



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

Trabajo de Monografía

**Estudio Técnico para el despliegue de un eNB en una zona urbana del
pacífico de Nicaragua**

Autor: Br. Lonnie Arosman Gutiérrez Flores, Carnet: 2001-10465

Tutor: Ing. Enrique Hernández García

Managua, Nicaragua

Junio de 2014

Agradecimiento

Quiero hacer patente mi agradecimiento a mi Tutor, Ing. Enrique Hernández que supo encaminar y orientar el desarrollo de este trabajo monográfico. Sus buenos consejos y “ajustes” le dieron forma a lo que ahora presento orgullosamente.

De igual forma agradezco a todo cuerpo de docentes de la carrera de Ingeniería Electrónica por inculcar todo el conocimiento y bagaje necesario para sustentar la base teórica de este trabajo.

Dedicatoria

Con todo mi cariño y mi amor para las personas que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento: Adela Zúniga y Hortensia del Carmen Zúniga.

Lonnie Arosman Gutiérrez Flores

RESUMEN

La industria de las telecomunicaciones, a nivel mundial y vista desde la perspectiva de sus principales actores: operadores, fabricantes y distribuidores, atraviesa por una serie de cambios relacionados con el despliegue de la banda ancha inalámbrica y la entrada del All IP y muchos servicios embebidos tras estos desarrollos tecnológicos. Estos cambios implican desafíos y aplican a cualquier mercado, donde esté establecido un operador móvil o un prestador de servicios móvil. Siendo el reto más importante migrar sus redes basadas en circuitos conmutados a redes All IP, el uso masificado de terminales móviles cada vez más sofisticadas y robustas hacen que el usuario demande más servicios. Por ende la implantación de la tecnología LTE-Advanced hace que cubra todas las expectativas de velocidad tanto para los usuarios como para los operadores móviles.

Por ello, este proyecto de fin de carrera describe los aspectos técnicos y de tecnología necesarios para el despliegue de una red móvil basada en LTE-A, que pueda ser desplegada en cualquier entorno geográfico, haciéndolo adaptable a las condiciones topográficas y flexible en sus requerimientos para tal propósito.

ÍNDICE

	Pág.
OBJETIVOS	I
JUSTIFICACION	II
CAPITULO I: TECNOLOGIA LTE	1
INTRODUCCION	1
1.1 ARQUITECTURA DEL SISTEMA LTE	1
1.2 TECNOLOGIAS DE NIVEL FISICO	10
1.3 CONCEPTOS IMPORTANTES DE INTERFAZ RADIO	17
1.4 EJEMPLO DE UPLINK EN LTE	22
CAPITULO II: SOLUCION TECNOLOGICA LTE AVANZADO	33
INTRODUCCION	33
2.1 ESQUEMA GENERAL LTE AVANZADO	34
2.2 CANALIZACION EXISTENTE	39
2.3 ARQUITECTURA DEL TRANSCPTOR	44
2.4 ARQUITECTURA MULTIPUNTO COORDINADO	51
2.5 ESQUEMAS DE UPLUNK Y DOWNLINK	54
2.6 ESQUEMA FINAL	70
CAPITULO 3: DATOS TECNICOS DE INSTALACION LTE-A	73
3.1 IMPACTO AMBIENTAL DE LTE-ADVANCED	73
3.2 ESPECIFICACIONES TECNICAS DE TECNOLOGIA 4G	77
CONCLUSIONES	92
BIBLIOGRAFIA	95

OBJETIVOS

Objetivo General

Realizar el estudio de una propuesta de implementación de tecnología de cuarta generación LTE-Advanced (LTE-A) en la región del Pacífico de 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.
- Realizar el estudio técnico de la implementación de la tecnología LTE-A en el territorio propuesto.

JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto tiene la finalidad de continuar explorando las últimas tecnologías en materia de comunicaciones móviles, e igual incentivar su estudio y desarrollo de trabajos académicos-profesionales en este ámbito.

