes de comunicaciones actuales, y frente a los avances de las empresas de telecomunicaciones móviles, se piensa dar el paso de la generación actual 4G o también llamada LTE a 5G. Con esto en mente la 3GPP aprobó LTE Advanced Pro (4.5G) como un marcador distintivo que evoluciona las series de tecnología LTE. Este paso entre generaciones introduce a 4.5G como una generación intermedia entre ambas tecnologías, la cual beneficia a los operadores móviles, antes de que lleguen las redes 5G.

Es necesario aclarar que, para poder implementar una red, sea cualquier generación de esta, se requiere cumplir con las especificaciones establecidas por la 3GPP, qué es una colaboración de grupos de asociaciones de telecomunicaciones, y de las empresas de alta tecnología especializadas en investigación, desarrollo y producción electrónica de equipamiento de comunicaciones.

Con el trabajo en conjunto de estas organizaciones se realizan mejoras a los equipos, modernizando o creando otros que sean más aptos y tengan un mejor desempeño frente a las crecientes necesidades de expansión de las redes móviles. Conforme a esto, se crean las soluciones necesarias para mejorar los equipos que permitan cambiar de una generación tecnológica a otra y la 3GPP estandariza estas soluciones como requerimientos.

Huawei como uno de los principales desarrolladores de estas nuevas tecnologías y como un líder en el mercado de las soluciones en telecomunicaciones de última generación, ofrece productos e infraestructura para que los operadores móviles puedan montar la arquitectura de su red e implementar una nueva generación móvil, la cual les brinda mayores oportunidades en el mercado de operadores móviles frente a su competencia, al ofrecer una generación por encima del que los operadores de la competencia usen.

El propósito de este documento es abordar en las soluciones que Huawei Technologies tiene respecto a la implementación de una red 4.5G y ver en detalle el valor agregado de este frente a otras compañías que también ofrecen soluciones similares de redes móviles, además de mostrar cuales deben ser los requisitos mínimos necesarios para poder denominar a una red como 4.5G y que sea aceptada como tal en cualquier país del mundo.

3. Problemática

Frente a un análisis de las soluciones de Huawei Technologies en redes móviles, más específicamente en la implementación de 4.5G y las pruebas de velocidad y estabilidad que Huawei realizó en China, se puede entender el enorme crecimiento de la nueva generación entrante en términos de velocidad y mejoras de estabilidad. (**"4.5G, Next Step Toward MBB 2020", 2019**)

El problema radica que, debido a distintos factores, en Colombia no se va a implementar la misma velocidad y mejoras que en China, creando un diferencial entre el 4.5G de China y el 4.5G de Colombia.

Pese a esto según la 3GPP se debe identificar los requisitos mínimos que permitan identificar una red 4.5G en cualquier parte del mundo, así existan diferencias en avances tecnológicos como los observados entre China y Colombia.

De lo anterior nace el interrogante: ¿Cuáles son los lineamientos técnicos específicos mínimos para que un operador pueda implementar 4.5G en cualquier parte del mundo?

4. Introducción a las redes móviles

Los avances tecnológicos en la última época han sido de tal relevancia que han conducido a la humanidad a una nueva era, la de la información y las comunicaciones. Es en esta era donde las redes móviles se han convertido en una parte muy importante para la vida cotidiana de las personas, y esto se debe mayormente al uso de los dispositivos móviles. En efecto, la tecnología de redes móviles se encuentra tan arraigada, que ha pasado de ser un medio de entretenimiento y comunicación, a convertirse en un medio que permite una apertura de los mercados en todo el mundo, o más bien, que genera oportunidades de negocio en actividades cotidianas como lo son por ejemplo: las compras en línea, el transporte, el pago de impuestos, la reserva de viajes, etc. Ante esta apertura tecnológica la población Colombiana busca ser parte de los negocios orientados a estas tecnologías móviles, por lo cual, se genera un incremento en la tenencia de dispositivos móviles. Esto se puede comprobar por medio de un estudio hecho por el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en el 2016, el cual afirma que la tenencia de estos dispositivos aumentó en 7,5 millones de terminales más que en el 2015. El informe muestra que en el año 2015 por cada 100 colombianos había 54,5 terminales, y en el 2016 la cifra subió a 69,55 (**Mintic.gov.co, 2018**).

Basándose en las cifras del crecimiento del uso de Smartphone se evidencia que el cambio cultural existe gracias a la introducción de la tecnología móvil. Con la llegada de la tecnología entendida como celulares, tablets, portátiles, etc., hubo un cambio en el estilo de vida de las personas. Este cambio cultural dado por la introducción de la tecnología, dio facilidades que antes no tenían las personas, la manera de realizar las actividades cotidianas cambió por completo e hizo un cambio en su estilo de vida, lo cual estableció un antes y un después, a lo que podríamos denominar la era de la tecnología móvil. Previo a la llegada de dicha era, era normal ver a una persona desplazarse a la tienda a comprar sus alimentos o verse

obligado a hacer largas filas para pagar sus impuestos y servicios públicos. Sin embargo en la actualidad todo esto, se puede realizar desde el celular en cualquier lugar y momento; por ejemplo pagar un domicilio durante un recorrido en transporte público, o pagar una factura caminando en la calle, etc. De la misma manera, al tener un gigantesco potencial en convertir actividades cotidianas en medios de negocio, las aplicaciones sobre tecnologías móviles pueden funcionar perfectamente para aplicaciones más especializadas como usos comerciales, militares, turísticos, incluso hasta espaciales. Esto demuestra cómo las tecnologías móviles no son sólo un medio de comunicación, sino un paso en la evolución del estilo de vida del hombre en su futuro.

Ahora bien, no para todas las personas es igual de claro el concepto de redes móviles, ni el progreso que éstas han tenido, o las mejoras de estas generaciones tras generación, y cómo son reguladas. El cambio que han tenido las redes móviles de comunicaciones de voz en las primeras generaciones a incluir envío de paquetes ip con procesamiento, codificación de datos y técnicas de direccionamiento de antenas, es algo que no es claro para la mayoría de las personas. Para poder entender de una mejor manera estos conceptos, es necesario definir qué es una red móvil y cómo es su funcionamiento. En el documento se van a desglosar las tres grandes generaciones móviles, las cuales llegaron a existir mediante el uso de ciertas tecnologías, de las cuales algunas fueron el paso decisivo entre generaciones, y otras quedaron en desuso por estas. Se busca dar una explicación de cómo estas generaciones funcionan y qué tecnologías se han podido desarrollar gracias a estas.

Una red móvil conecta millones de clientes y provee servicios de comunicaciones móviles. Concretamente, una red móvil se compone de varias partes, sin embargo su arquitectura se puede dividir en dos grandes apartados: la parte de acceso y la parte del Core. **(Miao et al., 2016).**

En la parte de acceso se encuentran los terminales o dispositivos móviles, los cuales actualmente son tan comunes que se puede afirmar que un gran porcentaje de la población colombiana, posee al menos uno de estos dispositivos por hogar en Colombia (**Mintic.gov.co, 2018**). Su función principal es realizar llamadas o conectarse a Internet. En la parte de acceso también se encuentran las estaciones base, cuya función es permitir la conexión de los dispositivos móviles entre sí y a la red móvil existente, ya sea GSM, UMTS o LTE (**Miao et al., 2016**).

Por otra parte, se encuentra el *Core*, también conocido como el centro de convergencia de las redes, donde las llamadas son registradas, tarificadas, y enviadas a sus destinos para establecerlas, o para conectarse a internet mediante los puertos de salida de las redes móviles. El *Core* almacena información del usuario como: datos personales, identificación, localización en la red, y características como abonado, entre las que se encuentran saldo, si se encuentra bloqueado ante la comisión de regulación de las comunicaciones, etc. (**Miao et al., 2016**).

En el presente documento se detalla el concepto técnico de las tecnologías 2G (The Global System Mobile - GSM), 3G (Universal Mobile Telecommunications System-UMTS) y 4G (Long Term Evolution - LTE), con sus características técnicas y de consumo actual, para dar un contexto al lector sobre la tecnología actual a implementar llamada 4.5G, la cual se basa en las anteriores tecnologías superándolas respecto a tasas de velocidad y potencia, permitiendo una experiencia mejorada en aspectos multimedia al usuario final especialmente agilizando las descargas y resolución de videos en calidad 4k(**Dahlman, Parkvall and Skold, 2016**).

4.1 Tecnologías Móviles previas (GSM, UMTS, LTE)

Los primeros dispositivos de comunicación fueron los celulares analógicos, los cuales funcionaban exclusivamente para realizar llamadas. Estos se consideran como la primera generación de las redes móviles o 1G, que se vieron para el público alrededor del año 1980 **(Dahlman, Parkvall and Skold, 2016)**. Pese a que la primera generación fue la base para las siguientes tecnologías móviles, no se va a abordar en este documento debido a que se centrará principalmente en las tecnologías digitales, como una base para las tecnologías futuras con uso de datos e Internet.

Posteriormente llegó la tecnología 2G o también llamada GSM, donde se dio el paso a la tecnología digital. GSM permite llamadas, mensajes de texto y conexión a internet y los primeros indicios del *roaming*. Roaming se refiere a la posibilidad de que un operador móvil haga y reciba llamadas de voz, envíe y reciba datos, cuando el abonado viaja fuera del área de cobertura o del país de la red a la que este se conecta usualmente, mediante el uso de un servicio de visitas. Es decir si un abonado viaja a otro país donde no hay antenas del operador con quien contrató el servicio (Claro, Tigo, etc.), su teléfono automáticamente se va a conectar al servicio de otra compañía telefónica, si está disponible **(A. Benslimane, 2002)**.

GSM tiene inmensas ventajas sobre la primera generación, como una mayor calidad en la voz y acceso a Internet, sin embargo actualmente no es eficiente debido a que las tasas de velocidad en GSM son sumamente bajas. Como solución a esto surgió el 2.5G, o también llamado GPRS, un estándar que permite una velocidad un poco mayor, alrededor de 14 Kb/s. Asimismo gracias a la necesidad de conseguir velocidades mayores para poder acceder a internet, surge una nueva actualización de esta tecnología llamada EDGE. Con esta mejora se consiguió una velocidad de navegación de hasta 50 KB/s lo cual a pesar de seguir siendo redes

de bajas velocidades, para su momento era un avance muy significativo para las telecomunicaciones móviles **(Dahlman, Parkvall and Skold, 2016)**.

La siguiente generación de tecnologías móviles fue UMTS o 3G, esta tecnología permite una transferencia de archivos multimedia más fácilmente, tener una conexión constante con Internet, y rebasar la velocidad de 2G por un amplio margen. Con la llegada de 3G se vio una mejora en la calidad de las llamadas, transferencia de datos y permitió la llegada de las apps, que son actualmente muy populares entre la población **(Dahlman, Parkvall and Skold, 2016)**.

Las aplicaciones o también llamadas apps ofrecen diferentes funcionalidades, que son posibles y mayormente aprovechables en 3G debido a que las velocidades de conexión son mayores. Estas permiten reproducción de vídeos y streaming a baja calidad de video, además de carga de páginas web mucho más rápidas y estables que con la previa tecnología. Fundamentalmente todo esto es posible debido a que la velocidad de la conexión es aproximadamente de 2 Mb/s. En relación con las mejoras de 2G, la tecnología de 3G también tuvo mejoras llamadas H+ o HSPA+, la cual aumenta la velocidad hasta una 10 Mb/s aproximado en condiciones ideales **(Dahlman, Parkvall and Skold, 2016)**.

Actualmente se encuentra posicionada 4G o LTE como la tecnología más rápida hasta el momento. Al tener mejoras en la tecnología de antenas, mayores anchos de banda y calidad de la señal, tiene velocidades inmensamente superiores, de alrededor de 20 Mb/s, la reproducción de vídeos y streaming ya es en tiempo real y en una alta calidad de reproducción **(Dahlman, Parkvall and Skold, 2016)**.

Ahora que se ha explicado el desarrollo de las tecnologías móviles a través del tiempo, es necesario hablar de su funcionamiento y operación. Como se ve en la Figura 1, el funcionamiento de las redes móviles es posible gracias al uso de señales radiadas, las cuales son transmitidas y recibidas por el celular o también llamado UE. Estas señales radiadas se comunican directamente con antenas dispuestas en cada estación base. Una vez el UE se comunica con la estación base, ya se pasa del área de acceso al área de Core, donde se hace la transición de la llamada o de los datos, al resto de la red **(Kukushkin, 2018)**.

