



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACIÓN
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS DIGITALES Y TELECOMUNICACIONES

Trabajo de Monografía

Análisis de Mejoras de Transmission Bandwidth por Agregación de Portadora en un cluster LTE-Advanced mediante Software Predictivo

Autor: Br. Irving Osmani Jarquín Sevilla, Carnet: 2007-22737

Tutor: Ing. Enrique Hernández García

Managua, Nicaragua

Septiembre de 2014

RESUMEN

En el presente proyecto de fin de carrera se describen los aspectos técnicos entorno al proceso de agregación de portadora en una red con tecnología 4G y como este mecanismo impacta positivamente en el ancho de banda de transmisión en una red basada en LTE-Advanced.

ÍNDICE

	Pág.
OBJETIVOS	I
JUSTIFICACION	II
CAPITULO I: TECNOLOGIA LTE	1
INTRODUCCION	1
1.1 SISTEMA LTE	1
1.2 NIVEL FISICO EN LTE	10
1.3 INTERFAZ RADIO	14
1.4 UPLINK DE LTE	18
CAPITULO II: LTE AVANZADO	24
INTRODUCCION	24
2.1 GENERALIDADES DE LTE-A	25
2.2 CANALIZACION EN LTE-A	27
2.3 ARQUITECTURA CoMP	32
2.4 UPLINK Y DOWNLINK	35
CAPITULO 3: AGREGACION DE PORTADORA (CA) LTE-A	47
INTRODUCCION	47
3.1 TENDENCIAS, HITOS EN CA	48
3.2 STATUS CA EN Rel. 11, 12 Y 13	49
3.3 CONFIGURACIONES PARA CA	53
3.4 ESQUEMAS DE DESPLIEGUE CA	68
CONCLUSIONES	82
BIBLIOGRAFIA	84

OBJETIVOS

Objetivo General

Realizar un estudio sobre los mecanismos de agregación de portadoras en una red basada en tecnología de cuarta generación LTE-Advanced (LTE-A) en Nicaragua.

Objetivos Específicos

- Identificar las principales características de la tecnología LTE-A.
- Analizar las recomendaciones ITU e IMT para la implementación de una red 4G.
- Identificar el impacto que tiene la implementación de redes 4G en el territorio nacional.

JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto tiene la finalidad de continuar explorando las últimas tecnologías en materia de comunicaciones móviles, e igual incentivar su estudio mediante el desarrollo de trabajos académicos como el presente proyecto de finalización de estudios.

En la actualidad, los operadores de servicios de comunicaciones móviles, han realizado el despliegue de redes 4G, lo cual nos invita a explorar las posibilidades que ofrece esta tecnología y no muy en breve la implementación de tecnología LTE-A.

Esta tecnología trae consigo grandes beneficios para los usuarios, siendo el más atractivo el relacionado con el mayor aprovechamiento de las aplicaciones multimedia de la que se logra en 3G, gracias a su gran ancho de banda y su baja latencia, dotándola de gran flexibilidad, sobre todo poder coexistir con tecnologías anteriores.

LTE-Avanzado tiene muchas ventajas en cuanto a transición de celdas, en las cuales los efectos de los límites de celdas e interferencias pueden ser muy bien aprovechados para mejorar la calidad de servicio.

Otro punto a destacar es el beneficio social, debido a que el uso de esta tecnología con una mejora significativa en los servicios y con sistemas más robustos ofrece mejores servicios de valor agregado, haciendo más agradable y cómodo el servicio para el usuario.

En cuanto al aspecto académico el presente proyecto beneficiará no solo a los usuarios directos de este producto, sino a un sector más amplio de estudiantes interesados en incursionar en este ámbito.

CAPITULO I TECNOLOGIA LTE

INTRODUCCIÓN

El mundo de la telefonía móvil está en continuo crecimiento y no se para de introducir nuevas tecnologías para ofrecer a los usuarios un mejor servicio. Después de haber pasado por GSM, GPRS, UMTS y HSPA, ahora estamos en la era de la última generación, la 4G [LTE (*Long Term Evolution*)], que podríamos definirse como “all-IP” donde se busca un sistema que permita conjugar una capacidad multimedia con una movilidad plena.

Con LTE se introduce una gran variedad de novedades que en los anteriores estándares, pero la mayor novedad es que por primera vez, todos los servicios, incluida la voz, sean soportados por el protocolo IP. Las velocidades que se pueden llegar a conseguir en la interfaz radio con LTE también aumentan respecto a la última generación, llegando a un rango de 100 Mb/s y 1 Gb/s [1].

En este capítulo se presenta la arquitectura del sistema LTE, la red de acceso y la red troncal, las tecnologías de transmisión del nivel físico que se utilizan en el enlace descendente, OFDMA, y ascendente, SC-FDMA, la técnica Multi-Antena (MIMO) y describiremos también las características principales de la interfaz radio del sistema.

1.1 SISTEMA LTE

Se pueden identificar tres elementos principales que constituyen la arquitectura de un sistema de comunicaciones celular [1]:

- Equipo de usuario: Dispositivo que permite al usuario acceder a los servicios que nos ofrece la red. El dispositivo del usuario tendrá una tarjeta inteligente, que comúnmente denominamos tarjeta SIM (Subscribe Identity Module), que contendrá la información necesaria para poder conectarse a la red y poder

disfrutar de los servicios que nos ofrece nuestro proveedor de servicio. Se conectará a la red a través de la interfaz radio.

- Red de acceso: es la parte del sistema que realiza la comunicación, transmisión radio, con los equipos de usuario para proporcionar la conectividad con la red troncal. Es la responsable de gestionar los recursos radio que estén disponibles para ofrecer los servicios portadores de una manera eficiente. La red de acceso está formada por estaciones base y dependiendo de la generación, por equipos controladores de estaciones base.
- Red troncal: parte del sistema que se encarga del control de acceso a la red celular, por ejemplo la autenticación de los usuarios, gestión de la movilidad de los usuarios, gestión de la interconexión con otras redes, control y señalización asociada al servicio de telefonía, etc. Los equipos que conforman esta red albergan funciones de conmutación de circuitos, routing, bases de datos, etc.

Generalidades de LTE

En las especificaciones se denomina a la arquitectura del sistema LTE como *Evolved Packet System* (EPS). La idea es la misma que en las otras generaciones, dividir el sistema en los tres elementos mencionados anteriormente. Un equipo de usuario, una nueva red de acceso que denominaremos E-UTRAN y una red troncal que denominaremos EPC (Evolved Packet Core) [2]. Todos los componentes que engloban este sistema están diseñados para soportar todo tipo de servicios de telecomunicación mediante mecanismos de conmutación de paquetes, por lo que no es necesario disponer de un dispositivo que trabaje en modo circuito, ya que en el sistema LTE los servicios con restricciones de tiempo real se soportan también mediante conmutación de paquetes. En la Figura 1.1 vemos un ejemplo de la distribución de la arquitectura del sistema LTE.

Red de Acceso evolucionada

En E-UTRAN la única entidad de red de en dicha red es la estación base, que en esta generación denominamos *evolved NodeB* (eNB). Esta estación base integra todas las funcionalidades de la red de acceso. Esto representa un cambio respecto a las anteriores generaciones, GSM y UMTS, ya que en éstas, la red de acceso contenía además de las estaciones base (BTS y NodoB), un equipo controlador (BSC y RNC). Esta diferencia se representa en la Figura 1.2.

En la red de acceso E-UTRAN, al estar formada únicamente por estaciones base eNB, éstas serán los que proporcionen la conectividad entre los usuarios y la red troncal EPC [3].

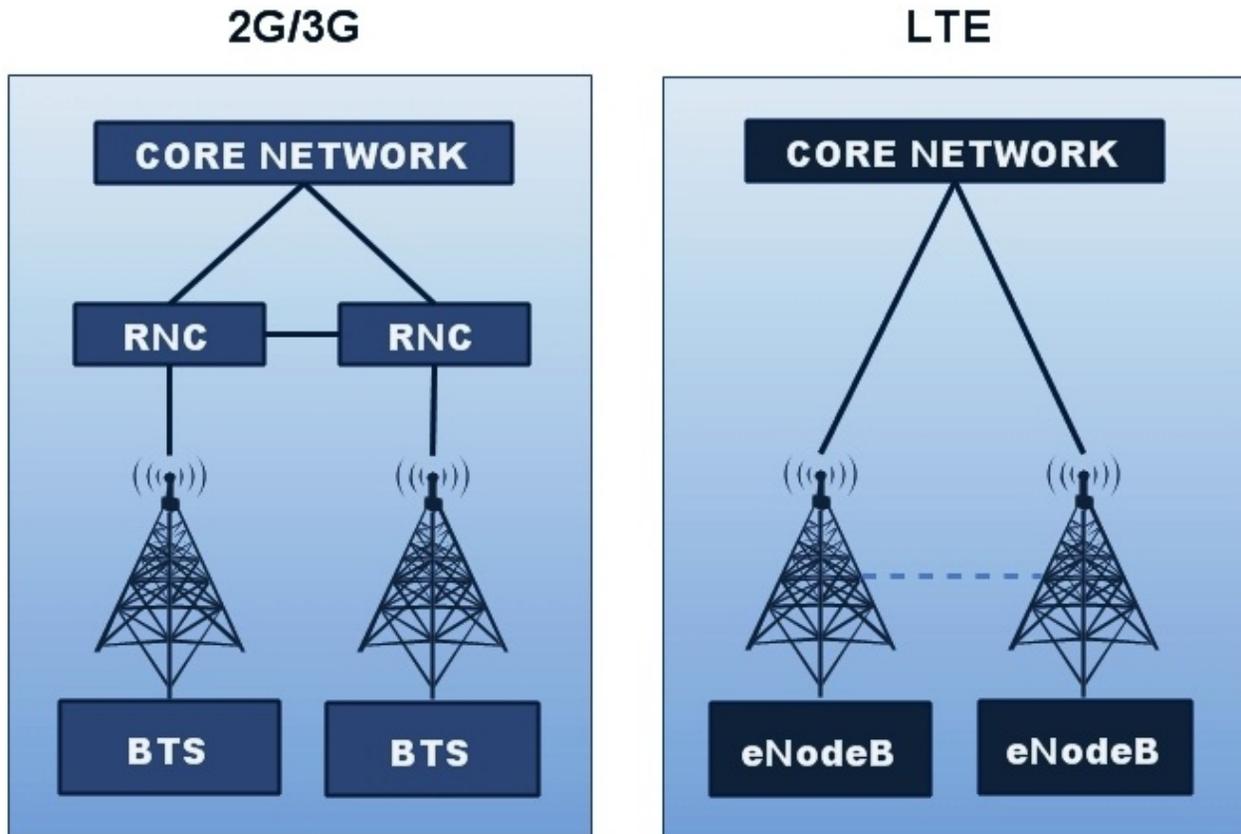


Figura 1.1: Esquema general Red acceso LTE

El eNB tiene tres interfaces para comunicarse con los usuarios, con la red troncal y con otro eNB.

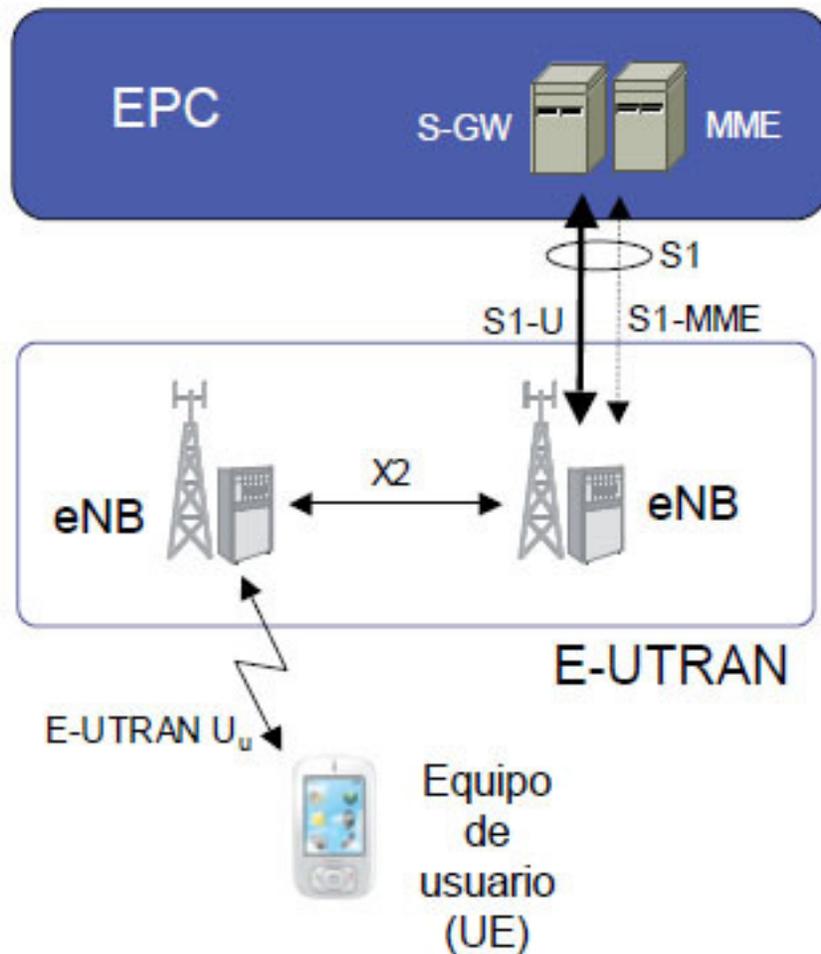


Figura 1.3: Más detalles de la red de acceso en red EPC (LTE)

Como se aprecia en la figura anterior, E-UTRAN es la interfaz radio que comunica al usuario con la estación base utilizando el canal radio. Todas las funciones y protocolos que se necesitan para realizar el envío de datos y controlar la interfaz se implementa en la eNB.

A la red troncal se comunica a través de la interfaz S1, que a su vez se divide en otras dos, la S1-MME, que se utiliza para el plano de control y S1-U para el plano de usuario. El plano de usuario se refiere a la torre de protocolos empleada para el envío de tráfico de usuario a través de dicha interfaz. El plano de control se refiere a la torre de protocolos necesaria para sustentar las funciones y procedimientos necesarios para

gestionar la interfaz. Esta separación entre las entidades de red, una dedicada al plano de usuario y otra al de control, nos permite dimensionar de forma independiente los recursos de transmisión necesarios para el soporte de la señalización del sistema y para el envío del tráfico de los usuarios.

La otra interfaz que existe es la X2, que se utiliza para conectar los eNBs entre sí. Gracias a esta interfaz se pueden intercambiar tantos mensajes de señalización, destinados a permitir una gestión más eficiente de los recursos radio, así como el tráfico de los usuarios del sistema cuando estos se desplazan de un eNB a otro en el momento de un traspaso (handover).

Esta red ha sido concebida para proporcionar un servicio, como decíamos en la introducción, “all-IP”, es decir conectividad IP [4]. El núcleo de la red troncal EPC está formado por tres entidades de red, MME (Mobility Management Entity), Serving Gateway (S-GW) y el Packet Data Network Gateway (P-GW), que, junto a la base de datos principal del sistema denominada HSS (Home Subscriber Server), constituyen los elementos principales para la prestación del servicio de conectividad IP entre los equipos de usuario conectados al sistema a través de la red de acceso E-UTRAN y redes externas a las que se conecta la red troncal EPC.

Definimos a continuación cada una de estas entidades de red,

- MME: Es el elemento principal del plano de control de la red LTE para gestionar el acceso de los usuarios a través de E-UTRAN. Todo terminal que se encuentre registrado en la red LTE y sea accesible a través de E-UTRAN, tiene una entidad MME asignada. Esta elección de MME se realiza dependiendo de varios aspectos tales como la ubicación geográfica del terminal en la red, así como a criterios de balanceo de cargas. Las principales funciones de esta entidad son:

- ✓ Autenticación y autorización del acceso de los usuarios, siempre a través de EUTRAN.
 - ✓ Gestión de los servicios portadores EPS (EPS Bearer Service). Esta entidad es la encargada de gestionar la señalización que se necesita para establecer, mantener, modificar y liberar los servicios portadores.
 - ✓ Gestión de movilidad de los usuarios en modo *idle* (son terminales que no tienen establecida ninguna conexión de control con E-UTRAN pero están registrados en la red LTE).
 - ✓ Señalización para el soporte de movilidad entre EPS y otras redes externas.
- S-GW: es la pasarela del plano de usuario entre E-UTRAN y la red troncal EPC. Igual que en la entidad MME, todo usuario registrado en la red LTE tiene asignado una entidad S-GW en la red EPC a través de la cual transcurre su plano de usuario. Las características principales son:
 - ✓ Proporciona un punto de anclaje en la red EPC con respecto a la movilidad del terminal entre eNBs.
 - ✓ La funcionalidad de anclaje también se aplica a la gestión de la movilidad con las otras redes de acceso del 3GPP (UMTS y GSM).
 - ✓ Almacenamiento temporal de los paquetes IP de los usuarios en caso de que los terminales se encuentren en modo *idle*.
 - ✓ Encaminamiento del tráfico de usuario. Esta entidad albergará la información y funciones de encaminamiento necesarias para dirigir el tráfico de subida hacia la pasarela P-GW que corresponda y el tráfico de bajada hacia el eNB.
 - PDN Gateway (P-GW): Es la encargada de proporcionar conectividad entre la red LTE y las redes externas. Por lo tanto, un paquete IP generado en la red LTE resulta “invisible” en la red externa, a través de la entidad P-GW, que hace de pasarela entre una red y otra. Un usuario tiene asignada como mínimo una pasarela P-GW desde su registro en la red LTE. Principales características de esta entidad de red:

- ✓ Aplicación de reglas de uso de la red y control de tarificación a los servicios portadores que tenga establecidos el terminal.
 - ✓ La asignación de la dirección IP de un terminal utilizada en una determinada red externa se realiza desde la pasarela P-GW que corresponda.
 - ✓ Actúa de punto de anclaje para la gestión de movilidad entre LTE y redes externas no 3GPP (WiMAX, WiFi, CDMA2000, etc.)
 - ✓ El tráfico IP que transcurre por la pasarela P-GW es procesado a través de un conjunto de filtros que asocian cada paquete IP con el usuario y servicio portador EPS que corresponda.
- HSS: es la base de datos principal que almacena los datos de todos los usuarios de la red. La información almacenada es tanto lo relativo a la subscripción del usuario como lo necesario para la operatividad de la red. Esta base de datos es consultada y modificada desde las diferentes entidades de red encargadas de prestar los servicios de conectividad o servicios finales (desde el MME de red troncal EPC y también desde servidores de control del subsistema IMS, que explicaremos más adelante). La información almacenada en la HSS que podemos encontrar: identificadores universales del usuario, identificadores de servicio, información de seguridad y cifrado, información relacionada con la ubicación de un usuario en la red, etc. HSS se estandarizó en 3GPP R5 en base a la integración de dos entidades definidas en redes GSM y que se denominan HLR y AuC, a las que se les han añadido funcionalidades adicionales necesarias para soportar el acceso y la operativa del sistema LTE.

IP Multimedia Subsystem (IMS)

Es un subsistema que proporciona los mecanismos de control necesarios para la prestación de servicios de comunicación multimedia que están basados en la utilización del protocolo IP a los usuarios de la red LTE [1].

La idea es desplegar una infraestructura constituida por una serie de elementos (servidores, base de datos, pasarelas) que se comunicarán entre sí mediante una serie de protocolos, la mayoría estándares del IETF, y que nos permiten ofrecer servicios de voz y video sobre IP, videoconferencia, mensajería instantánea, etc. El acceso a estos servicios por parte de los terminales de usuario se realiza a través de los servicios de conectividad que ofrece la red LTE. La prestación de estos servicios por parte del IMS pretende sustituir a medio-largo plazo los servicios equivalentes ofrecidos actualmente en modo circuito.

El modelo de prestación de servicio en base al subsistema IMS se estructura en tres capas: transporte, control y aplicación.

- Capa de transporte: representa la infraestructura de red IP, que depende de la tecnología de acceso, que nos proporciona el encaminamiento de los flujos IP entre terminales y demás elementos de la red.
- Capa de control: aquí se ubican los elementos especializados en la gestión de sesiones, como los servidores SIP, así como otros elementos específicos para la interacción con redes telefónicas convencionales (pasarelas VoIP, controladores, etc.).
- Capa de aplicación: en esta capa residen los servidores de aplicación que albergan la lógica y datos asociados a los diferentes servicios proporcionados a través de IMS. En esta capa también se presentan elementos ligados a otras plataformas de servicios como redes inteligentes.

El establecimiento y liberación de sesiones a través del IMS se basa en el protocolo de señalización SIP complementándolo con una serie de extensiones adicionales. SIP es un protocolo que se concibió para el establecimiento y liberación de sesiones multimedia (telefonía, videoconferencia, etc.) sobre redes IP entre dos o más participantes.

Gracias a la flexibilidad de SIP, ahora abarca una gama de aplicaciones mucho más extensa, mensajería instantánea, juegos distribuidos, control remoto de dispositivos, etc.

Equipos de usuario

Es el equipo que permite al usuario conectarse a la red LTE y disfrutar de los servicios que nos proporciona a través de la interfaz radio. La arquitectura funcional de un equipo de usuario es la misma que se definió para GSM y UMTS [3].

El equipo de usuario (*User Equipment*, UE) contiene dos elementos básicos: un módulo de suscripción del usuario (SIM/USIM) y el terminal móvil propiamente dicho (Mobile Equipment, ME). A su vez, el SE ME considera dos entidades funcionales: la terminación móvil (MT) y el equipo terminal (TE). A continuación definimos todos estos elementos.

- Módulo de suscripción de usuario: La SIM/USIM está asociada a un usuario y por tanto es quien le identifica dentro de la red independientemente del equipo móvil utilizado. La separación entre SIM y ME facilita que un usuario pueda cambiar de terminal sin necesidad de cambiar de identidad, de SIM.
- El equipo móvil (ME): en él se integran las funciones propias de comunicación con la red celular, así como las funciones adicionales que permiten la interacción del usuario con los servicios que ofrece la red.
 - ✓ Terminación móvil (MT): alberga las funciones propias de la comunicación.
 - ✓ Equipo terminal (TE): equipo que se ocupa de la interacción con el usuario.

1.2 NIVEL FÍSICO EN LTE

En este apartado se definen los fundamentos más importantes del nivel físico que se implementan en el sistema LTE y que permiten alcanzar mayores niveles de capacidad y eficiencia en el uso de los recursos radio que los sistemas predecesores. En el enlace descendente se usa la técnica de acceso múltiple denominada OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) y para el enlace ascendente, la técnica

denominada CS-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access). Al final del apartado describiremos también las estructuras de transmisión y recepción con múltiples antenas [1].