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

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 hoy día 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, la sociedad tiene un mejor servicio, con un sistema más robusto que cuenta con 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 estudiosos o interesados en incursionar en este ámbito, por la calidad y fiabilidad de la información en el tratada.

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 ARQUITECTURA DEL SISTEMA LTE

Arquitectura general de los sistemas celulares

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.

Arquitectura general del sistema 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.

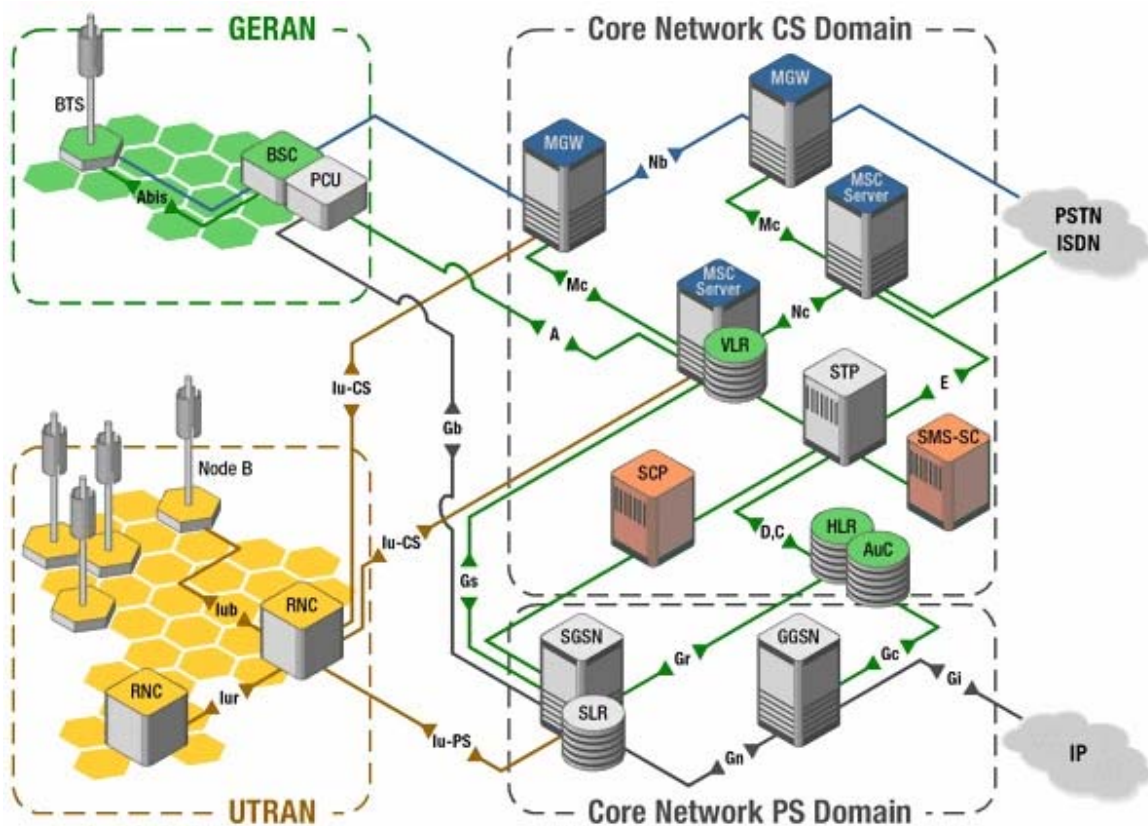


Figura 1.1: Esquema general de la arquitectura del sistema LTE

Otra característica de LTE es que se contempla también el acceso a sus servicios a través de UMTS y GSM. También mediante otras redes de acceso como CDMA2000, Mobile WiMAX, redes 802.11, etc.).

La red física que se utiliza en LTE para interconectar todos los equipos de la red, que se denomina red de transporte, es una red IP convencional. En la infraestructura de red LTE aparte de los equipos que realizan las funciones específicas del estándar, también habrá elementos de la red propios de redes IP como routers, servidores DHCP, servidores de DNS, switches, etc.