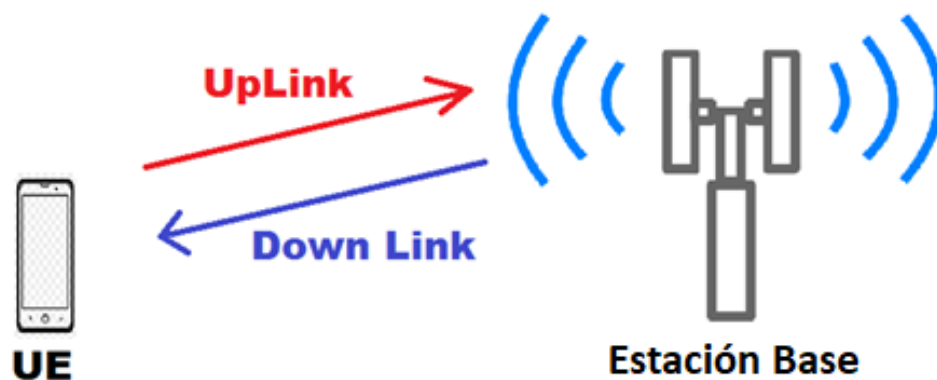


Ilustración 1: Señales radiadas del UE a la antena. (Fuente propia)

Dicho de otro modo, el área de acceso es donde el terminal móvil se conecta con la estación base de manera inalámbrica, ya que es por señales RF. La segunda parte es la de Core, donde se encuentra toda la arquitectura necesaria para realizar las llamadas, conexión de datos, tarificaciones, registros de llamadas y bases de datos de los usuarios. También existen las antenas ubicadas en cada estación base. Es importante mencionar que las antenas usadas para las redes móviles en cada estación base dependen de la tecnología que operan. Es decir las

estaciones base de GSM tendrán antenas específicas de GSM, y así respectivamente con las demás tecnologías **(Kukushkin, 2018)**.

Por otro lado la parte de *Core* depende de los equipos que esta tenga, y estos así mismo dependen de la generación de la que se esté hablando, así que para poder explicar esta parte hay que comenzar a hablar de las diferentes generaciones de las redes móviles.

4.1.1 GSM (Global System for Mobile communications)

La tecnología GSM cuyas siglas en inglés significan Global System for Mobile Communications, o sistema global para las comunicaciones móviles, es uno de los sistemas de telecomunicaciones celulares digitales más usados en el país debido a su gran cobertura, y que a su vez se usa ampliamente en todo el mundo. GSM fue el primer sistema de redes móviles mundiales que especificó modulaciones digitales, arquitecturas y servicios de nivel de red. Esta tecnología permite al abonado conectarse por medio de su dispositivo móvil a la red, permite transmisión de datos, como mensajes de texto (SMS) y llamadas telefónicas y una velocidad de acceso de aproximadamente 9,6 kbps **(G. Gu and G. Peng, 2010)**.

Una de las características más importantes de GSM es el uso de la (SIM) por sus siglas Módulo de identificación de abonado, que es un dispositivo de memoria que almacena información del suscriptor. Dentro de la información que puede almacenar la SIM se encuentra: el número de identificación, las redes y los países donde el suscriptor tiene derecho al servicio, las claves de privacidad y demás información específica del usuario. A diferencia de los sistemas analógicos, la privacidad de la llamada se puede lograr en sistemas digitales cifrando el flujo de bits enviado por un transmisor. **(G. Gu and G. Peng, 2010)**.

Entrando en materia de las comunicaciones por voz, cada llamada tiene un ancho de banda mínimo necesario para poder realizarse, sin embargo las estaciones base no tienen un ancho de banda ilimitado para soportar múltiples llamadas simultáneamente, es por esto que la tecnología GSM usa métodos de control de acceso al medio y arreglo de antenas. Los métodos de control de acceso al medio son:

- **SDMA** (Acceso Múltiple por División del Espacio), el cual reutiliza las frecuencias en celdas distantes. SDMA separa físicamente las diferentes señales usando la distancia entre estas para evitar interferencias.
- **TDMA**, (Acceso Múltiple por División del Tiempo), el cual se usa para aprovechar el medio de transmisión usando varios canales de división en tiempo. Es otra forma de mantener separadas las señales pero esta vez asignando a cada una de las señales una ranura de tiempo diferente para transmitir.
- **FDMA**, (Acceso Múltiple por División de Frecuencia), se usa para dividir por canales de frecuencias separados. Es decir existen diferentes frecuencias para diferentes usuarios y así estas no se interfieren con las otras. (Chartrand, 2004).

La arquitectura de la red GSM se muestra en la figura 2, donde como se explicó anteriormente, se puede dividir en dos partes. En la primera parte, la de acceso, en la cual se puede observar al UE como User Equipment o terminal del usuario y se observa cómo este se conecta a las BTS que es la estación base a la cual este se conecta. La conexión ocurre de una manera inalámbrica, por medio de señales radiadas por la BTS. En la figura se muestra una sola BTS, pero en un ambiente real existen más de una debido a que el celular puede conectarse a una y luego conectarse a la siguiente dependiendo del desplazamiento del usuario.

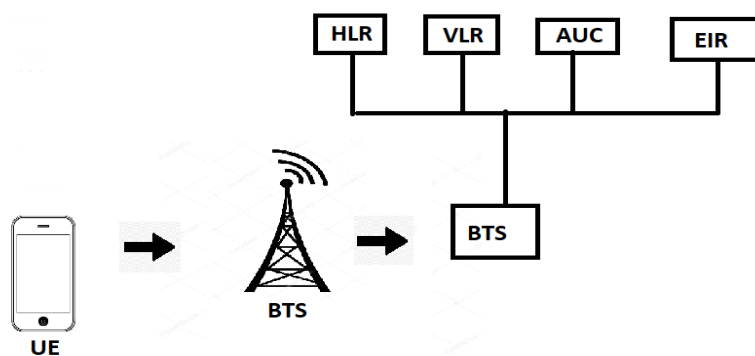


Ilustración 2: Arquitectura GSM (Fuente propia)

En la segunda parte, el *Core*, se encuentra el equipo y las funciones relacionadas con las llamadas de extremo a extremo, la gestión de los suscriptores, la conmutación y la comunicación con otras redes. Las unidades incluidas en el Core son:

MSC: El Centro de Conmutación Móvil.

HLR: El Registro de Ubicación base.

VLR: El Registro de Ubicación de Visitante.

AUC: El Centro de Unidad de Autenticación.

EIR: El Registro de Identidad del Equipo.

Cada uno de estos equipos tiene una función muy importante en la arquitectura de la red. En primer lugar, el MSC proporciona la configuración de llamadas respecto a su enrutamiento, conmutación y transferencia. A continuación el HLR es una base de datos centralizada que contiene información de suscriptores e información de la ubicación de todos los usuarios que residen en el área que abarca el MSC. Posteriormente siguen el VLR que es una base de datos de todos los móviles de roaming en el área del MSC pero que no reside allí y el AUC que es una base de datos que proporciona a HLR y VIR los parámetros de autenticación y las claves de cifrado necesarias por motivos de seguridad. Finalmente, el EIR es una base de datos que incluye números de todas las unidades móviles registradas **(G. Gu and G. Peng, 2010)**.

Finalmente un aspecto fundamental para tener en cuenta es que el arreglo de antenas es necesario ya que en las redes GSM, al poseer una gran cantidad de abonados, no tienen capacidad para tantos usuarios a la vez. Es así como se deben reutilizar las frecuencias radiadas. Es preferible ubicar múltiples antenas alrededor de una zona muy poblada, en vez de una sola.

Cada antena debe tener una frecuencia diferente para que no se interfieran entre sí, sin embargo al existir tantas antenas, si un usuario se desplaza en el espacio y pasa de la cobertura de una antena a otra, no debería finalizarse la llamada sino poder seguir hablando sin interrupciones. A esto se le llama *handover*. El *handover* permite la comunicación entre las BTS, para poder pasar de una celda a otra sin interrupción, variando los niveles de potencia que se radian.

4.1.2 UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)

Es la tercera generación de tecnologías de redes móviles. UMTS tiene 3 grandes mejoras respecto a las tecnologías previas: la velocidad de conexión a Internet de hasta 2 Mbps, la calidad de las llamadas de voz mejorada, y la posibilidad de acceso a servicios multimedia como por ejemplo videoconferencia y video chat.

Las redes móviles de UMTS siguen manteniendo la misma división característica antes nombrada, separando el *Core* del acceso. El Core de UMTS se compone de dos componentes: la voz y los datos. Ambos se tratan de manera distinta y van por “camino” distintos. Es así como el Core debe integrar el mundo de la conmutación de paquetes y la conmutación de circuitos para actuar independientemente pero a la vez de la mano para que el abonado tenga la posibilidad de usar ambos servicios.

En la Figura 3 se puede observar la parte de acceso de la red UMTS, donde se encuentra el UE, que es el nombre técnico del móvil celular, el cual que de manera similar a la generación pasada, se conecta de manera inalámbrica con las estaciones base llamadas Node B. Existen varias Node B en una misma zona con el propósito de dar cobertura al abonado y evitar que cuando éste se desplace no pierda la llamada en ningún tramo (Handover). Las estaciones base (Node B) son agrupadas por dispositivos llamados Controladores de Redes de Radio o RNC. Estos tienen dos funciones principales: la primera es transmitir la información de voz del usuario y los paquetes de datos entre las estaciones base y el Core de la red, y la segunda función es la comunicación entre las estaciones bases, por ejemplo de cómo pasar una llamada en curso de una RNC a otra sin perder la conexión (Cox, 2014).

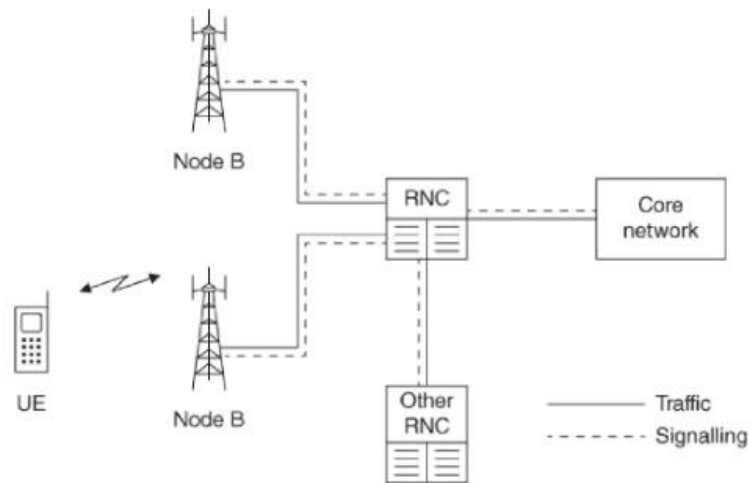


Ilustración 3: Acceso en UMTS (Cox, 2014)

En la figura 4 se puede ver en detalle los equipos que componen el Core de la red, donde los Gateway de media (MGWs) enrutan las llamadas desde un extremo de la red a otro. Por otro lado, en el centro de switching móvil (MSC), los servidores soportan los mensajes de señalización que configuran, administran y finalizan las llamadas telefónicas.

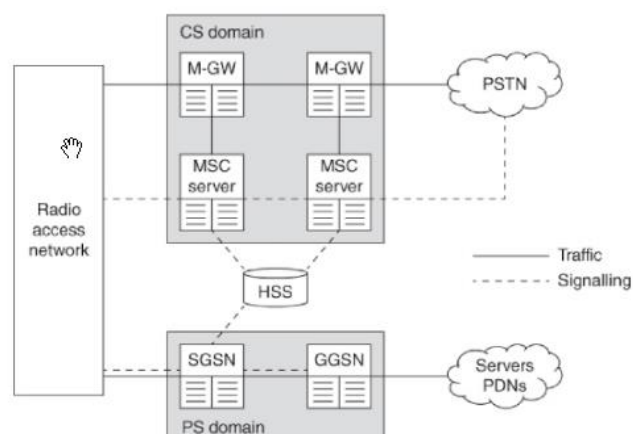


Ilustración 4: Core en UMTS (Cox, 2014)

Además de los equipos nombrados existen otros que componen el *Core*, los cuales son los siguientes: (Cox, 2014)

- **Servidor MSC:** maneja las funciones de control relativas a los servicios de conmutación en modo circuito.
- **Servidor SGSN** (Serving GPRS Support Node): maneja las funciones de control relativas a los servicios de conmutación en modo paquete.
- **Servidor AAA** (Authentication Authorization Accounting): realiza las funciones de autenticación, seguridad y tarificación para las comunicaciones en modo paquete.
- **GGSN** (Gateway GPRS Support Node) : realiza el control del túnel de datos, el manejo de las direcciones IP, la recolección y salida de los ficheros de tarificación, el control de la seguridad, encaminamiento de paquetes y la gestión de la calidad de servicio.
- **HLR:** es una base de datos que aloja los datos específicos de usuario.
- **AUC:** realiza funciones de identificación y protección del usuario.
- **SCP:** contiene la lógica de los servicios de red inteligente, como servicios de redes privadas virtuales o servicios de prepago.
- **EIR:** es una base de datos que contiene las identidades y características de los equipos móviles.
- **Billing Gateway:** recoge la información generada por distintos nodos (GSN, MSC, etc.) y la encamina a los sistemas de gestión de administración del operador.
- **MGW:** soporta las funciones del plano de usuario para la comunicación en modo circuito y en modo paquete. Estas funciones incluyen el proceso de la información de usuario (codificación de voz, transferencia a tres, etc.), la generación de tonos, el establecimiento y desconexión de los circuitos, la provisión de información de tarificación, seguridad, encaminamiento y conmutación, y calidad de servicio.

Así como en GSM se usan métodos de acceso para aprovechar el ancho de banda, en UMTS se usa WCDMA, Acceso múltiple por división de código de banda ancha. Este método permite un aprovechamiento más eficiente del ancho de banda, da una mejor calidad de servicio y permite una tasa de transmisión de bits mayor.