OFDMA

Aunque la modulación OFDM se analizará con mayor detenimiento en el capítulo siguiente, diremos que la técnica de acceso múltiple OFDMA que se utiliza en el enlace descendente en el sistema LTE ofrece la posibilidad de que los diferentes símbolos modulados sobre las subportadoras pertenezcan a usuarios distintos. Por tanto, es posible acomodar varias transmisiones simultáneas correspondientes a diferentes flujos de información al viajar en subportadoras diferentes.

Se consigue que un conjunto de usuarios puedan compartir el espectro de un cierto canal para aplicaciones de baja velocidad [4]. El acceso múltiple se consigue dividiendo el canal en un conjunto de subportadoras que se reparten en grupos en función de la necesidad de cada uno de los usuarios. El sistema se realimenta con las condiciones del canal, adaptando continuamente el número de subportadoras asignadas al usuario en función de la velocidad que éste necesita y de las condiciones del canal. Si la asignación se hace rápidamente, se consigue cancelar de forma eficiente las interferencias co-canal y los desvanecimientos rápidos.

Hay que destacar que no es necesario que las subportadoras estén contiguas, los símbolos de un usuario pueden estar distribuidos sobre subportadoras no contiguas.

Ventajas de OFDMA:

- ✓ Diversidad multiusuario: La asignación de subportadoras se realiza de manera dinámica.
- ✓ Como el canal radio presentará desvanecimientos aleatorios en las diferentes subportadoras, y que serán independientes de cada usuario, se puede intentar seleccionar para cada subportadora el usuario que presente un mejor estado del canal, es decir, el que perciba una mejor relación señal a ruido. Con esto

conseguiríamos una mayor velocidad de transmisión y una mayor eficiencia espectral. A esta manera de actuar se le denomina *scheduling*.

- ✓ Diversidad frecuencial: es posible asignar a un mismo usuario subportadoras no contiguas, separadas suficientemente como para que el estado del canal en las mismas sea independiente, lo que nos proporciona diversidad frecuencial en la transmisión de dicho usuario ante canales selectivos en frecuencia.
- ✓ Elevado grado de utilización de la banda asignada: gracias a la utilización de la transmisión OFDM, debido a que la transmisión multiportadora se consigue con una separación mínima entre subportadoras, existiendo una superposición.
- ✓ Sencillez de implementación en dominio digital: gracias al uso de la Transformada Rápida de Fourier (FFT e IFFT).

Desventajas de OFDMA, nos limitaremos a citar aquí, ya que entraremos más en detalle en el siguiente capítulo:

- ✓ Elevada relación entre la potencia instantánea y la potencia media (PAPR).
- ✓ Susceptibilidad frente a errores en frecuencia.

SC-FDMA

En el sistema LTE se ha optado por utilizar la técnica OFDMA para el enlace descendente porque en la estación base se quieren técnicas que incrementan la complejidad computacional para reducir el PAPR de la señal OFDMA, y no es tan crítica la eficiencia ni el coste de los amplificadores de potencia. Sin embargo, en el terminal del usuario sí que es crítico reducir el consumo de potencia y conseguir por lo tanto una gran eficiencia en el amplificador, por lo que se ha optado por una técnica de acceso de portadora única.

SC-FDMA se basa en unos principios de transmisión muy similares a los de OFDM, pero en este caso se efectúa una precodificación de los símbolos que se van a transmitir previa al proceso de transmisión OFDM, lo que nos permitirá reducir las variaciones en la potencia instantánea [2].

Como se muestra en la Figura 1.5, existen M símbolos a transmitir, los cuales son precodificados mediante una DFT de M muestras, como paso previo a efectuar una transmisión OFDM de acuerdo a una IDFT de N muestras, con una separación entre subportadoras Δf , y con el consiguiente añadido del prefijo cíclico.

Debido al proceso de precodificación basado en DFT, esta técnica también se le denomina DFT-Spread OFDM (DFTS-OFDM). En el esquema mostrado, si el tamaño de la DFT, M , fuera igual al de la IDFT, N , los procesos de DFT y IDFT se cancelarían entre sí, sin tener ningún efecto, por lo que la señal enviada sería simplemente el mismo conjunto de símbolos original, resultando en una señal en banda base no modulada sobre diferentes subportadoras, es decir, una señal portadora única (single carrier) que presentaría mejores propiedades de PAPR que las señales multiportadora. Sin embargo, siempre que $M < N$ y el resto de entradas al bloque IDFT están puestas a cero, el resultado de este proceso será una señal que continúa teniendo la propiedad de ser de portadora única, y cuyo ancho de banda $B = M\Delta f = Mf_m/N$ es regulable simplemente cambiando el valor de M . Esto nos permitirá tener una flexibilidad en la banda asignada.

MIMO

El sistema MIMO utiliza múltiples antenas tanto para recibir como para transmitir. Una transmisión de datos a tasa elevada se divide en múltiples tramas más reducidas. Cada una de ellas se modula y transmite a través de una antena diferente en un momento determinado, utilizando la misma frecuencia de canal que el resto de las antenas. Debido a las reflexiones por multitrayecto, en recepción la señal a la salida de cada antena es una combinación lineal de múltiples tramas de datos transmitidas por cada una de las antenas en que se transmitió.

Las tramas de datos se separan en el receptor usando algoritmos que se basan en estimaciones de todos los canales entre el transmisor y el receptor. Además de permitir que se multiplique la tasa de transmisión (al tener más antenas), el rango de alcance se incrementa al aprovechar la ventaja de disponer de antenas con diversidad.

La teoría de la capacidad inalámbrica, extiende el límite del teorema de Shannon, en el caso de la utilización de esta tecnología. Este resultado teórico prueba que la capacidad de transmisión de datos y rango de alcance de los sistemas inalámbricos MIMO se puede incrementar sin usar más espectro de frecuencias. Este aumento es de carácter indefinido, simplemente utilizando más antenas en transmisión y recepción. MIMO requiere la existencia de un número de antenas idéntico a ambos lados de la transmisión, por lo que en caso de que no sea así, la mejora será proporcional al número de antenas del extremo que menos antenas tenga.

1.3 INTERFAZ RADIO

En este apartado se comentan las características más importantes de la interfaz radio que son de utilidad al momento de realizar un diseño e implementación física de una red de este tipo, también, se describirá a modo de ejemplo la secuencia de diseño de la misma.

Capa Física

La capa física de la interfaz radio del sistema LTE se basa en la utilización de técnicas de acceso múltiple OFDMA en el enlace descendente y SC-FDMA en el enlace ascendente [1]. En los dos casos, la separación entre subportadoras es fija e igual a 15 KHz. En la Tabla 1.1 se muestra el número de subportadoras en la canalización del sistema LTE:

Tabla 1.1: Canalización en el sistema LTE

Canalización	1,4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
Tamaño FFT	128	256	512	1024	1536	2048
# Subportadoras Disponibles	73	181	301	601	901	1201

La capa física del sistema LTE está diseñada para que opere en las bandas altas de UHF, es decir, por encima de los 450 MHz y hasta los 3,5 GHz. El estándar define hasta 40 posibles bandas de operación para trabajar en modo duplexión por división en frecuencia (FDD) o en modo duplexión por división en el tiempo (TDD).

Los posibles esquemas de modulación para el enlace descendente son: QPSK, 16-QAM y 64-QAM, y para el up link: QPSK y 16-QAM, y la 64-QAM dependiendo de la capacidad del terminal móvil.

Si se utilizan técnicas MIMO (2x2, esto es, 2 antenas en el transmisor y 2 antenas en el receptor) y una canalización de 20 MHz se podría alcanzar una velocidad de transmisión de pico a nivel de capa física de 150 Mb/s en el enlace descendente y de 75 Mb/s en el ascendente.

Bloque de Recursos Físicos

Se denomina PRB (Physical Resource Block), al mínimo elemento de información que puede ser asignado por el eNB a un terminal móvil. Un PRB ocupa 180 KHz de banda equivalente a 12 subportadoras equi-espaciadas 15 KHz entre ellas y en él se transmiten 6 ó 7 símbolos OFDMA, dependiendo de la longitud del prefijo cíclico. La duración de un PRB es de 0,5 ms, es decir la duración de un slot o ranura de tiempo.

En la Tabla 1.2 se muestra el número de PRBs en función de la canalización.

Tabla 1.2: Número de PRBs en función de la canalización.

Canalización	1,4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
Numero PRB	6	15	25	50	75	100

Destacar que el número de portadoras disponibles (Tabla 1.1) está relacionado con el número de PRBs en cada canal. Por lo tanto, el número de subportadoras es 12 veces el número de PRBs más una, ya que se considera la subportadora central (la de DC) que no se utiliza para transmitir información [2].

En un PRB tenemos 7 símbolos con 12 subportadoras asociadas a cada uno de ellos, por lo que tenemos en total 84 recursos donde introducir los símbolos QPSK, 16-QAM y 64-QAM. Considerando la modulación de mayor eficiencia espectral, 64-QAM en la que se transmiten 6 bits/símbolo, dentro de un PRB podemos enviar un total de 504 bits cada 0,5 ms, lo que nos ofrece una velocidad bruta de transmisión de pico de aproximadamente $R_{b,PRB}=504 \text{ bits}/0,5 \text{ ms} \approx 1 \text{ Mb/s}$. Se muestra un ejemplo en la Figura 1.7.

En la Tabla 1.3 se resumen las velocidades de pico en función de la canalización. Estos cálculos no consideran la estructura MIMO. Si la tenemos en cuenta y en el caso 2x2 se puede estimar que las velocidades de pico pueden llegar a ser el doble, por lo que se confirma que en la interfaz radio del sistema LTE se pueden alcanzar los 150 Mb/s en el enlace descendente en el caso del canal de 20 MHz.

Estructura de la trama

En el dominio del tiempo los recursos físicos del sistema LTE se estructuran siguiendo dos tipos de estructuras de trama, de tipo 1 y de tipo 2 [1]. Nosotros nos vamos a centrar en las de tipo 1, esta utiliza el modo de duplexión por división de frecuencia (FDD).

Estructura de trama de tipo 1

Se utiliza tanto para el enlace descendente como para el ascendente y soporta semi y full-dúplex FDD. La trama de tipo 1 se divide en tramas de 10 ms y cada trama está a su vez compuesta por 20 ranuras temporales (slot) de duración 0,5 ms. Se define una unidad básica de recursos, formada por dos ranuras temporales que se denomina “subtrama” de duración 1 ms.

En cada ranura temporal se transmiten 6 ó 7 símbolos OFDM, cada uno de ellos de duración $T_s=66,7 \text{ us}$. Si se usan 7 símbolos, el prefijo cíclico “corto”, tiene una duración de 4,7 us, salvo para el primer símbolo, que tiene un prefijo cíclico de 5,2 us. En el caso de utilizar 6 símbolos por ranura temporal entonces el prefijo cíclico “largo”, tiene una

duración de 16,67 us. En el caso de que la celda sea muy grande se utilizan 6 símbolos, ya que el retardo de propagación suele ser del orden de us y se requiere un prefijo cíclico mayor para compensar la propagación multitrayecto.

Enlace descendente

Describiremos un poco más este tipo de enlace, debido a que es el que explicaremos en el ejemplo que se describe en este subtítulo. Además, describiremos las principales características de las señales físicas que permiten al terminal móvil sincronizarse al sistema y demodular coherentemente las señales OFDMA.

A continuación describiremos también los canales físicos utilizados para transportar la información destinada a los usuarios situados en la zona de cobertura de la celda correspondiente a una estación base (eNB) [3].

Señales Físicas

Señales de referencia (RS), estas se utilizan para:

- ✓ Obtener medidas de calidad en el enlace descendente.
- ✓ Estimar la respuesta del canal para demodulación/detección coherente.
- ✓ Implementar mecanismos de búsqueda de celda y sincronización inicial.

Señales de Sincronización (SCH):

- ✓ Se utilizan para facilitar los procesos de sincronización temporal del sistema (a nivel de trama y subtrama). Se dividen en dos:
 - ✚ P-SCH (Primary SCH): permite la sincronización temporal a nivel de subtrama
 - ✚ S-SCH (Secondary SCH): posibilita la sincronización temporal a nivel de trama

Canales Físicos de Tráfico

Physical Downlink Shared Channel (PDSCH)

Este canal transmite habitualmente información de usuario. Contiene la información entregada por la capa MAC mediante el canal transporte Downlink Shared Channel (DL-SCH).

También puede transportar información de aviso (PCH) y aquella de radiodifusión que no sea imprescindible para que el terminal móvil se enganche a la red. Este canal se mapea en el dominio frecuencia-tiempo utilizando los PRBs.

Canales de Control

- ✓ Physical Broadcast Channel (PBCH)

Transporta la información de radiodifusión básica de la red, que permite la conexión inicial de un terminal móvil a la misma.

- ✓ Physical Downlink Control Channel (PDCCH)

Canal de control genérico del enlace descendente. Informa sobre los recursos en el enlace descendente asignados al PDSCH.

- ✓ Physical Control Format Indicator Channel (PCFICH)

Informa al terminal móvil sobre el número de símbolos (1,2 ó 3) utilizados para transmitir el PDCCH.

- ✓ Physical Hybrid ARQ Indicator Channel (PHICH)

Transporta información de reconocimiento (ACK/NACK) correspondientes a las transmisiones del enlace ascendente.

1.4 UPLINK DE LTE

A continuación se describe un ejemplo del UL en un sistema LTE explicando cada parte de este sistema, que consiste en el diseño de la parte transmisora de un enlace descendente que utiliza duplexión por división en frecuencia (FDD). Al final se muestran graficas típicas de comportamiento según valores teóricos comprobados, como lo son el valor del EVM (Error Vector Magnitude), que es la diferencia entre el vector ideal (transmisor) y el vector medido en el receptor y se mide en tanto por ciento, (el capítulo

4 profundiza más en este concepto). También mostraremos el espectro de la señal transmitida, y las diferentes constelaciones de las señales dependiendo de la modulación elegida para cada usuario.

Esquemas generales del sistema

Como podemos observar se parte de un bloque donde tenemos todo el sistema LTE, que tiene 7 salidas y una de ellas, que es la señal de RF, entra en otro bloque que es el amplificador de potencia, con sus características de ganancia, figura de ruido, su potencia de saturación, etc., que se pueden modificar. La salida del amplificador de potencia va hacia un último bloque que será el que realice las medidas y presente los resultados de la simulación.

Algunas de estas variables son:

- ✓ Bandwidth: que tomará un valor determinado dentro de la canalización que comentamos en la Tabla 1.1.
- ✓ Prefijo cíclico: declara dos posibilidades, “normal” ó “extendido”. La diferencia la comentamos antes y es dependiendo de si queremos transmitir 7 ó 6 símbolos OFDM en cada ranura temporal.
- ✓ Tipo de mapeo: Se elige entre 3 tipos de modulación, QPSK, 16-QAM y 64-QAM. A cada usuario se le asigna un tipo de modulación.
- ✓ Tasa de sobremuestreo: se puede elegir entre 1, 2, 3 y 8.

El primer bloque a la derecha es un generador de datos, que entra dentro de otro bloque (el segundo empezando por la derecha) que englobará al sistema multiplexor, conformador de las tramas y del espectro y que detallaremos más adelante. Este segundo bloque tiene 5 salidas; la última es la trama de datos multiplexados que entrará en la última etapa (tercer y cuarto bloque) en la que se modulará y se pasará a Radio-Frecuencia (RF) para ser transmitida.

En la Figura 1.4 se observa el valor del EVM en tanto por ciento en función de las subportadoras. Como antes, se sabía que iban a ser 301 subportadoras, debido a que estamos trabajando en el canal de 5 MHz, ver Tabla 1.1.

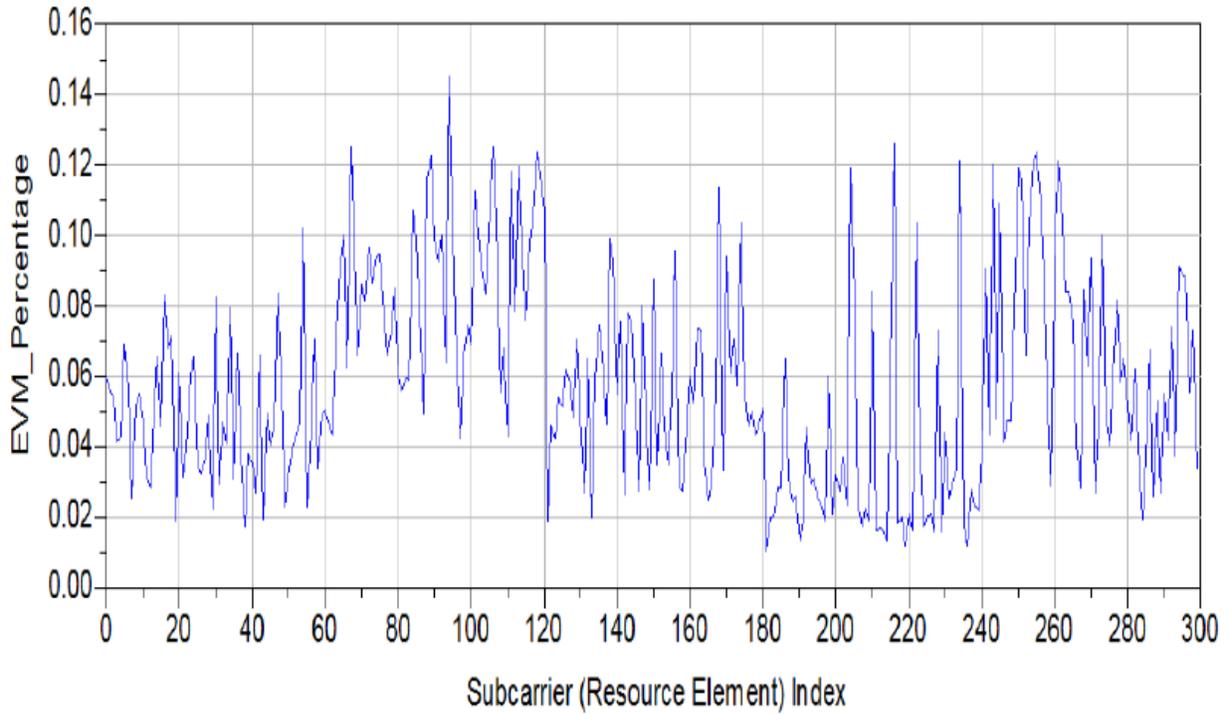


Figura 1.4: EVM en función de las subportadoras

En la Figura 1.5 vemos el espectro de la señal transmitida centrada en 2 GHz como se había indicado en la variable “*FCarrier*”=2000 MHz.

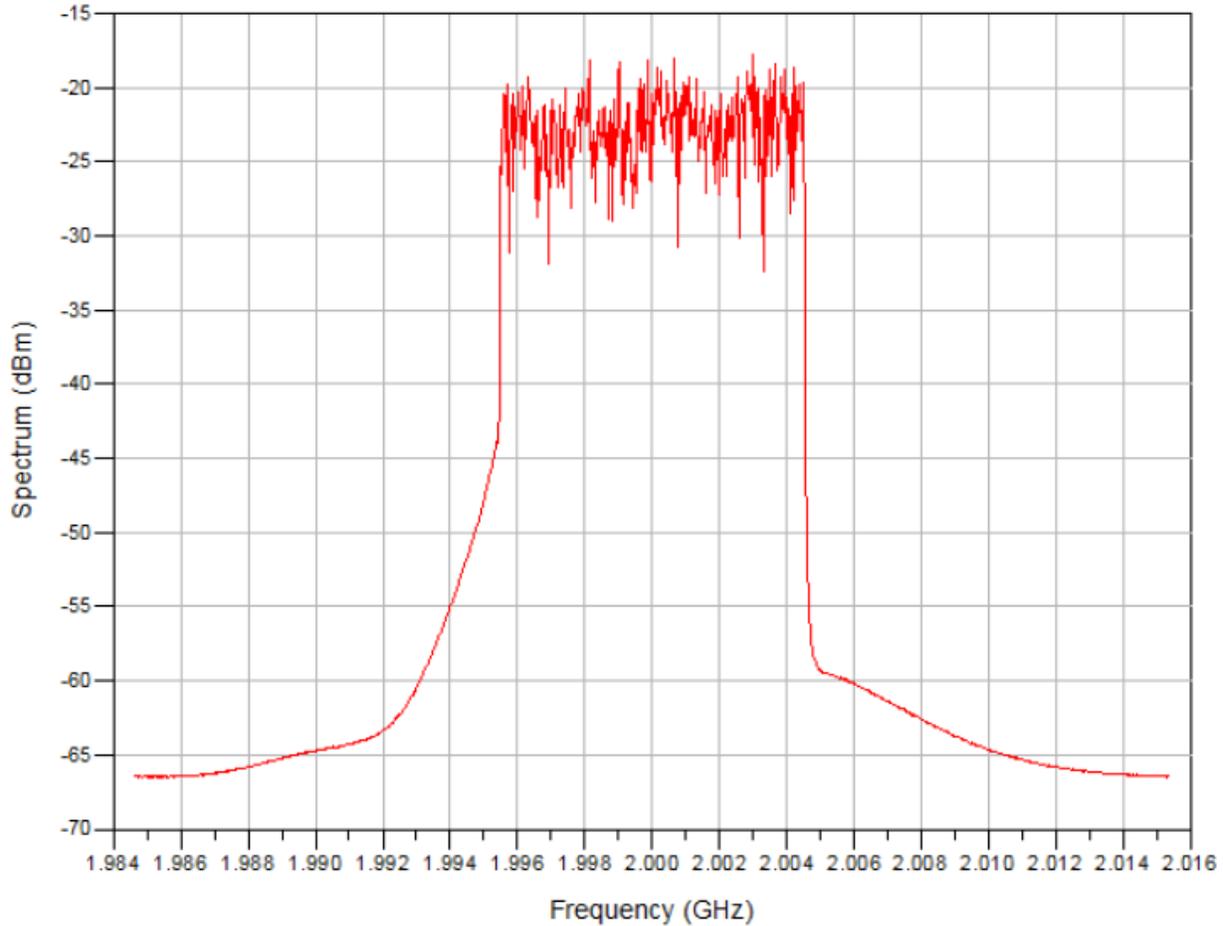


Figura 1.5: Espectro de la señal transmitida centrada en 2 GHz

En la Figura 1.5 podemos ver la forma de la señal OFDMA en función del tiempo, de la parte real y de la parte imaginaria. Se observan la forma de los 7 símbolos OFDM incluyendo el prefijo cíclico (PC) entre ellos, en este caso el PC es del tipo “normal” o “corto”, por eso se tienen 7 símbolos OFDM.

En la Figura 1.6 se aprecian las diferentes constelaciones típicas para 6 usuarios, que se habían elegido en la declaración de variables, según el esquema genral de la figura 1.10, es decir, El UE1: 16-QAM, UE2: QPSK, UE3: 16-QAM, UE4: 64-QAM, UE5: QPSK y UE6: 16-QAM.

