

ANÁLISIS DE LA TECNOLOGIA *MASSIVE MIMO* PARA LAS REDES
MÓVILES 5G EN COLOMBIA.

JUAN CAMILO HURTADO CORTES

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

ANÁLISIS DE LA TECNOLOGIA *MASSIVE MIMO* PARA LAS REDES
MÓVILES 5G EN COLOMBIA.

Presentado por:

JUAN CAMILO HURTADO CORTES
CÓDIGO: 2163654

Trabajo de grado presentado para optar el titulo de Ingeniero de
Telecomunicaciones

Director: GERALD BREEK. FUENMAYOR RIVADENERIA
INGENIERO DE SISTEMAS
UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS DE AQUINO
FACULTAD DE INGENIERÍAS
INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ D.C.
MARZO 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. Gerald B. Fuenmayor
Tutor Asignado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Fecha

Contenido

RESUMEN.....	8
ABSTRACT	8
1. INTRODUCCIÓN	9
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
3. OBJETIVOS	11
3.1 Objetivo General	11
3.2 Objetivo Especifico	11
4. JUSTIFICACIÓN	12
5. ALCANCES Y LIMITACIONES	14
6. METODOLOGÍA.....	15
6.1 Cronograma	15
7. MARCO TEÓRICO.....	18
7.1 Sitio Tradicional vs Massive MIMO	18
7.2 Beneficios de la Arquitectura AAU	21
7.2.1 Alta Tarifa de Alquiler del Sitio.....	22
7.2.2 Velocidad de Respuesta.....	22
7.2.3 Más Conexiones Requieren Múltiples Canales	23
7.2.4 Cobertura Precisa	23
7.2.5 Ahorro en CAPEX y OPEX	24
7.3 Características de la AAU LTE TDD	25
7.4 Tarjeta UBBP	27
7.5 Cobertura Massive MIMO	28

7.6	Características Masssive MIMO	29
7.6.1	Diversidad de Recepción en Uplink.....	29
7.6.1.1	MU-MIMO	30
7.6.2	Beamforming 3D en Downlink	31
7.7	Tecnologías Alternativas.....	32
7.7.1	Carrier Aggregation (CA)	33
7.7.2	Modulación 256QAM	34
8.	ESTADO DEL ARTE	37
8.1	Caso de Operador en Colombia	37
8.1.1	Ventajas	38
8.1.2	Desventajas	39
8.2	China Mobile	40
8.3	Vodafone UK.....	41
8.4	SoftBank	42
8.5	Telefónica Múnich.....	44
9.	DESARROLLO DEL PROYECTO	45
9.1	Equipos Utilizados	45
9.2	Instalación AAU y BBU	49
9.3	Resultados	51
10.	CONCLUSIONES	53
11.	BIBLIOGRAFÍA.....	56

RESUMEN

Esta monografía documenta la investigación hecha en la empresa Huawei Technologies Co para un cliente acerca de la tecnología Massive MIMO como solución a la problemática de velocidades de subida y de bajada que se presentan en su red de comunicaciones móviles. Para realizar esta investigación se tendrá en cuenta la ejecución de unas pruebas en campo para probar los equipos Huawei con el fin de evidenciar los resultados de velocidad de una antena Massive MIMO. Es preciso aclarar que estas pruebas son pioneras en la compañía con el fin de demostrar la eficiencia de sus equipos para el cliente que al final sus usuarios son quienes al final hacen uso de la red móvil.

Palabras claves: Massive MIMO, Antenas, Carga, Descarga, Beamforming, Rendimiento, Redes Móviles.

ABSTRACT

This monograph documents the research done at the Huawei Technologies Co Company for a customer about Massive MIMO technology as a solution to the problem of Uplink and Downlink speeds presented in their mobile communications network. This investigation will take into some execution of field tests to test Huawei equipment in order to prove the speed results of a Massive MIMO antenna. It should be clarified that these tests are pioneering in the company in order to demonstrate the efficiency of their equipment for the customer that ultimately their users are those who ultimately make use of the mobile network.

Keywords: Massive MIMO, Antennas, Uplink, Downlink, Beamforming, Throughput, Mobile Network.

1. INTRODUCCIÓN

Las comunicaciones móviles con el transcurso de los años se han convertido en una herramienta clave para las telecomunicaciones convirtiéndose así en un punto clave para las investigaciones en este campo. Es por esto que Huawei al ser una empresa de telecomunicaciones líder en tecnología ha empezado apostarle a nuevas tecnologías que resuelvan nuevas necesidades por parte de los operadores en Colombia.

Dentro de las comunicaciones móviles, Huawei lidera una gran cantidad de soluciones a nivel de software y hardware de equipos que operan en las redes móviles; por esto mismo diferentes tecnologías han empezado a tomar fuerza como solución, las cuales se encuentran: Carrier Aggregation, 256QAM y Massive MIMO.

Las diferentes tecnologías que se han estado trabajando para lograr un mayor throughput en la red móvil, han empezado a ser lo más llamativo dentro de las telecomunicaciones. Actualmente existen operadores que están implementando la modulación 256QAM con el fin de aumentar las velocidades de Downlink y Uplink; por esto 4.5G ha empezado a sonar dentro de algunos operadores en Colombia como principio hacia las próximas comunicaciones móviles 5G. Sin embargo no es la única tecnología dentro de las comunicaciones móviles para poder aumentar el throughput. Massive MIMO sin duda alguna ha sido la tecnología llamativa para ser usada dentro de las redes móviles de los operadores, por las diferentes características técnicas que posee dentro de su hardware.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La red 5G está compuesta por diferentes aspectos técnicos para su implementación futura en el territorio colombiano. Es por esto que Huawei, empresa reconocida a nivel mundial le ha apostado a la innovación en cuanto a equipos tecnológicos, software y servicios para su desarrollo. Debido a las miles conexiones que se presentan todos los días al mismo tiempo en la red por el aumento de terminales de los usuarios, ha empezado a generar consecuencias de bajas velocidades en el throughput en Downlink y Uplink¹; es por esto que se han empezado hacer experimentos en laboratorios y en campo de diferentes aspectos técnicos para lograr mayores velocidades y así poder satisfacer las necesidades de los usuarios que cada vez envían mayores cantidades de información a través de la red.

Por esta razón las diferentes empresas líderes en tecnologías ya están trabajando en ello para satisfacer esta necesidad. No obstante, es importante resaltar que si no se implementa ninguna tecnología que soluciones este problema dentro de los operadores, en un futuro no muy lejano será más difícil resolverlo, ya que el tráfico de información seguirá creciendo y si no se tiene una solución pronto, la red colapsara al no ser capaz de soportar tanta información al mismo tiempo que. Sin embargo, dentro de los diferentes aspectos técnicos que componen a 5G es preciso preguntar ¿Qué tecnología dentro de las telecomunicaciones podría solucionar el problema de las bajas velocidades de Downlink y Uplink que se está presentando en las redes móviles actuales de los operadores?

¹ Referencia tomada del ingeniero Carlos Mena, director técnico del departamento de Wireless en Huawei.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Analizar el comportamiento de la tecnología Massive MIMO para demostrar el aumento del throughput en Downlink y Uplink para una red de telecomunicaciones móviles de un cliente de Huawei.

3.2 Objetivo Especifico

- Realizar un el análisis de la tecnología Massive MIMO para establecer a partir de estudios previos, un compilado de beneficios y/o problemas presentados durante su implementación.
- Comparar los diferentes aspectos técnicos para diferenciar otras tecnologías que existen actualmente como solución a las bajas velocidades de Uplink y Downlink actualmente.
- Realizar un estudio de campo para identificar los beneficios y/o problemas del análisis de la tecnología Massive MIMO para un operador de Colombia.
- Analizar los resultados de los equipos de medición para evidenciar a través de los resultados, que las velocidades de Uplink y Downlink son mayores al implementar Massive MIMO.

4. JUSTIFICACIÓN

La tecnología y las comunicaciones móviles avanzan exponencialmente todos los días y hacen parte de un mundo tecnológico que se traduce en millones de conexiones de dispositivos hacia la red. Por esta razón las telecomunicaciones tienen un papel imprescindible dentro de la solución a problemas de velocidades de carga y descarga en la red. Esto se puede comprender desde varios aspectos. Desde el punto económico, la reducción en el hardware disminuiría al momento de instalar las antenas y por lo tanto la reducción en el precio de alquiler del sitio.

Desde el ámbito tecnológico y de operativo, los beneficios se verían reflejados en la gestión de manejo de los equipos que los controlan al ser una tecnología de quinta generación y la facilidad en la instalación al tener un hardware más integrado y compacto.

Gracias a la evolución de las telecomunicaciones, se viene trabajando diferentes aspectos técnicos para que sea posible llegar a la red móvil 5G, que pretende ser llamativa no solamente por los grandes cambios dentro del Core de la red móvil, sino por sus grandes velocidades de carga y de descarga. Esto tendría un punto de vista desde lo social realmente llamativo, ya que impactaría directamente en cada uno de los usuarios que se conectan a internet diariamente. No obstante, desde lo académico, esta investigación se usaría como herramienta de aprendizaje para el área de las redes móviles, que hoy en día es una rama de las telecomunicaciones que sobresale en hardware y el software para incrementar las velocidades de subida y bajada.

Massive MIMO es una de estas soluciones técnicas que se han venido trabajando durante el transcurso de los últimos años en diferentes empresas de telecomunicaciones en el mundo; este aspecto técnico, tal vez es uno de los más importantes dentro de lo que se componen las redes móviles para el aumento del throughput, sin dejar atrás otros como Carrier Aggregation y 256QAM. Lo cual Massive MIMO ha sido la tecnología llamada a ser la solución de las bajas velocidades entre los terminales y las estaciones base.