4.1.3 LTE (Long Term Evolution)

LTE introducida en 3GPP (3rd Generation Partnership Project) que es la organización global que consolida y define especificaciones para estándares de tecnología móvil, y se ha convertido en el punto de referencia para redes móviles. Su progreso en la revisión de las especificaciones se mide en *Releases*. El 3GPP trabaja en varios *Releases* y tiene como objetivo hacer que todos los sistemas sean compatibles con versiones anteriores y posteriores.

En su Release 8, (R8) habla de LTE, la cual se entiende como la parte de acceso del Sistema de Paquetes Evolucionados (EPS). Es un estándar para acceso en la red, de alta velocidad y de manera inalámbrica. Es una mejora de GSM y UMTS en términos de velocidad y capacidad. Con el ánimo de mantener los sistemas de telecomunicaciones competitivos a través del tiempo, era necesario entregar altas tasas de transmisión de datos a bajas latencias, que en un futuro los abonados iban a requerir; es aquí donde nace LTE (Long Term Evolution), donde los principales requisitos para la nueva red de acceso son: alta eficiencia espectral, altas tasas de datos pico, tiempo de ida y vuelta corto, así como flexibilidad en frecuencia y ancho de banda (**Wannstrom, 2013**). En la figura 5 se puede ver como es la arquitectura de la red completa de LTE y las interfaces que la componen.

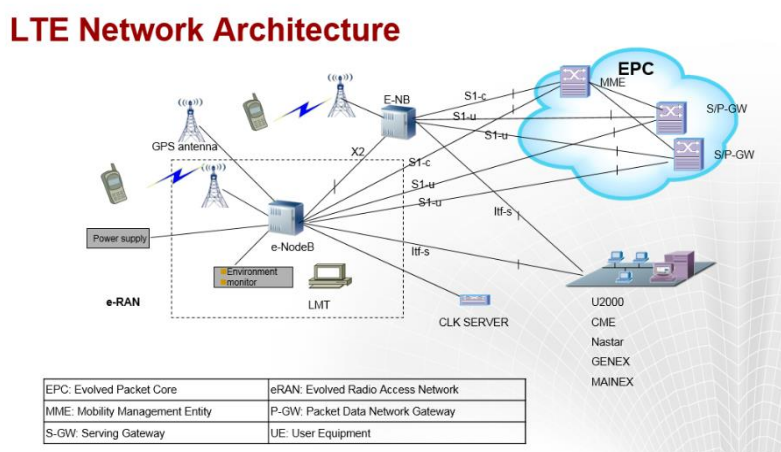


Ilustración 5: Core de LTE (Huawei, 2013)

Haciendo énfasis en la parte de acceso de la red, se puede observar en la figura 6, la red de acceso de LTE que se compone de un conjunto de estaciones base, llamados eNode B. No hay un controlador inteligente en el centro de la red, y los eNode B están normalmente interconectados a través de la interfaz X2 y hacia la red central mediante la interfaz S1. La razón para no tener un controlador principal sino distribuir la inteligencia entre las estaciones base, es acelerar la configuración de la conexión y reducir el tiempo necesario para la transmisión de datos (**Wannstrom, 2013**).

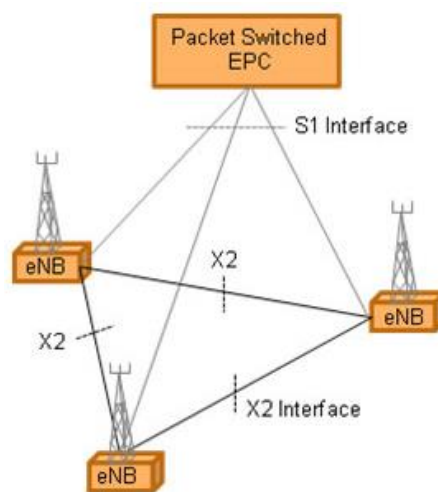


Ilustración 6: Acceso en LTE (Wannstrom, 2013)

La red LTE está orientada a la necesidad del usuario final de tener conexiones veloces, especialmente en los juegos en línea y en streaming de video en alta resolución, donde se necesita una alta velocidad junto con un gran ancho de banda. Ahora bien esta velocidad se logra ya que al no existir un centro de inteligencia de toda la red, como en las tecnologías previas, sino que cada una de las estaciones (eNodeB) tiene su propio controlador interno, la velocidad de comunicación entre el terminal y la estación base es mucho más rápida.

4.2 Tecnologías futuras (5G)

Prepararse para la tecnología 5G es uno de los objetivos más importantes de 4.5G, y para lograrlo se mencionan dos aspectos claves:

La Introducción de la tecnología 5G se basa de gran manera sobre la arquitectura 4.5G. Es por esto que estas tecnologías se pueden implementar mediante software, sin necesidad de cambios de hardware importantes.

Al solo realizar cambios de software se tiene poco impacto en las terminales. Sin embargo, este es el camino hacia el desarrollo de la tecnología 5G. El cambio hacia las redes 5G se ha de realizar fase a fase mediante la actualización de la infraestructura montada de 4.5G, y así dando madurez a estas tecnologías. **(Dahlman, 2016)**

Se debe realizar un ajuste de la arquitectura de red en 4.5G, existen dos razones por las cuales la arquitectura de red debe modificarse.

Primero, las redes 4.5G y 5G tendrán que coexistir durante bastante tiempo, debido a sus similitudes estructurales. Es por esto que la arquitectura de red 5G debe diseñarse con una coexistencia a largo plazo de redes 4.5G agregando una nueva interfaz aérea de redes 5G.

En segundo lugar, las redes 5G necesitarán una arquitectura de red que cumpla con los requisitos de backhaul para una menor latencia de extremo a extremo y un ancho de banda muy alto que se adapte a los requisitos de segmentación y apertura de la red para la programación y adaptación a diferentes tipos de servicios. **(Dahlman, 2016)**

Actualmente se encuentra sin estandarizar y las empresas de telecomunicación están desarrollando sus prototipos. Está previsto que su uso común sea en 2020.

5. Estado del arte

En el mercado de los proveedores de tecnología móvil, existe un gran abanico de competidores los cuales también ofrecen equipos con tecnología 5G, entre estos competidores de Huawei quienes tienen una propuesta de valor agregado al igual de Huawei son:

5.1 Nokia

Nokia ha liderado la introducción de LTE, tanto en 4G como en 4.5G con la introducción de características clave como la introducción de operadores en redes móviles desde el año 2013. Nokia afirma que “Nunca ha habido un momento tan emocionante como hoy en día en las comunicaciones móviles. Yendo más allá de la conectividad de los teléfonos inteligentes, 4.5G, 4.5G Pro, 4.9G y 5G tienen el potencial de revolucionar la forma en que vivimos y trabajamos, cómo se garantiza la seguridad pública y cómo se ejecutan los procesos industriales”. (**"Nokia LTE", 2019**)

Más de 850 operadores están invirtiendo en LTE en más de 200 países. Además, LTE se usa cada vez más para redes privadas y para la seguridad pública. No solo LTE conecta más suscriptores que cualquier otra tecnología móvil, sino que LTE puede utilizarse en asignaciones de espectro, en espectro licenciado y no licenciado. LTE está evolucionando continuamente con 4G y 4.5G, que proporcionan los principales bloques de construcción para el camino a 5G. Nokia aprovecha un proyecto llamado *Nokia AirScale* para construir una ruta de evolución fluida a 5G con 4.5G Pro y 4.9G. Siendo tal su evolución que en febrero de 2018, Nokia ha demostrado tasas de datos de usuario de 2Gbps en 4.9G con *Nokia AirScale*. Con altas tasas de datos, baja latencia y capacidad masiva, Nokia 4.9G crea un entorno de continuidad más allá de las áreas de red iniciales de 5G. (**Bell Labs, 2019**)

Algunas de sus características claves de valor agregado son:

- Suministran operadores LTE en todas las regiones del mundo, incluida toda la tecnología líder y los mayores mercados de suscriptores.
- Sus clientes de LTE sirven a la mayoría de los suscriptores de LTE en todo el mundo.
- Se ha desplegado LTE en todas las bandas de frecuencia principales y a diciembre de 2018, existen más de 400 referencias comerciales.

(Bell Labs, 2019)

5.2 ZTE

Para ZTE en su página oficial de desarrollos y tecnologías futuras aborda el tema partiendo desde el inicio del lanzamiento comercial de 4G, donde las imaginaciones se han disparado en la industria acerca de la tecnología de comunicaciones móviles de próxima generación. Estas tecnologías futuras pueden proporcionar velocidades pico de datos muy rápidas, adicionar conexiones masivas, tener una latencia baja y poder utilizar bandas de frecuencia superiores a 6 GHz. Toda esta comprensión de 5G se ha venido entendiendo bajo el trabajo en equipo de operadores de telecomunicaciones, fabricantes de tecnología y centros de investigación. Hoy, ZTE afirma claramente que se acerca la era de 5G. ("**5G: Stepping into Future**", 2019)

Las muchas expectativas sobre el futuro en 5G se han aclarado. Con el fin de alcanzar las metas de desarrollo en 5G de una manera prematura, se proponen tecnologías nuevas. Las siguientes son algunas de estas tecnologías que han sido aceptadas y que cumplen los estándares de telefonía móvil 5G. ("**5G: Stepping into Future**", 2019)

Lean Design

El Lean Design es vital para la eficiencia de la red y la compatibilidad con equipos de nueva generación. El diseño lean permite que los nodos que no están transmitiendo datos ingresen rápidamente a un estado de latencia profunda, de modo que se pueda ahorrar energía. Además, estos nodos inactivos también pueden reducir la interferencia a sus nodos vecinos. ("**5G: Stepping into Future**", 2019)

Massive MIMO

Massive MIMO es una de las tecnologías clave en 4G LTE, 4.5G y se espera una mayor contribución a 5G, especialmente en el uso de sistemas de alta frecuencia. El Core de un sistema de telecomunicación de alta frecuencia es utilizar los haces formados por múltiples antenas tanto en recepción como en transmisión para evitar las pérdidas de alta propagación de las señales de alta frecuencia. ("5G: Stepping into Future", 2019)

Diseño Unificado de Backhaul y Acceso

Las tecnologías inalámbricas se han aplicado a la red de retorno, generalmente para ondas milimétricas de alta frecuencia en un entorno de línea de vista punto a punto (LOS) fijo. En la era 5G, las ondas milimétricas de alta frecuencia también se utilizarán para los enlaces de acceso (estaciones base y terminales). Cuando los puntos de transmisión se despliegan densamente y tienen poca potencia, el backhaul de radio también debe expandirse al entorno sin línea de vista (NLOS) como enlaces de acceso. Los enlaces de acceso de radio y los enlaces de backhaul, por lo tanto, no pueden considerarse como dos enlaces independientes en la era 5G. Por esta razón, se propone el diseño unificado de backhaul y acceso, en el que se utilizan la misma infraestructura y técnicas para mejorar la utilización del espectro y reducir los costos de O&M ("5G: Stepping into Future", 2019).

Separación de usuario y control

El control aquí se refiere a cierta información del sistema, por ejemplo, la información del sistema que necesita un UE para acceder a una red. El usuario y el control pueden tener un diseño escalable diferente, si están separados. En general, los datos de los usuarios deben estar respaldados por nodos de transmisión de

implementación densa, mientras que el control debe estar respaldado por una amplia cobertura. La separación de usuario y control se puede extender a diferentes bandas de frecuencia. Por ejemplo, los datos del usuario se transportan en bandas de alta frecuencia 5G, mientras que la información de control se transmite en bandas LTE de baja frecuencia. La separación de usuario y control también facilita la transmisión de datos de usuario 5G basados en haz en el futuro ("**5G: Stepping into Future**", 2019).

5.3 Ericsson

Las generaciones anteriores de redes móviles se dirigieron principalmente a los consumidores para voz y SMS en 2G, navegación web en 3G y transmisión de datos y video de mayor velocidad en 4G. La transición de 4G a 5G servirá tanto a los consumidores como a múltiples industrias. ("5G - Ericsson", 2019)

Dado que se espera que el tráfico de datos móviles a nivel mundial sea cinco veces más alto para fines de 2024, se necesita una tecnología más eficiente, mayores tasas de datos y utilización del espectro. Las nuevas aplicaciones como la transmisión de video 4K / 8K, la realidad virtual y aumentada y los casos de uso industrial emergentes también requerirán un mayor ancho de banda, mayor capacidad, seguridad y menor latencia. Equipado con estas capacidades, 5G brindará nuevas oportunidades para las personas, la sociedad y las empresas. ("5G - Ericsson", 2019)

Ericsson y sus socios han estado trabajando con la tecnología 5G durante varios años en los laboratorios, y los últimos dos años llevamos estas tecnologías a pruebas de campo avanzadas. También hemos firmado los primeros acuerdos comerciales 5G.