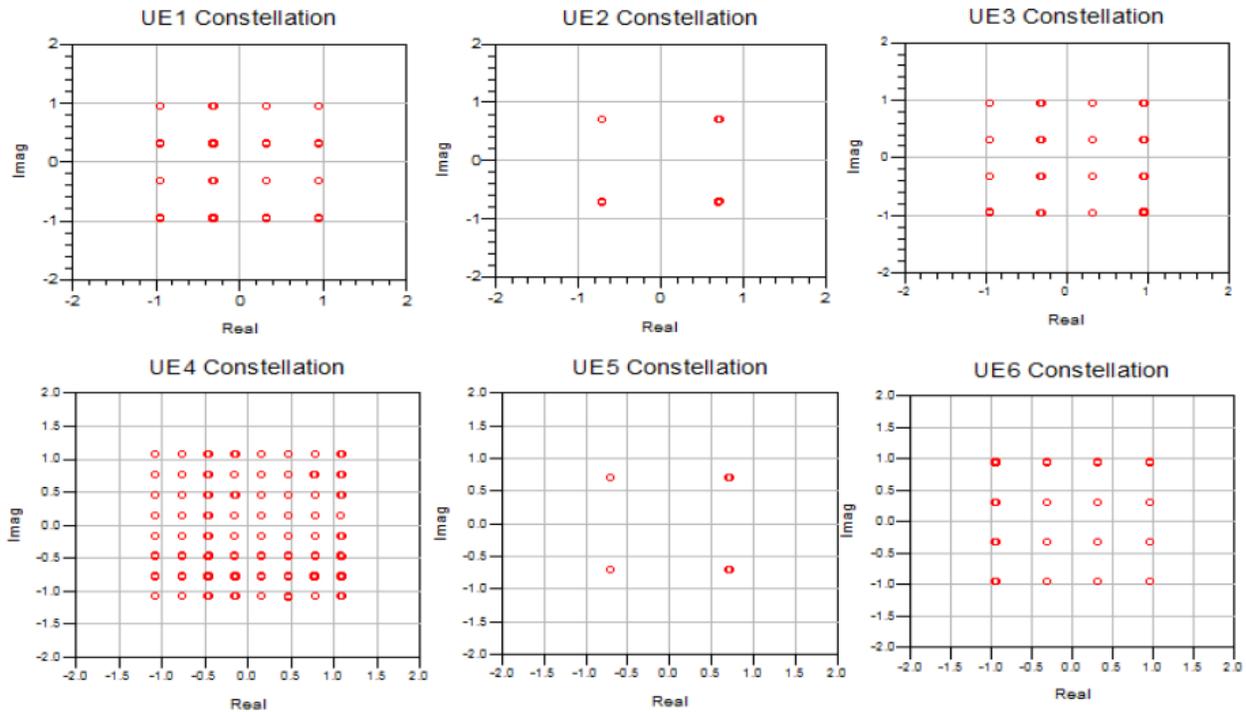
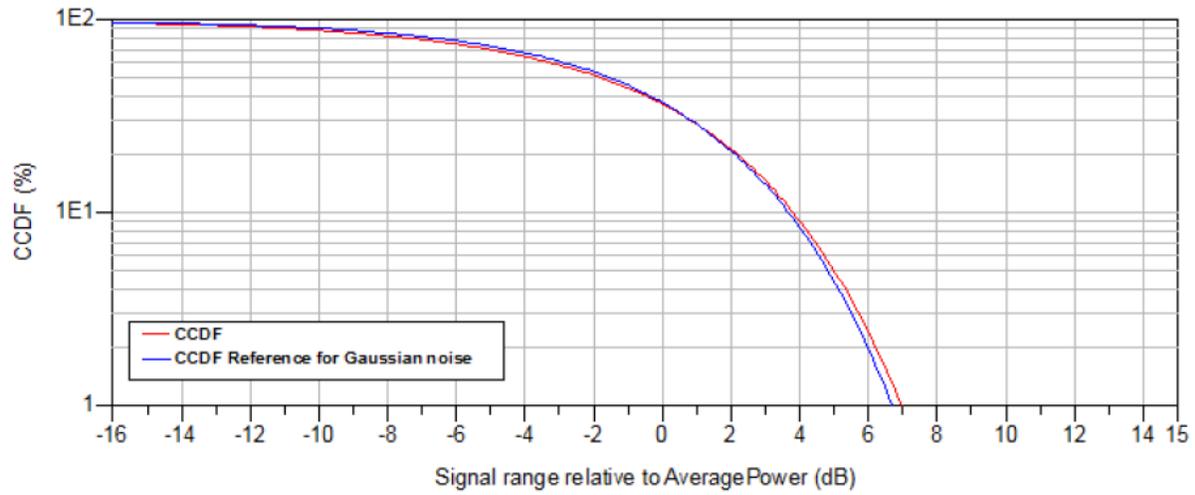


Figura 1.6: Constelaciones de los diferentes usuarios

Para terminar, en la Figura 1.7 vemos la gráfica del CCDF (función de distribución acumulativa complementaria). Se mide en tanto por ciento y es en función de la potencia media (dB) de la señal. Se muestran también el valor en (dBm) de los parámetros: Potencia Media, Potencia de Pico. El PAPR lo mide en (dB).

CCDF Measurement CCDF: Complementary Cumulative Distribution Function

AveragePower_dBm	PeakPower_dBm	PAPR_dB
2.376	11.134	8.758



$$\text{Eqn } RF_CCDF_Ref = 100 * \text{power_ccdf_ref}(\text{SignalRange_dB})$$

$$\text{Eqn } PAPR_dB = \text{PeakPower_dBm} - \text{MeanPower_dBm}$$

$$\text{Eqn } \text{AveragePower_dBm} = \text{MeanPower_dBm}$$

Figura 1.7: CCDF %

CAPITULO II

LTE AVANZADO

INTRODUCCION

Como respuesta a la necesidad de tener tecnologías móviles más robustas y comunicaciones más rápidas, de mayor capacidad y de bajo retardo, surge la idea ha revolucionado la tecnología de comunicaciones móviles a su 4G.

Aún con parámetros teóricos algo “irreales” en el presente se hacen investigaciones y pruebas con equipos que todavía no son comercializados y que no están certificados por las normas internacionales, se trabaja en frecuencias disponibles para fines de investigación y con anchos de bandas de prueba, todo esto para alcanzar límites nunca antes experimentados por la humanidad. El fin de estos estudios es lanzar al mercado una tecnología que esté acorde con la necesidad del hombre de tener servicios de comunicaciones estables, rápidos y a menor costo. Es por este motivo que se crea la tecnología LTE – Avanzada que es una tecnología verdadera de cuarta generación.

2.1 GENERALIDADES DE LTE-A

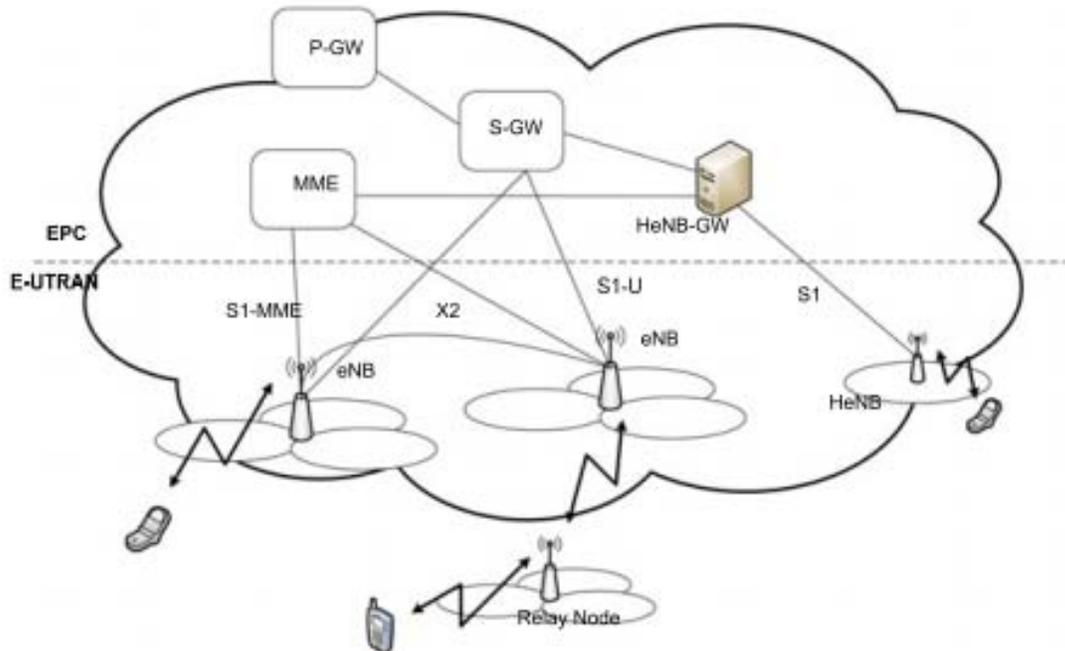


Figura 2.1: Arquitectura LTE – Avanzada E-UTRAN

Descripción

La Figura 21 nos muestran la arquitectura de E-UTRAN para LTE - A. La parte central de la arquitectura E-UTRAN es el nodo enhanced Node B (eNB), que proporciona la interfaz de conexión hacia el equipo del usuario (UE). Cada uno de los eNBs es un componente lógico que sirve a una o varias celdas E-UTRAN, y la interfaz de interconexión de los eNBs se llama interfaz X2. Adicionalmente, Home eNBs (HeNBs, también llamadas femtoceldas), que son eNBs de menor costo para la mejora de cobertura en interiores, se puede conectar al Evolved Packet Core (EPC) directamente o a través de una puerta de enlace que proporciona apoyo adicional a un gran número de HeNBs.

Además, 3GPP está considerando nodos repetidores (RELAY) como estrategias para la mejora de rendimiento de la red y brindar mejor QoS.

La flexibilidad de acceso al EPC es atractivo para los operadores, ya que les permite tener un solo núcleo a través del cual se soportan diferentes servicios. El EPC es un núcleo basado totalmente en IP. Los principales componentes del EPC y sus funciones son las siguientes:

- *Mobility Management Entity* ó Entidad de Gestión de Movilidad (MME). Este es un elemento de control clave. Se encarga de las funciones de gestión de seguridad (autenticación, autorización, señalización NAS), el manejo de movilidad la itinerancia y trasposos. También la selección de nodos de la Serving Gateway ó puerta de enlace de Servicio (S-GW) y Packet Data Network Gateway ó puerta de enlace de paquetes de datos de red (PDN-GW) es parte de sus tareas. La Interfaz S1-MME conecta el EPC con los eNBs.
- *Serving Gateway* ó puerta de enlace de Servicio (S-GW) El EPC termina en este nodo, está conectado a la E-UTRAN a través de la interfaz S1-U. Cada UE se asocia a un único S-GW, que será el anfitrión de varias funciones. Es el punto de anclaje de movilidad, tanto para la movilidad inter-eNB e inter-3GPP local y realiza las operaciones de enrutamiento de paquetes y reenvío.
- *Packet Data Network Gateway* ó puerta de enlace de paquetes de datos de red (PDN-GW). Este nodo proporciona al UE acceso al PDN mediante la asignación de una dirección IP brindado por el PND

Gestión del Ancho de Banda

Con el fin de cumplir los requisitos de IMT-Advanced así como los de los operadores, LTE-Avanzada considera el uso de anchos de banda de hasta 100 MHz en las siguientes bandas del espectro.

Tabla 2.1: Banda de Frecuencias y Posible implementación

BANDA DE FRECUENCIAS	LUGAR DE IMPLEMENTACIÓN
450 – 470 (MHz)	Para ser utilizado a nivel mundial para los sistemas IMT
698 – 862 (MHz)	Región 2: América, Groenlandia y algunas islas del Pacífico oriental. Región 3: Asia, incluyendo Irán y la mayor parte de Oceanía.
790 – 862 (MHz)	Región 1: Europa, África, el Medio Oeste del Golfo Pérsico incluyendo a Irak, la antigua Unión Soviética y Mongolia Región 3: Asia, incluyendo Irán y la mayor parte de Oceanía.
1.7 - 2.1 (GHz)	Para ser utilizado a nivel mundial para los sistemas IMT
2.3 - 2.4 (GHz)	Para ser utilizado a nivel mundial para los sistemas IMT
3.4 – 4.2 (GHz)	Para ser usado en muchos países del mundo
4.4 – 4.99(GHz)	No definido aún

2.2 CANALIZACIÓN EN LTE

La idea de este proyecto, es establecer un marco de referencia sobre cómo tratar o explotar mejor la arquitectura IMS con que un operador puede trabajar, y así contar con perfiles específicos para el control de los medios de comunicación y los planos de servicio de voz sobre.

Tabla 2.2: Especificaciones LTE UIT

PARAMETRO	RECOMENDADO ITU	PROPUESTA SOLUCION TECNICA	OBSERVACIONES
RANGO DE COBERTURA AREA URBANA	5Km	1Km - 2 Km	
USUARIOS POR CELDA	200	< 200	NO ESPECIFICA CANTIDAD EXACTA
TIPO DE MODULACIÓN	QPSK, 16 QAM, 64 QAM	64 QAM	
BANDA DE FRECUENCIA	ESPECIFICADO EN TABLA 1.2	Banda 13	SEGMENTO DE BANDA 13 DOWNLINK 746 – 756 UPLINK 777 – 787
ANCHO DE BANDA	1,4; 3; 5; 10; 15; 20 (MHz)	10 MHz	
PICOS DE TRANSMISIÓN	100 Mbps Downlink , 50 Mbps Uplink	75 Mbps Downlink , 35 Mbps Uplink	

LTE–A es: backwards y forwards compatible con LTE esto significa que las bandas designadas para LTE también serían válidas para LTE–A, es decir que cuando se implementen las nuevas redes LTE–Advanced, los dispositivos LTE podrán funcionar sin problemas y viceversa (dispositivos LTE-Advanced en redes LTE).

En rel 10, la separación entre las frecuencias centrales de la carrier component (CC) contiguos es un múltiplo de 300 kHz. El fundamento de esta opción es mantener la compatibilidad hacia atrás con la trama de frecuencia 100 kHz utilizado en LTE R8, así como la preservación de la forma ortogonal de las subportadoras con el espaciado de 15 kHz. Dependiendo del escenario de la agregación, el espaciado real (un múltiplo de 300 kHz) puede ser facilitada mediante la inserción de un número de subportadoras no utilizadas entre CC contiguos.

Propuesta para agregar portadoras

Como el recurso más crítico para cualquier sistema de comunicaciones moderno es el espectro disponible, aquí describimos un escenario posible de cómo solucionar una situación en la que no se disponga de otra banda de frecuencias que la ya existente, dado el panorama supondremos el caso supuesto en el cual demostraremos los diferentes casos para agregar portadoras, en el cual no se tomará en cuenta los 300 KHz mínimos de banda de guarda.

Hay que tomar en cuenta que es un caso supuesto y no un ámbito real y que es netamente demostración, y que por el momento, dado que los segmentos de banda para los operadores como máximo llegan hasta 2 contiguos o no contiguos o en otras palabras hasta 40MHz, este sería el límite real para el proceso de agregación de portadora hasta que se liberen el resto de las bandas designadas para LTE y LTE-A.

Intra – Banda Contigua

Considerando el caso en que se liberen 5 secciones de banda contigua en la banda de 700 MHz, cada una de 20 MHz y las 5 secciones sean adjudicadas por algún operador.

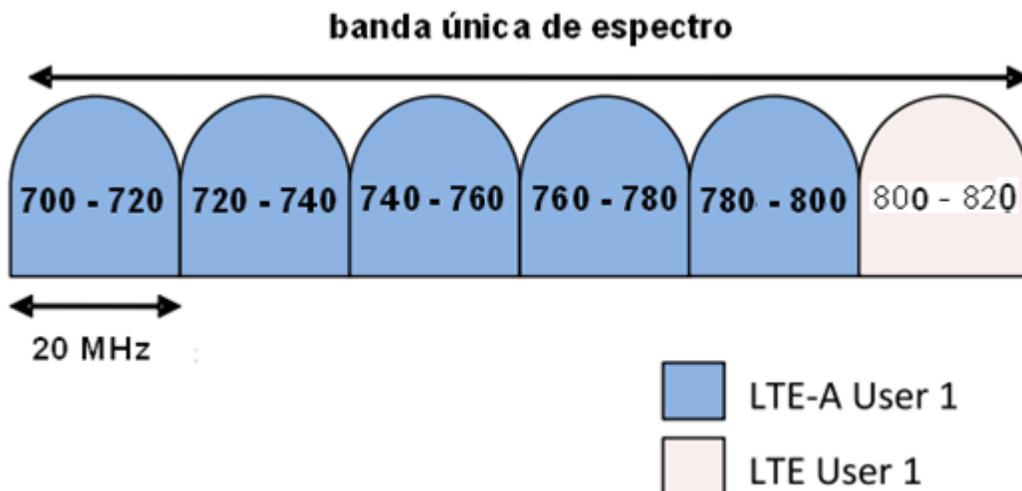


Figura 2.2: Intra Banda Contigua en la Banda de 700 MHz

La figura 2.2 muestra un usuario LTE-Advanced que utiliza el ancho de banda contiguo agregado de hasta 100 MHz. Y se muestra la coexistencia de un usuario LTE que utiliza un ancho de banda de hasta 20 MHz.

Intra – Banda No Contigua

Considerando el caso en el que se liberen 5 secciones de banda no contigua en la banda de 700 MHz, cada una de 20 MHz y las 5 secciones sean adjudicadas a cualquier operador.

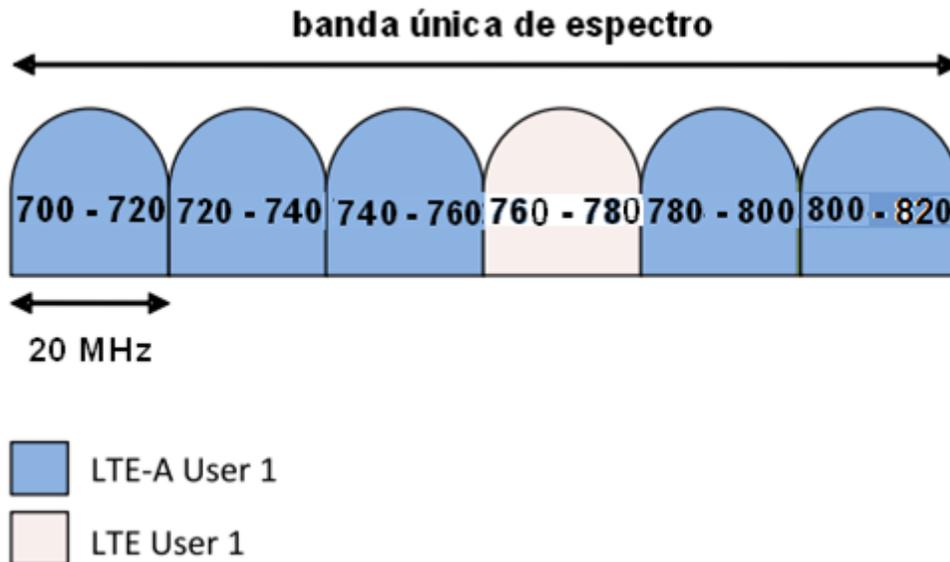


Figura 2.3: Intrabanda No Contigua en la Banda de 700 MHz

La figura 2.3 muestra un dispositivo LTE utilizando anchos de banda de hasta 20 MHz, coexistiendo con un dispositivo LTE-Advanced que utiliza el ancho de banda no contiguo agregado de hasta 100 MHz.

Inter – Banda No Contigua

Considerando el caso en el que se liberen 3 secciones de banda contigua en la banda de 700 MHz, cada una de 20 MHz y 2 secciones de banda no contigua en la banda de 1700 MHz, cada una de 20 MHz y sean adjudicadas a cualquier operador.

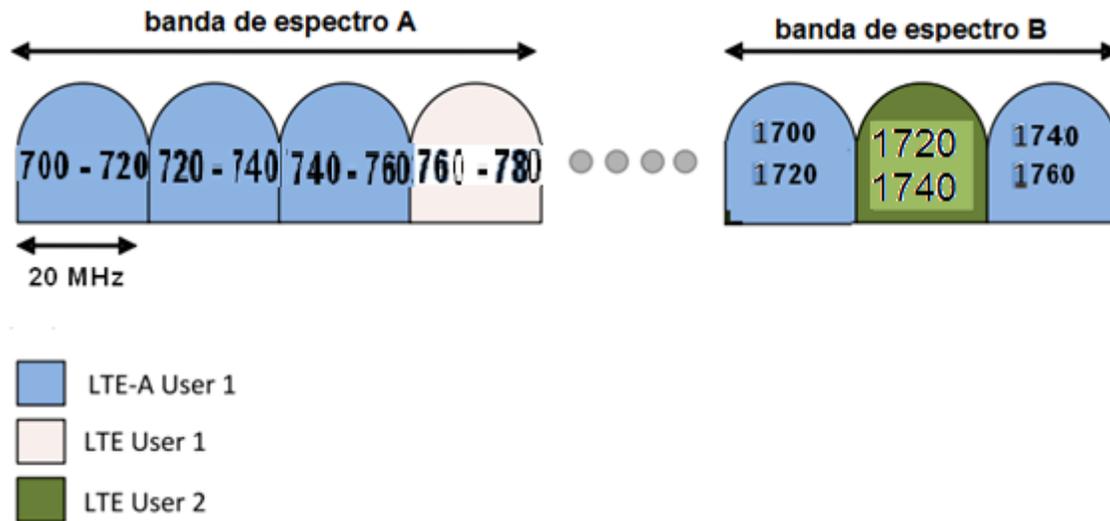


Figura 2.4: Interbanda No Contigua en la Banda de 700 MHz y 1700MHz.

La figura 2.4 ilustra el caso de la agregación de portadoras no contiguas en diferentes bandas. La figura muestra dos dispositivos LTE utilizando anchos de banda de hasta 20 MHz, cada uno en una banda del espectro diferente, que coexisten con un dispositivo LTE-Advanced que utiliza el ancho de banda agregado no contiguas de diferentes bandas del espectro. Las bandas que se utilizan pueden ser bandas dedicadas o bandas compartidas.

En todos los casos anteriores de agregación de portadoras, el número de UL y DL, así como sus anchos de banda, pueden ser diferentes. Incluso dentro de un mismo eNB.