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].

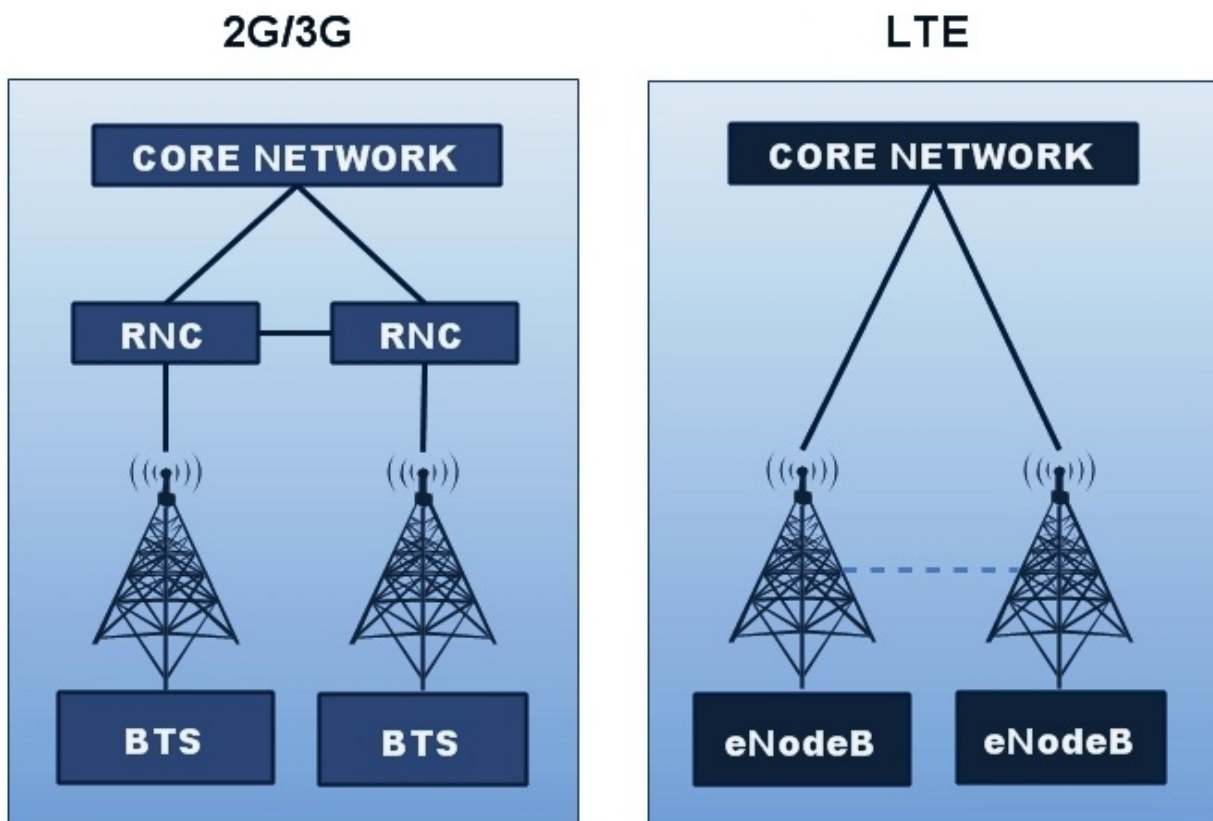


Figura 1.1: Esquema general Red acceso LTE

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

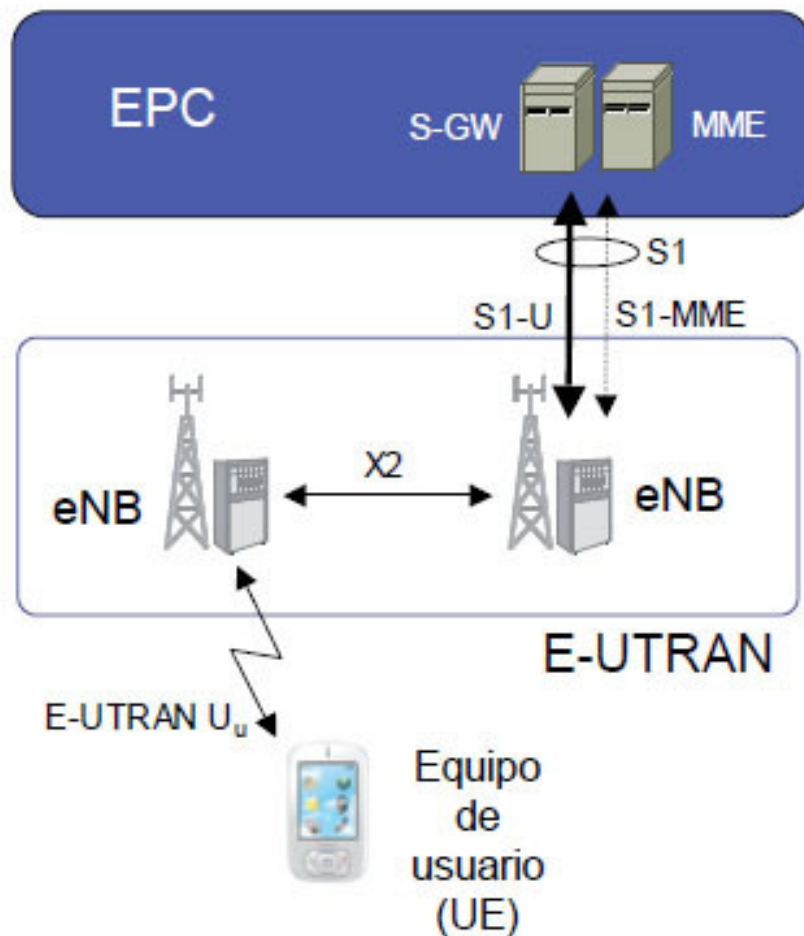


Figura 1.3: Más detalles de la red de acceso en red EPC (LTE)

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).

Red troncal de paquetes evolucionada: EPC

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 suscripción 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 TECNOLOGÍAS DE NIVEL FÍSICO

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. En la Figura 1.4 vemos una representación del espectro de la señal OFDMA.