La estandarización de 5G se ha acelerado con el primer estándar de Nueva Radio (NR) de 5G finalizado en diciembre de 2017 y completado en junio de 2018. Existe un fuerte impulso en el mercado mundial de 5G, con el lanzamiento de las primeras redes y dispositivos comerciales de 5G en 2018. Ericsson estima el número de suscripciones alcanzando los mil quinientos millones a finales de 2024. ("5G - Ericsson", 2019)

6. Propuesta técnica de Huawei relacionada con 4.5G

En la época actual con el desarrollo explosivo de la banda ancha móvil (MBB), se espera que la cantidad de usuarios de MBB en todo el mundo alcance los 6.7 mil millones para el 2020, y que la cantidad de datos de navegación esperada por cada usuario use sea 5 GB de datos por mes. Por otro lado, ya existe la necesidad de un desarrollo a gran escala del Internet de las Cosas (IoT). Es más, se estima que para el 2020, habrá unos 31 mil millones de conexiones de IoT en todo el mundo. Es por esto que actualmente los operadores de redes móviles están poniendo cada vez más importancia en la exploración de nuevas posibilidades de negocio, ya que con la aparición de tantos avances tecnológicos y servicios emergentes basados en estos avances, si los operadores móviles, actualizan su red, pueden tener acceso a estas oportunidades, donde servicios como video en HD en 2K y 4K, realidad virtual (VR), Realidad Aumentada (AR), Drones, Narrow Band Internet of Things (NB-IoT) y broadband trunking, son posibles y grandes oportunidades de negocio en estas tendencias mundiales. **(4.5G, Opening Giga MObile World, Empowering Vertical Markets MWC 2016, 2016)**

Ante esta situación Huawei propone el concepto de 4.5G basado en un profundo conocimiento de la industria de banda ancha móvil. Entendiendo 4.5G como la evolución de LTE recibiendo el nombre de LTE advanced Pro. 4.5G es una mejora de LTE que conserva su misma arquitectura pero presenta mejoras respecto a las tasas de transmisión de bits y de experiencia de usuario; 4.5G es el nuevo proyecto oficial aprobado por el 3GPP en sus especificaciones definidas en los lanzamientos R13 y R14 en octubre de 2015 para indicar la próxima etapa en desarrollo hacia 5G. El lanzamiento R13 se inició en septiembre de 2012 y se finalizó en marzo de 2016 con unas 170 funciones y estudios de alto nivel entre estas se encuentra la estandarización de NB-IOT, la nueva tecnología de radio de banda estrecha desarrollada para IoT, la cual se completó en junio de 2016. Posteriormente el lanzamiento

R14, basándose en muchos de los proyectos y características de R13, comenzó en septiembre de 2014 y el trabajo se finalizó en junio de 2017. *(4.5G, Opening Giga MOBILE World, Empowering Vertical Markets MWC 2016, 2016)*

Antes de nada hay que definir qué es el 3GPP y en que se relaciona con LTE y las redes móviles, por consiguiente se define el 3GPP (3rd Generation Partnership Project) como la organización global que fija y define las especificaciones para los estándares de tecnología móvil. Cada uno de los lanzamientos de tecnología que hace, definen si una implementación se encuentra a punto para su lanzamiento oficial o si por otro lado debe esperar al siguiente lanzamiento para ser publicada. Actualmente se ha convertido en un punto de referencia para redes móviles posteriores a UMTS. 3GPP tiene como objetivo hacer que todos los sistemas sean compatibles con sus versiones previas y posteriores. *(4.5G, Opening Giga MOBILE World, Empowering Vertical Markets MWC 2016, 2016)*

Teniendo en cuenta el desarrollo de 4.5G y los grandes progresos que se han logrado, Huawei propuso los siguientes puntos de referencia para las redes 4.5G, que han sido ampliamente aceptadas por los operadores globales, se establecen tres principios rectores para 4.5G que se han convertido en el nuevo punto de referencia de la red en la industria de MBB:

- Gbps: Una velocidad pico superior a 1 Gbps, en comparación con solo 100 Mbps para redes 4G. También representa más capacidad y una mejor experiencia de usuario en el borde de cobertura de la celda.
- Experiencia 4.0: Los servicios de video y voz se entregarán en experiencia de Alta Definición (HD)
- Connection +: Potenciar mercados verticales, incluyendo NB-IoT para internet de banda estrecha de dispositivos

Con respecto a la estandarización de 4.5G, en octubre de 2015, el 3GPP aprobó LTE Advanced Pro como un marcador distintivo que evoluciona las series de tecnología LTE. En términos de implementación, más de una docena de los principales operadores del mundo comenzaron a implementar 4.5G en redes pre-comerciales o de prueba. Otro papel importante para 4.5G es prepararse para la llegada de 5G. Nos permite adoptar ciertas tecnologías candidatas 5G en redes 4.5G, lo que beneficia a los operadores antes de que llegue 5G. También brinda la oportunidad de ajustar las arquitecturas de la red antes de tiempo para la introducción de 5G. Finalmente, 4.5G puede ayudar a investigar y cultivar nuevos servicios y sectores de mercado para 5G. *(4.5G, Opening Giga MObile World, Empowering Vertical Markets MWC 2016, 2016)*

Esos conceptos deben permitir dar cabida a todas las nuevas oportunidades en el mercado, como lo son 3D/Full Dimension -MIMO, NB-IoT, Carrier Aggregation Masivo, Reducción de latencia y Celda de punto a multipunto (SC-PTM). A continuación se explican los conceptos técnicos mencionados anteriormente:

6.1 La velocidad en Gbps

La velocidad dada en Gigas representa un avance muy significativo en la tasa máxima de transmisión, los Gbps representan una mejora general en la tasa pico, la capacidad y el rendimiento del borde de la celda. Por ejemplo, al usar 3CC CA, 4x4 MIMO y 256QAM, 4.5G puede ofrecer una tasa máxima de 1.2 Gbps, lo cual es 8 veces más rápida que la tasa de 150 Mbps de transmisión que hay actualmente en el mercado con 4G LTE. Es correcto afirmar que con dichas tasas en Gbps en 4G es posible acceder a variedad de nuevo contenido como se muestra en la figura 7, contenidos tales como videos y audio en alta definición, navegación web, acceso a redes sociales, realidad virtual (VR) y servicios similares para proporcionar a los usuarios una experiencia realmente envolvente. Un ejemplo claro de esta mejora es que para video 2K (que requiere 8 Mbps), un eNodeB 4G admite 12 canales de programas, mientras que un eNodeB 4.5G admite la reproducción simultánea de video en 75 canales. *(4.5G, Opening Giga Mobile World, Empowering Vertical Markets MWC 2016, 2016)*



Ilustración 7: Servicios agregados en LTE (4.5G, Opening Giga Mobile World, Empowering Vertical Markets MWC 2016, 2016)

Sin ser el único aspecto a tener en cuenta, vale la pena mencionar que con la rápida inclusión de la tecnología en la vida de las personas, donde la gran mayoría de personas tiene uno o más dispositivos electrónicos para poder acceder a la red, y con el rápido despliegue de redes sociales y de contenidos como por ejemplo YouTube el tráfico de una celda se ve impactado por el tráfico de todas estas personas, en celdas de 4.5G este tráfico no se vería

impactado de gran manera ya que Gbps significa un aumento en el rendimiento del borde de la celda. 4.5G ofrecerá un aumento de diez veces en el rendimiento promedio del borde de la celda, de 3 Mbps a 30 Mbps, cumpliendo los requisitos de video HD de 2K / 4K en cualquier lugar y en cualquier momento. (4.5G, *Opening Giga MOBILE World, Empowering Vertical Markets MWC 2016*, 2016)

En cuanto a cómo implementar esta red LTE advanced, se debe hacer a través de las siguientes tecnologías clave:

Tecnología	Descripción
Massive MIMO	Transmisión y recepción de más de una señal de datos al mismo tiempo y en el mismo canal de radio
Massive CA	Permite a los operadores agregar espectro fragmentado de diferentes bandas en un único espectro más grande.
High-order modulation	Técnica de modulación que transporta varias señales diferentes, por un mismo canal o portadora, tanto en amplitud como en fase.
Flexible bandwidth	Reasigna bandas de frecuencia en desuso para dar una mayor velocidad en LTE Advanced Pro

Tabla 1: Tecnologías clave para 4.5G

6.1.1 Massive MIMO

Massive MIMO es una de las tecnologías clave para 4.5G. Las siglas MIMO significan múltiples entradas múltiples salidas, su funcionamiento se puede reducir a un principio clave: una red móvil que permite la transmisión y recepción de más de una señal de datos al mismo tiempo y en el mismo canal de radio, generalmente utilizando una antena separada para la transmisión y recepción de cada señal de datos. *(4.5G, Opening Giga Mobile World, Empowering Vertical Markets MWC 2016, 2016)*

En las redes que usan un MIMO convencional se acostumbra a que usen dos o cuatro antenas para transmitir datos y el mismo número para recibirlos. Por otro lado Massive MIMO, es un sistema con un número especialmente alto de antenas. Pese a esto no hay una cifra obligatoria de número de antenas para una configuración Massive MIMO, es más existen casos de sistemas con 10 antenas y otros con cientos de antenas. Por ejemplo, Huawei tiene pruebas de sistemas Massive MIMO con 128 antenas. *(4.5G, Opening Giga Mobile World, Empowering Vertical Markets MWC 2016, 2016)*

Sin embargo, lo que convierte a esta tecnología en un factor clave para 4.5G, es que Massive MIMO aumenta la eficiencia espectral. Esto sucede debido a que entre mayor número de antenas haya, será mayor el número de señales de datos, y estos serán más precisos y ofrecerán una mejor calidad de señal. En resumen Massive MIMO ofrece más posibilidades de transmitir dos, tres e incluso cuatro señales de datos para un solo UE al mismo tiempo, aumenta significativamente la eficiencia espectral y mejora Experiencia de usuario de borde de celda (CEU). *(4.5G, Opening Giga Mobile World, Empowering Vertical Markets MWC 2016, 2016)*

Con el fin de que los UE tengan la mayor cobertura en la zona geográfica donde se encuentren y de igual manera obtengan la mayor velocidad posible al conectarse. Massive MIMO puede combinar ocho celdas de 2 canales de Transmisión y 2 canales de Recepción (2T2R) en una celda 16T16R, así al evaluar la calidad de la señal de enlace de los terminales,

entre otras características puede determinar la ubicación del abonado y elegir las combinaciones de antenas adecuadas para asegurar la mayor tasa de transmisión. **(4.5G, *Opening Giga Mobile World, Empowering Vertical Markets MWC 2016, 2016*)**

6.1.2 Massive CA

La mencionada anteriormente 3GPP comenzó la estandarización de Carrier Aggregation (CA) en LTE-Advanced en su lanzamiento número 10 en donde busca aumentar el ancho de banda de transmisión de 20 MHz a un ancho de banda agregado de hasta 100 MHz. **(G.Yuan, 2010)** Esto permite a los operadores agregar espectro fragmentado de diferentes bandas en un único espectro más grande. En LTE-A, una portadora puede tener un ancho de banda de 1.4, 3, 5, 10, 15 o 20 MHz, y se pueden agregar un máximo de cinco portadoras (CC), por lo tanto, el ancho de banda máximo agregado de 100 MHz. **(K. I. Pedersen, 2011)**

Otros lanzamientos posteriores en LTE-Advanced son el 11 y 12 que habilitaron la banda ancha con diferentes configuraciones en subida (UL) y en descarga (DL) de datos, múltiples configuraciones de avance de tiempo de enlace ascendente y la agregación de portadoras con diferentes estructuras de trama que habilitaron características tales como la agregación de portadoras entre estructuras de trama dúplex por división de tiempo (TDD) y dúplex por división de frecuencia (FDD). **(Z. Shen, 2012)** CA también ha progresado bien en los despliegues de red y ha permitido a los operadores convertir su inversión en operadores de LTE adicionales en altas tasas de datos comercializables. Sin embargo, las especificaciones existentes pronto se convirtieron en un factor limitante para otras configuraciones LTE.