Los nuevos requerimientos de pico de tasa de datos sólo pueden alcanzarse con dos pasos. Primero, mejorando las capacidades MIMO en descendente (hasta MIMO 8x8 de único usuario) y permitiendo MIMO en el ascendente (hasta MIMO 4x4 de único

usuario) Segundo, usando agregación de banda o portadora. LTE-Advanced permite la agregación de hasta cinco portadoras de hasta 20 MHz cada una para obtener un ancho de banda de transmisión de hasta 100 MHz.

Dado que es un ámbito supuesto, ya que no se cuenta con segmentos de banda necesarios hasta la fecha. La eficiencia espectral como los demás parámetros mencionados se verían afectados.

2.3 ARQUITECTURA MULTIPUNTO COORDINADO (CoMP)

Existen propuestas distintas para la implementación de CoMP que están en proceso de investigación, es por eso que se proponen dos posibles arquitecturas, cada cual tiene sus ventajas y sus desafíos. No se descarta la posibilidad de que se implemente una arquitectura híbrida en un futuro, cuando LTE-A esté en vigencia. Dado que las dos arquitecturas están en etapa de prueba no se puede decir cuál es más eficiente que la otra, por lo cual se decidirá la implementación de alguna de las arquitecturas tomando en cuenta el ámbito realista.

Arquitectura Centralizada

La arquitectura centralizada, necesita un dispositivo central con el fin de reunir la información del canal de todos los UE en el área cubiertas por eNBs coordinados. Este dispositivo también está a cargo de llevar a cabo la programación de usuario y las operaciones de procesamiento de señales tales como precodificación. Por otra parte, es necesaria la sincronización de tiempo entre eNBs y los datos del usuario deben estar disponibles en todos los nodos colaboradores. En el enlace descendente de los sistemas FDD el UE debe estimar la información del canal para alimentar de nuevo al eNB. En los sistemas TDD, la información del canal se puede obtener mediante el uso de la reciprocidad del canal. En el caso de funcionamiento en modo FDD, los terminales deben primero estimar el canal relacionado con el conjunto de eNB cooperantes. La información se alimenta de nuevo a una sola célula, conocida como ancla de células, que actúa como la célula de servicio del UE cuando se está empleando la coordinación. Una vez recopilada toda la información, cada eNB envía al dispositivo central que es el

encargado de decidir la programación y los parámetros de transmisión, y esta nueva información se envía de nuevo a los eNBs. Los principales desafíos de esta arquitectura se relacionan con las nuevas vías de comunicación asociados entre la entidad central y las eNBs. Deben apoyar la transmisión de datos de muy baja latencia y, además, los protocolos de comunicación para el intercambio de información deben ser diseñados.

La Figura 2.5 representa la estructura centralizada de la coordinación entre las diferentes estaciones base.

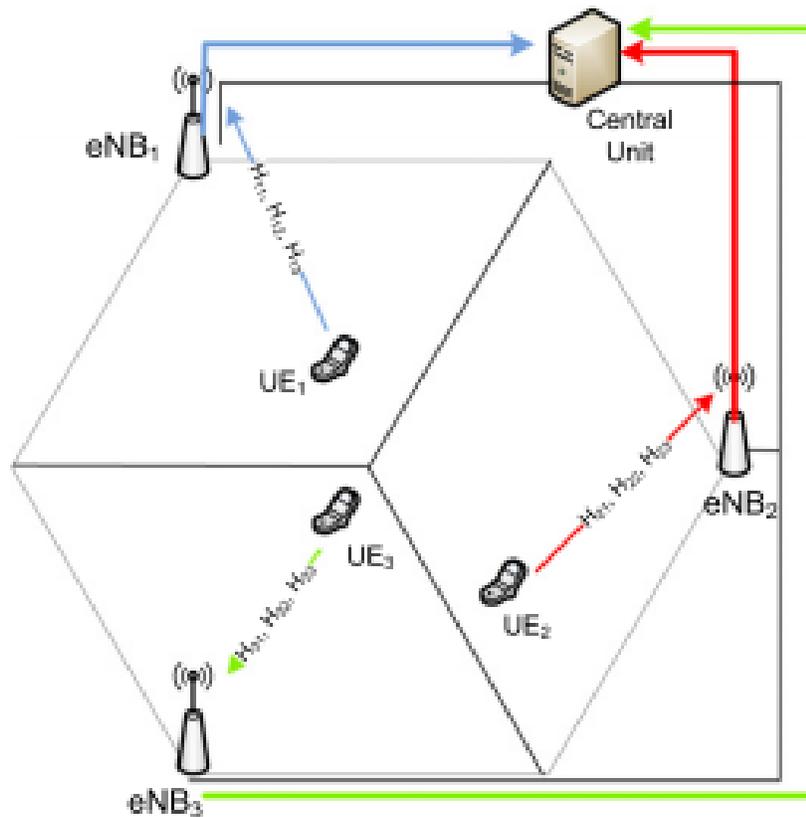


Figura 2.5: CoMP Arquitectura Centralizada

Arquitectura Distribuidora

La arquitectura distribuida es otra solución para llevar a cabo la coordinación que alivia los requisitos de un enfoque centralizado. Partiendo del supuesto de que la programación de todos los eNBs son idénticos y el canal de información respecto a todo el conjunto de coordinación puede estar disponible para todos los nodos cooperadores, los enlaces de comunicación, en este caso los eNB ya no son necesarios para llevar a

cabo la cooperación. Por lo tanto, esta arquitectura tiene la gran ventaja de minimizar la infraestructura y señalización asociado con estos enlaces y la unidad central de procesamiento, por lo que los sistemas convencionales no necesitan someterse a cambios importantes. Además, la retroalimentación de radio a varios nodos se podría lograr sin sobrecarga adicional.

El procedimiento que debe seguirse en un entorno distribuido CoMP puede ser descrito de la siguiente manera. El UE estima el canal de todos los eNB de coordinación de la misma manera como en el enfoque centralizado. Las estimaciones se envían de nuevo a todos los eNBs cooperantes y la programación se lleva a cabo de forma independiente en cada uno de ellos, como la figura. 2.12 muestra. Dado que los programas de cada eNB están diseñados de forma idéntica, los mismos parámetros de entrada producen las mismas decisiones de producción y por lo tanto los mismos seleccionan los UE en todo el clúster eNB. Del mismo modo, los parámetros de transmisión se seleccionan conjuntamente de acuerdo con un diseño común en los diferentes nodos. Este sistema presenta algunos inconvenientes. En primer lugar, si diferentes eNB no realizan la cooperación a través de una red de retorno por cable, el rendimiento de los algoritmos de CoMP es menos eficiente. Además, un obstáculo asociado con la transmisión distribuida es el manejo de errores en los diferentes vínculos de retroalimentación. El mismo UE informa de sus condiciones de canal para todos los eNB en el conjunto pero los enlaces inalámbricos a los diferentes nodos puede ser muy diferentes y no se puede despreciar el impacto de estos errores en el rendimiento del sistema.

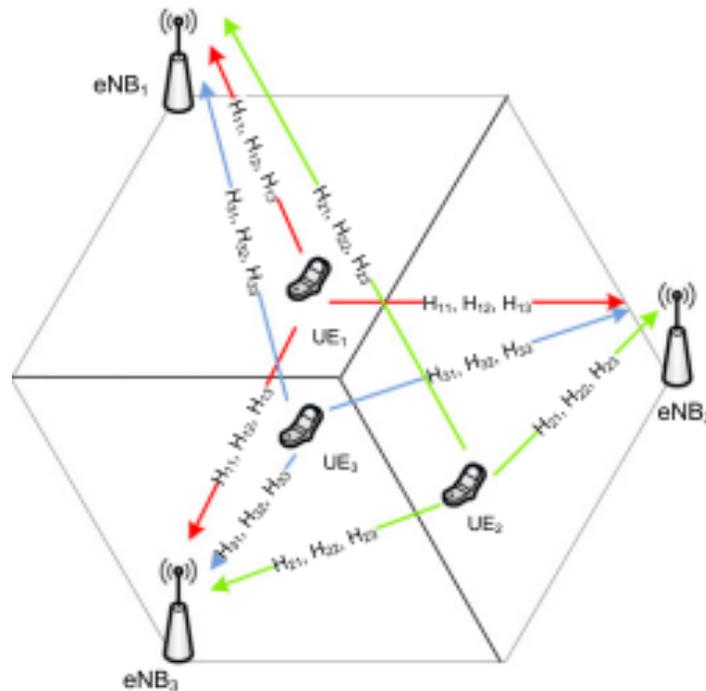


Figura 2.6: CoMP Arquitectura Distribuida

2.4 DOWNLINK Y UPLINK

En esta sección, describimos los diferentes esquemas CoMP posibles que prevé LTE-Advanced, tanto para el enlace descendente y el enlace ascendente. Independientemente de si la arquitectura es una distribuida o centralizada, existen diferentes enfoques con diferentes niveles de coordinación. Sus requisitos en términos de mediciones, de señalización, y red de retorno son diferentes.

Se están estudiando diferentes técnicas tanto para el enlace descendente y el enlace ascendente. En el enlace descendente, dos técnicas principales de transmisión se contemplan: la programación coordinada / formación de haz y procesamiento conjunto. Su principal diferencia radica en el hecho de que en el primer esquema es sólo un eNB que transmite datos al UE, aunque diferentes eNB pueden compartir información de control. En el segundo esquema, muchos eNB transmiten datos simultáneamente a la misma UE. En el enlace ascendente, sin embargo, se prevé sólo un enfoque de planificación coordinada.

En general, el costo del modo COMP se encuentra sólo en beneficio de los usuarios de teléfonos de última generación, donde la percepción de relación señal a interferencia y ruido (SINR) es baja. Esto se debe a que más recursos del sistema se asignan a un mismo usuario durante su funcionamiento. Sin embargo, los primeros resultados de simulación sugieren que CoMP puede utilizarse para aumentar tanto el rendimiento medio de celda y el rendimiento para el usuario de células borde.

Esquema de DownLink

Programación Coordinada / Formación de Haz (CS / CB)

Se caracteriza por el hecho de que cada UE es servida por una sola célula conocido como el anclaje celular. Sin embargo, se necesita precodificación en cada estación base para mejorar el rendimiento y reducir la interferencia. El diseño de retroalimentación debe ser mejorado para dar apoyo a esta estrategia de transmisión. El planificador en cada eNB toma sus decisiones de forma independiente pero la información adicional acerca de las condiciones del canal de otros usuarios es necesario con el fin de realizar una programación más óptima. El procedimiento de CS / CB implicaría las siguientes operaciones.

El UE debe estimar la calidad del canal de enlace descendente, tanto de la célula ancla como del eNB. En este punto, se deben utilizar señales de referencia comunes (CRS) específicos en cada celda presentan el problema de garantizar la ortogonalidad para cada uno de los eNBs de coordinación, especialmente dado el hecho de que el conjunto de puntos que participan en CoMP puede ser diferente para cada UE individual.

Matrices de precodificación basado en la maximización del rendimiento y las limitaciones de equidad y última selección se obtienen por cada una de las estaciones de base y la transmisión se lleva a cabo en consecuencia. Los UEs pueden utilizar las señales de referencia para realizar la demodulación y el enlace de adaptación. Según los desarrolladores CS / CB con una mejor retroalimentación puede proporcionar una ganancia significativa para los usuarios de teléfonos de última generación.

Procesamiento Conjunto (JP)

Dos métodos diferentes se están estudiando para el esquema JP: transmisión conjunta y selección de células dinámico. Aunque los datos se transmiten de hecho de varios sitios, el primero lo hace al mismo tiempo mientras que el segundo utiliza un enfoque de selección de célula rápido y sólo uno de ellos transmite datos a la vez. Este par avanzado de técnicas es particularmente beneficioso para la transmisión en el borde de celda y se prevé que sea la aplicación dominante de CoMP.

El esquema de transmisión conjunta considera principalmente que los puntos de transmisión corresponden a diferentes sitios de la célula y un grupo de estaciones base deben decidir conjuntamente en el esquema de transmisión de una señal al UE. Debe ser aplicado la precodificación en este contexto debe ser aplicado usando Código de producto entre las células de coordinación.

Esquema de UpLink

En el enlace ascendente del sistema de compensación, destinado a aumentar el rendimiento para el usuario móvil de última generación, implica la recepción de la señal transmitida por los UE en puntos múltiples geográficamente separados. Estos puntos no son más que el conjunto de coordinación eNBs asignados a cada UE.

En términos generales, la terminal no necesita estar al tanto de los nodos que están recibiendo su señal y lo que el procesamiento se lleva a cabo en estos puntos de recepción. Sin embargo, las decisiones de programación se pueden coordinar entre las células, y algún impacto especificaciones pueden ser traídos de este hecho. porque la señal podría llegar a diferentes células en instantes de tiempo dispersivos separadas por un intervalo de mayor que la longitud normal de prefijo cíclico, y esto podría causar la degradación del rendimiento. Básicamente hay dos enfoques propuestos para combatir este problema.

Prefijo cíclico Flexible: el problema de la dispersión del retardo se puede resolver mediante el uso de un prefijo cíclico prolongado. Sin embargo, esta solución también implica una alta sobrecarga para todo el sistema que debe ser evitado si también se desea un alto rendimiento medio de las células. Los UE que causan una gran dispersión del retardo pueden ser programadas a continuación en el TTI con prefijo cíclico extendido de modo que puede ser servido por más de una celda, por el otro lado, el resto de los UE puede ser programado en los TTI con prefijo cíclico normal y no existe el intercambio innecesario tiene que ser sacrificado.

Avance de Temporización (TA). Este método tiene por objetivo reducir el tiempo de llegada propagado en células CoMP mediante el ajuste de TA de la celda con un mínimo tiempo de retardo de transmisión (es decir, la celda más cercana) en CoMP activa ajusta de manera que la señal no llega al receptor de la célula antes de lo esperado. La dispersión del retardo es un tema que debe ser resuelto eficazmente, ya sea con uno o ambos de los enfoques anteriores. En cualquiera de los casos, la estimación de temporización de enlace ascendente en múltiples células que reciben es un problema abierto.

Nodo RELAY

Los nodos relay se caracterizan por contar con backhaul inalámbrico y el bajo consumo de energía que se debe a su tamaño relativamente pequeño. La conexión entre el nodo relay y la red central se lleva a cabo a través de Nodo B evolucionado (eNB). El backhaul inalámbrico permite flexibilidad de implementación y elimina los altos costos de un retorno fijo. Además, (NR) no tienen pautas estrictas de instalación con respecto a la radiación, trastornos visuales, y la regulación de la planificación. Por lo tanto, la instalación de RNs implica un menor gasto operativo y la mejora de la red más rápida que los operadores tienen como objetivo mejorar la calidad de servicio. Debido a las características físicas compactas y bajo consumo de energía, los NR pueden ser montados en estructuras como postes de luz con las instalaciones de suministro de energía.

Los nodos relay se clasifican en función de su estrategia de retransmisión. Se identifican tres tipos de relés de los cuales el tipo 1 se desprenden el tipo 1a y el tipo 1b. un NR Tipo 1 controla una celda por sí sola, es decir, que tiene su propio ID de célula física e incluye funcionalidades como la gestión de recursos de radio, programación, y solicitud de repetición automática híbrida (HARQ) de control de retransmisión. Los nodos Tipo 1a y 1b se caracterizan por el mismo conjunto de características, excepto que el primero utiliza backhaul fuera de banda, mientras que el segundo opera en banda, pero con el aislamiento antena adecuada entre el acceso y enlaces del relay.

Evaluación de Rendimiento para RELAY tipo 1B

El rendimiento de extremo a extremo (E2E) experimentado por un UE en un enlace de comunicación de dos saltos (eNB-RN-UE) se da de la siguiente manera:

$$TP_{e2e} = \min (TP_{eNB-RN}, TP_{RN-UE}) \quad (1)$$

donde se obtiene el rendimiento mínimo de e2e.

En la retransmisión en banda, el eNB donante utiliza el mismo grupo de recursos de radio de tiempo-frecuencia para servir tanto a la RNs como a los UE, los cuales se encuentran conectados al eNB. Además, las comunicaciones sobre el acceso y enlaces del NR son multiplexadas por división de tiempo. Por lo tanto, los recursos de radio para el enlace de NR estará en condiciones de alta competencia en la macrocelda eNB.

Dado que la potencia de transmisión RN es bajo, su área de cobertura es relativamente pequeño en comparación con la macrocelda y un UE conectado a un RN por lo general experimentará un buen enlace de acceso. Por lo tanto, si las tasas de UE no se limitan en las células de RN, el enlace de relay puede convertirse en un cuello de botella en las conexiones e2e de dos saltos.

Se utiliza una estrategia de asignación de recursos que garantiza la igualdad de los flujos de datos entre en el relay y los enlaces de acceso. Se encuentra desde (1) que

tal asignación es óptima debido a que ambos relés y acceso a enlaces se utilizan en su totalidad. sea T_X la porción de recursos de conexión disponibles en un enlace $e2e$, y sea R_X sea la tasa correspondiente. Entonces, tenemos:

$$TP_{e2e} = T_{eNB-RN} R_{eNB-RN} = T_{RN-UE} R_{RN-UE} T_{eNB-RN} + T_{RN-UE} = 1, \quad (2)$$

donde se utiliza esta última igualdad para normalizar el tiempo de transmisión total en el relay y en los enlaces de acceso. Después de combinar las ecuaciones en (2), obtenemos la siguiente fórmula para el rendimiento $e2e$:

$$TP_{e2e} = \left(\frac{1}{TP_{eNB-RN}} + \frac{1}{TP_{RN-UE}} \right)^{-1} \quad (3)$$

A lo largo del análisis de rendimiento, (3) se utiliza para modelar el rendimiento $e2e$ de Tipo 1 en banda. Hacemos hincapié en que (3) tiene en cuenta la limitación de caudal en el enlace del relay.

Si se puede obtener suficiente aislamiento entre el acceso y enlaces de relay, ambos enlaces se pueden operar al mismo tiempo, facilitando así las limitaciones en el enlace de relé. En tal caso, es razonable suponer que la capacidad de enlace relay no es un factor limitante y el rendimiento $e2e$ está meramente limitada por el enlace de acceso. Hemos adoptado esta suposición para la retransmisión tipo 1b inband con el fin de encontrar los límites para la diferencia de rendimiento con el enfoque de la retransmisión en banda Tipo 1. Por lo tanto, asumiremos para los nodos relay tipo 1b:

$$TP_{e2e} = TP_{RN-UE} \quad (4)$$

Escenarios de Propagación y Modelos de Sistema

3GPP ha creado pautas para la metodología de evaluación del sistema de LTE-Advanced. El marco de simulación dada contiene modelos de propagación y el sistema así como los valores recomendados para los parámetros necesarios.

Modelos de Propagación

Zonas de cobertura pequeñas pueden conducir a alta densidad de nodos de acceso y considerablemente altos costos para los operadores. Por lo tanto, es importante para validar las implementaciones de NR en diferentes entornos de radio y dar pautas a los costes de despliegue esperados. Debido a los crecientes requerimientos de velocidad, es igualmente importante para investigar el rendimiento de NR en diferentes escenarios de propagación.

Se reconoció temprano en 3GPP elemento estudio LTE-Advanced que el modelado de la propagación es de importancia esencial en el diseño y la evaluación de diferentes implementaciones de NR. Este hecho se refleja en la discusión 3GPP en el modelo de pérdida de trayecto dependiente de la distancia que estaba abierto por un largo tiempo durante el cual el modelo se cambió varias veces. El primer modelo, de pendiente única consiste solamente en un componente sin línea de vista non-line-of-sight (NLOS) y se basa en la Recomendación UIT-R Urban micromodel. En la tabla 8 supone que tanto los UE y RNs siempre experimentan NLOS por tanto, se desarrolló el siguiente modelo:

$$PL = PL_0 + 10 \cdot n \cdot \log_{10}(R) \quad (5)$$

En los modelos individuales como Okumura-Hata, el término constante PL_0 contiene el impacto de factores tales como la frecuencia de la portadora, y alturas de antena en el eNB y el UE, mientras que la pérdida de trayectoria exponente n por lo general no depende de la altura de la antena de terminal. El modelo en (5) es factible para las zonas densamente pobladas, cuando un UE está en el nivel de la calle y la probabilidad de línea de vista (LOS) es pequeño. En la Tabla 2.4, se dan los parámetros para modelos de 3GPP de pérdida de trayecto. Se ve que la diferencia entre los términos constantes en los enlaces directos (eNB-UE) y (eNB-RN) es 3,6 dB. Esto es debido al hecho de que se espera que los NR se eleven a 5 m del nivel del suelo. El modelo de pérdida de trayectoria NR-UE muestra la atenuación más agresiva como resultado de la baja altura de la antena NR.

Tabla 2.5: Parámetros para Modelos 3GPP de Pérdida de Trayecto Escenario 1

eNB-UE Link	RN-UE Link	eNB-RN Link
PL = 128.1 + 37.6 log10	PL = 140.7 + 36.7 log10	PL = 124.5 + 37.6 log10

El modelo de pendiente única, sin embargo, es pesimista, ya que no tiene en cuenta el hecho de que al estar en condiciones de LOS es cada vez más probable cuando los tamaños celulares son cada vez más pequeños. Esto es especialmente cierto cuando los UE están conectados a NR. Por lo tanto, la hipótesis de considerar exclusivamente una conexión NLOS puede ser válida sólo en las ciudades densamente pobladas. En el marco de evaluación 3GPP, los usuarios se supone que son el interior y el modelo de canal deben aplicarse allí donde se determina la pérdida de trayectoria hacia el edificio antes de la adición de la pérdida de la penetración. En muchos escenarios, hay una conexión LOS o, al menos, una dirección claramente dominante en el canal entre el NR y el edificio donde está situado el UE. Por lo tanto, el enlace sufre de pérdida de trayectoria más pequeña.

Para hacer frente a las características de propagación anteriormente expuestas, un modelo de doble pendiente probabilística fue propuesto en para el enlace RN-UE. El modelo dado en (6) no es un modelo de doble pendiente convencional, que considera el punto de interrupción a través de una probabilidad y se basa en mediciones.

$$\begin{aligned}
 PL &= \text{Prob}(\text{LOS}) \cdot PL(\text{LOS}) + \text{Prob}(\text{NLOS}) \cdot PL(\text{NLOS}), \\
 PL(\text{LOS}) &= PL_{\text{LOS}} + 10 \cdot n_{\text{LOS}} \cdot \log_{10}(R), \\
 PL(\text{NLOS}) &= PL_{\text{NLOS}} + 10 \cdot n_{\text{NLOS}} \cdot \log_{10}(R). \tag{6}
 \end{aligned}$$

El modelo correspondiente, en la tabla 2.5, se asume un modelado de canal de acceso mezclado LOS / NLOS. La pérdida de trayectoria en el enlace de acceso es una

combinación ponderada de los componentes LOS y NLOS, donde el factor de ponderación baja mientras la distancia entre UE-RN.aumenta.