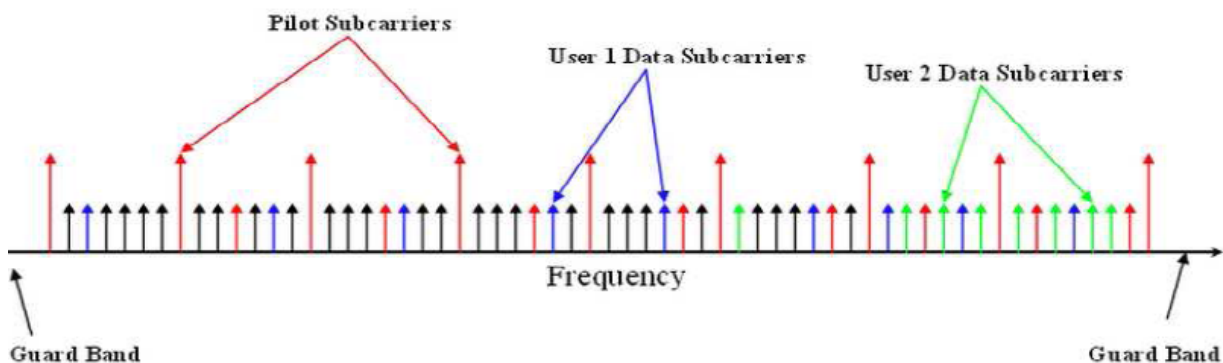


Figura 1.4: Espectro señal OFDMA

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.
- ✓ Robustez frente al multitrayecto: en el capítulo 3 ahondaremos más en este tema, pero adelantar que gracias a la utilización del prefijo cíclico, esta técnica es muy robusta frente a la interferencia intersimbólica (ISI), resultante de la propagación multitrayecto y se puede combatir la distorsión mediante técnicas de ecualización en el dominio de la frecuencia, que resultan menos complejas que las que se realizan en el dominio del tiempo.
- ✓ Flexibilidad en la banda asignada: Esta técnica de acceso múltiple nos proporciona una forma sencilla de acomodar diferentes velocidades de transmisión a los diferentes usuarios en función de las necesidades de servicio requeridas por cada usuario, simplemente asignando más o menos subportadoras a cada usuario.
- ✓ Elevada granularidad en los recursos asignables: Como estamos subdividiendo la banda total en un conjunto elevado de subportadoras de banda estrecha que

se asignan dinámicamente a los usuarios, se dispone de una elevada granularidad a la hora de asignar más o menos recursos a cada uno, con lo que nos ayudará a acomodar servicios con diferentes requisitos de calidad.

- ✓ 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].