El objetivo de los operadores es desplegar CA con un mayor número de CC, (es necesario aclarar que el caso en Colombia es diferente a las especificaciones dadas y se abordará en una sección más adelante) por lo que se ha vuelto necesario expandir la oferta actual de CA. **(A. Bhamri, 2016)**

En LTE-A Pro lanzamiento 13, se definieron mejoras masivas de CA para combinar cuatro portadoras (4CC) y cinco portadoras (5CC) que se implementaron para uso comercial en 2016. Al agregar cuatro o cinco portadoras (incluidas las portadoras FDD y TDD), permiten a CA no solo aumentar la tasa máxima para los usuarios, sino que también aumentar el rendimiento de borde de celda y el rendimiento de celda promedio. Huawei propone un CA mejorado e innovador (eCA), en este implementa la agregación de portadoras internodo de eNodeB en base a un backhaul relajado para aumentar enormemente la proporción de activaciones de celdas. Además, eCA permite la agregación flexible de micro celdas óptimas para CA para aumentar significativamente las tasas de datos percibidos. En conclusión CA con el uso de cuatro o cinco portadoras agregadas aumentará la tasa máxima de usuario, la tasa de borde de celda y la tasa de celda promedio además de simplificar la implementación y disminuir la interferencia entre células. **(A. Bhamri, 2016)**

6.1.3 High-order modulation

La modulación de amplitud en cuadratura 256QAM es una técnica de modulación que transporta varias señales diferentes, por un mismo canal o portadora, tanto en amplitud como en fase. 256QAM fue publicada en el lanzamiento 12 de la 3GPP, y su motivación principal es el incremento en la tasa de datos, logradas principalmente en las micro celdas. Un UE con el uso de 256QAM puede lograr aproximadamente 200 Mbps cada 20 MHz en la tasa de transmisión en Down link. **(Holma, Toskala & Reunanen, 2016).**

256QAM incrementa la tasa de datos un 33% comparado con 64QAM. Otro beneficio de 256QAM es que puede ser usado para ambos tanto micro celdas indoor y macro celdas outdoor. La razón principal para el uso de esta tecnología en 4.5G es maximizar la capacidad para las macro celdas Outdoor y así dar mayores tasas de transmisión. **(Holma, Toskala & Reunanen, 2016).**

6.1.4 Flexible bandwidth

Se pretende utilizar cualquier ancho de banda que se encuentre entre el rango de 1,4 MHz y 20 MHz, en lugar de los limitados anchos de banda fijos utilizados en LTE (entre los que se encuentran 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz y 20 MHz). Esta tecnología al usar las frecuencia que no se usan de manera eficiente como anchos de banda de 2G y 3G permite reasignarlos para dar una mayor velocidad en LTE Advanced Pro o 4.5G. **(4.5G, Opening Giga MOBILE World, Empowering Vertical Markets MWC 2016, 2016)**

6.2 Experience 4.0

Las redes 4.5G tienen mejoras muy grandes respecto la experiencia del usuario en los servicios móviles. La voz y el video son los principales servicios ofrecidos por las redes móviles. Sin embargo, estos dos servicios tienen inconvenientes por parte del abonado. Según pruebas realizadas por Huawei, las calificaciones por parte del usuario en servicios de voz y datos tienen bajos puntajes en las evaluaciones aplicadas por Huawei. **(4.5G, Opening Giga MOBILE World, Empowering Vertical Markets MWC 2016, 2016)**

Al adoptar tecnologías mejoradas de voz y video, 4.5G apunta a brindar voz HD y video HD en redes móviles, en otras palabras, lo que la Experience 4.0 busca resaltar es:

- Voz en HD o VoLTE Plus
- Video en HD o Video Plus

6.2.1 VoLTE Plus

En las primeras etapas del desarrollo de LTE, no era posible realizar llamadas en redes 4G, ya que estas redes solo usan datos y no llamadas, así que cuando el usuario estaba en cobertura de redes 4G y tenía que hacer una llamada, la llamada no ocurría por medio de LTE, sino que está hacia un Fall Back a una red previa. Es decir cuando un usuario en la red 4G está haciendo una llamada telefónica, tendrá que recurrir a la red 2G o 3G y no podrá utilizar los servicios de datos de alta velocidad hasta que vuelva a la red 4G. Además, el esquema Fall Back de CS tiene deficiencias, como un largo retraso en la configuración de llamadas y una calidad de voz deficiente. **(4.5G, Opening Giga MOBILE World, Empowering Vertical Markets MWC 2016, 2016)**

VoLTE ofrece una mejora significativa al permitir a los usuarios disfrutar de voz en HD sobre LTE, por medio de una comparativa que se muestra en la Figura 8, explica cómo la velocidad de transmisión en VoLTE es de 23.85 Kbps y en las tecnologías anteriores era cerca de la mitad de velocidad 12.2 Kbps. Y en la evaluación de la calidad de servicio de Huawei (MOS) VoLTE tiene una mejor calificación respecto a las demás tecnologías, en la parte derecha de la figura se ve el tiempo para realizar la llamada (latencia), y como en VoLTE es de 0.5 segundos y haciendo Fall Back es de casi 7 segundos aproximadamente. **(4.5G, Opening Giga MOBILE World, Empowering Vertical Markets MWC 2016, 2016)**

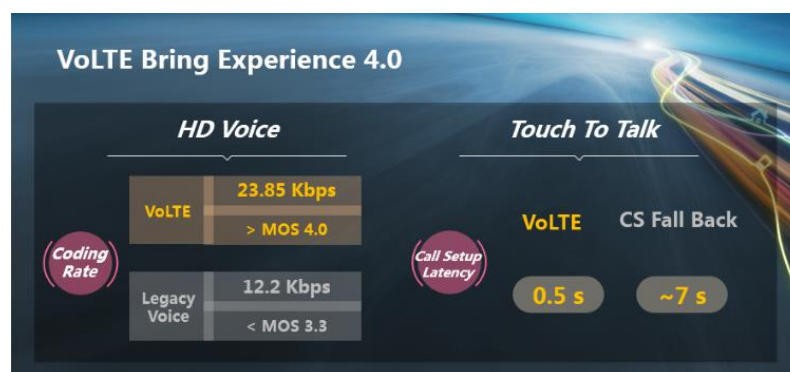


Ilustración 8: Comparativa de VoLTE con otras tecnologías de voz. (4.5G, Opening Giga Mobile World, Empowering Vertical Markets MWC 2016, 2016)

A comienzos de LTE, se usaba Fall Back como la principal alternativa de voz ya que VoLTE al no estar totalmente desarrollada, tener una pequeña escala de implementación y solo unos pocos suscriptores no podría ser el medio principal para realizar llamadas. Sin embargo con la evolución a 4.5G, más suscriptores cambiarán a los servicios a VoLTE para una mejor experiencia de voz. Para atraer a más usuarios, los operadores dan una gran importancia a la cobertura y calidad de voz de VoLTE, con la expectativa de ofrecer Experience 4.0 en cualquier momento y en cualquier lugar. **(4.5G, Opening Giga MOBILE World, Empowering Vertical Markets MWC 2016, 2016)**

Con este fin como lo muestra la figura 9, una red VoLTE ideal debe cumplir con el requisito de 3 características, las cuales son:

1. Siempre en LTE
2. Siempre en MOS4.0
3. Siempre en línea.



Ilustración 9: Requisitos VoLTE (4.5G, Opening Giga Mobile World, Empowering Vertical Markets MWC 2016, 2016)

La cobertura, la calidad de voz y la seguridad de no perder llamadas, son los factores más importantes para cumplir con los 3 requisitos mencionados anteriormente. Es así como Huawei VoLTE Plus es la solución elegida por los operadores, ya que no solo mejora la cobertura de VoLTE, sino que también garantiza la calidad de voz de VoLTE en situaciones de alta interferencia, tráfico intenso y otros escenarios típicos. (4.5G, Opening Giga MOBILE World, Empowering Vertical Markets MWC 2016, 2016)

6.2.2 Video Plus

Teniendo en cuenta que el avance de la tecnología debe ser evaluado por parte del usuario final para determinar su evolución y experiencia respecto al video en este caso; la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) comenzó un proyecto de investigación del estándar vMOS en 2009, que proporciona una base para que los sistemas monitoreen con precisión los parámetros de video. *(4.5G, Opening Giga MOBILE World, Empowering Vertical Markets MWC 2016, 2016)*

Sin embargo, Huawei considera necesario optimizar el estándar vMOS para adaptarse a los nuevos cambios, como las mejoras en la resolución de video, la calidad de imagen, los desarrollos en tecnologías de pantalla, los códec de video, la evolución de las redes móviles y fijas a las redes de banda ultra ancha con la nueva experiencia de video de múltiples pantallas, redes y servicios. De esta necesidad nace el estándar U-vMOS diseñado por Huawei, el cual mide la evaluación de la experiencia de video, basado en pruebas de ingeniería, investigación de muestras e investigación tecnológica, el cual posteriormente fue aprobado por el mismo UIT. *(4.5G, Opening Giga MOBILE World, Empowering Vertical Markets MWC 2016, 2016)*

- **La experiencia del usuario en la red, un principio fundamental.**

La experiencia que tiene el usuario es un factor importante para generar un mayor beneficio. Es claro que pese a que son sensibles a los precios, los clientes están dispuestos a pagar mayores cantidades de dinero por mejores servicios y productos de una calidad más alta para obtener una experiencia superior. Para basar estas afirmaciones una encuesta de clientes sobre servicios de video en línea realizada en China indica que el 36% de los participantes pagaría más por un mejor servicio de video, y esto debería aplicar de igual manera para ciertos sectores de la población colombiana. *(“4.5G, Next Step Toward MBB 2020”, 2019)*

•Incremento del tráfico de vídeo móvil en más del 50%

Las redes sociales cada vez integran mayor cantidad de aplicaciones de video las cuales están impulsando el rápido aumento del tráfico de datos móviles. Según las estadísticas, un total de 300 horas de videos se suben a YouTube cada minuto. La mitad de eso se ve en dispositivos móviles, y el tráfico de dispositivos móviles ocupa el 40% del tráfico total. Además, el 75% de la navegación de videos de Facebook se realiza en teléfonos inteligentes.

De esta manera se evidencia que, la calidad del contenido de video en las redes sociales se está volviendo cada vez más profesional, mientras que las aplicaciones de redes sociales son los principales portales para el tráfico de video móvil. En redes en los Estados Unidos, Japón, Corea y otros mercados desarrollados, el 50% del tráfico proviene del video y continúa creciendo. (4.5G, *Opening Giga MOBILE World, Empowering Vertical Markets MWC 2016*, 2016)

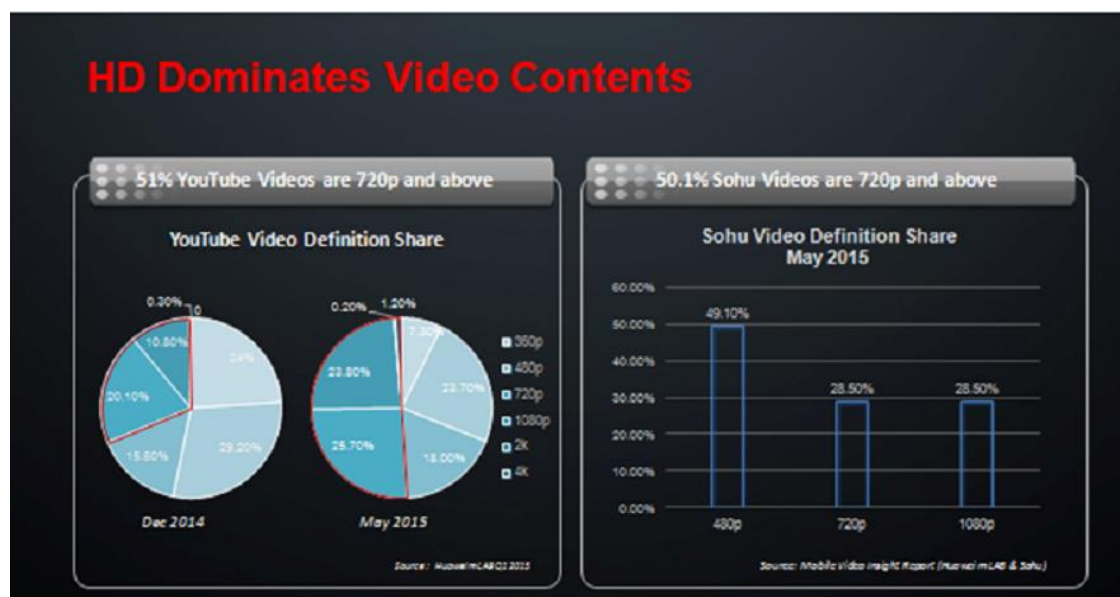


Ilustración 10: Contenido de tráfico en video (4.5G, *Opening Giga Mobile World, Empowering Vertical Markets MWC 2016*, 2016)

- **El video móvil en HD se está volviendo popular**

Cada día el costo de crear pantallas en altas resoluciones (HD) disminuye de gran manera, produciendo pantallas de teléfonos inteligentes con una resolución cada vez más alta. Es tanto así, que según las estadísticas analizadas por Huawei, el 77% de los teléfonos inteligentes vendidos en el primer semestre de 2015 tienen una resolución de 720p o superior, siendo un punto de referencia las pantallas de los teléfonos inteligentes que alcanzaron o superaron los 1080p. Además, los videos con una resolución de 720p o superior son cada vez más comunes, por ejemplo en YouTube los videos disponibles con una resolución de 720p o superior alcanzan el 51%. *(4.5G, Opening Giga MOBILE World, Empowering Vertical Markets MWC 2016, 2016)*

Ofrecer videos en línea con una resolución de 2K (2560 x 1440) se ha convertido en la meta a corto plazo para los líderes de la industria. Una experiencia de video de 2K superior será uno de los objetivos de las redes móviles y se convertirá en el requisito principal en 2019.

6.3 Connection +

Debido a la rápida evolución de la tecnología móvil a la par de la tecnología de la información y las comunicaciones (TIC) la conectividad de las personas ha aumentado, acortando la distancia entre las personas en un mundo totalmente conectado. Por medio de estos avances en la tecnología móvil, el plano para incrementar los campos para las conexiones es muy amplio, gracias a esto se puede realizar la oferta móvil en 4.5G en los campos de Internet de las cosas (IoT). Las tecnologías 4.5G claves incluyen el Internet de las Cosas de Banda Estrecha (NB-IoT). *(4.5G, Opening Giga Mobile World, Empowering Vertical Markets MWC 2016, 2016)*

6.3.1 NB-IoT

La diferencia entre IoT e Internet, es la conexión entre los clientes finales, es decir Internet tradicional se encarga de conectar a las personas, mientras que IoT conecta a las personas y las cosas, puede ser entre ambas o entre sí mismas. El funcionamiento de IoT es la toma de datos, los cuales se pueden recolectar por medio de distintas formas, ya sea de factores atmosféricos, de población, o de extracción de datos. Se espera que IoT entre en la vida común de las personas, generando un valor añadido. *(4.5G, Opening Giga MOBILE World, Empowering Vertical Markets MWC 2016, 2016)*

En un futuro cercano, las redes de IoT y los mercados que estos generan van a necesitar redes móviles de amplia cobertura pero de baja potencia (LPWAN), estos mercados habrá una gran cantidad de aplicaciones de IoT basadas en una variedad de terminales que cumplen con funciones de la vida diaria (rastreo de mascotas, y objetos personales) y en industrias verticales (como la fabricación y el seguimiento de activos) que tengan las siguientes características. *(4.5G, Opening Giga MOBILE World, Empowering Vertical Markets MWC 2016, 2016)*

- Uso de espectros con licencia para una alta confiabilidad y seguridad.
- Proporcionar cobertura amplia, que está disponible incluso en sótanos, áreas suburbanas remotas y otros lugares donde las señales no son habituales.
- Consumo de baja potencia. Al ser alimentados por baterías, los terminales pueden tener una vida útil de batería de 10 años.
- Soporta un gran número de conexiones. Una sola celda puede soportar 100.000 conexiones.
- Requerir bajo costo. El costo del grupo de módulos de comunicaciones es bajo.
- Proporcionar capacidades extensibles, como movilidad, roaming y localización.