Tabla 2.6: Modelo Doble Pendiente de Perdida de Trayecto Escenario 2

eNB-UE Link
PL = 128.1 + 37.6 log ₁₀ (R)
RN-UE Link
PL = Prob(LOS) PL(LOS) + [1-Prob(LOS)] PL(NLOS) PL(LOS): 103.8 + 20.9 log ₁₀ (R), PL(NLOS): 145.4 + 37.5 log ₁₀ (R)
ISD 500 m-Urban Model
Prob(LOS) = 0.5 – min(0.5, 5 exp(-0.156/R)) + min (0.5,5 exp(-R/0.03))
ISD 1732 m-Rural Model
Prob(LOS) = 0.5 – min(0.5, 3 exp(-0.3/R))+min (0.5, 3 exp(-R/0.095))
eNB-RN Link
PL = 124.5 + 37.6 log ₁₀ (R)

Por último, el escenario de propagación en Tabla10, considera entornos con mejores condiciones de propagación, en comparación con los dos modelos anteriores. En el cual se aplica un modelo de doble pendiente probabilístico en los tres enlaces. Se define una función de probabilidad LOS contra la distancia del UE-eNB o UE-RN y de acuerdo a un factor de probabilidad aleatoria, el UE podría tener condiciones de propagación de LOS o NLOS. El modelo, por lo tanto, representa el caso en el que los UE están en condiciones de LOS con su eNB o RN.

Los escenarios reflejan tres diferentes condiciones de propagación posibles donde los NR pueden ser desplegados.

Tabla 2.7: Modelo Doble Pendiente de Perdida de Trayecto Escenario 3

eNB-UE Link	
PL(LOS): 103.4 + 24.2 log ₁₀ (R), PL(NLOS): 131.1 + 42.8 log ₁₀ (R)	
ISD 500 m-Urban Model	
Prob(LOS) = min(0.018/R, 1)(1- exp(-R/0.063))+ exp(-R/0.063)	
ISD 1732 m-Suburban Model	
Prob (LOS) = exp(-(R - 0.01)/0.2)	
RN-UE Link	
PL(LOS): 103.8 + 20.9 log ₁₀ (R), PL(NLOS): 145.4 + 37.5 log ₁₀ (R)	
ISD 500 m-Urban Model	
Prob(LOS) = 0.5 - min(0.5, 5 exp(-0.156/R))+ min(0.5, 5 exp(-R/0.03))	
ISD 1732 m-Suburban Model	
Prob(LOS) = 0.5 - min(0.5, 3 exp(-0.3/R)) + min(0.5, 3 exp(-R/0.095))	
eNB-RN Link	
PL(LOS): 100.7 + 23.5 log ₁₀ (R), PL(NLOS): 125.2 + 36.3 log ₁₀ (R)	
ISD 500 m-Urban Model	
Prob(LOS) = min(0.018/R, 1)(1- exp(-R / 0.072)) + exp(-R/0.072)	
ISD 1732 m-Suburban Model	
Prob(LOS) = exp(-(R - 0.01)/0.23)	

El rendimiento de enlace en el sistema se calcula a partir de la señal-interferencia a ruido (SINR) mediante el uso de la siguiente formula:

$$TP = BW \cdot B_{\text{eff}} \cdot \log_2\left(1 + \frac{\text{SINR}}{\text{SINR}_{\text{eff}}}\right), \quad (7)$$

donde BW es el ancho de banda de operación del sistema, B_{eff} es la eficiencia de ancho de banda y $SINR_{eff}$ es la eficiencia de la señal de interferencia a ruido. El ancho de banda y $SINR_{eff}$ dependen de la configuración de la antena, y se aplican los valores que se dan en la Tabla 2.8. En las simulaciones, hemos utilizado un límite de -7 dB en $SINR_{eff}$ por lo cual el UE estará en corte si experimenta niveles $SINR$ menos de -7 dB. Este límite se introdujo debido a los requerimientos de control de canal.

Tabla 2.8: Parámetros de Referencia

Parameter	Value
System Parameters	
Carrier Frequency	2 GHz
Bandwidth	10 MHz
Highest Modulation Scheme	64-QAM ($R = 9/10$)
Penetration Loss	20 dB on eNB-UE and RN-UE links
Bandwidth Efficiency	0.88
SINR Efficiency	1.25
Thermal Noise PSD	-174 dBm/Hz
SINR lower bound	-7 dB
eNB Parameters	
eNB Transmit Power	46 dBm
eNB Elevation	32 m
eNB Antenna Gain	14 dBi
eNB Antenna Configuration	Tx-2, Rx-2
eNB Noise Figure	5 dB
eNB Antenna Pattern	$A(\theta) = -\min[12 (\theta/\theta_{3dB})^2, A_m]$ $\Theta_{3dB} = 70^\circ \text{ and } A_m = 25 \text{ dB}$

Tabla 2.8: Parámetros de Referencia (Cont.)

UE Parameters	
UE Antenna Configuration	Tx-1, Rx-2
UE Antenna Gain	0 dBi
UE Height	1.5 m
UE Noise Figure	9 dB
Relay Node Parameters	
RN Transmit Power	30 dBm
RN Elevation	5 m
RN Antenna Configuration	Tx-2, Rx-2
RN-eNB Antenna Gain	7 dBi
RN-UE Antenna Gain	5 dBi
RN Antenna Pattern	Omni-directional
RN Noise Figure	5 dB

CAPITULO III

AGREGACION DE PORTADORA (CA) LTE-A

INTRODUCCION

La primera versión de LTE se completó en marzo de 2009 como parte del 3rd Generation Partnership Project (3GPP) Rel-8. LTE se basa en una arquitectura de red de acceso de radio plana sin un componente de red centralizado. LTE ofrece opciones de ancho de banda flexibles que van desde 1,4 a 20 MHz utilizando el acceso múltiple ortogonal de división de frecuencia (OFDMA) en el enlace descendente y el acceso múltiple de división de frecuencia (SC-FDMA) de una sola portadora en el enlace ascendente.

En marzo de 2008, 3GPP comenzó un nuevo artículo de estudio para desarrollar LTE hacia LTE-Advanced dirigiéndose a los requisitos IMT-Advanced según lo definido por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU). El artículo de estudio LTE-Advanced fue cerrado en marzo de 2010. El resultado fue un conjunto de nuevas funciones de radio, que actualmente están estandarizadas para formar parte de LTE-Advanced. CA es una de las principales características de LTE-Advanced en Rel-10 para cumplir con los requisitos de velocidad máxima de datos de IMT-Advanced: 3 Gbps DL y 1,5 Gbps UL¹. Con CA, los usuarios obtienen acceso a un ancho de banda total de hasta 100 MHz para cumplir con los requisitos IMT-Advanced. El ancho de banda del sistema puede ser contiguo o compuesto por varios segmentos de ancho de banda no contiguos que se agregan. CA está diseñado para ser compatible con versiones anteriores, lo que significa que los usuarios Rel-8 y Rel-9 heredados deberían poder coexistir con LTE-Advanced en al menos parte del ancho de banda total.

¹ From: <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced>

3.1 TENDENCIAS, HITOS EN CA

Los operadores móviles continúan buscando soluciones eficientes y rentables para soportar la alta demanda de datos y servicios de próxima generación. El espectro sigue siendo un factor limitante. La mayoría de los operadores tienen asignaciones de espectro de menos de 20 MHz de espectro contiguo o tienen múltiples bandas o bloques de espectro no contiguos. Como solución, los operadores de todo el mundo están adoptando la tecnología CA, que es una de las principales características de LTE-Advanced en Rel-10. A largo plazo, CA permitirá a los operadores cumplir con los requisitos máximos de IMT-Advanced: 3 Gbps DL y 1,5 Gbps UL.

Aunque se trata de una tecnología relativamente nueva, CA ya tiene una importante trayectoria en el mercado. Algunos ejemplos:

- ✓ Los primeros despliegues comerciales de CA fueron en 2013 en Corea del Sur, donde SK Telecom agregó 20 MHz de espectro de 800MHz y 1.8GHz para alcanzar velocidades máximas de DL de 150Mbps. LG UPlus seguido un mes después [14].
- ✓ En noviembre de 2013, EE en la U.K. lanzó 40 MHz de CA entre bandas con velocidades teóricas de 300 Mbps [15]. El operador móvil australiano Optus fue el primero en desplegar CA en una red TD-LTE en diciembre de 2013 [16]. Varios otros operadores celebraron ensayos o anunciaron planes para desplegar CA como A1 Telekom en Austria, Softbank Japón, CSL Limited Hong Kong y Telstra Australia [17].

En Norteamérica, AT & T anunció la capacidad de CA en Chicago y planea que otros mercados agreguen espectro de 2100 MHz y 700 MHz para entregar 15 MHz de espectro DL [20]. Sprint planea utilizar CA como parte del servicio Sprint Spark para combinar el espectro LTE a través del espectro de 800 MHz, 1900 MHz y 2,5 GHz. T-Mobile y Verizon planean usar la agregación de portadoras para mejorar aún más sus tenencias de espectro AWS.

- ✓ Apple, Samsung, LG y HTC han lanzado dispositivos compatibles con CA, como el Samsung Galaxy S 4, la Nota 3, el LG Pro2, el HTC One M8 y el iPhone de Apple 6 y 6 Plus [14], [17], [20], [21].

Los despliegues iniciales de CA en la red y en los dispositivos se han limitado principalmente a dos carriers. Sin embargo, hay planes para desplegar tres carriers a partir de 2015. CA con tres carriers se demostró con éxito a principios de 2014 por operadores como SK Telecom, LG UPlus y Telstra [16], [17], [18], [19].

CA también tiene un gran potencial para desarrollos futuros tales como el aumento del número de portadores de componentes, bandas y anchos de banda, permitiendo la agregación de FDD, TDD, espectro licenciado y sin licencia. En septiembre de 2014, China Telecom anunció la conclusión exitosa de una demostración de CA FDD-TDD. [22].

3.2 ESTATUS CA EN Rel. 11, 12 y 13

Proceso de Definición de Combinaciones de CA

Las combinaciones de CA se especifican dentro del Grupo de trabajo 3GPP RAN 4. Los requisitos de UE se definen en la Especificación Técnica (TS) 36.101, mientras que los requisitos de Estación de Base (BS) se especifican en TS 36.104. Antes de que los requisitos de UE y BS se especifiquen en especificaciones relevantes, el elemento de trabajo de CA (WI) debe abrirse en RAN de 3GPP. Esto requiere la presentación de una descripción de elemento de trabajo (WID), que contiene detalles relacionados con la combinación de CA propuesta que se especificará. Esta información incluye qué bandas de frecuencia se agregarán, los anchos de banda de canal considerados para esta combinación y la línea de tiempo para definir esto en 3GPP. Para abrir WI en 3GPP, se requiere el soporte de al menos cuatro miembros 3GPP. Una vez que se abre una nueva WI, el trabajo técnico se lleva a cabo en 3GPP RAN4, incluyendo el análisis de armónicos y de productos de intermodulación, así como el impacto en los requisitos de UE y BS. Una vez alcanzado el consenso, se proponen para su aprobación las solicitudes de cambio (RC) a la especificación pertinente. Con el acuerdo del 3GPP RAN4, CRs son formalmente aprobados en 3GPP RAN, WI está cerrado y se crean nuevas versiones de especificaciones.

La Tabla 3.1 describe las bandas de frecuencia LTE definidas en 3GPP² a las que se hará referencia a lo largo de este documento.

² From: 3GPP TS 36.101 V12.4.0 (2014-06), “User Equipment (UE) radio transmission and reception, (Release 12)”

Tabla 3.1: Frecuencias de Operación LTE

LTE Operating Band	Uplink (UL) operating band BS receive UE transmit		Downlink (DL) operating band BS transmit UE receive		Duplex Mode
	F_{UL_low}	F_{UL_high}	F_{DL_low}	F_{DL_high}	
1	1920 MHz	1980 MHz	2110 MHz	2170 MHz	FDD
2	1850 MHz	1910 MHz	1930 MHz	1990 MHz	FDD
3	1710 MHz	1785 MHz	1805 MHz	1880 MHz	FDD
4	1710 MHz	1755 MHz	2110 MHz	2155 MHz	FDD
5	824 MHz	849 MHz	869 MHz	894 MHz	FDD
6 ¹	830 MHz	840 MHz	875 MHz	885 MHz	FDD
7	2500 MHz	2570 MHz	2620 MHz	2690 MHz	FDD
8	880 MHz	915 MHz	925 MHz	960 MHz	FDD
9	1749.9 MHz	1784.9 MHz	1844.9 MHz	1879.9 MHz	FDD
10	1710 MHz	1770 MHz	2110 MHz	2170 MHz	FDD
11	1427.9 MHz	1447.9 MHz	1475.9 MHz	1495.9 MHz	FDD
12	699 MHz	716 MHz	729 MHz	746 MHz	FDD
13	777 MHz	787 MHz	746 MHz	756 MHz	FDD
14	788 MHz	798 MHz	758 MHz	768 MHz	FDD
15	Reserved		Reserved		FDD
16	Reserved		Reserved		FDD
17	704 MHz	716 MHz	734 MHz	746 MHz	FDD
18	815 MHz	830 MHz	860 MHz	875 MHz	FDD
19	830 MHz	845 MHz	875 MHz	890 MHz	FDD

Tabla 3.1: Frecuencias de Operación LTE (Cont.)

20	832 MHz	–	862 MHz	791 MHz	–	821 MHz	FDD
21	1447.9 MHz	–	1462.9 MHz	1495.9 MHz	–	1510.9 MHz	FDD
22	3410 MHz	–	3490 MHz	3510 MHz	–	3590 MHz	FDD
23	2000 MHz	–	2020 MHz	2180 MHz	–	2200 MHz	FDD
24	1626.5 MHz	–	1660.5 MHz	1525 MHz	–	1559 MHz	FDD
25	1850 MHz	–	1915 MHz	1930 MHz	–	1995 MHz	FDD
26	814 MHz	–	849 MHz	859 MHz	–	894 MHz	FDD
27	807 MHz	–	824 MHz	852 MHz	–	869 MHz	FDD
28	703 MHz	–	748 MHz	758 MHz	–	803 MHz	FDD
29	N/A			717 MHz	–	728 MHz	FDD ²
30	2305 MHz	–	2315 MHz	2350 MHz	–	2360 MHz	FDD
31	452.5 MHz	–	457.5 MHz	462.5 MHz	–	467.5 MHz	FDD
32	N/A			1452 MHz	–	1496 MHz	FDD ²
33	1900 MHz	–	1920 MHz	1900 MHz	–	1920 MHz	TDD
34	2010 MHz	–	2025 MHz	2010 MHz	–	2025 MHz	TDD
35	1850 MHz	–	1910 MHz	1850 MHz	–	1910 MHz	TDD
36	1930 MHz	–	1990 MHz	1930 MHz	–	1990 MHz	TDD
37	1910 MHz	–	1930 MHz	1910 MHz	–	1930 MHz	TDD
38	2570 MHz	–	2620 MHz	2570 MHz	–	2620 MHz	TDD
39	1880 MHz	–	1920 MHz	1880 MHz	–	1920 MHz	TDD
40	2300 MHz	–	2400 MHz	2300 MHz	–	2400 MHz	TDD

Tabla 3.1: Frecuencias de Operación LTE (Cont.)

41	2496 MHz	2690 MHz	2496 MHz	2690 MHz	TDD
42	3400 MHz	– 3600 MHz	3400 MHz	– 3600 MHz	TDD
43	3600 MHz	– 3800 MHz	3600 MHz	– 3800 MHz	TDD
44	703 MHz	– 803 MHz	703 MHz	– 803 MHz	TDD
NOTE 1: Band 6 is not applicable					
NOTE 2: Restricted to E-UTRA operation when Carrier Aggregation is configured. The downlink operating band is paired with the uplink operating band (external) of the Carrier Aggregation configuration that is supporting the configured Pcell.					

3.3 CONFIGURACIONES PARA CA

Las combinaciones de CA se dividen en intrabandas (contiguas y no contiguas) e interbandas. Las combinaciones contiguas e interbandas entre bandas, que agregan dos Component Carriers (CCs) en enlace descendente, se especifican a partir de la Versión 10. La configuración CA contigua intrabanda se refiere a portadoras contiguas agregadas en la misma banda operativa. La configuración CA no contigua intrabanda se refiere a portadoras no contiguas agregadas en la misma banda operativa. La configuración CA entre bandas se refiere a la agregación de portadores de componentes en diferentes bandas operativas, donde los portadores agregados en cada banda pueden ser contiguos o no contiguos. La separación entre las frecuencias centrales de dos CCs contiguos es $N \times 300$ kHz, donde $N =$ número entero, y para los casos no contiguos, los CC están separados por uno o más huecos de frecuencia.

3GPP Rel-10 es el primer lanzamiento para apoyar CA. Define una variedad limitada de configuraciones CA, incluyendo: CA contigua intrabanda para las bandas 1 (FDD) y 40 (TDD) denominada CA_1C y CA_40C respectivamente y una CA entre bandas entre las bandas 1 y 5, denominada CA_1A-5A.

3GPP Rel-11 ofrece muchas más configuraciones de CA, incluyendo CA intra-banda no contigua y banda 29 para CA inter-band, que también se conoce como DL suplementaria. La banda 29 es una banda FDD especial en Rel-11 que tiene sólo un componente DL y ningún componente UL. La intención es que esta banda esté disponible sólo para expansión de ancho de banda y mantenga la funcionalidad de la célula secundaria DL (SCell). Esta célula de servicio se denomina célula primaria (PCell). En el enlace descendente, el portador correspondiente al PCell es el portador de componente principal de enlace descendente (DL PCC), mientras que en el enlace ascendente es el portador de componente primario de enlace ascendente (UL PCC). Otras células de servicio se denominan células secundarias (SCells) y se utilizan para la expansión del ancho de banda para el UE particular. Hay que señalar que existen diferencias adicionales en la funcionalidad.

La versión 12 incluirá CA de bandas de frecuencia FDD y TDD, así como soporte para la agregación de dos CCs UL y tres CC CC. Tenga en cuenta que aunque se especifican ciertas combinaciones de CA en versiones posteriores, éstas son independientes de la versión y pueden ser compatibles con equipos de versiones anteriores debido a la señalización compatible con versiones anteriores. 3GPP Rel-12 ofrece la agregación de tres DL CCs, soporte para configuraciones de CA para banda UL e intrabanda no contiguos y soporte de banda 32 (1.5GHz L Band), que tiene un componente DL solamente y capacidades mejoradas que Están todavía en estudio.

La Figura 3.1 presenta el estado de la liberación de 3GPP para la agregación de portadores a partir de septiembre de 2014. La Figura 3.2 presenta las bandas de CA en Re-10 y Rel-11 y la Figura 3.3 presenta las bandas de CA en Rel-12 a septiembre de 2014.

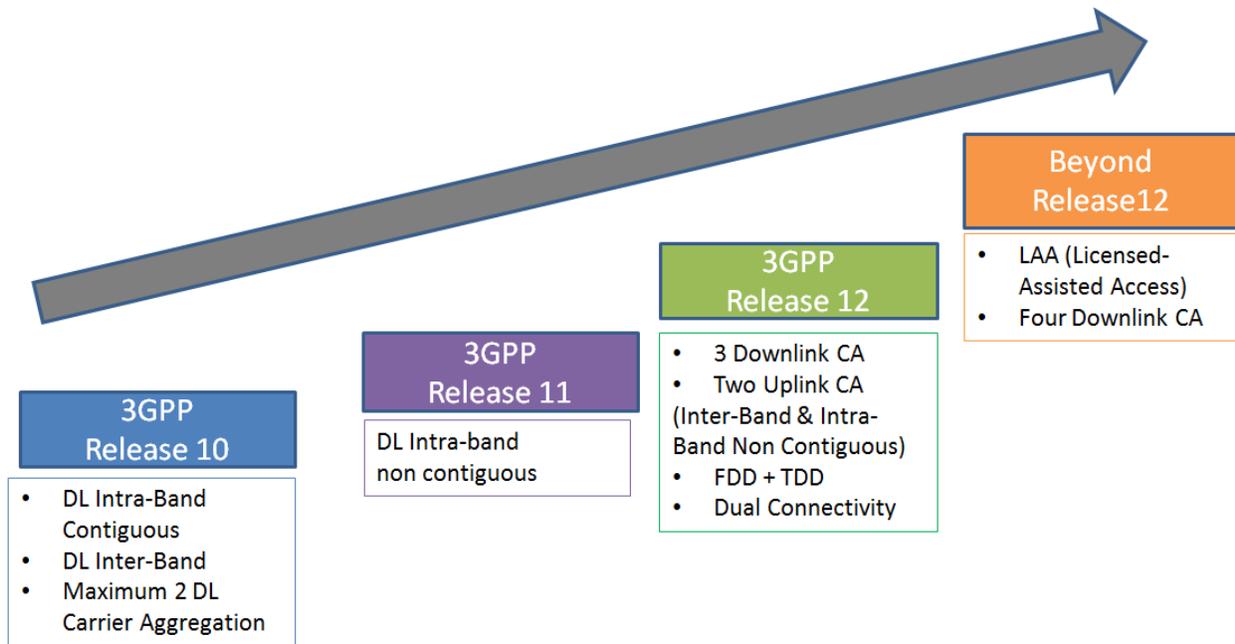


Fig. 3.1: 3GPP Status de diferentes Rel. Para CA.

Carrier aggregation bands in 3GPP Rel-10
(Source: TS36.104)

Intra-band contiguous CA (2DL/2UL):

CA Band	E-UTRA operating band
CA_C 1	1
CA_C 40	40

Inter-band CA (2DL/1UL):

CA Band	E-UTRA operating bands
CA_1-5	1
	5

Carrier Aggregation bands in 3GPP Rel-11

Inter-band CA (2DL/1UL):

CA Band	E-UTRA operating band	Requested by
CA_1-19	1+19	NTT DOCOMO
CA_3-7	3+7	TeliaSonera
CA_4-13	4+13	Verizon Wireless
CA_4-17	4+17	AT&T
CA_7-20	7+20	Orange et al
CA_5-12	5+12	US Cellular
CA_4-12	4+12	Cox Communication
CA_2-17	2+17	AT&T
CA_4-5	4+5	AT&T
CA_5-17	5+17	AT&T
CA_3-5	3+5	SK Telecom
CA_4-7	4+7	Rogers Wireless
CA_3-20	3+20	Vodafone
CA_8-20	8+20	Vodafone
CA_1-18	1+18	KDDI
CA_1-21	1+21	NTT DOCOMO
CA_11-18	11+18	KDDI
CA_3-8	3+8	KT
CA_2-29	2+29	AT&T
CA_4-29	4+29	AT&T

Intra-band contiguous and DL non-contiguous CA:

CA Band	E-UTRA operating band	Requested by
CA_C 41	41 (2DL/2UL)	Clearwire, CMCC,...
CA_C 38	38 (2DL/2UL)	CMCC
CA_C 7	7 (2DL/2UL)	CUC, CT, Telenor et al
CA_NC B25	25 (2DL/1UL)	Sprint
CA_NC B41	41 (2DL/1UL)	CMCC

Fig. 3.2: 3GPP CA Bands para Rel. 10 y 11.