En el momento de que se vaya a implementar en Colombia, se tendrá que tener en cuenta la parte legal, es decir, la ANE como agencia reguladora del espectro tendrá que supervisar las bandas de frecuencia en la cual Massive MIMO trabaja, y Huawei como proveedor tendrá que regular y/o acordar con el operador la banda de frecuencia en la cual operará y por ende no tener ningún problema legal por la frecuencia en que esté operando.

5. ALCANCES Y LIMITACIONES

En el presente análisis de la tecnología Massive MIMO se estudiará la parte técnica de la solución de Huawei y se ejecutaran unas pruebas de esta tecnología para ser analizada con la nueva solución que propone Huawei para el aumento del throughput. Este análisis comprende estudios previos de la implementación de esta tecnología a nivel mundial hasta el análisis de los resultados de las pruebas realizadas a un operador de Colombia.

Este análisis se realizó en la banda 42 a una frecuencia de 3.5Ghz, ya que fue la frecuencia acordada entre el operador y el proveedor debido a la banda en la cual operaba la antena AAU. Debido a la política de confidencialidad que se tiene con la empresa Huawei, la mayor parte de los resultados arrojados en el análisis por parte de los equipos, no se podrán evidenciar totalmente los valores; además de no mencionar el operador en el cual se realizó esta tecnología.

6. METODOLOGÍA

Los datos obtenidos de este análisis, se obtuvieron a partir de 18 CPE's (Customer Premises Equipment) el cual es un terminal que recibe a través de interfaces de aire velocidades la cual están sujetas a la radiación de la potencia de la antena.

Las fuentes de información que se usaron durante este análisis de esta tecnología fueron: IEEE, Support Huawei, 3GPP y documentaciones internas de la compañía. Todo esto con el fin de tener un background lo suficientemente amplio para poder entender esta tecnología y poder ser aplicada desde el área del conocimiento al análisis de esta tecnología.

Esta investigación es cuantitativa, ya que se basó en el estudio y el análisis de la tecnología Massive MIMO a través de procedimientos basados en la medición de los datos obtenidos. Al ser una investigación de este tipo, se pudo obtener a partir de pruebas, unos resultados numéricos para dar una conclusión.

6.1 Cronograma

Para desarrollar cada uno de los objetivos específicos propuestos en este análisis de la tecnología Massive MIMO, se siguió el cronograma de la Tabla 1; con el fin de tener una lista de actividades que se realizaron durante los 8 meses de investigación para la recolección de cada uno de los aspectos que implica hacer una monografía de alta calidad.

MES	DESCRIPCIÓN
AGOSTO SEPTIEMBRE 2018	Se empezó a recolectar los datos de estudios previos a la tecnología Massive MIMO con base a datos proporcionados por Huawei y así poder realizar un compilado de beneficios y/o problemas durante la implementación.
OCTUBRE 2018	A través de un estudio, se realizó una búsqueda de diferentes tecnologías que proporcionaran dentro de sus características técnicas, la solución a las bajas velocidades en Downlink y Uplink; esto con el fin de realizar una investigación más amplia en el sentido de diversidad de tecnologías ofrecidas dentro del mercado de las telecomunicaciones como solución a este problema.
NOVIEMBRE ENERO 2018-2019	Durante este periodo, se recolectaron todos los permisos y estudios con el operador y la ANE para poder ir a donde se encontraba la antena AAU y poner los equipos de medición que se usaron para realizar la prueba de velocidad. Es preciso aclarar que, en el transcurso de estos tres meses, hubo retrasos por parte del operador y por falta de permisos de la ANE.
FEBRERO MARZO 2019	En el transcurso de este mes, se dieron a conocer las pruebas a través de un documento oficial de Huawei, en el cual incluía los resultados arrojados por la tecnología Massive MIMO, en el cual se evidenciaba claramente unas velocidades que prometen mucho para el futuro de las redes de acceso en las telecomunicaciones de nuestro país y para así finalmente terminar el documento de la monografía.

Tabla 1. Cronograma de actividades según los objetivos específicos.

Para los criterios de validez y confiabilidad dentro de esta investigación, se tuvo en cuenta algunos aspectos muy puntuales. En cuanto la confiabilidad, basados en los previos resultados y casos de éxitos por parte de Huawei al implementar Massive MIMO, se puede decir con total seguridad que una multinacional reconocida a nivel mundial ha tenido éxito en este desarrollo para redes de acceso, lo cual se puede constatar dentro del marco teórico explicado. No obstante, es preciso aclarar que las pruebas que se hicieron se realizaron solo una vez, esto a los tiempos del proyecto y también el respaldo de las personas técnicas aptas para este tipo de soluciones.

En cuanto a la validez de los resultados, Huawei como el proveedor de esta solución, se encargó de traer un experto Chino, el cual ya había participado en proyectos asociados a Massive MIMO en otros países, con el fin de aclarar cualquier duda o problema que se presentara durante el desarrollo de las pruebas. Por otra parte, el operador se encargó de traer a sus ingenieros de Wireless más aptos para observar, entender y analizar las pruebas que se estaban haciendo en campo en ese momento.

Por tal razón, bajo esta explicación de validez y confiabilidad, se contrarrestó con los resultados obtenidos de las pruebas, siendo aún más contundentes a favor de la solución implementada por Huawei.

7. MARCO TEÓRICO

Antes de empezar a explicar todo lo relacionado a Massive MIMO, es preciso aclarar que significa “análisis”. El verbo Analizar según la real academia española significa: “Estudio, mediante técnicas informáticas, de los límites, características y posibles soluciones de un problema al que se aplica un tratamiento por ordenador”². Con la llegada de nuevas tecnologías a las redes móviles, se han hecho diferentes investigaciones en diferentes empresas de telecomunicaciones, que se han visto obligadas a desarrollar con sus proveedores nuevas soluciones que les permitan tener una mejora en su red móvil. A continuación, se explicará el funcionamiento de Massive MIMO para poder entender las diferentes características de esta tecnología que las hacen llamativa por los operadores móviles. Adicional, se mencionarán las otras tecnologías que existen actualmente como solución a las velocidades en Uplink y Downlink.

7.1 Sitio Tradicional vs Massive MIMO

Massive MIMO es una tecnología que se refiere específicamente al uso de múltiples señales que viajan simultáneamente y a la misma frecuencia por un solo canal de radiofrecuencia, y que aprovecha la propagación multicamino para incrementar la eficiencia espectral de nuestro sistema de comunicaciones inalámbrico. Es ampliamente considerado como una actualización clave de la tecnología de múltiples antenas en la era 4.5G. Utiliza una gran cantidad de arreglos de antenas para realizar conformación de haz 3D y multiplexación multiusuario de múltiples capas, mejorando significativamente la capacidad del sistema y la cobertura 3D [1].

²Defnición tomada de: <http://lema.rae.es/drae2001/srv/search?id=Bun7J0GYIDXX2BvsPpM3>

Huawei mediante las diferentes investigaciones que ha realizado en este ámbito, ha recolectado una serie de documentos que les permite a los operadores saber lo que están comprando. Por tal motivo, a través de documentos de investigación explican los beneficios que trae implementar esta tecnología con respecto a la que ya está implementada.

La Figura 1, muestra la evolución de las estaciones bases en las redes móviles.

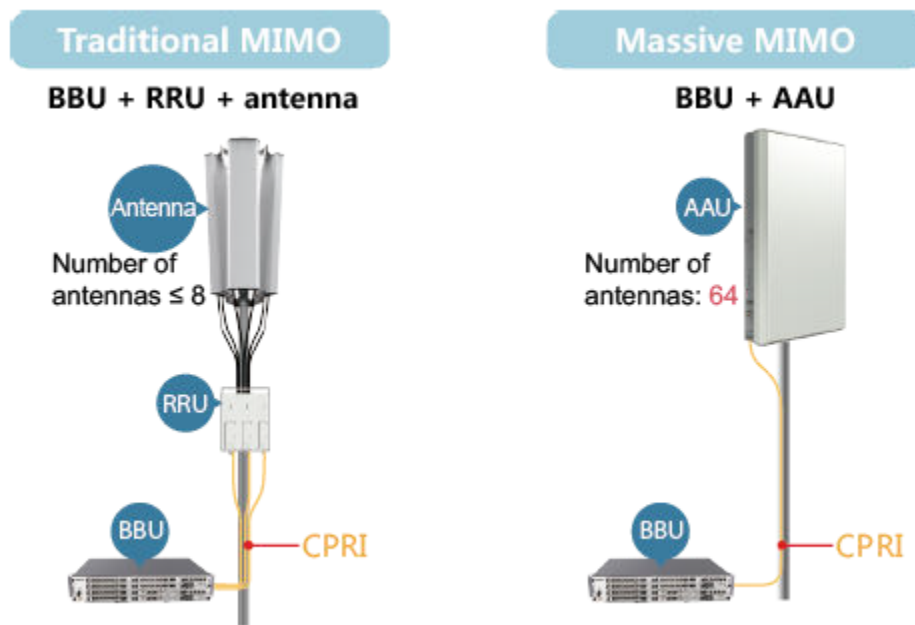


Figura 2. Estación Base tradicional vs Massive MIMO. Recuperado de [2]

Actualmente en cuanto hardware, se encuentra la estación base, la cual contiene una BBU (Base Band Unit) que proporciona a través de tarjetas control y señalización. Contiene dos tarjetas principales: La UMPT (Universal Main Processing & Transmission Unit) la cual es una tarjeta que proporciona puertos S1 para la comunicación con el MME (Mobility Management Entity) en caso de 4G o a la RNC (Radio Network Controller) en 3G y la interfaz X2 la cual

proporciona la comunicación entre eNodeB's [3]. La Figura 2 muestra como es el tarjeta de la UMPT y los diferentes puertos de TX/RX que contiene.