Si bien las tecnologías de red celular existentes no cumplen con los requisitos de LPWAN debido a la cobertura, el consumo de energía y las razones de costo, NB-IoT se ha convertido en una importante dirección de desarrollo. NB-IoT ofrece una amplia cobertura, una gran cantidad de conexiones, bajas tasas de datos, bajos costos, bajo consumo de energía y una arquitectura optimizada. Se puede concluir que NB-IoT satisface los requisitos del mercado de LPWAN y, por lo tanto, es la opción óptima para que los operadores de telecomunicaciones ingresen al mercado de LPWAN. (4.5G, *Opening Giga MObile World, Empowering Vertical Markets MWC 2016*, 2016)

7. Lineamientos Técnicos Mínimos para 4.5G

A lo largo de este documento se ha analizado la estructura de una red 4.5G según Huawei Technologies, dicha estructura muestra el valor agregado que Huawei ha implementado en esta red respecto a las recomendaciones de la 3GPP, además de no solo cumplir a cabalidad con todos los requerimientos mínimos necesarios, ofrece un valor agregado en los equipos y la solución de esta red para ser más competitivo en el mercado móvil. Huawei muestra que cumple con todos estos requerimientos e incluso los mejora dando una mejor experiencia al usuario final, sin embargo el objetivo de este documento es mostrar el otro punto de vista, donde se expondrá aquellos requisitos clave, que son fundamentales para poder nombrar una red como 4.5G sin necesidad de abordar en ofrecer un valor agregado a esta red y que sea funcional en cualquier país, como por ejemplo en Colombia cuyo caso se va a abordar más adelante en el siguiente capítulo.

Frente a las recomendaciones de la 3GPP de las cuales se habló anteriormente, específicamente en las recomendaciones R13 y R14, dice que las tecnologías necesarias para que una red sea llamada LTE Pro Advanced o comercialmente conocida como 4.5G es que tenga los siguientes tres ítems:

1. Massive MIMO (4x4)
2. Massive CA
3. High-order modulation 256 QAM

Estos tres conceptos se abordaron en el capítulo de la descripción de la tecnología 4.5G en las especificaciones de Huawei, en la cual se detalla cómo es su funcionamiento y su implementación en el caso de éxito de altas velocidades en China. Sin embargo, no es necesario que sean soluciones de tan altas magnitudes como las expuestas anteriormente para que una red se considere como LTE Pro Advanced, ya que los componentes anteriormente nombrados

harían que una red este en la generación tecnológica deseada además de tener grandes velocidades y capacidades de usuario superiores a una configuración básica. A continuación, se va a abordar en cada uno de estos tres requerimientos especificando como cada tecnología es fundamental para una red 4.5G en un escenario básico de implementación

7.1 Massive MIMO (4x4)

Massive MIMO, específicamente (4x4 Massive MIMO) consta en poder usar cuatro antenas para transmitir y recibir datos al mismo tiempo y de manera simultánea, esta tecnología se usa tanto en la celda LTE 4G, es decir en el eNodeB como en el terminal del usuario (UE).

Su fin fundamental es usar las redes móviles para incrementar las tasas de transmisión de datos, la calidad de la transmisión, el uso del espectro radioeléctrico de una manera más eficiente, mejorar la velocidad de envío de datos y finalmente aumentar la cobertura máxima proporcionada por cada celda.

Al usar esta configuración la velocidad del abonado se va a ver aumentada en aproximadamente el doble de la velocidad actual, dado al uso actual de un arreglo MIMO 2x2 tradicional como se ve en la figura 10.

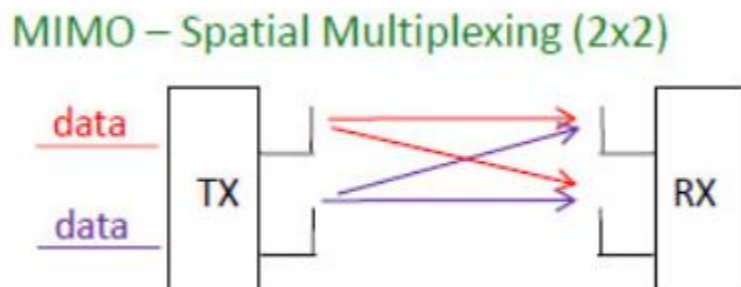


Ilustración 11: MIMO 2x2 (Jeanette Wannstrom for 3GPP, 2013)

Al realizar una comparativa con las tecnologías chinas se evidencia que hay una gran diferencia respecto a las configuraciones instaladas. Por ejemplo, Huawei tiene pruebas de sistemas Massive MIMO con 128 antenas dando una eficiencia espectral excelente, pero como requisito mínimo para una red 4.5G basta con un arreglo de antenas 2x2 o 4x4, es decir 2 en cada estación base, o 4 en cada estación base.

7.2 Massive Carrier Aggregation

Remontándose a la época de las generaciones previas, las bandas de frecuencia se asignaban a la tecnología móvil de la generación con mayor demanda en su momento, es decir en 2G se tenían ciertas bandas de frecuencia asignadas, en 3G sucede lo mismo, sin embargo, en 4G o LTE dada la gran demanda de los usuarios por consumir los recursos de esta tecnología, se han ido migrando algunas bandas de frecuencia de generaciones previas y añadiéndolas a LTE.

LTE abarca un ancho en el espectro desde las frecuencias de 700MHz a los 3600MHz, además añadiendo las bandas de frecuencia de las generaciones de GSM y UMTS que se usan en la actualidad para el despliegue de las nuevas redes 4G se incrementa su capacidad existente.

Esto es posible mediante la recomendación de la 3GPP en su Release 10, donde introduce el concepto nuevo de Carrier Aggregation. Permitiendo a los operadores móviles que poseen bandas de frecuencia separadas unas de las otras (debido a las subastas que genera el gobierno para asignar los recursos entre operadores sea de una manera más justa según la entidad) puedan juntar varias bandas de frecuencias así estas estén separadas la una de la otra.

Cada banda de frecuencia se conoce como una portadora componente. Las portadoras de componente pueden tener un ancho de banda desde 1.4 MHz hasta 20

MHz y se pueden agregar un máximo de cinco portadores de componente. Por lo tanto, el ancho de banda máximo es de 100 MHz. El número de portadores agregados puede ser diferente en Down link y en Uplink, sin embargo, el número de portadores de componentes Uplink nunca es mayor que el número de portadores de componentes en Down link. Los portadores de componentes individuales también pueden ser de diferentes anchos de banda, ver figura 11.

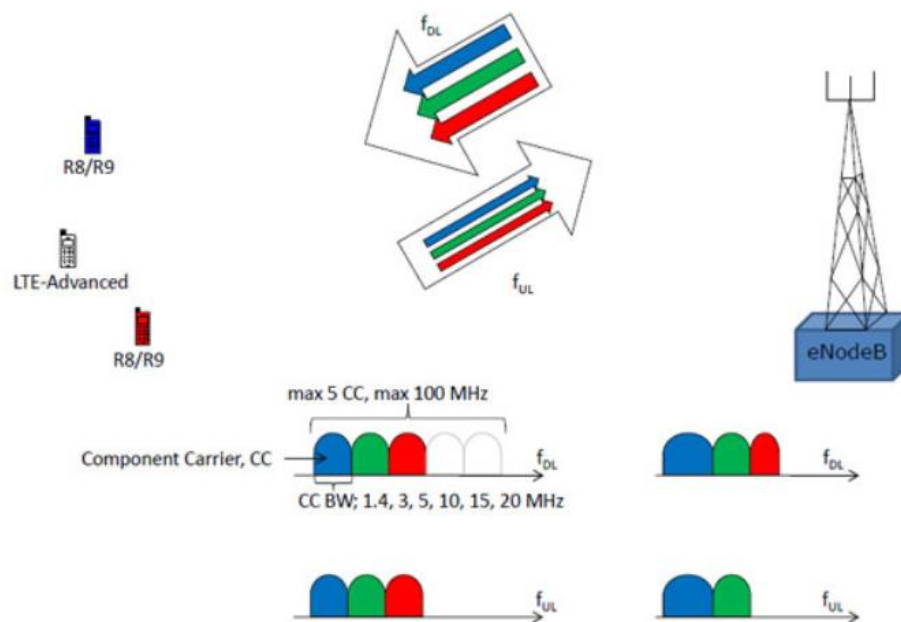


Ilustración 12: Carrier Aggregation (Jeanette Wannstrom for 3GPP, 2013)

En el caso de Massive CA se puede afirmar que se puede incrementar la velocidad máxima de la red en la misma medida en que se puedan asignar más bandas de frecuencia a LTE o usar otro método que es liberar portadoras de generaciones previas como 2G y 3G para usarlas en LTE y así aumentar su velocidad. Por ejemplo, Huawei propone un CA mejorado e innovador (eCA), en este implementa la agregación de portadoras internodo de eNodeB. Además, eCA permite la agregación flexible de micro celdas óptimas para CA para aumentar significativamente las tasas de datos

percibidos. De esta manera Huawei en sus test de velocidades implementadas en China tiene un CA de 5 portadoras o más, que sumado a las portadoras internodo son una solución más que óptima para Carrier Aggregation. Para hablar de un lineamiento técnico mínimo con agregar una portadora de más es suficiente para cumplir con este requerimiento.

7.3 High-order modulation 256 QAM

Finalmente, para la modulación de amplitud en cuadratura 256QAM que es una técnica de modulación que transporta varias señales diferentes, por un mismo canal o portadora, oficialmente aparece en el Release 12 de la 3GPP. La modulación 256 QAM incrementa la cantidad de datos transmitidos en cada paquete enviado, y así mismo se mejora la eficiencia espectral.

Al usar este tipo de modulación se incrementa la velocidad en Down link (que es la velocidad de descarga de paquetes) en un 33% comparado con las técnicas de modulación tradicionales como 64QAM. Para 4.5 basta con que se cumpla este requisito de modulación para ser aceptada como 4.5G.

7.4 4.5G como generación móvil.

Para resumir una vez que se cumplan estos tres requisitos técnicos, ya sea de una manera mínima o cumpliéndolos a cabalidad y con valor agregado, una red puede considerarse como 4.5G, evidentemente ambas redes van a diferir respecto a tasas de velocidad y de transmisión, ya que usan arquitecturas más robustas que otras. Pero ambas se consideran la misma generación tecnológica.

4.5G es una tecnología en sus comienzos apenas, ya que se encuentra en el intermedio de 2 grandes generaciones móviles, la actual 4G o LTE y la futura 5G (esperada alrededor del 2020). Los operadores actualmente están promoviendo esta nueva red, ofreciendo mayores velocidades de conexión y navegación.

En la generación móvil 4.5G se ofrece para los usuarios finales velocidades máximas de hasta 390 Mbps y esto en el caso de los operadores con mayor CA, que a diferencia del caso que se habló en china de velocidades de hasta 1Gbps solo podría ocurrir en condiciones ideales de laboratorio. Es más, una velocidad de 390 Mbps es la máxima velocidad que puede llegar a recibir el abonado, ya que por lo general esta velocidad solo ocurre en condiciones ideales, pero lo más probable es que la velocidad sea inferior a esta debido a diferentes factores como interferencias estructurales, estado de los componentes de la red, la calidad de los equipos de las celdas, y la cantidad de abonados en una misma área.

8. Caso Colombia

Huawei Technologies al ser una compañía internacional, tiene presencia tanto en su país de origen China, como en países Latinoamericanos; para este caso se va a hablar de Colombia. Durante todo el desarrollo del presente documento se viene hablando del valor agregado de Huawei respecto a las redes móviles, frente a sus tasas de gran velocidad en Hong Kong de 150 Mbps en redes 4G, y de un máximo logrado en un test de 4.5G de 1 Gbps pico de velocidad. De igual manera respecto a Carrier aggregation, en Hong Kong se habla del uso de 5 portadoras para incrementar el número de portadoras en transmisión, sin embargo estas especificaciones son distintas en un como Colombia.

En Colombia en las distintas pruebas realizadas en la implementación de LTE Advanced pro o 4.5G mediante Huawei Colombia, se realizan mediciones de 30 Mbps en redes 4G y 100 Mbps en redes 4.5G. De igual manera respecto a carrier aggregation, el número de portadoras usadas es de 2 o máximo 3, dependiendo del operador móvil.