Fig. 3.3: 3GPP CA Bands en Rel. 12.

3GPP definió un máximo de cinco portadores de componentes que pueden ser agregados. Por lo tanto, el ancho de banda máximo agregado es de 100 MHz. CA puede ser utilizado por ambas estructuras de marco LTE; Lo que significa tanto FDD como TDD, y se puede habilitar tanto para la dirección DL como para la UL.

La Figura 3.4 ilustra las principales diferencias entre los modos FDD y TDD.

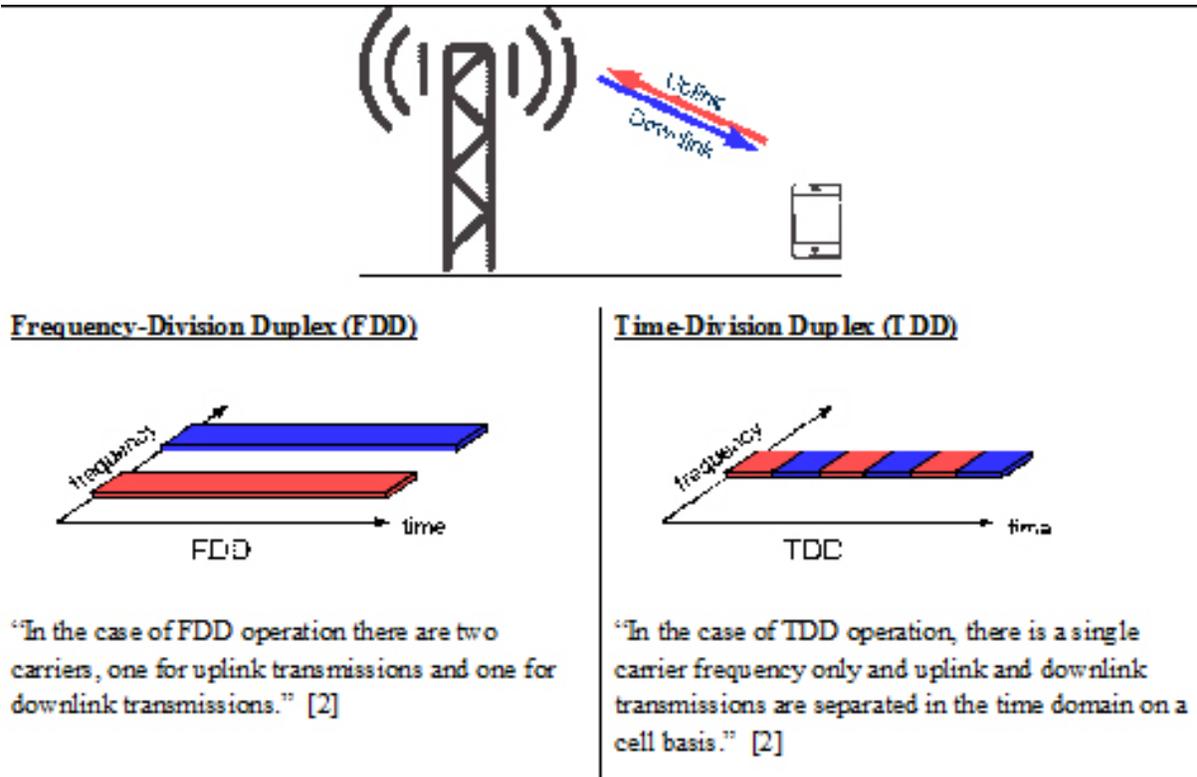


Fig. 3.4: Diferencias entre FDD y TDD.

En FDD, el número de portadores agregados puede ser diferente en DL y UL, que también se conoce como configuración asimétrica. Sin embargo, el número de portadores de componentes UL es siempre igual o inferior al número de portadores de componentes DL. En el caso general, los portadores de componentes individuales de DL y UL también pueden ser de anchos de banda diferentes. Sin embargo, en Rel-10, Rel-11 y Rel-12, existen limitaciones que requieren que el ancho de banda de CC de UL sea el mismo que el ancho de banda de CC de DL. Los mismos requisitos se aplican para TDD. La Figura 3.5 ilustra las diferentes configuraciones CA.

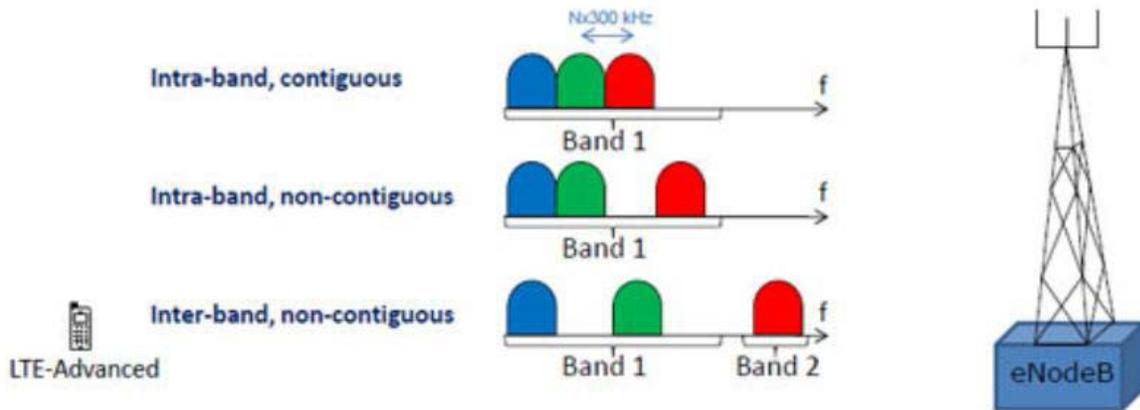


Fig. 3.5: Configuraciones para CA

La variedad posible de combinaciones de agregación de CC ofrece una flexibilidad significativa para la utilización eficiente del espectro y el re-cultivo gradual de frecuencias previamente utilizadas por otros sistemas, como GSM y UMTS. La combinación de portadores de componentes se denomina configuración CA.

CONTIGUOS Y NO CONTIGUOS INTRA-BAND CA

Con el ancho de banda de canal máximo actual en 3GPP limitado a 20 MHz en LTE y LTE-Advanced, la CA intrabandas proporciona un camino a anchos de banda más amplios. Debido a la similitud de las frecuencias y las características de propagación, la CA intrabanda se utiliza principalmente para mejorar la capacidad en lugar de la cobertura. La CA intrabanda puede ser contigua, no contigua o una combinación de contigua y no contigua.

Clases y Anchos de Bandas en CA Contiguas

Las combinaciones de CA contiguas se definen en 3GPP TS 36.101. La clase de ancho de banda depende del número de bloques de recursos físicos (PRB) y el número de portadores de componentes. La configuración de la CA indica una combinación de banda (s) operativa LTE y clase (s) de ancho de banda CA. La clase de ancho de banda de CA indica una combinación de ATBC máximo y número máximo de CC,

donde ATBC es la configuración de ancho de banda de transmisión agregada que es igual al número total de PRB agregados. Las bandas de guarda se definen específicamente para CA contiguas, basadas en el portador de componentes más amplio en la configuración de CA.

La Tabla 3.2 presenta las clases de ancho de banda CA y bandas de guarda nominales correspondientes. Como se puede observar, un máximo de tres CC está ya disponible, mientras que un uso de cuatro CCs se espera que esté disponible en versiones futuras después de estudio adicional.

Tabla 3.2: Clases de ancho de banda de CA y bandas de protección nominal correspondientes³.

CA Bandwidth Class	Aggregated Transmission Bandwidth Configuration	Number of contiguous CC	Nominal Guard Band BW_{GB}
A	$N_{RB,agg} \leq 100$	1	$a_1 BW_{Channel(1)} - 0.5 \Delta f_1$ (NOTE 2)
B	$25 < N_{RB,agg} \leq 100$	2	$0.05 \max(BW_{Channel(1)}, BW_{Channel(2)}) - 0.5 \Delta f_1$
C	$100 < N_{RB,agg} \leq 200$	2	$0.05 \max(BW_{Channel(1)}, BW_{Channel(2)}) - 0.5 \Delta f_1$
D	$200 < N_{RB,agg} \leq 300$	3	$0.05 \max(BW_{Channel(1)}, BW_{Channel(2)}, BW_{Channel(3)}) - 0.5 \Delta f_1$
E	$[300] < N_{RB,agg} \leq [400]$	For Further Study (FFS)	FFS
F	$[400] < N_{RB,agg} \leq [500]$	FFS	FFS
NOTE 1: $BW_{Channel(j)}$, $j = 1, 2, 3$, is the channel bandwidth of an E-UTRA component carrier according to Table 5.6-1 and $\Delta f_1 = \Delta f$ for the downlink with Δf the subcarrier spacing while $\Delta f_1 = 0$ for the uplink.			
NOTE 2: $a_1 = 0.16/1.4$ for $BW_{Channel(1)} = 1.4$ MHz whereas $a_1 = 0.05$ for all other channel bandwidths.			

Espaciado de canales en CA intrabanda

El espaciado de canales entre dos o más portadores agregados adyacentes contiguos se define mediante la siguiente ecuación:

³ From: 3GPP TS 36.101 V12.4.0 (2014-06), “User Equipment (UE) radio transmission and reception, (Release 12)”.

$$\text{Nominal channel spacing} = \left\lceil \frac{BW_{\text{Channel}(1)} + BW_{\text{Channel}(2)} - 0.1|BW_{\text{Channel}(1)} - BW_{\text{Channel}(2)}|}{0.6} \right\rceil 0.3 \text{ [MHz]}$$

Las especificaciones 3GPP también permiten un espaciado más estrecho que nominal. Sin embargo, para mantener la ortogonalidad entre tonos OFDM de 15 kHz y también mantener compatibilidad hacia atrás, la separación de canales debe ser un múltiplo entero de 15 kHz y 100 kHz; Es decir, 300 kHz (mínimo múltiple común [15,100] = 300). Se ha definido un mínimo espaciamiento de canal para cada ancho de banda de portadora. Sin embargo, sólo se ha verificado el espaciamiento nominal y se garantiza su funcionamiento.

La información complementaria a la configuración de CA es los anchos de banda de canal soportados por banda de funcionamiento y las combinaciones aplicables del CC agregado de acuerdo con el uso de ancho de banda para cada CC. Esta información es dada por el conjunto de combinación de ancho de banda y se define para cada configuración de CA. Podría haber más de un conjunto de combinación de ancho de banda aplicable por configuración de CA. Los conjuntos de combinación de ancho de banda soportados reales se indican por combinación de bandas / configuración de CA soportadas en la capacidad de acceso de radio del UE.

Para ejemplificar la convención de nomenclatura de una configuración de CA y el uso del conjunto de combinaciones de ancho de banda, nos referimos a la configuración CA_1C, que está disponible en 3GPP Rel-10. Esta configuración de CA establece que el UE puede operar en la Banda 1, con dos portadoras de componentes continuos, con un máximo de 200 RBs. El conjunto de combinación de ancho de banda establece entonces que la asignación de esos 200 RB puede ser de 75 RBs en ambos CCs o 100RBs en ambos CCs. La Figura 4 muestra las convenciones de nomenclatura.

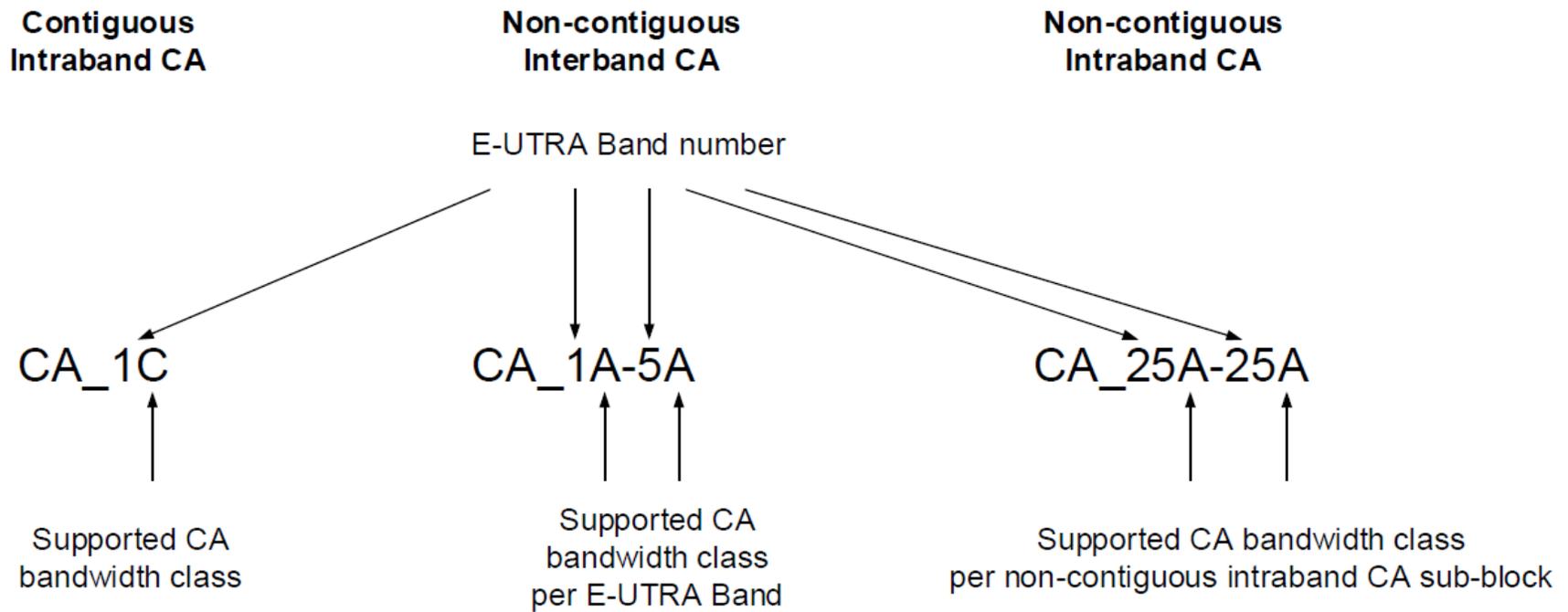


Fig. 3.6: Convenciones para Nombrar las configuraciones de CA

En las Tablas 3.3 y 3.4 se presentan el status para las diferentes combinaciones de CA utilizadas en los diferentes casos para intra-band contiguas y non-contiguous intra-band. Junio 2014 [Source: 3GPP TS 36.101 V12.4.0 (2014-06), “User Equipment (UE) radio transmission and reception, (Release 12)”].

Tabla 3.3: LTE CA Configuraciones y combinaciones de Ancho de Banda para conjuntos definidos de “Intra-Band Contiguous CA”.

LTE CA configuration / Bandwidth combination set					
E-UTRA CA configuration	Component carriers in order of increasing carrier frequency			Maximum aggregated bandwidth [MHz]	Bandwidth combination set
	Allowed channel bandwidths for carrier [MHz]	Allowed channel bandwidths for carrier [MHz]	Allowed channel bandwidths for carrier [MHz]		
CA_1C	15	15		40	0
	20	20			
CA_3C	5, 10, 15	20		40	0
	20	5, 10, 15, 20			
CA_7C	15	15		40	0
	20	20			
	10	20		40	1
	15	15, 20			
	20	10, 15, 20			
CA_23B	10	10		20	0
	5	15			
CA_27B	1.4, 3, 5	5		13	0
	1.4, 3	10			
CA_38C	15	15		40	0
	20	20			
CA_39C	5,10,15	20		35	0
	20	5, 10, 15			
CA_40C	10	20		40	0
	15	15			
	20	10, 20			
CA_41C	10	20		40	0
	15	15, 20			
	20	10, 15, 20			
	5, 10	20		40	1
	15	15, 20			
	20	5, 10, 15, 20			
CA_40D	10, 20	20	20	60	0
	20	10	20		
	20	20	10		
CA_41D	10	20	15	60	0
	10	15, 20	20		

Tabla 3.3 (Cont.): LTE CA Configuraciones y combinaciones de Ancho de Banda para conjuntos definidos de “Intra-Band Contiguous CA”.

	15	20	10, 15		
	15	10, 15, 20	20		
	20	15, 20	10		
	20	10, 15, 20	15, 20		
CA_42C	5, 10, 15, 20	20	5, 10, 15, 20	40	0
	20	5, 10, 15	20		

NOTE 1: The CA configuration refers to an operating band and a CA bandwidth class specified in Table 5.6A-1 (the indexing letter). Absence of a CA bandwidth class for an operating band implies support of all classes.

NOTE 2: For the supported CC bandwidth combinations, the CC downlink and uplink bandwidths are equal

Tabla 3.4: LTE CA Configuraciones y combinaciones de Ancho de Banda para conjuntos definidos de “Non-Contiguous Intra-Band CA”.

LTE CA configuration / Bandwidth combination set				
LTECA configuration	Component carriers in order of increasing carrier frequency		Maximum aggregated bandwidth [MHz]	Bandwidth combination set
	Allowed channel bandwidths for carrier [MHz]	Allowed channel bandwidths for carrier [MHz]		
CA_2A-2A	5, 10, 15, 20	5, 10, 15, 20	40	0
CA_3A-3A	5, 10, 15, 20	5, 10, 15, 20	40	0
CA_4A-4A	5, 10, 15, 20	5, 10, 15, 20	40	0
CA_7A-7A	5	15	40	0
	10	10, 15		
	15	15, 20		
	20	20		
CA_23A-23A	5	10	15	0
CA_25A-25A	5, 10	5, 10	20	0
CA_41A-41A	10, 15, 20	10, 15, 20	40	0
	5, 10, 15, 20	5, 10, 15, 20	40	1
CA_41A-41C	5, 10, 15, 20	See Table 5.6A.1-1	60	0
CA_41C-41A	See Table 5.6A.1-1	5, 10, 15, 20	60	0
CA_42A-42A	5, 10, 15, 20	5, 10, 15, 20	40	0

INTER-BAND CA

Los operadores suelen poseer espectro en bandas múltiples. Por lo tanto, la CA entre bandas es una tecnología eficiente para combinar sus recursos de espectro para aumentar las velocidades de datos. Además de proporcionar a los operadores una nueva y poderosa herramienta para aprovechar al máximo sus recursos de espectro, la CA entre bandas también mejora la cobertura en el escenario en el que los portadores de dos componentes están diseñados para variar la cobertura. La CA entre bandas se refiere a la agregación de portadoras de componentes pertenecientes a diferentes bandas de frecuencia. Cada configuración de CA entre bandas se define mediante un conjunto de combinación de ancho de banda y un ancho de banda agregado máximo.

Para fines prácticos, 3GPP limita el número de combinaciones entre bandas definidas a las requeridas por los operadores. La Tabla 3.5 muestra las diferentes combinaciones entre bandas definidas en Rel-12 de las especificaciones 3GPP a partir de junio de 2014⁴.

⁴ From: 3GPP TS 36.101 V12.4.0 (2014-06), “User Equipment (UE) radio transmission and reception, (Release 12)”.

Tabla 3.5: Configuraciones de LTE CA y conjuntos de combinaciones de ancho de banda definidos para CA interbanda.

LTE CA configuration / Bandwidth combination set									
LTE CA Configuration	LTE Bands	1.4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz	Maximum aggregated bandwidth [MHz]	Bandwidth combination set
CA_1A-5A	1				Yes			20	0
	5				Yes				
CA_1A-5A	1			Yes	Yes	Yes	Yes	30	1
	5			Yes	Yes				
CA_1A-8A	1			Yes	Yes	Yes	Yes	30	0
	8			Yes	Yes				
	1			Yes	Yes				
CA_1A-8A	8			Yes	Yes			20	1
	1			Yes	Yes				
CA_1A-11A	1			Yes	Yes	Yes	Yes	30	0
	11			Yes	Yes				
CA_1A-18A	1			Yes	Yes	Yes	Yes	35	0
	18			Yes	Yes	Yes			
	1			Yes	Yes				
CA_1A-18A	18			Yes	Yes			20	1
	1			Yes	Yes				
CA_1A-19A	1			Yes	Yes	Yes	Yes	35	0
	19			Yes	Yes	Yes			
CA_1A-20A	1			Yes	Yes	Yes		25	0
	20			Yes	Yes				
CA_1A-21A	1			Yes	Yes	Yes	Yes	35	0
	21			Yes	Yes	Yes			
CA_1A-26A	1			Yes	Yes	Yes	Yes	35	0
	26			Yes	Yes	Yes			
	1			Yes	Yes				
CA_1A-26A	26			Yes	Yes			20	1
	1			Yes	Yes				
CA_2A-4A	2	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	40	0
	4			Yes	Yes	Yes	Yes		
	2			Yes	Yes			20	1
	4			Yes	Yes				

Tabla 3.5 (Cont.).

CA_2A-5A	2			Yes	Yes	Yes	Yes	30	0
	5			Yes	Yes				
CA_2A-12A	2			Yes	Yes	Yes	Yes	30	0
	12			Yes	Yes				
CA_2A-13A	2			Yes	Yes	Yes	Yes	30	0
	13				Yes				
	2			Yes	Yes			20	1
	13				Yes				
CA_2A-17A	2			Yes	Yes			20	0
	17			Yes	Yes				
CA_2A-29A	2			Yes	Yes			20	0
	29		Yes	Yes	Yes				
	2			Yes	Yes			20	1
	29			Yes	Yes				
	2			Yes	Yes	Yes	Yes	30	2
	29			Yes	Yes				
CA_3A-5A	3				Yes	Yes	Yes	30	0
	5			Yes	Yes				
	3				Yes			20	1
	5			Yes	Yes				
	3			Yes	Yes	Yes	Yes	30	2
	5			Yes	Yes				
CA_3A-7A	3			Yes	Yes	Yes	Yes	40	0
	7				Yes	Yes	Yes		
CA_3A-8A	3				Yes	Yes	Yes	30	0
	8			Yes	Yes				
	3					Yes		20	1
CA_3A-19A	3			Yes	Yes	Yes	Yes	35	0
	19			Yes	Yes	Yes			
CA_3A-20A	3			Yes	Yes	Yes	Yes	30	0
	20			Yes	Yes				
	3			Yes	Yes	Yes	Yes	40	1
	20			Yes	Yes	Yes	Yes		
CA_3A-26A	3			Yes	Yes	Yes	Yes	35	0
	26			Yes	Yes	Yes			
	3			Yes	Yes			20	1
	26			Yes	Yes				
CA_3A-27A	3			Yes	Yes	Yes	Yes	30	0
	27			Yes	Yes				
CA_3A-28A	3			Yes	Yes	Yes	Yes	40	0
	28			Yes	Yes	Yes	Yes		
CA_4A-5A	4			Yes	Yes			20	0
	5			Yes	Yes				
	4			Yes	Yes	Yes	Yes	30	1
	5			Yes	Yes				
CA_4A-7A	4			Yes	Yes			30	0

Tabla 3.5 (Cont.).