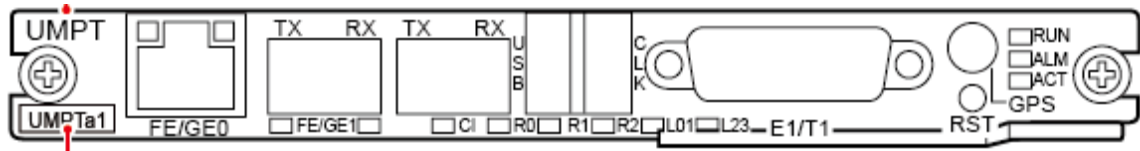


Figura 3. Tarjeta UMPT. Recuperado de <https://forum.huawei.com/en/thread-78839-1-1.html>

La segunda tarjeta principal que se encuentra dentro de la BBU es la UBBP (Universal Base Band Processing Unit). Como se muestra en la Figura 3, es una tarjeta la cual contiene puertos CPRI (Common Public Radio Interface) que permiten la comunicación con la RRU (Radio Remote Unit) a través de fibras para establecer un enlace correcto con los módulos de radiofrecuencia. La cantidad de conexiones entre la UBBP y la RRU depende de la tarjeta y la antena que se esté usando, ya que cada tarjeta trae diferentes modos de aplicación. Debido a los términos de confidencialidad de la empresa, no se puede mencionar las referencias exactas de cada una de ellas, sin embargo, es posible explicar que la última tarjeta que se estaba utilizando en los proyectos establecía hasta un total de 6 celdas por sitio; lo que permitía que en un solo sitio se pudiera integrar todas las tecnologías al mismo tiempo, es decir, GSM (Global System of Mobile) como 2G, UMTS (Universal Mobile Telecommunications Service) como 3G y LTE (Long Term Evolution) como 4G.

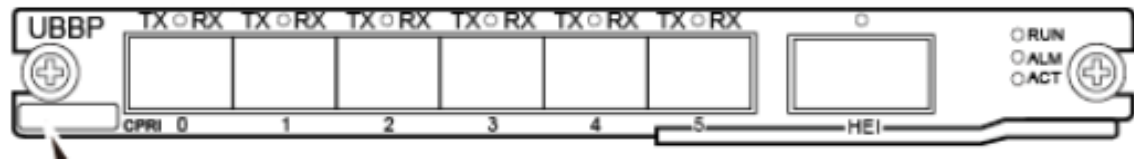


Figura 4. Tarjeta UBBP. Recuperado de: <https://www.google.com/ubbp>

Como explicaba anteriormente, así está compuesta la estación base de un sitio tradicional integrado en los diferentes sitios del país actualmente.

En Massive MIMO como se observa en la Figura 1, en cuanto a hardware es poco diferente, ya que se tiene la BBU y una antena AAU (Active Antenna Unit) que lo que permite tener varios beneficios. A continuación, se explicarán los beneficios que trae esta innovación en la era MBB (Mobile Broadband) para las redes móviles 5G.

7.2 Beneficios de la Arquitectura AAU

En la nueva era móvil, se está pensando en diferentes soluciones que ayuden a mejorar las conexiones en los sitios donde se instalan los equipos que permiten conectar al usuario con toda la red móvil. Por tal razón Huawei le ha apostado a innovar desde todo punto de vista a las redes de acceso y trae diferentes soluciones en cuanto a la arquitectura de los sitios tradicionales a los nuevos que están implementando en Colombia. La redefinición de los nuevos sitios permite varios beneficios en cuanto a costos y a unas conexiones más rápidas que es lo que trae la nueva era móvil.

7.2.1 Alta Tarifa de Alquiler del Sitio

Al momento de empezar a definir un sitio en el cual se quieren hacer las adecuaciones necesarias para que tenga cobertura algún espacio en específico que se quiere abordar hay que saber que la tarifa del alquiler del sitio se relaciona con el tamaño del espacio ocupado; es por eso que, al emplear soluciones tradicionales para soportar múltiples bandas, los operadores tienen que alquilar grandes espacios para la adecuación de todos los equipos que son necesarios y esto se ve reflejado también en los altos costos de los proveedores en sus contratos.

7.2.2 Velocidad de Respuesta

La red debe responder rápidamente el servicio para garantizar la experiencia del usuario; de esta manera las soluciones tradicionales siempre requieren más hardware y más tiempo para las nuevas bandas, lo que puede afectar a los tiempos de latencia y se ven reflejados en la experiencia del usuario, con problemas de velocidad de carga y descarga.

Este es uno de los motivos por lo cual se opta por eliminar la RRU e innovar con la AAU; para reducir los tiempos de respuesta y mejorar la experiencia con el usuario final.

7.2.3 Más Conexiones Requieren Múltiples Canales

Las futuras redes existirán en un mundo mejor conectado, por tal motivo Massive MIMO admite múltiples canales. Lo que significa que a través de esta tecnología en las redes móviles es posible conectarse a través de diferentes canales lo que permite una mayor velocidad con el usuario. Como se ha mencionado anteriormente, mMIMO permite a través de 64 antenas llegar a todos los rincones más difíciles para proveer internet a grandes velocidades y ya que la conectividad se está convirtiendo en una necesidad, que mejor que una tecnología que proporcione una solución adecuada a esta era de millones de conexiones al mismo tiempo.

7.2.4 Cobertura Precisa

Debido a que existen múltiples sitios que proporcionan cobertura en diferentes bandas, coexisten múltiples capas de red [4]. Por tal razón la cobertura debe ser más precisa si se quiere reducir con éxito la interferencia. La formación de haces es una tecnología que proporciona cobertura precisa y esto no se logra a través de sitios tradicionales sino sitios con la tecnología Massive MIMO que a través de sus múltiples funciones integra el *beamforming* que permite que los haces sean mas directivos y asi mismo mas eficientes para con el espectro, teniendo asi un conocimiento exacto de la potencia que necesita el haz para proporcionar la suficiente potencia dependiendo de las características de la señal.

La figura 4 da una idea de cómo a través de esta solución se puede lograr una mejor conectividad

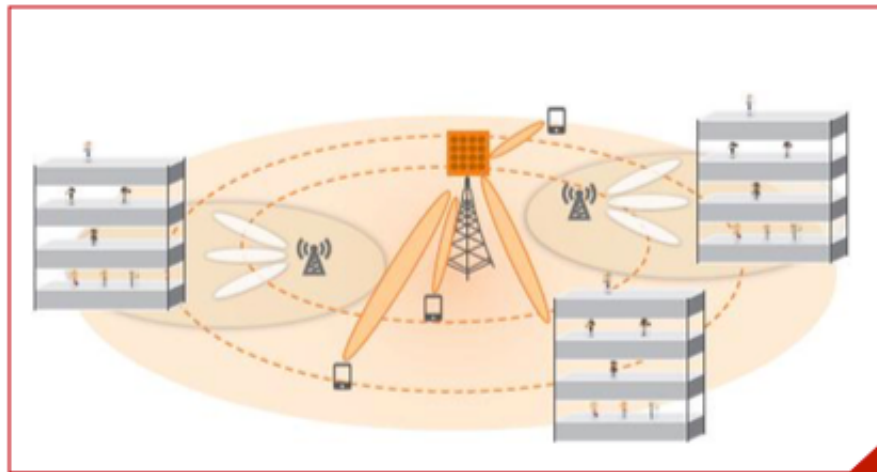


Figura 5. Beamforming. Tomado de [4]

7.2.5 Ahorro en CAPEX y OPEX

Con la implementación de la AAU, se ahorra costos totales de propiedad: TCO (Total Cost of Ownership), lo cual significa una importante reducción dentro de los servicios de operación en la empresa. Estos servicios se pueden dividir en dos, en CAPEX (Capital Expenditure) y OPEX (Operating Expenses). Con respecto al primero, la AAU puede ahorrar la tarifa de alquiler del sitio como se mencionaba anteriormente, además las tarifas de instalación también se reducen y las tarifas de transporte también, ya que en el transporte existiría una reducción de materiales y cajas en las cuales van los equipos. En un proyecto que se hizo en Perú, se hizo una comparación entre una solución tradicional y una solución AAU y se concluyó que hubo una reducción del 40% en tarifas de alquiler de

torres, un 26% menos en servicios de ingeniería y un 30% menos en gastos de transporte.

En cuanto al OPEX, la AUU es compatible con la banda ultra ancha, lo que elimina la necesidad de cambiar o agregar las diferentes unidades de radio manualmente, ya que a través de software se pueden definir la banda a usar y esto hace que se evite enviar una persona al sitio para que lo haga desde la torre y al mismo tiempo reduce tiempos en los procesos y dinero (AAU Redefine).

7.3 Características de la AAU LTE TDD

Dentro del marco de la investigación de este proyecto, se tiene en cuenta como uno de los aspectos principales la caracterización de la antena que se usó para desarrollar del objetivo general.

La Figura 5 muestra la AAU desde de la parte exterior, que por términos de confidencialidad no se puede decir que referencia es.



Figura 6. AUU exterior. Tomado de la base de support Huawei

Esta antena provee hasta 64 canales RF, soportando funciones 3D-MIMO con puertos ópticos de velocidades de 100 Gbit/s o 40 Gbit/s lo que quiere decir que las velocidades entre la BBU y los puertos de la AAU son capaces de transportar grandes cantidades de información.

La banda de frecuencia que maneja esta antena es la 42 (3.5GHz) en un rango desde los 3445 MHz hasta los 3600 MHz soportando hasta un total de tres portadoras.

La Tabla 1, reúne algunas especificaciones técnicas que tiene esta AAU; es preciso aclarar, que la tabla presentada a continuación, es solo una ayuda a la descripción técnica y no para uso personal.