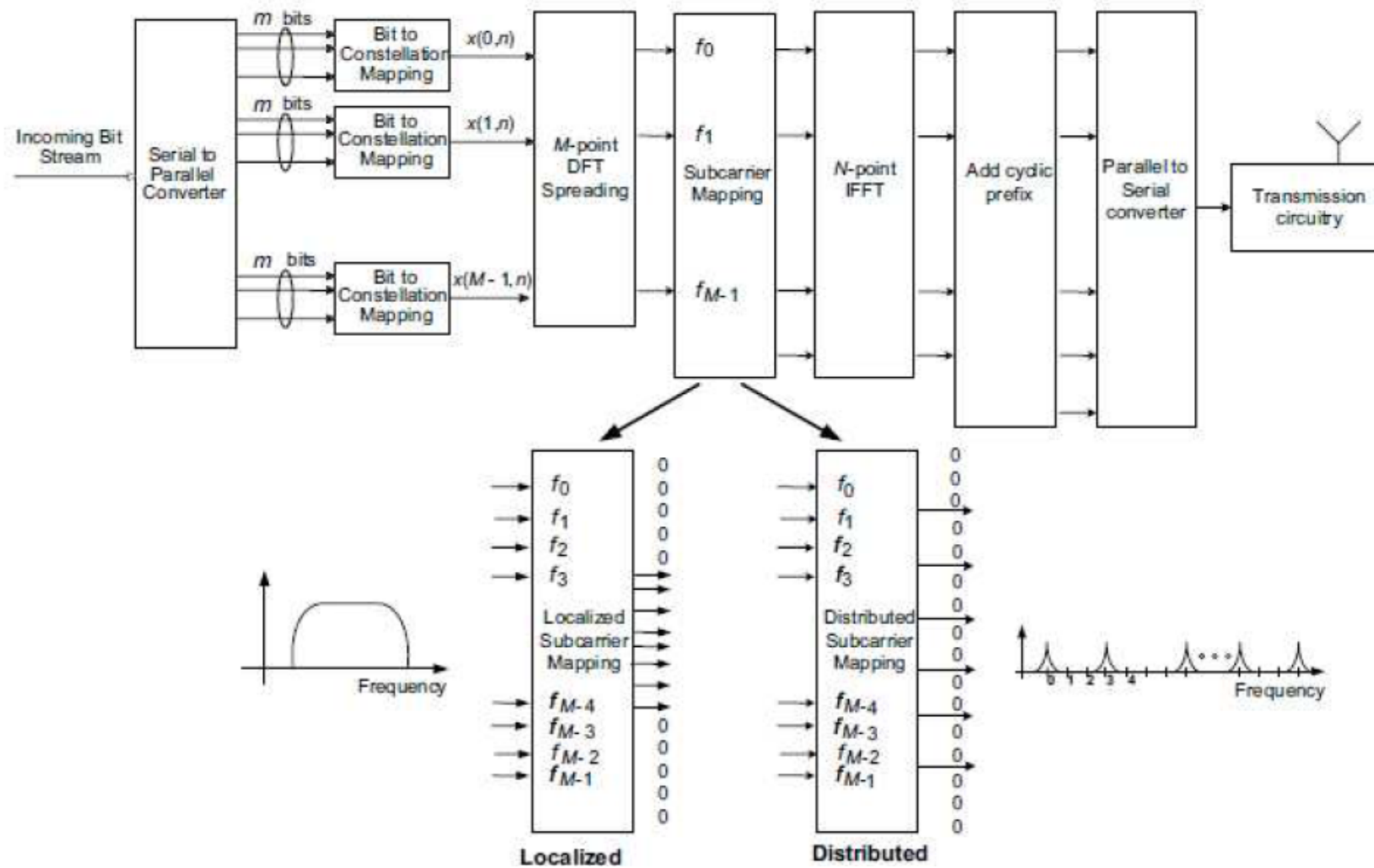


Figura 1.5: Esquema de transmisión SC-FDMA localizado y distribuido.

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.

Destacamos que observando el esquema presentado en la Figura 1.5, se puede no ubicar las M muestras de salida de la DFT de forma contigua, sino distribuir las entradas equidistantes de la IDFT, ubicando ceros en las posiciones intermedias. A este modelo se le denomina SC-FDMA distribuido, a diferencia del anterior, que se denomina "localizado". El modelo distribuido proporciona una mayor diversidad frecuencial ya que la señal se distribuye entre portadoras separadas.