	7			Yes	Yes	Yes	Yes		
CA_4A-12A	4	Yes	Yes	Yes	Yes			20	0
	12			Yes	Yes				
	4	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	30	1
CA_4A-13A	4			Yes	Yes	Yes	Yes	30	0
	13				Yes				
	4			Yes	Yes			20	1
CA_4A-17A	4			Yes	Yes			20	0
	17			Yes	Yes				
CA_4A-29A	4			Yes	Yes			20	0
	29		Yes	Yes	Yes				
	4			Yes	Yes			20	1
	29			Yes	Yes				
	4			Yes	Yes	Yes	Yes	30	2
29			Yes	Yes					
CA_5A-7A	5	Yes	Yes	Yes	Yes			30	0
	7				Yes	Yes	Yes		
CA_5A-12A	5			Yes	Yes			20	0
	12			Yes	Yes				
CA_5A-17A	5			Yes	Yes			20	0
	17			Yes	Yes				
CA_5A-25A	5			Yes	Yes			30	0
	25			Yes	Yes	Yes	Yes		
CA_7A-20A	7				Yes	Yes	Yes	30	0
	20			Yes	Yes				
	7				Yes	Yes	Yes	40	1
	20			Yes	Yes	Yes	Yes		
CA_7A-28A	7			Yes	Yes	Yes	Yes	35	0
	28			Yes	Yes	Yes			
CA_8A-20A	8			Yes	Yes			20	0
	20			Yes	Yes				
	8		Yes	Yes	Yes			20	1
	20			Yes	Yes				
CA_8A-40A	8			Yes	Yes			30	0
	40			Yes	Yes	Yes	Yes		
CA_11A-18A	11			Yes	Yes			25	0
	18			Yes	Yes	Yes			
CA_12A-25A	12			Yes	Yes			30	0
	25			Yes	Yes	Yes	Yes		
CA_19A-21A	19			Yes	Yes	Yes		30	0
	21			Yes	Yes	Yes			
CA_20A-32A	20			Yes	Yes			30	0
	32			Yes	Yes	Yes	Yes		
CA_23A-29A	23			Yes	Yes	Yes	Yes	30	0
	29		Yes	Yes	Yes				

Tabla 3.5 (Cont.).

	23			Yes	Yes			20	1
	29		Yes	Yes	Yes				
CA_39A-41A	39				Yes	Yes	Yes	40	0
	41						Yes		

NOTE 1: The CA Configuration refers to a combination of an operating band and a CA bandwidth class specified in Table 5.6A-1 (the indexing letter). Absence of a CA bandwidth class for an operating band implies support of all classes.

NOTE 2: For each band combination, all combinations of indicated bandwidths belong to the set.

NOTE 3: For the supported CC bandwidth combinations, the CC downlink and uplink bandwidths are equal.

3.4 ESQUEMAS DE DESPLIEGUE CA

CA Intra-Band

Tanto los casos Contiguous y non-Contiguous intra-Band para CA, se están desplegando como se describe en los ejemplos siguientes.

EJEMPLO DE CA Contiguous Intra-Band: CA_41D

CA_41D agrega tres portadoras DL para una mayor capacidad, ofreciendo hasta 60 MHz de ancho de banda. Los portadores de componentes deben utilizar el espaciamiento nominal definido en la Ecuación de la página 60. para proporcionar bandas de protección internas. Dado que todos los portadores de componentes se procesan en el mismo receptor de UE, la diferencia de potencia recibida entre portadores estará limitada. El ancho de banda de transmisión DL real de cada portadora de 20 MHz es 18,015 MHz. La figura 3.7 ilustra esta disposición.

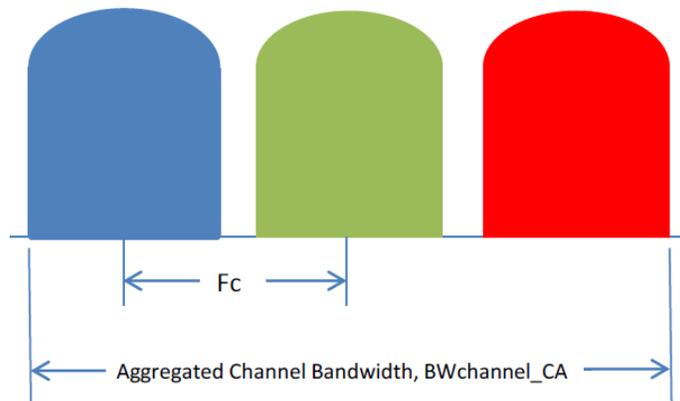


Fig. 3.7: Tres portadoras agregadas en DL

EJEMPLO DE CA Intra-Band Non-Contiguous: CA_41C-41A

CA_41C-41A agrega tres portadoras de DL para una capacidad mejorada combinando el CA_41C contiguo de dos portadoras con una tercera portadora no contigua única. En este caso de uso específico, la brecha de subbloque puede ser muy pequeña porque hay despliegues que no tienen interferencia en la brecha de subbloque. No hay requisitos de banda de protección específicos para la CA no contigua. Sin embargo, los subbloques de CA contiguos que forman parte de la combinación no contigua total deben cumplir los requisitos apropiados. La Figura 3.8 muestra un ejemplo de CA_41C-41A con tres portadoras de 20 MHz y una brecha de sub-bloque de 4,8 MHz.

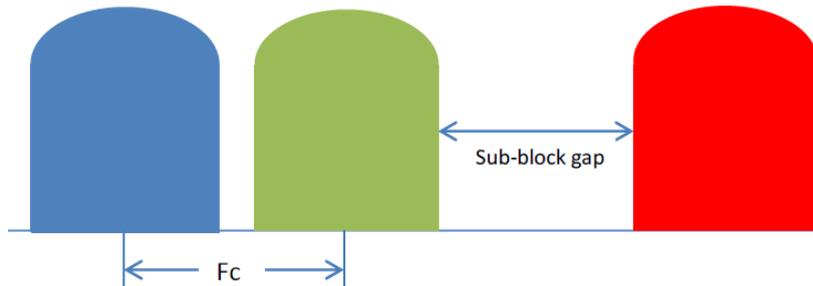


Fig. 3.8: Tres Portadoras 20 MHz agregadas con un sub bloque de guarda de 4.8 MHz.

Los esquemas CA también pueden combinar elementos contiguos y no contiguos. Un ejemplo es el esquema CA_41C_41A, que combina CA contigua (CA_41C) con un elemento no contiguo (41A) para una DL CA de tres portadoras capaz de suministrar hasta 60 MHz de ancho de banda DL al UE. Cualquier combinación de CA que incluya un elemento no contiguo se considera CA no contigua. Sin embargo, el elemento contiguo (es decir, CA_41C) debe cumplir los requisitos de CA contigua para bandas de guarda, espaciamiento, etc. Un elemento no contiguo se caracteriza por una separación de subbloque. Para la AC no contigua con interferencias potenciales en la brecha de subbloque, se define una brecha de subbloque mínima. Para la AC no contigua sin interferencias potenciales, no se define una brecha mínima.

INTER-BAND CA

En las secciones siguientes se dan algunos ejemplos de casos de CA entre bandas.

CA Bandas Alta y Baja

Esta es una configuración común para los operadores, ya que muchos operadores tienen un espectro valioso de banda baja que tiene ventajas de cobertura definidas. Emparejar esto con otro espectro maximiza los activos de espectro de un operador para cobertura y capacidad.

En América del Norte, una banda baja como 700 MHz junto con una banda más alta, como AWS, es una configuración común y un caso de uso para que CA proporcione beneficios de capacidad y cobertura. Una preocupación común en este escenario es que la cobertura y la densidad del sitio entre las bandas baja y alta limitan el funcionamiento de CA. En el caso de una falta de cobertura, la CA no está asignada en las áreas donde la cobertura no se superponen, como en la Figura 3.9.

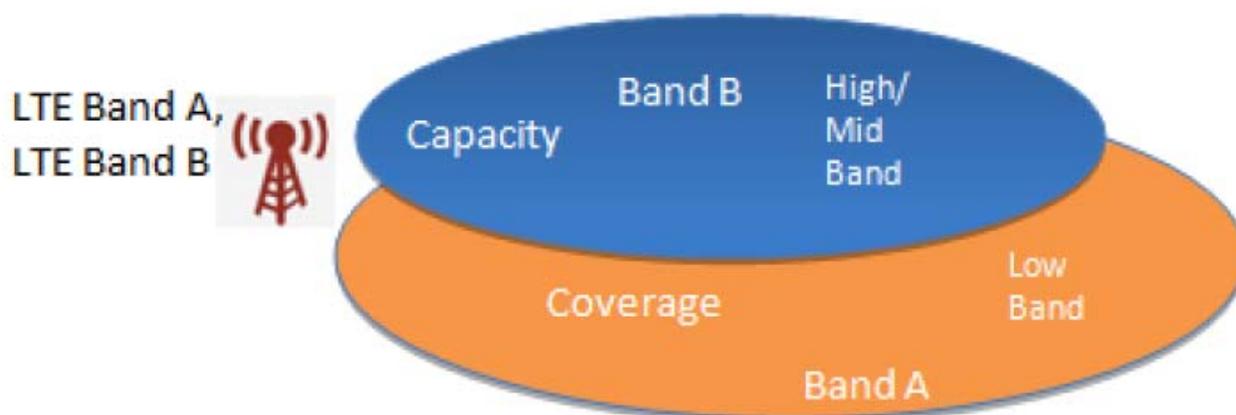


Fig. 3.9: Efecto de pérdida de cobertura en CA

La implementación del sitio para la banda baja no puede superponerse con la implementación del sitio para la banda alta y deja los bolsillos de la red sin CA. Por ejemplo, la Figura 3.10 ilustra la proporción de implantación del sitio de la banda baja: banda alta como 1: 2.

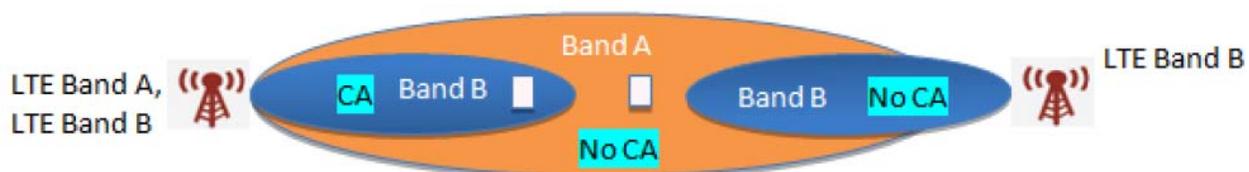


Fig. 3.10:

La CA de banda baja y alta también tiene preocupaciones de armónicos cuando en modo CA, la transmisión en la banda baja (por ejemplo, 700 MHz en la Figura 3.11) genera un tercer armónico (2100 MHz) que cae en la vía de recepción de la Banda B y afecta el rendimiento de DL.

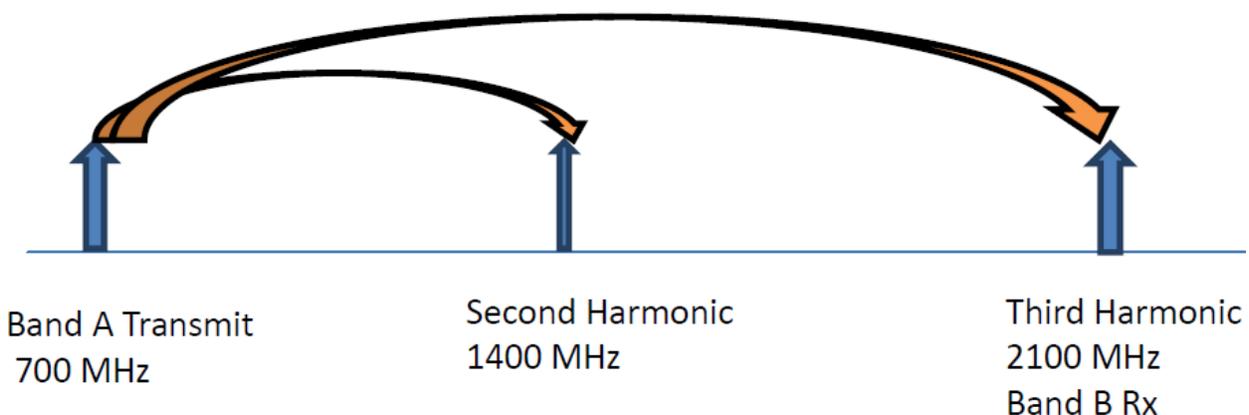


Fig. 3.11:

3GPP ha desarrollado la tolerancia en los estándares para efectos de la desensibilización de armónicos en tales escenarios. Otras posibles soluciones para reducir los problemas de armónicos durante CA incluyen:

- ✓ Evitar el uso de la portadora primaria en la banda baja.
- ✓ Avances en RF y tecnología de filtros para mitigar los efectos de RF armónicos.

CA_4A-12A es un ejemplo de un caso CA de banda baja y alta que agrega dos CC CC de la banda 4 y la banda 12 para proporcionar hasta 30 MHz de ancho de banda agregado. En este caso de uso específico, la banda 12 (700 MHz) ofrece ventajas de

cobertura sobre la banda 4, y esta combinación de CA puede utilizarse para acoplar los beneficios de cobertura de la banda 12 con capacidad y mayores rendimientos del espectro adicional de la banda 4.

BANDA BAJA Y MAS BAJA EN CA

Algunos operadores tienen explotaciones de espectro que incluyen más de una banda de frecuencias más baja, como la banda de 700 MHz y 850 MHz. Es lógico concluir que estos operadores también desearían utilizar técnicas de CA entre bandas para proporcionar a sus abonados una experiencia mejorada de ancho de banda utilizando sus diversas asignaciones de espectro de banda baja fragmentadas. Aunque este escenario no tendría (o al menos no en el mismo grado) el problema de tamaños de celdas diferentes para los dos (o más) canales agregados, como experimentado en el escenario de banda baja y banda alta descrito anteriormente, surgen otros retos técnicos.

En un esfuerzo por ser eficientes y reducir el tamaño y el peso de los teléfonos, los fabricantes de terminales (y chipsets) reutilizan varios componentes internos de hardware en muchas bandas móviles similares. Antenas, diplexores, amplificadores lineales y otros dispositivos de RF son compartidos entre bandas. Para soportar la CA de dos frecuencias de banda baja, puede ser necesario construir dispositivos que requieran hardware RF adicional para separar las dos rutas de señal de radio. Este hardware adicional puede resultar en dispositivos con mayor peso, tamaño, complejidad y costo.

El caso de banda baja y banda alta descrito en la sección anterior no tiene esta limitación ya que los componentes de RF del dispositivo de mano probablemente ya están separados para las dos bandas. Además, los fabricantes de auriculares y chipsets, así como los fabricantes de equipos de estaciones base, deben considerar el filtrado estricto y otras técnicas de mitigación de interferencia en sus diseños. Estas características reducen la modulación cruzada y la intermodulación, lo que podría

ocurrir con múltiples transmisores / receptores operados simultáneamente en estrecha proximidad. Estos son ejemplos de por qué los operadores deben consultar con sus proveedores de infraestructura RAN, así como con sus fabricantes de dispositivos y chipsets, al desarrollar sus planes de implementación de CA.

BANDA ALTA Y MÁS ALTA EN CA

En un caso similar al ejemplo de banda baja y baja descrito anteriormente, algunos operadores desearán utilizar técnicas CA para proporcionar a sus abonados una experiencia mejorada de ancho de banda utilizando sus múltiples explotaciones de espectro de banda alta. Por ejemplo, un operador puede querer agregar su espectro AWS y 2500 MHz.

Los retos técnicos aquí son similares a los escenarios de banda baja y baja. Se debe considerar la reutilización de los componentes RF en la fabricación del dispositivo portátil. Además, el filtrado en el teléfono y en la estación base debe estar bien diseñado para minimizar la interferencia entre portadoras y componentes. Así que una vez más, los operadores deben consultar con su infraestructura de RF y sus proveedores de dispositivos al desarrollar su estrategia de CA.

CA_2A-4A es un ejemplo de un caso CA de banda alta y alta que agrega dos portadores de componentes DL de la banda 2 (PCS 1.9GHz) y banda 4 (AWS 1.7 / 2.1GHz) para proporcionar 40 MHz (300 Mbps) de ancho de banda agregado. La combinación también define la combinación de ancho de banda conjunto 1 que permite un ancho de banda agregado de 20 MHz (150 Mbps). Como ambas bandas son consistentes en cobertura, esta combinación es principalmente para mayor capacidad y rendimiento frente a cobertura. En este caso de uso específico, la agregación de dos bandas altas requiere un quadplexor en el dispositivo.

FDD-TDD CA [23]

Anteriormente, CA ha sido posible sólo entre FDD y FDD espectro o entre TDD y TDD espectro. 3GPP ha finalizado el trabajo sobre TDD-FDD CA, que ofrece la posibilidad de agregar portadores FDD y TDD conjuntamente. El objetivo principal con la introducción del soporte para la CA TDD-FDD es permitir que la red aumente el rendimiento del usuario agregando TDD y FDD hacia el mismo UE. Esto permitirá a la red aumentar el caudal de UE independientemente de donde el UE esté en la célula (al menos para DL CA).

TDD y FDD CA también permitiría dividir la carga más rápidamente entre las frecuencias TDD y FDD. En resumen, la TDD-FDD CA amplía la CA para que sea aplicable también en los casos en que un operador tiene asignación de espectro en ambas bandas TDD y FDD. Los beneficios típicos de la CA - una utilización más flexible y eficiente de los recursos del espectro - también están disponibles para una combinación de TDD y recursos de espectro FDD. El diseño Rel-12 TDD-FDD CA soporta una célula TDD o FDD como célula primaria.

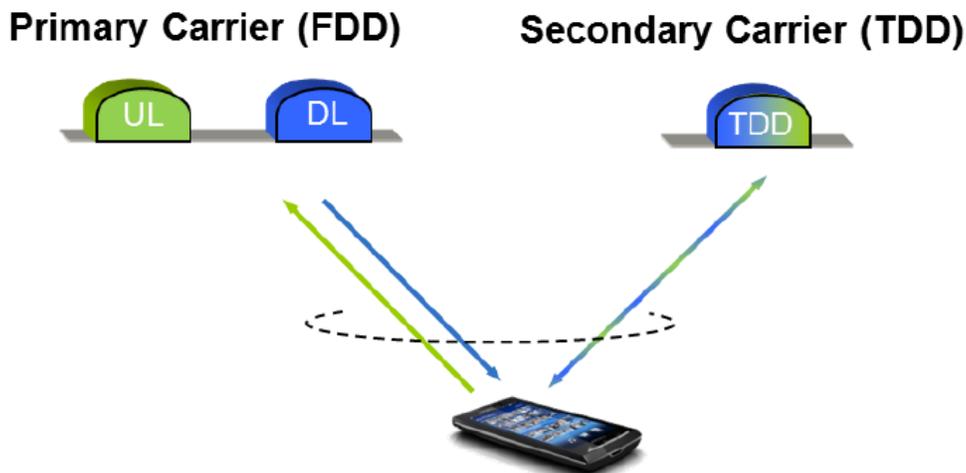


Fig. 3.12: Ejemplo de TDD-FDD en CA

Hay varios escenarios objetivo diferentes en 3GPP para TDD-FDD CA, pero hay dos escenarios principales que 3GPP apunta a soportar. El primer escenario asume que la CA de TDD-FDD se realiza desde el mismo sitio físico que es típicamente un eNB de macro. En el segundo escenario, la macro eNB proporciona una frecuencia TDD y FDD, y la otra frecuencia es proporcionada desde un Remote Radio Head (RRH) desplegado en otra ubicación física. El caso de uso típico para el segundo escenario es que la macro eNB proporciona la frecuencia FDD y la frecuencia TDD de la RRH.

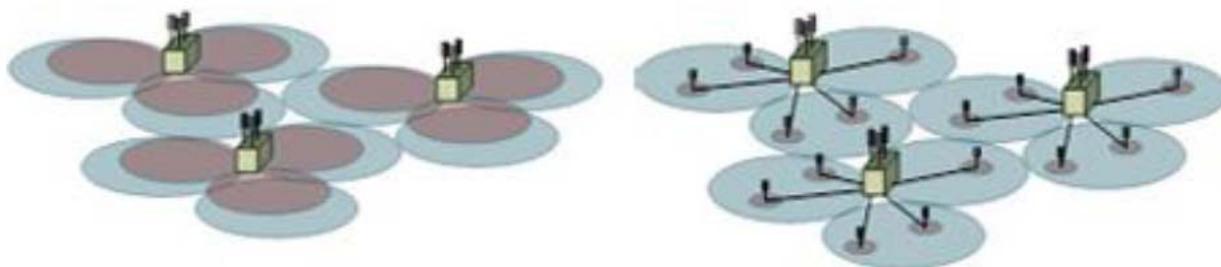


Fig. 3.13: Colocación (izquierda) y no colocada (derecha) en despliegues de CA.

SUPLEMENTO DL

El tráfico de banda ancha móvil seguirá creciendo exponencialmente en los próximos años. El tráfico es en gran medida asimétrico, ya que los usuarios suelen descargar y transmitir más datos de los que están cargando cuando participan en las actividades del día a día. Sin embargo, en ciertas situaciones, como eventos deportivos, escenarios de seguridad pública o reuniones de masas, el tráfico de enlace ascendente puede ser más pesado que el enlace descendente, ya que los espectadores suben fotos, videos y archivos en medios sociales y otros servicios.

Dado que el tráfico de banda ancha inalámbrica tiende a ser asimétrico, se prevé que los operadores móviles podrían utilizar TD-LTE con diferentes configuraciones de subtrama Uplink / Downlink o espectro DL suplementario para complementar su espectro en otras bandas. La tecnología permite la unión del DL usual con un canal DL suplementario en la misma banda o en una banda diferente, en una DL más amplia como se muestra en la Figura 3.14 para mejorar la capacidad de DL de las redes de

banda ancha móvil permitiendo descargas significativamente más rápidas Y el apoyo a un número mucho mayor de usuarios con dispositivos inalámbricos móviles o portátiles. 700 MHz FDD La banda 29 es un ejemplo de banda de DL suplementaria.