Polarization Mode	+45° and -45°
Electrical Tilt	-11° to +11° (continuously adjustable)
Gain NOTE The gains of broadcast beams in scenarios of macro coverage with the horizontal beamwidth of 65° are specified here.	Gain of the center downtilt: 17.1 dBi Gain of all downtilts: 16.8 ± 0.5 dBi
Horizontal Beamwidth Adjustment Range of Broadcast Beams	15° to 90°
Vertical Beamwidth Adjustment Range of Broadcast Beams	6° to 25°
Scan Range of the Horizontal Azimuth of Traffic Beams	-60° to +60°
Scan Range of the Vertical Downtilt of Traffic Beams	-15° to +15°
Port Impedance	50 ohms
Surge Protection	DC circuit grounding

Tabla 1. Descripción Técnica de la AAU. [6]

Dentro de esta tabla se puede observar algunos parámetros de la AAU, en el cual se puede resaltar los ángulos de apertura tanto vertical como horizontal. Además, esta AAU esta tiene protección IP65, es decir, está protegido de chorros de agua a baja presión desde cualquier dirección, protección limitada [5].

Esta AAU, opera desde los -40°C hasta los 50°C permitiendo así que sea implementada casi en cualquier parte del mundo; además cumple con los estándares impuestos por la 3GPP (3rd Generation Partnership Project) en cuanto a especificaciones ambientales. También cumple con estándares antisísmicos por parte de *“Interim Provisions for Test of Anti-seismic Performances of Telecommunications Equipment”* [6].

Un punto muy importante a resaltar es que el análisis de Massive MIMO se va hacer en TDD (Time Division Duplex) y no FDD (Frequency Division Duplex). Esto se debe a varios estudios que se le han hecho. En un debate realizado en California sobre el desempeño de Massive MIMO como TDD o FDD en el panel de la industria de Globecom 2015 “Massive MIMO vs FD-MIMO: definiendo la próxima generación de MIMO en 5G” [7], en el cual la solución como FDD los haces eran claros, pero por el lado de la potencia para la multiplexación espacial fue fuertemente cuestionado. Por tal razón TDD es la solución que va integrada en Massive MIMO para las redes 5G.

7.4 Tarjeta UBBP

Dentro del proyecto se tiene pensado usar una tarjeta especialmente diseñada para Massive MIMO. Anteriormente se explicó las funciones que tiene una UBBP dentro de la red, sin embargo, en este capítulo se mostraran las especificaciones de la tarjeta que se utilizó en el desarrollo del proyecto.

Por términos de confidencialidad, no se puede mencionar la referencia de la tarjeta utilizada, no obstante, se mostrarán las especificaciones de esta con el fin de tener un conocimiento previo.



Figura 7. Tarjeta UBBP implementada. Tomado de: support.huawei.com

Esta tarjeta tiene tres puertos adaptativos, de capacidad de 100 Gbit/s o 40Gbit/s, para dar un servicio de hasta 1200 usuarios por celda; tiene una capacidad de banda base de 64 TRXs lo que lo hace compatible con la AAU explicada previamente. El consumo de potencia de la tarjeta dentro de la BBU es de 140W, lo que indica que genera una potencia realmente considerable [8].

7.5 Cobertura Massive MIMO

La cobertura dentro de las redes de telecomunicaciones son un parámetro realmente llamativo para los operadores, ya que con base a un arreglo de antenas y la tecnología implementada hace que tanto los proveedores como los operadores se vean beneficiados. Por el lado del operador mucho más, ya que finalmente son los dueños de la red y se ven reflejados por las experiencias de los usuarios. Por tal razón, los operadores invierten en soluciones que les permita ser más llamativa en la interacción con y para los usuarios.

Massive MIMO tiene un arreglo de antenas de 64x64 lo permite que la cobertura sea bastante buena. Por ejemplo, en los edificios altos, los usuarios se distribuyen en muchos pisos, y un sitio normal no puede extender la cobertura verticalmente muy lejos. El ancho de haz vertical (aproximadamente 6.5 °) hace imposible que un sitio tradicional cubra varios pisos.

Massive MIMO, permite que el eNodeB ajuste el ancho del haz de transmisión vertical hasta 35 °, mejorando la cobertura vertical de los rayos de transmisión. De esta manera, dentro de la cobertura en un edificio un solo sitio puede cubrir más pisos (Huawei Massive MIMO,2018).



Figura 8. Cobertura Multipisos Massive MIMO. [2]

7.6 Características Massive MIMO

Con la tecnología Massive MIMO, existen muchas características y funcionalidades que hacen ser de esta, la mejor tecnología a implementar en las redes móviles de 5G. Dentro de estas características se encuentran dos aspectos importantes para resaltar. El primero es la diversidad de recepción en Uplink, el cual contiene funcionalidades de MU-MIMO (Multi-users – Multiple Input Multiple Outputs). El segundo son funcionalidades de Beamforming, que se ven demostrados en Downlink.

7.6.1 Diversidad de Recepción en Uplink

Dentro de la cobertura en las redes de telecomunicaciones, se encuentra una característica importante en cuanto al throughput y es el Uplink; es una característica en las redes móviles de acceso inalámbrico, en el cual, la función principal es analizar la velocidad de subida entre un terminal y la antena. Por tal

razón la diversidad de recepción toma un papel importante dentro de las comunicaciones. La diversidad de recepción de enlace ascendente permite que un eNodeB reciba señales a través de múltiples antenas y luego combine las señales recibidas utilizando un algoritmo de combinación de señales específico. De esta manera, la SINR (Signal to Interference and Noise Ratio) se maximiza y se logra la diversidad. Las ganancias aumentan con el crecimiento en el número de antenas de recepción.

La combinación de relación máxima (MRC) y la combinación de rechazo de interferencia (IRC) se utilizan normalmente para la combinación de señales durante la diversidad de recepción de enlace ascendente [9].

7.6.1.1 MU-MIMO

MU-MIMO es una tecnología que permite que varios terminales emparejados utilicen el mismo recurso de frecuencia de tiempo para la transmisión de datos en Uplink. La Figura 8, muestra gráficamente como funciona.

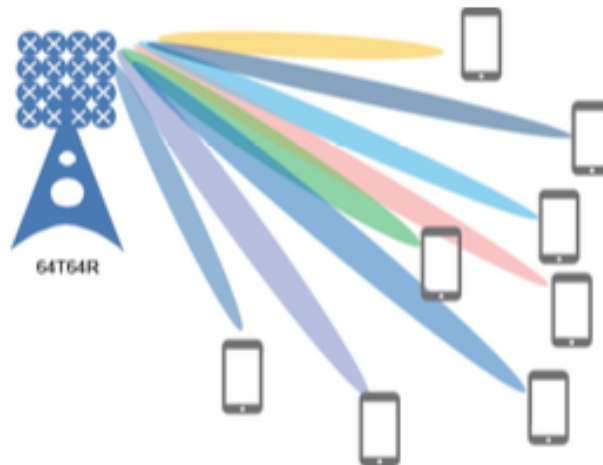


Figura 9. MU-MIMO. Tomado de [9]

Con base a esta Figura, es posible explicar que Massive MIMO permite que tecnologías como esta, logre una conexión más rápida al mismo tiempo de varios terminales.

7.6.2 Beamforming 3D en Downlink

Massive MIMO fortalece las ganancias de potencia y diversidad, permitiendo que la energía se concentre más mediante la implementación de la formación de haz 3D en los haces de tráfico. Mejorando la cobertura para los edificios altos como lo ilustra la Figura 9.

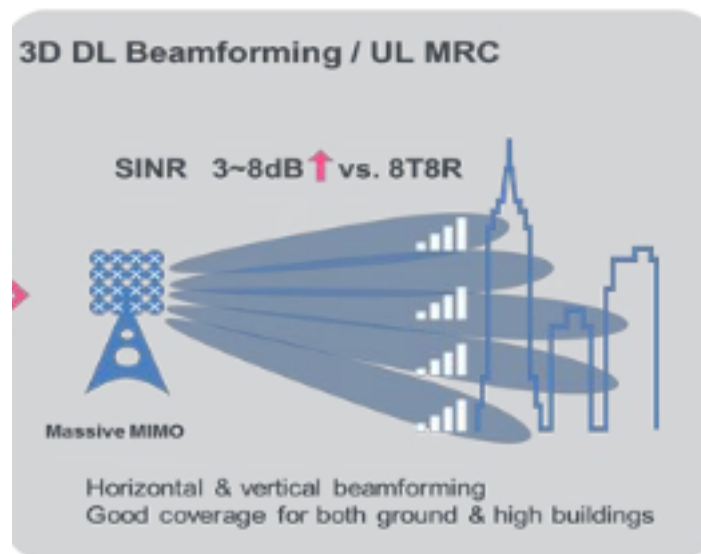


Figura 10. Beamforming 3D. Tomado de: support.huawei.com

Con la solución de Huawei, en la implementación del beamforming 3D en la tecnología multiusuario de Massive MIMO, permitió que la cobertura incrementara en un gran porcentaje, ya que se pasó de tener un sitio de usuario único el cual se tenía solo un sitio en el cual el haz apuntaba a una cierta dirección y ángulo; lo cual limitaba la cobertura y la afectación al servicio al usuario. Sin

embargo, con esta característica de la que se estaba hablando cambian bastante las cosas, ya que Massive MIMO permite la conmutación adaptativa entre la formación de haz y MIMO, es decir, permite al eNodeB seleccionar un modo de transmisión apropiado según y la calidad del canal y el número de terminales y así poder ofrecer una señal de buena calidad. Al tener un canal de buena calidad en los canales, permite que la relación señal a ruido aumente entre los terminales y la antena. Como en Massive MIMO el plano vertical viene incluido, las conformaciones de los haces verticales junto a los horizontales permiten que la capacidad tome relevancia. La Figura 10, permite observar gráficamente la conmutación adaptativa anterior en un sitio MIMO a un sitio Massive MIMO.