Las razones por la cuales en Colombia y en Hong Kong las velocidades difieren de tal manera es debido a varios factores, tecnológicos, geográficos y presupuestales.

En primer lugar, el factor tecnológico es que en China se usan tecnologías acordes al nivel de las redes implementadas, por ende, son equipos mucho más modernos y que permiten velocidades mayores. En Colombia algunas redes ya sean de Core o de acceso se encuentran usando tecnologías obsoletas, debido a que están diseñadas para muy bajas velocidades, o que están en desuso en ciudades como Hong Kong por su antigüedad. Por tal motivo es muy complicado introducir un equipo de última generación en redes con tecnologías obsoletas.

En segundo lugar, el factor geográfico representa un problema debido al relieve accidentado de Colombia, donde las zonas montañosas generan mucha interferencia y existen zonas de nulo alcance. Debido a esto se incrementa el número de estaciones base y de antenas, junto con la distancia entre estas, ya que debe ser menor por las características del terreno.

Por último, el factor presupuestal, sumado a los dos anteriores factores hacen que la implementación de una red móvil en Colombia sea mucho más costosa que en otros países, ya que, al requerir un mayor número de infraestructura y equipos, junto a la menor capacidad de los equipos, representan obstáculos en este tipo de implementaciones.

Actualmente se viene desarrollando 4.5G en Colombia de manera puntual, ya que al estar en sus inicios solo se ha desarrollado en puntos de alta concentración de abonados y en zonas de alto comercio. Solo algunos de los operadores móviles han comenzado a implementar esta nueva generación de redes, y se espera un mayor desarrollo conforme a los clientes vayan migrando a estas redes, puesto a que solo ciertos dispositivos móviles pueden aprovechar al máximo de esta tecnología.

9. Pruebas realizadas en Colombia

Por política de seguridad de información confidencial de Huawei, se omiten detalles del operador, sitio o lugar donde se realiza la instalación de equipos, e información que pueda ser sensible a consideración de la compañía, razón por la cual y para efectos de explicar el desarrollo de una prueba se identifican los sitios y operadores como: Operador X y Sitios No. 1 y No. 2.

Para dar un ejemplo, el **Operador X** solicita la activación de la red 4.5G, más específicamente (CA + 256QAM) como parte de Trial para los servicios contratados a Huawei. Durante el despliegue de la portadora de 1900 MHz, se realizó una serie de pruebas que buscaban verificar la cobertura y el normal funcionamiento de la red; posteriormente verificar el adecuado encendido y funcionamiento de la frecuencia de 1900 MHz como Carrier Agregation, situación que permite verificar la activación de la característica CA para observar el beneficio de throughput con su implementación.

En el escenario de la implementación del trial se tienen las siguientes condiciones:

1. XX sitios sin GSM implementado
2. Solo 3 sectores del sitio necesitan cambios de RRU a la referencia RRU 3971 y configurar UMTS + LTE, los demás sectores permanecerán con las mismas configuraciones actuales.
3. XX sitios permanecerán con UMTS únicamente.

En la siguiente imagen se puede observar el escenario actual, antes de la modernización a 4.5G, se observan 2 equipos cada uno con una tarjeta BBP, la cual tiene los puertos acordes a su generación tecnológica, es decir en los racks de BBU se ven las tarjetas BBP con puertos para LTE, UMTS o GSM según la tarjeta y una UMPT como tarjeta de gestión de la interfaz. Los equipos se conectan a las RRU (Remote Radio Unit) las cuales convierten las señales de banda

base, en señales radiadas a las cuales los UE se conectan; sin embargo, las RRU del lado izquierdo tienen 4 puertos de antenas, y los del lado derecho solo 2, razón por la cual se busca remplazar la RRU derecha por una de cuatro puertos que permita hacer un arreglo de antenas 4T4R.

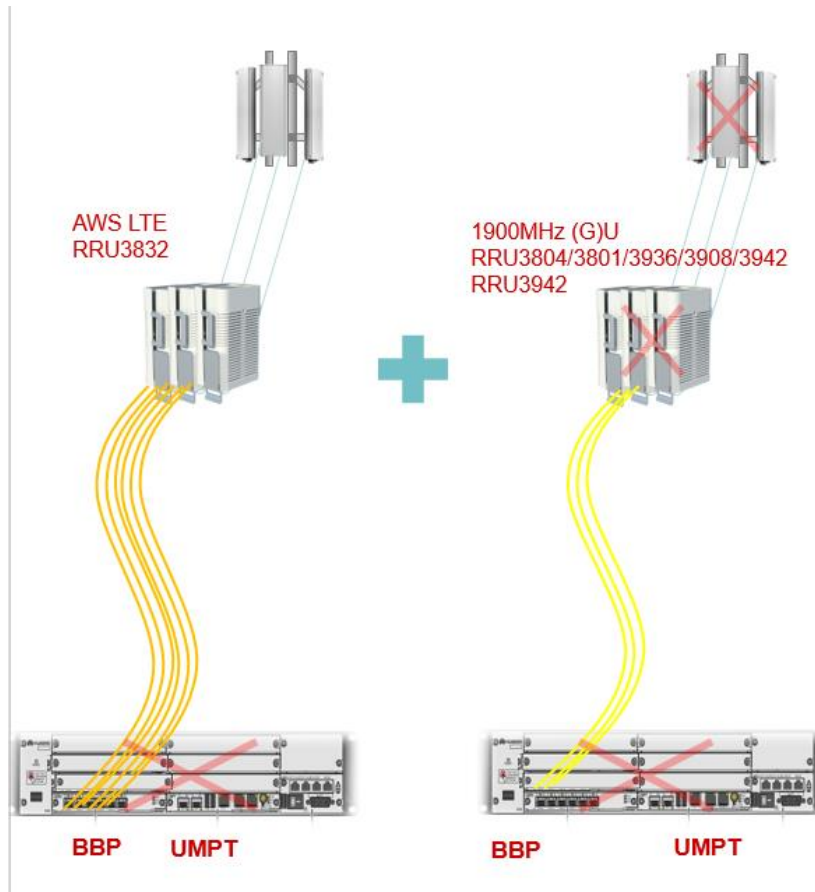


Ilustración 13: Escenario Antes de implementación de 4.5G

Los cambios que se harán a este escenario para poder incluir 4.5G son los siguientes.

1. Se eliminan las UMPT existentes y se instalan UMPT nuevos.
2. Se eliminan algunos BBP existentes y se agregan nuevos BBP.
3. Se retiran las RRU y la antena de 3 sectores (GSM y UMTS) existentes y se instalan las nuevas RRU3971 y las antenas de 4 puertos.
4. La solución final será todo AWS LTE + 1900M (GSM+UMTS+LTE).
5. Nueva característica de 4T4R y CA será implementada.

Una vez hechos estos cambios el escenario final será el siguiente, en donde en un solo Rack BBU usa 2 tarjetas BBP, para dar abasto a la cantidad de puertos que usaran las antenas nuevas. en el escenario nuevo se tiene la RRU 3832 para dar cobertura de LTE en la Banda AWS (2100MHz) y se instala una RRU3971 que soporta la banda de frecuencias 1900MHz, esta soportaría las 3 generaciones (GSM+UMTS+LTE) y un sector extra en la banda de 1900 para GSM y UMTS solamente.

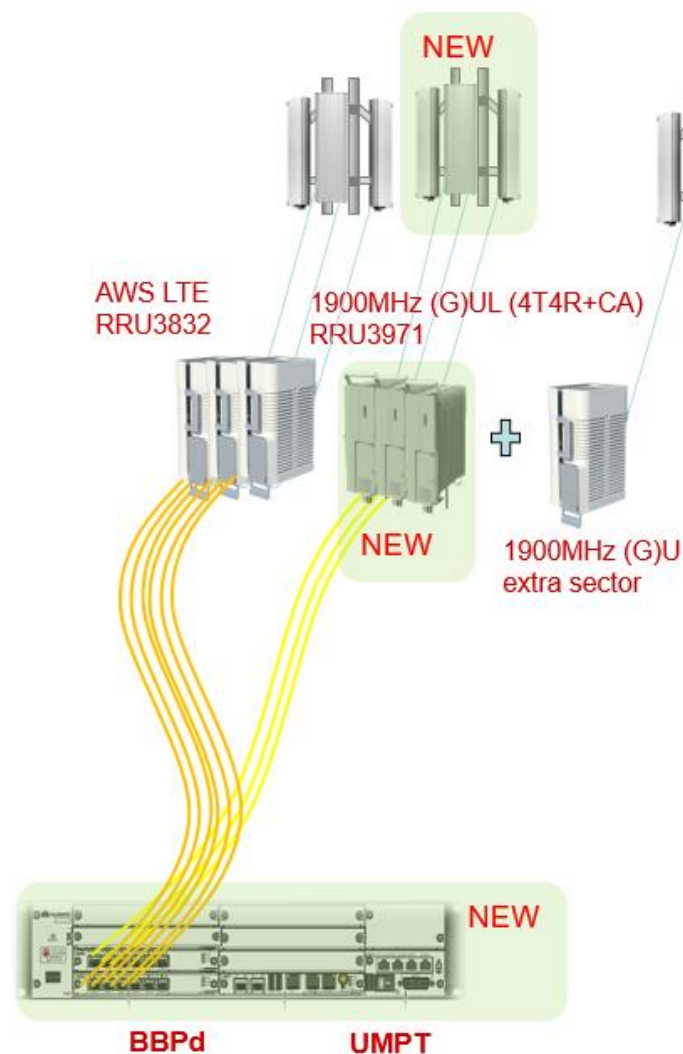


Ilustración 14: Escenario con 4.5G implementado

Para contrastar que los cambios en software se vean reflejados en la experiencia del abonado o usuario final, se muestra un caso de inspección tras haber realizado las pruebas pertinentes:

El día 28 de marzo se realizó una ventana de mantenimiento y con éxito la activación de las portadoras LTE 1900 sobre los nodos **SITIO No. 1** y **SITIO No. 2** de acuerdo a lo planeado, después de la activación no se presentó ninguna alarma relacionada con dicha actividad y los nodos se encuentran operando con normalidad.

Se revisaron los sectores de LTE en donde se activó la nueva portadora de 1900 MHz encontrando para las primeras horas de la mañana una ligera degradación de los indicadores de acceso. Sin embargo, desglosando las portadoras se pudo evidenciar que AWS (que es la banda de frecuencia de 2100 MHz) no presentó novedad alguna.

Las primeras pruebas preliminares realizadas con el dispositivo móvil Galaxy S9 confirmaron que este si permite el CA. Dichas pruebas se realizaron en inmediaciones de SITIO No. 1 Centro Comercial XZ obteniendo por SpeedTest (Una aplicación de medición de velocidad de descarga de datos en el celular) un promedio de 60Mbps de Velocidad de descarga comparado con el resultado del móvil Mate 9 (equipo que no soporta CA) de 40Mbps en el mismo punto. El promedio del SINR fue de 22dB factor que influye mucho en el resultado.

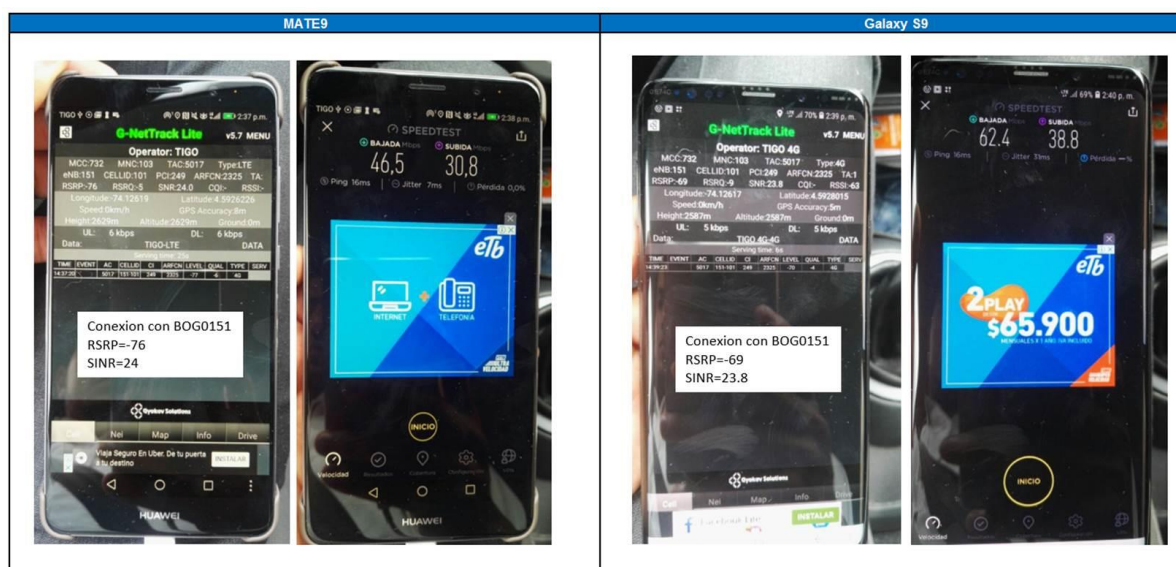


Ilustración 15: Velocidades en móviles de Prueba (Galaxy S9 y Mate 9)



Ilustración 16: Tasas de throughput en dispositivos móviles

Se realizaron trazas para la verificación de Throughput contra un servidor FTP alcanzando picos de 92Mbps, cabe resaltar que en el momento en que se realizaron las pruebas en el centro comercial, se presentaba el partido de Futbol Colombia-Francia, lo que genero la existencia de muchos usuarios conectados a la red.