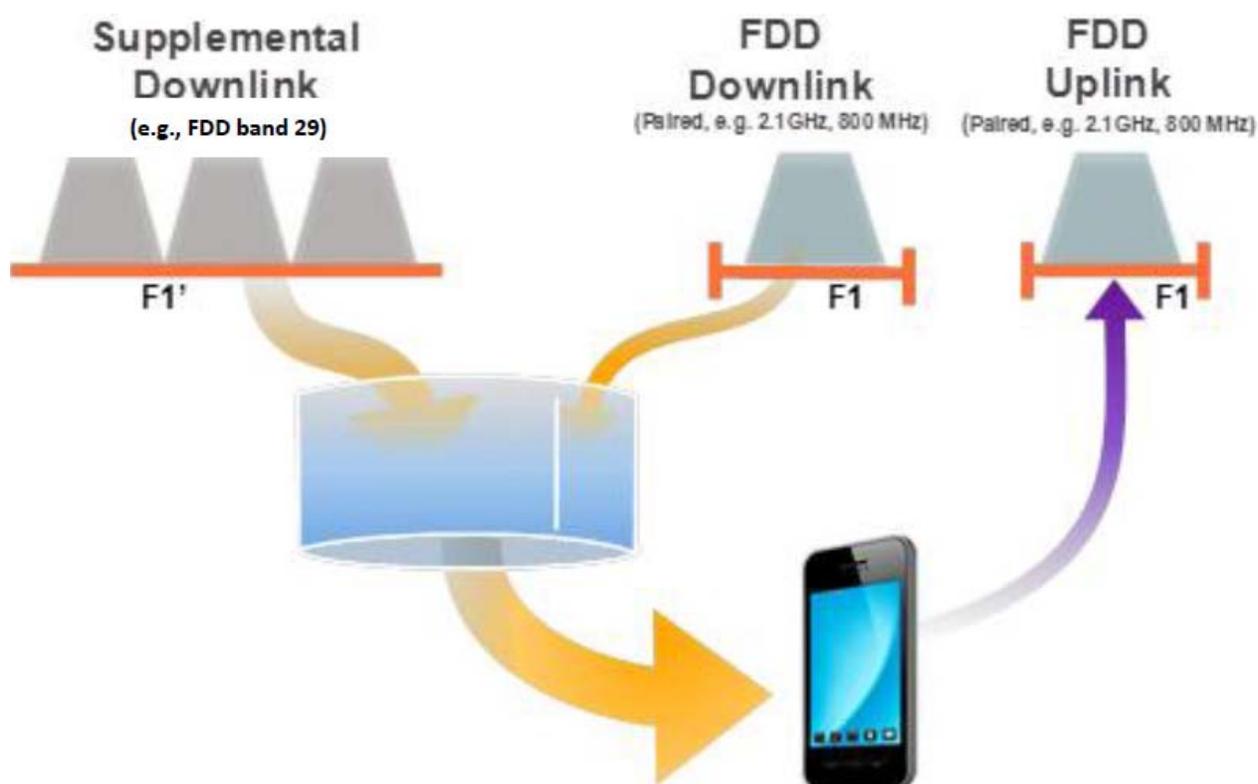


Fig. 3.14: Móvil DL Suplementario.

HET NET ESCENARIOS

La versión 11 de LTE-A introdujo el soporte de la CA multi-sitio soportando el control de potencia UL UL Timing Advance mejorado para las redes heterogéneas (HetNet) (Figura 22). En este caso, la estación base macro con cobertura completa podría servir como célula primaria (PCell) que proporciona información del sistema, señalización de control RRC y transmisión de datos limitada de ancho de banda, mientras que la estación base pequeña serviría a la red local altos requerimientos de velocidad de datos. Esta técnica CA también será beneficiosa cuando macro y picoceldas utilizan portadoras dedicadas. La selección rápida de células pequeñas sería beneficiosa incluso para los usuarios móviles, siempre y cuando se pueda detectar la proximidad del usuario dentro de la cobertura de células pequeñas.

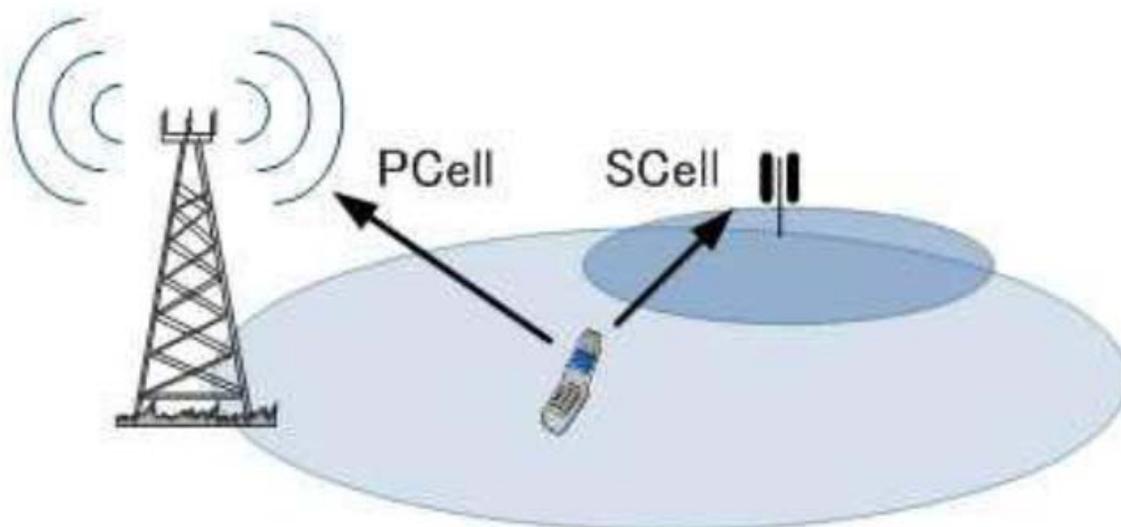


Fig. 3.15: LTE-A HetNet Multi-site CA.

Sin embargo, hay inconvenientes para esta funcionalidad. En primer lugar, se asume una estrecha coordinación entre capas macro / pico, que requieren una arquitectura centralizada.

Además, en el caso de UL CA, se requieren terminales compatibles con CA que soporten Avance de Tiempo Múltiple. Esto requerirá básicamente dos transmisores en el terminal, que es un gran paso en la complejidad de la implementación. Al menos inicialmente, los terminales con esta funcionalidad serán de una minoría. Posteriormente, podría ir de la mano con la introducción de multiplexación espacial LTE-A de enlace ascendente. Sin embargo, esto no limita o impacta el uso de CA de enlace descendente en escenarios HetNet.

Un despliegue alternativo no se basa necesariamente en una arquitectura centralizada. La protección PDCCH se consigue con las otras capas celulares que no transmiten la señalización de control PDCCH en el CC en cuestión, para (al menos) un CC en cada capa celular. Por otro lado, todos los CC están disponibles para la asignación de datos como señalizado por el CC con el PDCCH protegido.

La figura 3.16 ilustra el uso de la programación de portadoras cruzadas en un despliegue heterogéneo. La capa de células de alta potencia transmite la señalización de control, PDCCH, en el portador de componente f1 pero no en el portador de componente f2. Mientras tanto, para la capa de células de baja potencia, es lo opuesto: La estación base de baja potencia transmite PDCCH en la portadora de componentes f2 pero no en la portadora de componentes f1. Los datos en sí ocupan ambos CC para ambos tipos de capas de células (con o sin el esquema de Cancelación de Interferencias entre celdas habilitado).

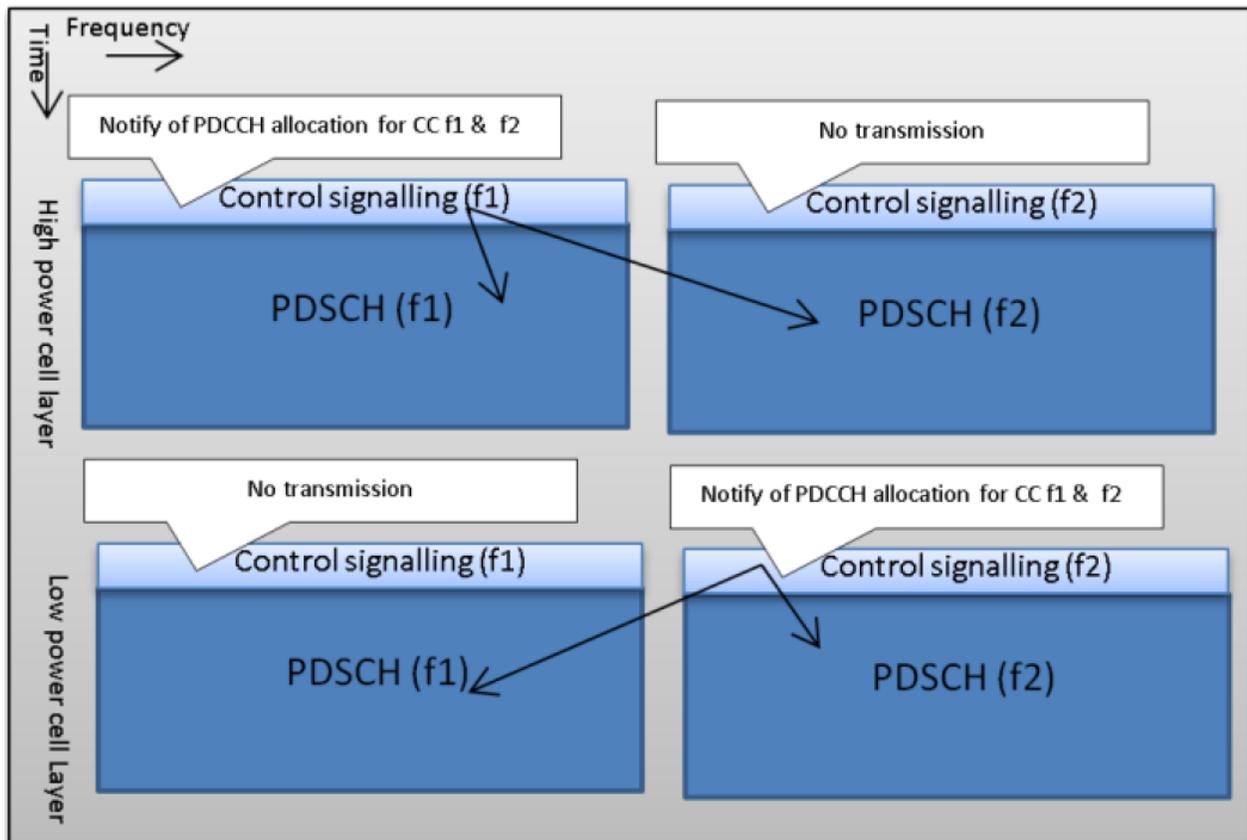


Fig. 3.16: CC Scheduling en despliegue heterogéneo.

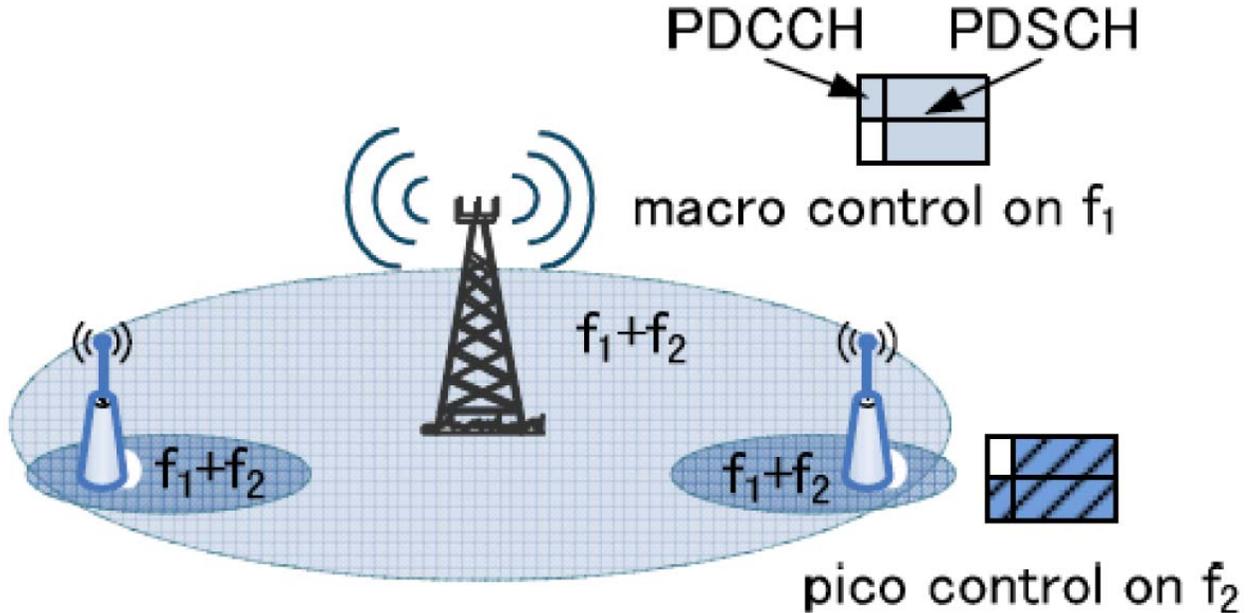


Fig. 3.17: Despliegue LTE-A HetNet utilizando CA en un escenario Co-Channel Deployment.

Cabe señalar que se pueden encontrar algunas variaciones y alternativas para el esquema presentado. Por ejemplo, el PDCCH puede transmitirse a una potencia reducida o puede utilizarse una solución híbrida de separación de la transmisión PDCCH para las diferentes capas en el dominio del tiempo, además del dominio de frecuencia.

CA Y MULTI-OPERATOR CORE NETWORK (MOCN)

El Multi-Operator Core Network (MOCN) fue concebido e incluido por 3GPP para facilitar la red de intercambio entre los operadores. El uso compartido de redes puede ayudar a reducir los costos operativos al compartir la infraestructura y el espectro y se está convirtiendo en una solución popular para la rentabilidad o la transición sin problemas durante las fusiones y adquisiciones.

MOCN esencialmente permite a los operadores compartir los mismos recursos de radio manteniendo diferentes redes centrales. Un ejemplo es un e-NodeB y un espectro compartido por dos operadores.

CA es la agregación de recursos de radio, y su funcionalidad se mantiene sin cambios con MOCN. Los dispositivos capaces pueden programarse para recursos agregados de SCell, independientemente de la red central del operador.

CA PARA ROAMING

La funcionalidad básica de CA permanece sin cambios en un escenario de roaming. Sin embargo, la complejidad consiste en soportar múltiples combinaciones de CA en un solo teléfono y diseño de radio, escenarios de movilidad adicionales entre estas diferentes combinaciones de bandas y los impactos de rendimiento RF de soportar diferentes combinaciones de CA. Con estas complejidades a trabajar a través de, itinerancia global con CA es todavía unos años. 6.8 CA

PARA BANDAS DE DESPLAZAMIENTO

Ciertas bandas LTE como se definen en la Tabla 3.6 tienen componentes superpuestos en UL o DL. Un ejemplo son las bandas 12 y 17 donde las frecuencias en la Banda 17 también están incluidas en la Banda 12. Este escenario requiere un Indicador de Banda de Frecuencia Múltiple (MFBI), que permite el funcionamiento de dispositivos en un entorno de múltiples bandas.

En un entorno multibanda, los dispositivos que soportan MFBI se consideran para CA según sus capacidades.

Tabla 3.6: CA en Overlapping Bands.

LTE Operating Band	Uplink (UL) operating band BS receive UE transmit	Downlink (DL) operating band BS transmit UE receive	Duplex Mode
	F_{UL_low} – F_{UL_high}	F_{DL_low} – F_{DL_high}	
12	699 MHz – 716 MHz	729 MHz – 746 MHz	FDD
17	704 MHz – 716 MHz	734 MHz – 746 MHz	FDD

CONCLUSIONES

El mayor ancho de banda proporcionado por LTE-Advanced CA obviamente resulta en mejores tasas de datos de usuario. Pero igualmente importante, CA es una característica poderosa que permite una utilización más flexible y óptima de los activos de frecuencia. Especialmente, las CA no contiguas ofrecen nuevas oportunidades para utilizar cada vez más recursos de frecuencia para LTE en diferentes bandas.

CA para LTE-Advanced es totalmente compatible con versiones anteriores, lo que significa que los terminales Legacy Rel-8 y los terminales LTE-Advanced pueden coexistir. Este último se logra confiando en la CA de nivel MAC con la HARQ compatible con la versión 8 independiente y la adaptación de enlace por CC. Esto también implica que CA es transparente desde la capa 3 y hacia arriba para el plano del usuario. Se define un enfoque flexible en capas para la gestión de CC por usuario LTE-Advanced, que ofrece configuración de CC por usuario mediante señalización RRC, seguida de señalización MAC para activación / desactivación de CCs configurados como SCells. Los procedimientos de control mencionados anteriormente facilitan la administración eficiente de energía de los terminales, por lo que no siempre están obligados a operar con su capacidad de ancho de banda total.

CA es claramente una tecnología que será una solución a los operadores de espectro fragmentados hoy en día, permitiendo tuberías de espectro más grandes e infraestructuras de red más eficientes. Esto es evidente por el gran progreso en el desarrollo de esta tecnología en todas las facetas de la industria de los estándares a la red y las infraestructuras de dispositivos y rápidamente ganando impulso, con operadores en todo el mundo desplegando la tecnología.

CA también se ha diseñado para ser una tecnología a prueba de futuro con gran potencial dentro y fuera de la versión 12. CA se extenderá a múltiples carriers, agregación de espectro licenciado variado (posiblemente espectro no licenciado) y será

la tecnología para permitir velocidades IMT-Advanced de 1Gbps. En el futuro, habrá múltiples y variados despliegues de CA adaptados a los requisitos específicos de los operadores. CA también será un componente crítico a medida que se definan nuevas bandas y la búsqueda de nuevos recursos de espectro crece con las próximas subastas de espectro y frecuentes swaps de espectro entre operadores.

Sin embargo, este concepto aparentemente simple continuará estirando el ámbito de la implementación de redes y dispositivos. Una sólida colaboración en toda la industria para innovaciones, evoluciones y optimización más avanzadas impulsará esto como una tecnología de flujo principal a través de dispositivos, infraestructura y operadores, a la vez que aumentará la velocidad y la eficiencia de las redes de los consumidores, lo que permitirá aplicaciones superiores e innovación y evolución del smartphone. En particular, se recomienda a los operadores que realicen consultas con sus proveedores de infraestructura de RAN, así como con sus fabricantes de dispositivos y chipsets, al desarrollar sus planes de implementación de CA.

Las áreas más específicas para la colaboración incluyen una mayor evolución de las normas para desarrollar la agregación de múltiples portadores, extendiéndose a las bandas sin licencia y la agregación con escenarios HetNet. En el frente del dispositivo y del chipset, las nuevas innovaciones son esenciales en las tecnologías frontales de radio para permitir CA en múltiples bandas sin pérdida de rendimiento. El consumo de energía del dispositivo es otra potencial mejora futura. Infraestructura y operadores pueden seguir optimizando el planificador y la movilidad entre diferentes bandas agregadas según mejor adaptadas a su red y más innovaciones en dispositivos e infraestructura para seleccionar las mejores combinaciones de CA.

En los próximos años, el uso de datos móviles seguirá creciendo exponencialmente, las nuevas aplicaciones y servicios que requieren velocidades más altas seguirán evolucionando y los consumidores móviles en todo el mundo crecerán. El desarrollo de tecnologías flexibles y orientadas hacia el futuro como la Agregación de Portadores hoy conducirá al camino hacia las velocidades LTE-Avanzadas, 5G y más allá.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Ramón Agustí Comes, Francisco Bernardo Álvarez, “*LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles*”. Editorial: Fundación Vodafone España, 2010.

[2] Erik Dahlman, Stefan Parkvall, Johan Sköld, Per Beming “*3G Evolution HSPA and LTE for Mobile Broadband*”. Editorial: Academic Press, 2008.

[3] Stefania Sesia, Issam Toufik, Matthew Baker, “*LTE-The UMTS Long Term Evolution-From theory to practice*”. Editorial: Wiley & Sons, 2009.

[4] Harri Holma, Antti Toskala, “*LTE for UMTS – OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access*”. Editorial: Wiley & Sons, 2009.

[5] <http://www.xataka.com/moviles/que-es-lte>

[6] <http://www.3gpp.org/Technologies/Keywords-Acronyms/LTE-Advanced>

[7] <http://www.qualcomm.com/solutions/wireless-networks/technologies/lte-advanced>

[8] <http://www.4gamericas.org/index.cfm?fuseaction=page§ionid=406&printfriendly=1>

[9] <http://lib.tkk.fi/Dipl/2009/urn100056.pdf>

[10] <http://www.bdigital.unal.edu.co/4836/3/josefernandorestrepopedrahita.2011.parte3.pdf>

[11] [http://www.3gpp.org/ftp/workshop/2009-12-17 ITU-R IMT-Adv eval/docs/pdf/REV-090006.pdf](http://www.3gpp.org/ftp/workshop/2009-12-17%20ITU-R%20IMT-Adv%20eval/docs/pdf/REV-090006.pdf)

[12] [http://www.home.agilent.com/upload/cmc_upload/All/23Aug12 LTEwebcast.pdf?&cc=BO&lc=eng](http://www.home.agilent.com/upload/cmc_upload/All/23Aug12_LTEwebcast.pdf?&cc=BO&lc=eng)

[13] http://www.wireless.att.com/travelguide/coverage/coverage_details.jsp?CIDL=68&MNC=CING

[14] <http://www.fiercewireless.com/tech/story/sk-telecom-rolls-out-lte-advanced-carrier-aggregation/2013-06-26>

- [15] <http://www.mobileeurope.co.uk/Press-Wire/ee-launches-300mbps-lte-a-network-using-huawei-s-carrier-aggregation-router>
- [16] <http://www.huawei.com/au/about-huawei/newsroom/press-release/hw-319788-optuscarrieraggregation4gmelbournetd-lte.htm>
- [17] <http://lte-world.org/news/telstra-ericsson-demonstrate-450mbps-speed-lte-advanced-carrier-aggregation>
- [18] <http://www.fiercewireless.com/tech/press-releases/sk-telecom-successfully-develops-lte-advanced-3-band-carrier-aggregation>
- [19] http://www.huawei.com/ilink/en/about-huawei/newsroom/press-release/HW_327909
- [20] <http://www.fiercewireless.com/story/apple-unveils-larger-iphone-6-6-plus-adds-support-volte/2014-09-09>
- [21] <http://www.telecompaper.com/news/a1-nsn-demo-lte-advanced-carrier-aggregation-948038>
- [22] <http://lte-world.org/news/nokia-networks-china-telecom-achieve-fdd-tdd-carrier-aggregation>
- [23] Daniel Larsson, “Boosting Data Rates in LTE”, Apr 15, 2014
<http://www.ericsson.com/research-blog/lte/boosting-data-rates-lte/>