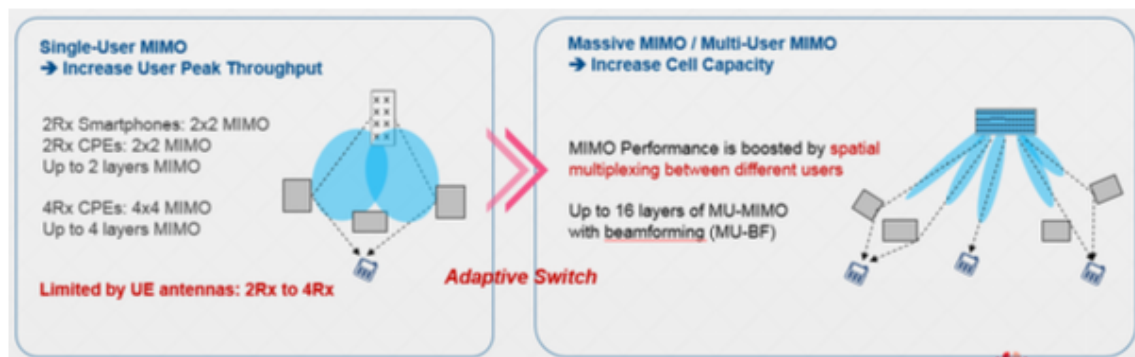


Figura 11. Conmutación Adaptativa en MU-Massive MIMO. Tomado de [9]

7.7 Tecnologías Alternativas

Dentro de lo que enmarca la solución de Huawei de Massive MIMO se explicó desde el hardware necesario hasta las características de la solución para ser implementado en un operador de Colombia. Sin embargo, dentro de lo que enmarca las diferentes soluciones que existen actualmente como solución a las velocidades, se encuentra dos más. Carrier Aggregation y la modulación 256QAM son las otras dos tecnologías que están involucradas en las redes móviles de 5G para mejorar el throughput de subida y bajada. Por esta razón, en

este capítulo se explicarán de manera superficial con el fin de saber que existen otras tecnologías que tratan el mismo problema.

7.7.1 Carrier Aggregation (CA)

Carrier Aggregation se utiliza en LTE-Advanced para aumentar el ancho de banda y, por lo tanto, aumentar la tasa de bits [10]. En este capítulo, se explicará esta tecnología a través de un estudio que se le hizo a un operador llamado TeliaSonera de los países nórdicos y bálticos

Esta tecnología se introdujo en la versión 10 de LTE y se ha mejorado en las versiones posteriores. Se considera que CA es la característica más importante de LTE-A (Long Term Evolution - Advance) porque ofrece tasas de datos más altas, mejora la cobertura de Downlink y permite a los operadores con espectro fragmentado utilizar los recursos del espectro de manera más efectiva. En septiembre de 2015, TeliaSonera alcanzó velocidades de datos de 375 Mbps en la red LTE en vivo en Helsinki utilizando la tecnología de CA de tres bandas [11].

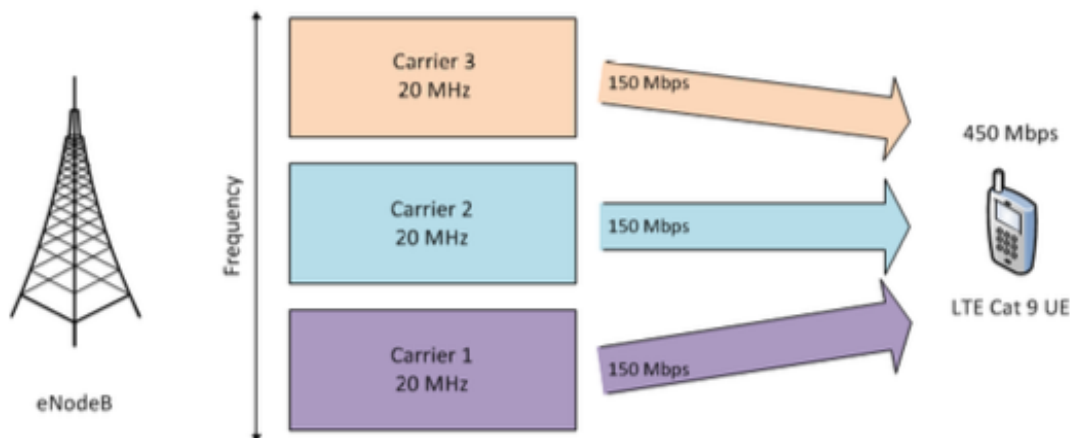


Figura 12. CA con tres portadoras de 20MHz en Downlink. Tomado de [12]

En la Figura 11 se observa que el eNodeB agrega tres portadoras de 20 MHz que usan CA en el cual el terminal es capaz de alcanzar una velocidad de datos máxima de 450 Mbps en Downlink. Dentro de la investigación que se le hizo a este operador se concluyó que para lograr grandes velocidades de descarga se requieren excelentes condiciones de radio; además CA demostró que el usuario alcanza velocidades de 110.96 Mbps (teniendo en cuenta que no se hizo las medidas en el borde de la celda) usando la tecnología 3CC (Three Component Carriers) en CA [13].

Esta tecnología es una buena opción para mejorar las velocidades de descarga en los terminales, sin embargo, tiene limitaciones como la dependencia de la categoría que ha establecido el 3GPP para los terminales, es decir, dependiendo de la categoría del terminal tiene un máximo de descarga y carga usando Carrier Aggregation lo que imposibilita que todos los usuarios finales dependan del dispositivo que tienen y no aprovechar al máximo esta tecnología.

7.7.2 Modulación 256QAM

Esta tecnología es otra de las soluciones con el fin de satisfacer la creciente demanda de datos móviles. Por sus siglas en inglés QAM (Quadrature Amplitude Modulation) 3GPP está buscando una variedad de tecnologías que mejoran la capacidad de la red y el rendimiento de las redes LTE por lo cual en el release 12 del 3GPP aparece esta nueva modulación. El enfoque clave aquí está en el constante crecimiento de la red, ya que generalmente se acepta que este enfoque puede proporcionar ganancias significativas de capacidad. Por esta razón 3GPP ha incluido una serie de soluciones de radio y protocolo que tienen como objetivo mejorar la eficiencia espectral y el funcionamiento cuando aumenta la densidad en las celdas pequeñas.

Para mejorar la eficiencia espectral, se está agregando un esquema de modulación de orden superior en Downlink (256QAM). Para las redes LTE TDD se están estudiando técnicas robustas de gestión de interferencias en el caso de que las celdas vecinas LTE TDD tengan diferentes asignaciones de recursos de enlace en Uplink y Downlink para adaptarse mejor a las diferentes condiciones de tráfico en diferentes celdas [14].

Esta modulación se refiere a una forma de onda que es capaz de transmitir una gran cantidad de datos para lograr velocidades más altas aumentando la eficiencia espectral. Teóricamente esta modulación puede soportar ocho bits por símbolo, lo que significa que puede soportar grandes cantidades de información. Sin embargo, esta tecnología desde el punto de vista de macro celdas no ha sido muy llamativas, ya que esta modulación es más eficiente en las celdas pequeñas como lo ha definido la 3GPP. A pesar de esto, operadores como T-Mobile en los Estados Unidos han reconocido de gran valor esta modulación para las redes macro en las velocidades de bajada y han usado la modulación 64QAM para las de subida [15].

La Figura 11 muestra una relación entre la señal a ruido y el BER (Bit Error Rate) según las modulaciones existentes en el cual, según el artículo si se quiere usar una modulación 256QAM sin ninguna codificación de canal/corrección de errores se tendría que tener una señal a ruido superior a 35dB para ser usada de la manera correcta y poder sacarle el mayor provecho [16]. De otra manera, si la relación señal a ruido es menor es mejor usar las modulaciones existentes.

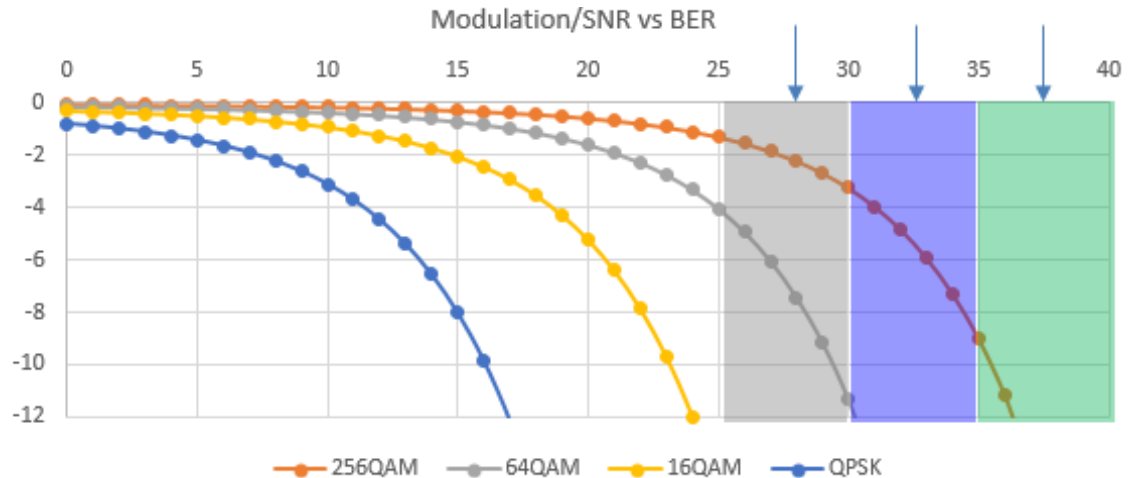


Figura 13. Comparación SNR vs BER según la modulación. Tomado de [16]

Finalmente, a modo superficial se pudo explicar un poco acerca de esa tecnología que se ha venido trabajando en las redes móviles de los diferentes operadores a nivel mundial. Encontrando así, una cantidad de características de cada una de estas que tratan como fin mejorar las velocidades de subida y bajada en las redes. En este orden de ideas, luego de explicar acerca de esta modulación, se puede explicar que no es una de las mejores para implementar; ya que tanto la modulación 256QAM como Carrier Aggregation se ven limitadas cuando se habla de velocidades en Uplink.