Otra prueba se realizó el 5 de abril, día en que se activó 256QAM en varios sitios de Bogotá, con pruebas en el Centro Comercial XZ para verificar el aumento de Throughput con 256QAM, comparándolo con los resultados ya obtenidos de CA.

En la siguiente imagen se hicieron trazas de datos arrojadas por las pruebas mediante el software FTP Download, las cuales muestran los picos de velocidad y si hay o no CA en el dispositivo de la prueba.

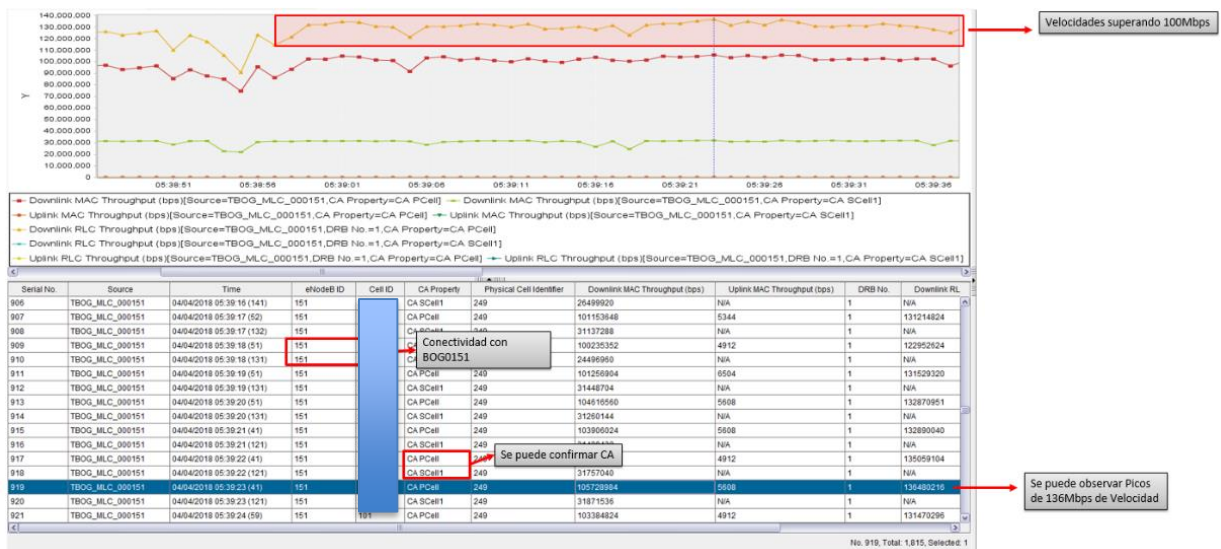


Ilustración 17: Traza con FTP Download de CA en S9.

Se puede observar que con el dispositivo Galaxy S9 si es posible el uso de CA, y se obtienen picos de velocidad de 136 Mbps, además de arrojar datos como la celda a la cual está conectada y el sitio de las pruebas.

Por otra parte, en el dispositivo Mate 9, que no soporta CA, se evidencia en el software no soporta CA, por ende, los picos de velocidad en este no tienen la misma tasa de velocidad que el modelo de Galaxy S9.

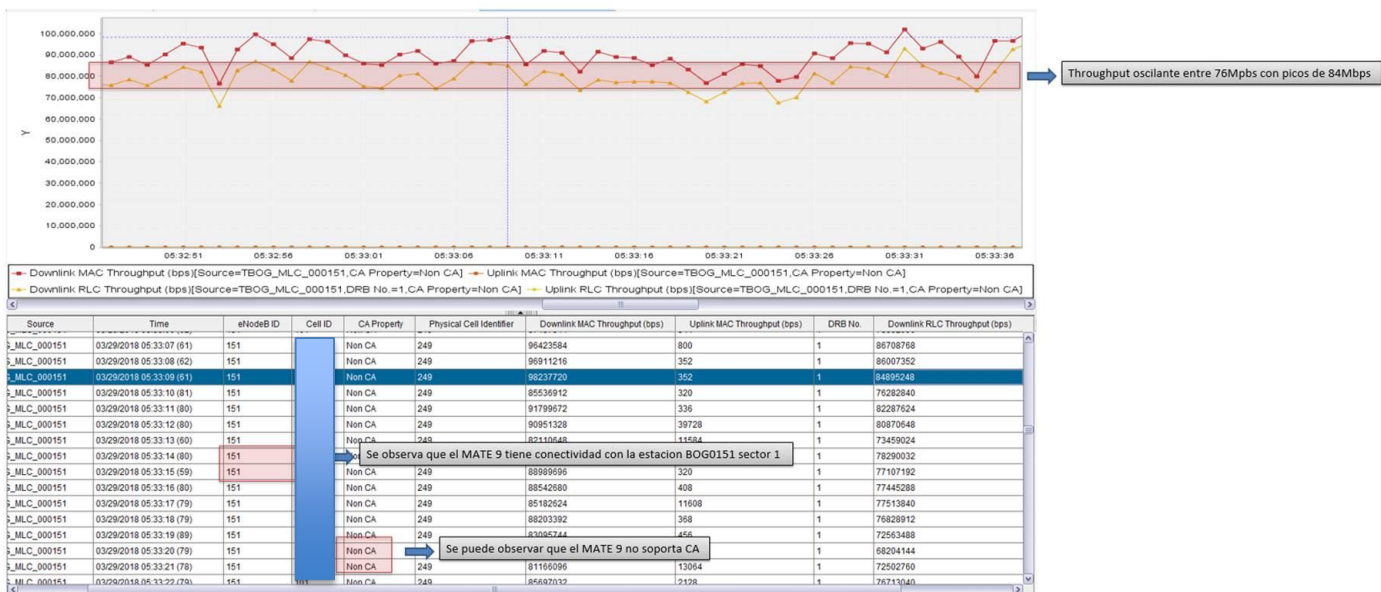


Ilustración 18: THROUGHPUT REGISTRADO POR TRAZA MATE9

Con la información de los resultados de las pruebas de activación de 256QAM en la celda de referencia de las pruebas, se pueden observar picos de hasta 160Mbps que comparándolo con los resultados obtenidos con CA significa una ganancia relativa de alrededor de 24% de velocidad.

10. Conclusiones

Después de realizada la investigación, teórica como práctica, las conclusiones generales de este trabajo son las siguientes:

Actualmente existen varios proveedores de tecnología móvil, como por ejemplo Huawei, Cisco, ZTE y Ericsson los cuales venden la implementación de las redes a los operadores móviles como por ejemplo Claro, ETB, Tigo, etc. Huawei tiene una ventaja frente a todos estos proveedores debido a su tecnología y valor agregado que se expuso durante el documento y ciertamente ofrece mejores soluciones a los operadores móviles de valor agregado a los clientes finales.

Se establece que al aumentar la generación y los Releases de la 3gpp frente a la evolución de las redes móviles, se ven mejoras evidentes en velocidad de transmisión, ancho de banda, menor latencia, mejoras en cobertura y capacidad de usuarios, respecto a la evolución de los equipos de red móvil ofrecidos por los proveedores.

En cuanto al caso Colombiano respecto a China, se deben cumplir las especificaciones de la 3GPP frente a la implementación de una red 4.5G (256QAM, Massive CA y Massive MIMO), sin embargo la diferencia de velocidades y tecnologías es un diferencial que China posee y Colombia no, es decir, ambos países cumplen con las especificaciones de la 3GPP pero China obtiene mejores resultados en sus pruebas debido a que tienen una red 3G y 4G mucho más robusta que permite una mejor evolución a redes 4.5G, además de tener una mayor disposición del espectro radioeléctrico debido a la utilización de más portadoras que en Colombia, sumado a los tres factores tecnológico, geográfico y presupuestal que representan un obstáculo para Colombia en la obtención de velocidades y capacidad iguales a las de China.

En el caso concreto de Colombia, se establece que uno de los factores que es un impedimento para alcanzar las velocidades de 1Gbps es respecto a la calidad del servicio y número de abonados para un área. Debido a la característica geográfica de Colombia las estaciones base deben estar en donde mayor concentración de usuarios haya, entre mayor cercanía a los usuarios haya mayor será su cobertura y capacidad. Es así entonces como dependiendo la cantidad de usuarios, mayores estaciones base deben haber. Y debido a la interferencia montañosa, debe existir mayor cercanía entre las estaciones base. Teniendo estas dos afirmaciones en cuenta se eleva la cantidad de estaciones bases requeridas en una zona de menor tamaño dada su geografía.

Con el despliegue a gran escala de las redes 4.5G en todo el mundo y su constante evolución, para el 2020 se estima una exploración de los mercados verticales basados en la aplicación de nuevas tecnologías sobre una red móvil 4.5G. Esto es debido a que la infraestructura de las redes 4.5G son la base para una exitosa implementación de redes 5G de manera que ambas van a coexistir durante mucho tiempo y darán la apertura de dichos mercados en aplicaciones tales como Smart Cities aprovechando la características del uso del espectro de 4.5G.

Como se vio en la historia de las generaciones móviles con cada nueva generación se mejora la transferencia de datos, la confiabilidad de la comunicación y la cobertura, así como las formas de control y administración de los equipos de red, así pues, si se llega a la 4.5G, ya sea cumpliendo los requerimientos de la manera ideal o no, se puede categorizar como una red 4.5G pese a tener notables diferencias con otras redes de igual generación, pero mayor inversión tecnológica.

10. Referencias

- [1] Mintic.gov.co. (2018). *Tenencia de Smartphone aumentó 50% en Colombia en el 2016 - Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones*. [Online] Available at: <https://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-article-51641.html> [Accessed 20 Nov. 2018].
- [2] Miao, G., Zander, J., Sung, K. and Slimane, S. (2016). *Fundamentals of mobile data networks*. CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, p.1.
- [3] Dahlman, E., Parkvall, S. and Skold, J. (2016). *4G, LTE Evolution and the Road to 5G, Third Edition*. 3rd ed. London: Elsevier Science and Technology Books, Inc., p.1.
- [4] Kukushkin, A. (2018). *Introduction to mobile network engineering*. UK: John Wiley & Sons Ltd.
- [5] G. Gu and G. Peng, "The survey of GSM wireless communication system," *2010 International Conference on Computer and Information Application*, Tianjin, 2010, pp. 121-124.
<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6141552&isnumber=6141518>
- [6] Cox, C. (2014). *An introduction to LTE LTE, LTE-advanced, SAE, VoLTE and 4G mobile communications*. 2nd ed. United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd.
- [7] LTE Basic Principles. (2013). Huawei, 1.
- [8] Wannstrom, J. (2013). *LTE*. Retrieved from <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>
- [9] A. Benslimane and H. Tobiet, "QoS classification for mobile networks: international roaming case study," *5th IEEE International Conference on High Speed Networks and Multimedia Communication (Cat. No.02EX612)*, Jeju Island, South Korea, 2002, pp. 356-360.
- [10] Chartrand, M. (2004). *Satellite communications for the nonspecialist*. Bellingham, Wash.: SPIE Press.
- [11] G. Yuan et al., "Carrier Aggregation for LTE-Advanced Mobile Communication Systems," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 48, no. 2, Feb. 2010, pp. 88–93.
- [12] K. I. Pedersen et al., "Carrier Aggregation for LTE-Advanced: Functionality and Performance Aspects," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 49, no. 6, Feb. 2011, pp. 89–95.
- [13] Z. Shen et al., "Overview of 3GPP LTE-Advanced Carrier Aggregation for 4G Wireless Communications," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 50, no 2, Feb. 2012, pp. 122–13
- [14] A. Bhamri, K. Hooli and T. Lunttila, "Massive carrier aggregation in LTE-advanced pro: impact on uplink control information and corresponding enhancements," in *IEEE Communications Magazine*, vol. 54, no. 5, pp. 92-97, May 2016.

- [15] Holma, H., Toskala, A., & Reunanen, J. (2016). *LTE small cell optimization*. Chichester, West Sussex, United Kingdom: John Wiley & Sons.
- [16] HUAWEI. (2016). *4.5G, Opening Giga Mobile World, Empowering Vertical Markets MWC 2016* [EBook] (1st Ed.). BARCELONA. Retrieved from <https://www.huawei.com/minisite/4-5g/img/4.5GWhitepaper.pdf>
- [17] Dahlman, E. (2016). *4g, lte evolution and the road to 5g* (3rd ed.). London: Elsevier Academic Press.
- [18] Bell Labs, N. (2019). Industrial IoT Networks: 5G transforming industry verticals. *Nokia*, 1.
- [19] Jeanette Wannstrom, (2013) LTE-Advanced. 3GPP.
- [20] 4.5G, Next Step Toward MBB 2020. (2019). Retrieved from <https://www.huawei.com/minisite/4-5g/en/defining-4-5g.html>
- [21] Nokia LTE. (2019). Retrieved from <https://networks.nokia.com/products/lte-advanced>