Debido a que sus características han sido muy buenas las velocidades de bajada, no se puede dejar aparte que hoy en este mundo en el cual se manejan grandes cantidades de información exista una brecha entre el Downlink y el Uplink, cuando en realidad se debería encontrar una tecnología en el cual se vea beneficiada las dos. Por esta y otras razones no se trabajaron a profundidad y más bien a través de Massive MIMO se logró hacer un enfoque mucho más detallado ya que esta tecnología integra las dos velocidades y en mayor Mbit/s.

8. ESTADO DEL ARTE

Una vez hecho una explicación de las diferentes tecnologías que solucionan las velocidades de carga y de descarga, se procede a este capítulo en el cual que pretende mencionar los diferentes casos de éxito de la implementación de Massive MIMO en diferentes operadores a nivel mundial. Por términos de confidencialidad, en ciertos casos que se mostrarán a continuación no se podrá mencionar el operador.

8.1 Caso de Operador en Colombia

Para entender un poco más acerca de esta tecnología, diferentes autores han descrito a través de artículos, investigaciones recientes que se le han venido trabajando para desarrollar y analizar las características que trae esta tecnología. Los haces en Massive MIMO son más directivos y tienden a concentrar la energía hacia donde están los usuarios que lo necesitan y es dinámico como se explicaba en el capítulo anterior. Se tiene una separación de capas en lo vertical y horizontal, lo cual esta matriz se forma gracias a la gran cantidad de antenas que transmiten y reciben.

Las características de beamforming que tiene Massive MIMO, permite que se tenga una cobertura en zonas altas, aun mejor que las estaciones bases tradicionales. El principio de beamforming se traduce en un solo canal para Uplink como para Downlink, por lo cual se tiene reciprocidad, es decir, se puede tener información a través del mismo canal para enviar información como para recibirla. Esta reciprocidad solo se puede adquirir en TDD ya que, al ser el mismo canal o segmento de espectro, la característica en la interfaz de aire es la misma, es decir, si la calidad del canal utilizando “x” frecuencia es “y” valor, en TDD es lo mismo si envío o recibo.

El beamforming se calculó basado en la estimación del canal de subida de este operador, en las cuales informa las características de la señal para saber la potencia que necesita por parte de la estación base. Por lo cual, dependiendo del patrón que se define por software, la energía de los “beams” tiende a estar concentrada para así dar un mejor servicio. Las estaciones bases con las antenas convencionales probablemente tengan una mayor cobertura, pero la capacidad es mucho menor [16], ya que la cantidad de energía que se le entrega a cada usuario es más baja. Por tal razón al momento de hacer la configuración y el diseño de una Massive MIMO se debe ser cuidadoso y tener en cuenta que, al ser los haces más directivos, la cobertura se vería afectada. Sin embargo, esto tiene solución; una de estas es más estaciones Massive MIMO, es decir, se requiere una inclusión de esta tecnología por cada estación base existente en el operador. Otra solución sería modificar la inclinación mecánica de las AAU.

Por medio de software se define cual va hacer el comportamiento del arreglo de las antenas de Massive MIMO, las cuales a partir de unas tablas se escoge un patrón el cual se define para las 64 antenas. Esta elección depende del escenario al que se le quiera implementar, lo cual, los ingenieros de implementación son quienes deciden según el espacio cual es el patrón que se va a utilizar. Una vez seleccionado, las antenas quedan fijas.

8.1.1 Ventajas

El alcance a edificios altos es una de las mejoras, ya que se tiene una división de la información que va a la antena en varias capas; espacialmente se podría asimilar como beams que se van enviando desde la antena lo cual mejora la cobertura. Las antenas convencionales tienen un cierto grado de inclinación que permite que la cobertura sea buena para las personas que van caminando o que van en sus autos. Pero como en Massive MIMO se está implementado la

multiplexación espacial (es la combinación de varias señales de menor ancho de banda en una señal de mayor ancho de banda, la cual es una técnica que usan los transmisores y los receptores de MIMO para aumentar la tasa de transmisión e incrementar la eficiencia espectral para que la cobertura sea mucho mejor.

8.1.2 Desventajas

La optimización en el operador fue muy complicada a nivel de parámetros de RF. Este operador ofrece servicio WBB (Wireless Broad band) a través de las estaciones bases. Dentro de cada casa que usa este operador se encuentra un CPE el cual recibe la señal. El problema fue que en el momento de cambiar la antena por una AAU se mejoró el throughput, pero el haz principal se volvió más directivo, es decir, más angosto, pero con mayor energía. Por lo cual las casas que estaban dentro del haz principal quedaron sin señal. Lo que causó que personas a las que el haz directivo de Massive MIMO les apuntaba tenían un servicio 10 veces mejor que el que tenían antes, pero a los que el haz no les cubría tenían un servicio peor de lo que tenían antes. Eso es inherente a Massive MIMO, por lo cual los operadores deben implementar nuevas características en sus nuevos lanzamientos de software para mejorar esto.

Actualmente en este proyecto se están usando dos tarjetas que por motivos de confidencialidad no se pueden mencionar. Una de estas dos tarjetas no solamente se está usando en este proyecto sino en Latinoamérica en general. Esta tarjeta banda base soporta dos celdas lo cual es una limitante en el proyecto. En cuanto al patrón de la antena que se define por software y que los lóbulos son estáticos, se presenta el problema en la zona intersecciones [17].

8.2 China Mobile

Uno de los operadores más grande en China, implemento la tecnología Massive MIMO con un proveedor conocido mundialmente, el gigantesco ZTE. China Mobile desplego esta tecnología en la ciudad Quanzhou, en el cual se realizaron pruebas a través de 16 terminales. Se implementó a través de tres portadoras, cada una de 700Mbps, lo cual arrojó una velocidad máxima en Downlink de 2.1Gbps.

Desde el 2015, estas dos empresas de telecomunicaciones han estado invirtiendo en innovación y verificación de esta tecnología. En 2016 a través de varias pruebas, con el éxito de esta solución, se decidió llevarla a 50 ciudades de 29 provincias [18]. ZTE informo que la solución que ofrecían, era ampliamente buena para las macro celdas y escenarios de Hotspot. Además de confirmar las bandas del espectro en la cual operan; 2.3Ghz, 2.6Ghz y 3.5Ghz.

En febrero del 2017, ZTE también anunció alcanzar velocidades máximas de 4G de 2.6Gbps durante una demostración de la tecnología Massive MIMO en LTE dúplex por división de frecuencia (FDD), velocidades suficientemente amplias para no tener problemas de velocidades en los dispositivos finales.

ZTE le ha llamado “Pre-5G” como solución a las redes avanzadas de 4G y la transición a 5G. Implementándola en más de 60 redes de 40 países como China, Japón, Singapur, Malasia, Austria, Tailandia e Indonesia.

El CTO (Chief Technology Officer) de China Mobile, Liu Guangyi, anunció que se había planeado pruebas de campo 5G en Guangzhou con ZTE; en Chengdu y Shanghái con Huawei; en Beijing con Ericsson y Datang Mobile; y en Hangzhou con Nokia. Lo que indica que este gigantesco operador no solamente tiene

pensado trabajar de la mano con ZTE, sino con proveedores como Huawei y Nokia que son altamente tecnológicos.

8.3 Vodafone UK

Es un proveedor de servicios de telecomunicaciones en el Reino Unido y hace parte de Vodafone Group, la segunda compañía de telefonía móvil más grande del mundo. A partir de diciembre de 2018, Vodafone UK tiene 17,2 millones de suscriptores y es la tercera red de telecomunicaciones móviles más grande a nivel nacional [19].

Vodafone, es el primer operador en Europa de lanzar la banda TDD de 2.6Ghz; de la mano de Huawei, Vodafone realizó su prueba en su red comercial en su sede de Newbury, Berkshire, y alegó mejoras significativas en la eficiencia del espectro y la capacidad de la red. El operador del Reino Unido ya está implementando 4×4 MIMO comercialmente en algunas áreas y ahora está probando 8×8 MIMO. Kye Prigg, jefe de redes móviles, dijo recientemente a FierceWireless de Europa: "Estamos muy interesados en MIMO y en la eficiencia que eso podría traer para nosotros" [20].

Debido a que este tema de Massive MIMO ha sido tan llamativo entre los operadores de redes móviles, particularmente en Europa, están presionando a los operadores para que expriman la capacidad y el rendimiento de sus activos de red existentes antes de embarcarse en 5G. Sin embargo, tanto Vodafone como Huawei ha dicho que gracias a esta tecnología y a su característica de beamforming se pueden aportar más capacidad que los sistemas 4G actuales con el mismo ancho de banda y el Massive MIMO también es capaz de conformar el haz en dimensión total, lo que significa que puede dirigir los haces tanto horizontales como verticales.

Las pruebas que se realizaron de la mano de Huawei, se realizaron en el año 2016 del mes de octubre, en el cual Vodafone elogio los resultados de los ensayos realizados con Massive MIMO TDD-LTE y se pronunció diciendo que no están persiguiendo velocidades máximas sino de obtener la capacidad donde la gente lo necesita (Kye Prigg, 2016)

8.4 SoftBank

El grupo Softbank es un empresa japonesa que posee operaciones en banda ancha, telecomunicaciones de línea fija, comercio electrónico, internet, servicios tecnológicos, medios y marketing diseño de semiconductores y otros negocios como lo muestra la Figura 13.



Figura 14. Categorías Softbank. Tomado de: <https://www.softbank.jp/en/corp/aboutus/philosophy/>

En el año 2016, Huawei se unió con SoftBank para unas pruebas de la tecnología Massive MIMO el cual arrojó una tasa máxima de bajada de más de 1Gbps en la frecuencia de 3.5Ghz del espectro. Según un comunicado oficial las compañías probaron las tecnologías mMIMO y “multi-carrier” utilizando 40 MHz de la banda de 3.5 GHz en Tokio, Japón, en lo que Huawei llamó “la primera prueba masiva de MIMO del mundo” en esta banda. La prueba arrojó una velocidad máxima de enlace descendente de 1.4Gbps.

La banda de 3.5 GHz, con sus abundantes recursos de ancho de banda, ya ha ganado reputación como una de las bandas más populares en todo el mundo, lo cual ofrece una gran oportunidad para el desarrollo global de LTE TDD, escribió Huawei en su lanzamiento. "La prueba Massive MIMO de 3.5 GHz explora más a fondo el potencial latente del espectro de 3.5 GHz, y se espera que abra una nueva era comercial de LTE-Advanced" [21]. La Figura 14, muestra la descripción de la tecnología con las características usadas en el trial con Softbank en el 2016-2017.



Figura 15. Características del Trial usado en SoftBank. Tomado de: support.huawei.com

Estos ensayos se realizaron en Beijing, utilizando una estación base 5G que opera en un espectro de 3.5 GHz con 23 terminales fijos y móviles. La estación base admitía 64 transceptores de radiofrecuencia y 24 flujos de datos MIMO.

Según Huawei, el rendimiento máximo del enlace descendente para cada terminal 5G puede alcanzar hasta 5 Gbps [22].

8.5 Telefónica Múnich

Telefónica es uno de los grandes operadores a nivel mundial, situada como la compañía de telecomunicaciones más importante en Europa; tiene operaciones en 17 países y otros más en un bajo porcentaje. Telefónica junto a Huawei lanzo una prueba de Massive MIMO LTE TDD en la banda 3.5GHz con 16 terminales simultáneamente en un espectro de 20MHz con una tasa de descarga máxima de 650 Mbps en la sub-red alemana O2 en Múnich. A lo largo de la prueba, el Grupo Telefónica verificó el desempeño de TDD Massive MIMO, que es un hito importante del proyecto Múnich TechCity de Telefónica y Huawei [23].

Además de Massive MIMO, Telefónica y Huawei también hacen grandes progresos en otros proyectos de TechCity en Múnich maximizando la utilización del espectro, la digitalización interior y NB-IoT (Narrow Band-Internet of Things).

Si Telefónica continua en cooperación con Huawei, al poseer recursos de espectro de 84MHz se verá beneficiado por la cobertura que ofrece Massive MIMO, así en este orden de ideas, Telefónica podrá ofrecer a los clientes nuevas aplicaciones como WTTx (conocido por sus siglas en ingles Wireless Home Broadband), video en 4k, por lo cual Massive MIMO operando en la banda de 3.5GHz puede convertirse en un componente interesante en la red de telefónica en 5G.

9. DESARROLLO DEL PROYECTO

Para el desarrollo de esta monografía, y por medio de la empresa Huawei se dio la posibilidad y la oportunidad de hacer unas pruebas a un operador de Colombia, el cual no se puede mencionar por los términos de confidencialidad. En este último capítulo se mostrarán los resultados obtenidos en la prueba que se le hizo a la antena AAU; así como los equipos físicos utilizados y el lugar que se escogió. Además de los entes involucrados para hacer posible estas pruebas.

9.1 Equipos Utilizados

Antes de haber hecho posible la obtención de estas pruebas para la revisión de la solución que ofrece Huawei de la tecnología Massive MIMO para el aumento de las velocidades entre los terminales y la antena, fue necesario una preparación de varios equipos en la red por parte del operador. Así mismo, por parte de Huawei con el Software que utiliza para el control de la red del operador. La Figura15 muestra un cuarto de operaciones en el cual se encontraban los equipos de transmisión que se iban a utilizar.



Figura 16. Cuarto de Equipos. Fuente propia

Dentro de este cuarto, se encontraba el rack el cual tenía los equipos de transmisión del operador como Switches el cual su función es interconectar los equipos dentro de la misma red LAN (Local Area Network) y Routers, el cual su función es la interconexión de las redes a través de sus puertos Ethernet. La Figura 16, muestra el Rack que contiene estos equipos.



Figura 17. Rack. Fuente Propia

Estos fueron los equipos utilizados en cuanto a la parte de la parte de interconexión local, el cual fue adaptado especialmente para el trial de Massive MIMO.

Una vez hecho las conexiones por parte del operador en cuanto a la transmisión, se procedió hacer los ajustes de la antena Massive MIMO. La Figura 17 y 18 fueron tomadas en las instalaciones del operador, en el cual se puede evidenciar la altura y grosor de la AAU.



Figura 18. Tamaño AAU. Fuente Propia



Figura 19. Conexión AAU. Fuente Propia

En esta figura se puede evidenciar dos conexiones importantes, uno el cable de poder que alimenta a la AAU y el otro el cable de datos que proporciona la comunicación entre la antena y la BBU. Gracias a la explicación hecha previamente en el marco teórico de la BBU, se puede entender esta conexión; sin embargo, para ser más claro, este cable del que se está hablando, va conectado a la tarjeta UBBP que soporta Massive MIMO.

9.2 Instalación AAU y BBU

Después de revisar el correcto funcionamiento de la AAU dentro de un cuarto del operador, se procedió a instalar un poste provisional exclusivamente para ensamblar la antena a una altura de 12 metros. Esta altura se estableció con base a estudios pasados y a las condiciones del lugar en el cual se realizaron las pruebas. En la Figura 19 se puede observar como quedo instalada la antena al poste.



Figura 20. Instalación AAU en el poste

La Figura 20 muestra la instalación completa de la AAU. Una vez terminada la instalación de la AAU, se pasó a instalar la BBU. Como se puede observar en la imagen, este equipo como se explicaba en el marco teórico, está compuesto por dos tarjetas principales, la UBBP la cual tiene unos puertos ópticos que permiten la conexión entre la tarjeta y la AAU. En este punto es muy importante resaltar que a través del gestor que tiene Huawei llamado U2000, se puede controlar absolutamente todo lo que tiene que ver con la gestión y el control de los equipos de Huawei. La otra tarjeta que va en ese gabinete se llama la UMPT, esta tarjeta se encarga del control y la conexión a internet a través del MME o la RNC dependiendo de la tecnología.



Figura 21. Instalación AAU y BBU. Fuente propia

9.3 Resultados

Después de haber hecho la correcta instalación de los equipos, se necesitaba activar las celdas de la antena, pero antes de hacerlo se tuvo que sacar permisos a la ANE (Agencia Nacional del Espectro) quien es la entidad de regular el espectro aquí en Colombia. Una vez aceptado el permiso del uso del espectro se procedió a la activación de las celdas.

Debido a los términos de confidencialidad, Huawei y el operador restringieron cualquier uso de dispositivo móvil durante las pruebas realizadas. Para evitar cualquier tipo de fuga de información. Por tal razón, durante el transcurso del trial no se pudo obtener fotos de los 18 CPE's que se usaron para la prueba de Massive MIMO. Sin embargo, los 18 CPE's empezaron a descargar información al mismo tiempo para ver cómo se comportaba la Massive MIMO para ofrecer grandes velocidades.

Se asignó un ingeniero de Wireless por parte de Huawei, el cual a través del gestor U2000 recibió los datos arrojados por los CPE's. El resultado fue gratificante y lo esperado. La Figura 21 es la más importante en esta monografía, ya que muestra los resultados arrojados en el trial tanto en Downlink (en la columna izquierda) como Uplink (columna derecha). Por términos de confidencialidad, la empresa Huawei, no permitió mostrar los valores completos que arrojo estas pruebas. Pese a esta limitación, se puede afirmar que la velocidad que arrojo de bajada fue de 624.19 Mbit/s. Una velocidad realmente buena, ya que se está hablando de un solo terminal; lo que quiere decir que, si se hubiera hecho estas pruebas solo con un terminal, los expertos dicen que hubiera arrojado una velocidad de más de 1Gbit/s. Ahora, en cuanto a la subida, los CPE's ya estaban configurados con una cantidad de datos para empezar a

ser subidos hacia la red. Lo que arrojo el U2000 de throughput de subida fue alrededor de los 330 Mbit/s.

Es importante resaltar que la configuración que tiene la AAU utilizada para estas pruebas, estaba en la banda 42 a una frecuencia alrededor de los 3.5Ghz lo cual según las características de la antena que se usó tenía configurada esta frecuencia y tenía que ser operada a este valor para un correcto funcionamiento.

En este momento, no es un secreto que las telecomunicaciones están creciendo de manera exponencial, y al mismo tiempo los dispositivos. Por tal razón, la carga y descarga de información ha hecho que las redes móviles colapsen y los operadores se vean obligados a buscar soluciones. Huawei, con esta solución que ha desarrollado para incrementar las velocidades en los terminales de los usuarios hacen ver que va por un buen futuro de las redes móviles en Colombia.

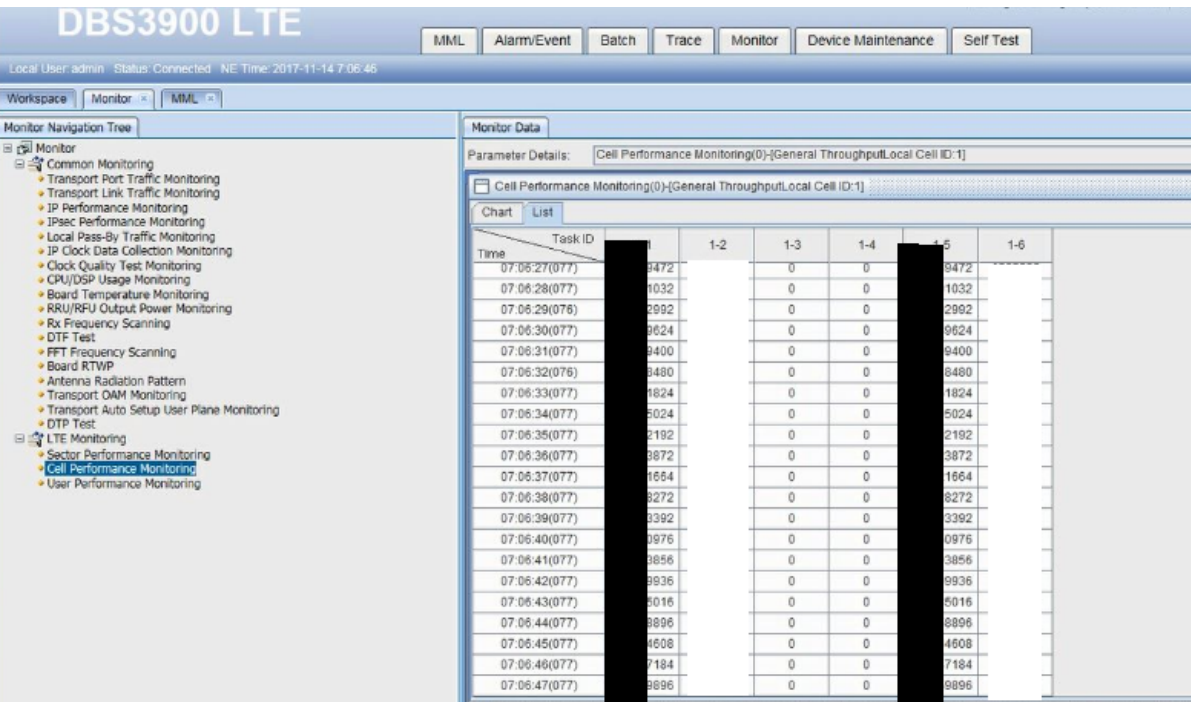


Figura 22. Resultados de las velocidades en Downlink y Uplink. Fuente: Gestor U2000 Huawei

10. CONCLUSIONES

Durante el análisis de la tecnología Massive MIMO en las pruebas que se hicieron en las instalaciones del operador se pudo analizar que esta tecnología que tiene como solución Huawei para el aumento del throughput es efectiva, se pudo registrar que las velocidades de bajada fueron considerablemente grandes con respecto a las velocidades de las estaciones base actuales que existen dentro del operador. Una velocidad de más de 650 Mbit/s; con respecto a la velocidad de subida, siempre ha sido menor que la de bajada, no obstante, 330 Mbit/s es una velocidad muy atractiva para las redes inalámbricas; lo que indican que Massive MIMO es la solución a implementar para este operador.

Durante la implementación, se pudo concluir que Massive MIMO a pesar de que tiene una gran cantidad de antenas y que son directivas presenta un problema y fue que se mejoró el throughput, pero el haz principal se volvió más directivo, es decir, más angosto, pero con mayor energía. Por lo cual si los CPE's no estaban dentro del haz directivo la velocidad se disminuía casi un 40%. Sin embargo, este problema es inherente a Massive MIMO ya que la solución para evitar este problema es la implementación de más antenas AUU que incorporen la tecnología Massive MIMO.

Con los estudios previos que se hicieron en esta monografía con respecto a las tecnologías alternas que existen para con a la solución de las velocidades bajas en las redes inalámbricas, se puede concluir, que Carrier Aggregation y 256QAM son soluciones muy buenas y efectivas también, pero presentan algunas deficiencias con las velocidades de subida. Por lo cual para hablar de una solución completa que incluya la solución de subida y de bajada al mismo tiempo que corta. Pese a esta limitación no dejan de ser buenas alternativas para los operadores que quieran mejorar sus velocidades de bajada.

Debido a que se quería entregar al operador unas pruebas de alta calidad, se les mostro las características de la AAU, en la cual se tenía que tener en cuenta primordialmente la banda de frecuencia en la cual operaba esta antena, para así poderle sacar el máximo provecho y no tener problemas al momento de hacer las pruebas. Por tal razón, el operador tuvo que pedir permiso a la ANE para poder usar el espectro electromagnético en esta frecuencia y poder revisar que no interfiriera alguna señal que la estuviera ocupando y poderle afectar el servicio. Sin este permiso no hubiera sido posible hacer las pruebas.

Los expertos tanto del lado del operador como del proveedor, sabían de la tecnología Massive MIMO con cada una de las características que la componen y como se tenía que instalar en cuanto a la posición horizontal y vertical con unos grados específicos; por lo tanto, un aporte propio que se pudo hacer fue que, en el momento de empezar hacer las configuraciones a la AAU, se tenía un conocimiento pequeño acerca del gestor U2000, lo cual a través de comandos que se digitaban desde el PC para controlar las celdas, la potencia, entre otras cosas se pudo aportar el conocimiento de alguno de estos comandos para poder operarla de forma correcta y evitando tiempos de implementación.

11. RECOMENDACIONES

Con el fin de mantener primero que todo, la confidencialidad de la empresa a la cual se le hizo las pruebas de la tecnología Massive MIMO, tener en cuenta no revelar datos que afecten a la misma sino usar la información de forma adecuada y exclusivamente académica de este documento para basarse en trabajos futuros que den solución a problemas que se puedan presentar al momento de que se comercialice esta solución para las redes móviles 5G como solución a las velocidades de Uplink y Downlink.

A la persona que le guste este tema de las telecomunicaciones, decirle que use siempre su 100% en cualquier área de la investigación, con el fin de sacar adelante cualquier proyecto que se proponga; y si es de telecomunicaciones aún más; ya que esta carrera permite abordar diferentes áreas del conocimiento que en un futuro se verán reflejadas dentro de estudios que se desarrollen y mejoren procesos para tener un mundo conectado al alcance de nuestras manos.

12. BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. J. A. Horno, «Redes de Área Local Inalámbricas:Diseño de la WLAN de Wheelers Lane Technology College,» Sevilla, 2008.
- [2] L. HUAWEI TECHNOLOGIES CO., «Massive MIMO Feature Parameter Description,» Shenzen, 2018.
- [3] H. T. Co, «AAU REDEFINES SITE ARCHITECTURE,» Huawei, Shenzen.
- [4] R. Gomez, «Scribd,» 24 Abril 2018. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/presentation/377312624/Descripcion-BBU>. [Último acceso: 10 Enero 2019].
- [5] H. T. Co, «AAU LTE TDD Description,» Huawei, Shenzen, 2017.
- [6] R. Solutions, «IP Enclosure Ratings & Standards Explained,» 15 January 2019. [En línea]. Available: <https://www.rainfordsolutions.com/ip-enclosure-ratings-and-standards>. [Último acceso: 25 January 2019].
- [7] N. K. a. K. Nieman, «Massive MIMO vs FD-MIMO: Defining the next generation of MIMO in 5G (panel discussion),” in Global Telecommunications Conference, GLOBECOM, 2015,» California, 2015.
- [8] R. Kitty, «Huawei Interactive Cloud,» Octubre 2015. [En línea]. Available: <https://forum.huawei.com/en/forum.php?mod=viewthread&tid=71213&page=1&authorid=831>. [Último acceso: 26 Enero 2019].
- [9] Huawei, «Massive MIMO Technical Proposal for a Colombia Customer,» Bogota, 2017.
- [10] J. Wannstrom, «3GPP The Mobile Broadband Standard 5G,» Junio 2013. 0 [En línea]. Available: <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/101-carrier-aggregation-explained>. [Último acceso: 27 Enero 2019].

- [11] Sonera, «Sonera 4G-verkossa,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.sonera.fi/medialle/showArticleView?article=lhes-400-mbits-huippunopeuksia-sonera-4g-verkossa&id=b83710c2-9f1c-44be-987b-6c09a5ea6bfb>. [Último acceso: 27 Enero 2019].
- [12] Nokia, «LTE-A Carrier Aggregation infographic,» 2014. [En línea]. Available: <http://networks.nokia.com>. [Último acceso: 27 Enero 2019].
- [13] A. Tanner, «LTE-A 3CC Carrier Aggregation,» Helsinki, 2016.
- [14] L. c. a. c.-e. performance, «3GPP The Mobile Broadband Standard,» Febrero 2014. [En línea]. Available: http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1579-ran_rel12_and_beyond. [Último acceso: Febrero 3 2019].
- [15] M. Allevén, «FierceWireless,» 17 Octubre 2016. [En línea]. Available: <https://www.fiercewireless.com/tech/256-qam-what-s-good-for-small-cell-good-for-macro-report>. [Último acceso: 5 Febrero 2019].
- [16] ShareTechnote, «LTE Advanced - 256QAM,» 15 Abril 2015. [En línea]. Available: http://www.sharetechnote.com/html/LTE_Advanced_256QAM.html. [Último acceso: 5 Febrero 2019].
- [17] *Caso de implementación de la tecnología Massive MIMO en un Operador de Colombia*, 2018.
- [18] C. Reichert, «ZDNET,» 17 Junio 2017. [En línea]. Available: <https://www.zdnet.com/article/china-mobile-hits-2gbps-speeds-with-commercial-massive-mimo/>. [Último acceso: 5 Febrero 2019].
- [19] Wikipedia, 8 Febrero 2019. [En línea]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Vodafone_UK. [Último acceso: 6 Febrero 2019].

- [20] A. Morris, «FierceWireless,» 24 Octubre 2016. [En línea]. Available: <https://www.fiercewireless.com/europe/vodafone-uk-huawei-press-ahead-massive-mimo-tests>. [Último acceso: 6 Febrero 2019].
- [21] TeleGeography, «Huawei, SoftBank complete test of 3.5GHz Massive MIMO with CA,» 27 Febrero 2017. [En línea]. Available: <https://www.telegeography.com/products/commsupdate/articles/2017/02/27/huawei-softbank-complete-test-of-3-5ghz-massive-mimo-with-ca/>. [Último acceso: 6 Febrero 2019].
- [22] D. Goovaerts, «ECN,» 24 Febrero 2017. [En línea]. Available: <https://www.ecnmag.com/news/2017/02/huawei-softbank-surpass-1-gbps-massive-mimo-test-35-ghz>. [Último acceso: 6 Febrero 2019].