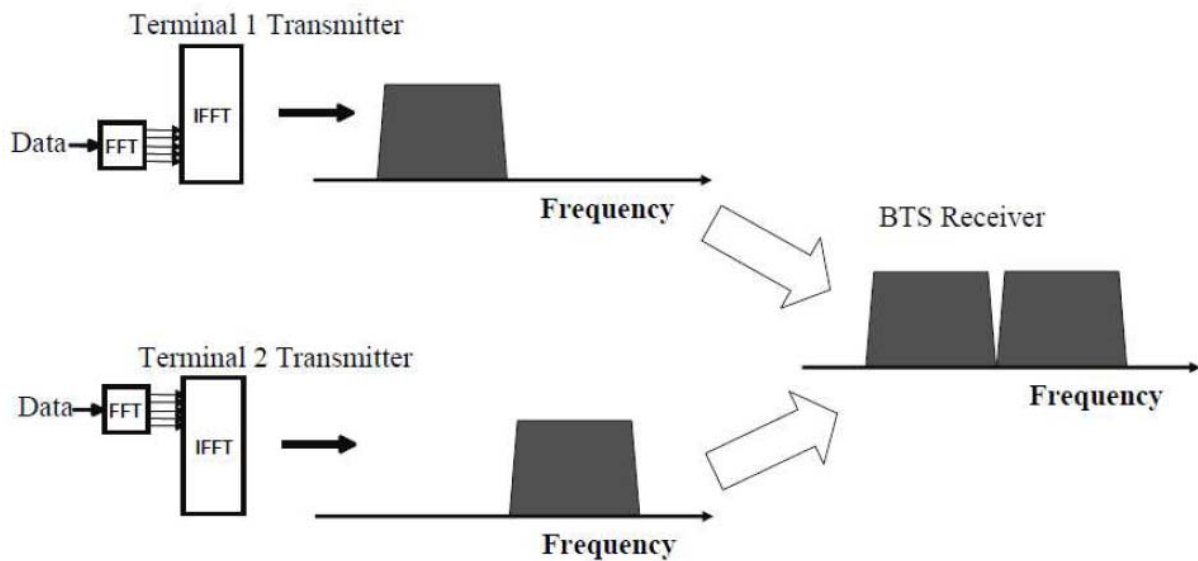


Figura 1.6: Multiplexación de usuarios con SC-FDMA

Destacamos también cómo en el mecanismo de multiplexación de transmisión de diferentes usuarios en SC-FDMA para el enlace ascendente, manteniendo los mismos parámetros a nivel de número de muestras de la IDFT, N , frecuencia de muestreo y separación entre subportadoras, las transmisiones de los dos usuarios vienen ubicadas en diferentes entradas de la IDFT, de modo que en las posiciones de entrada en las que se ubica la transmisión del usuario 2, el usuario 1 inyecta ceros (y a la inversa igual), se observa esta característica en la Figura 1.6. Como resultado, se obtienen dos transmisiones que ocupan bandas frecuenciales diferentes. Mediante DFTs de diferentes tamaños se obtienen diferentes anchos de banda asignados a cada usuario; así, con K_1 , tenemos $K_1\Delta f$ y con K_2 tenemos $K_2\Delta f$.

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 CONCEPTOS IMPORTANTES DE 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 mas una, ya que se considera la subportadora central (la de DC) que no se utiliza para transmitir información [2].

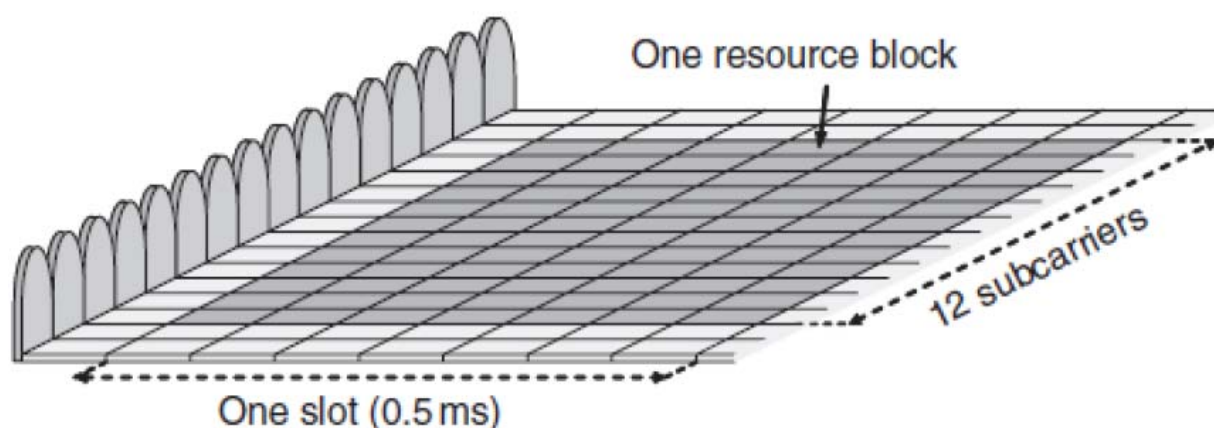


Figura 1.7: PRB de 7 símbolos con 12 subportadoras.

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.

Tabla 1.3: Velocidades de pico en función de la canalización

Canalización	1,4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
Velocidad de pico Total (Mb/s)	≈ 6	≈ 15	≈ 25	≈ 50	≈ 75	≈ 100
Velocidad de pico bruta de usuario (Mb/s) (15% de los recursos destinados a control y señalización)	≈ 5,1	≈ 12,8	≈ 21	≈ 42,5	≈ 63,7	≈ 85

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 $T_s = 66,7 \mu s$. Si se usan 7 símbolos, el prefijo cíclico “corto”, tiene una duración de 4,7 μs , salvo para el primer símbolo, que tiene un prefijo cíclico de 5,2 μs . 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 EJEMPLO DE UPLINK EN 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

Empezamos mostrando el esquema principal que nos aparece en el ejemplo:

LTE: FDD Downlink transmitter EVM measurement

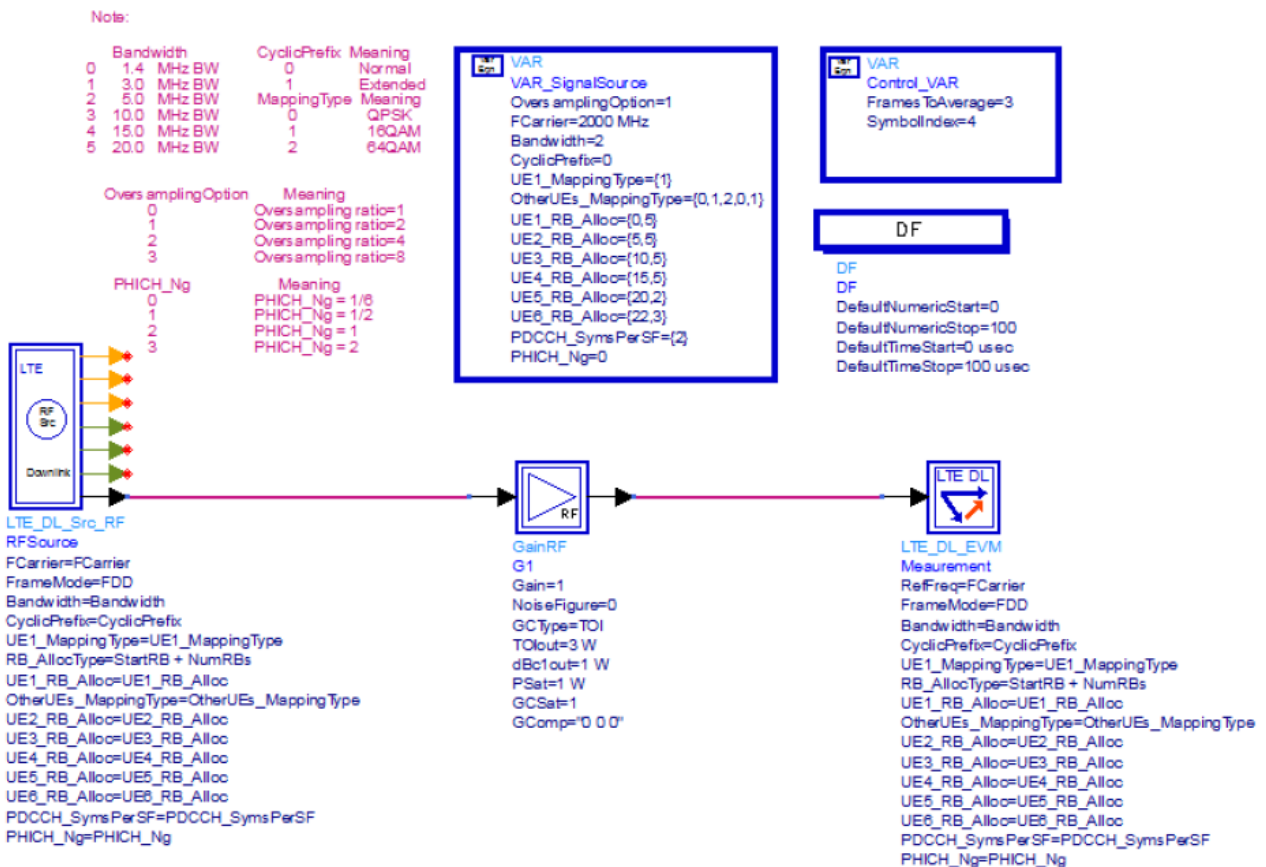


Figura 1.8: Esquema general del UL para un sistema LTE

Como podemos observar en la Figura 1.8, 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.

Vemos también, en la parte superior cómo se declaran una serie de variables que luego utilizarán los demás bloques. Simplemente hay que pinchar en “Var Eqn” para modificar y añadir nuevas variables, Figura 1.9 (a). Nos saldrá un panel como el de la Figura 1.9 (b).

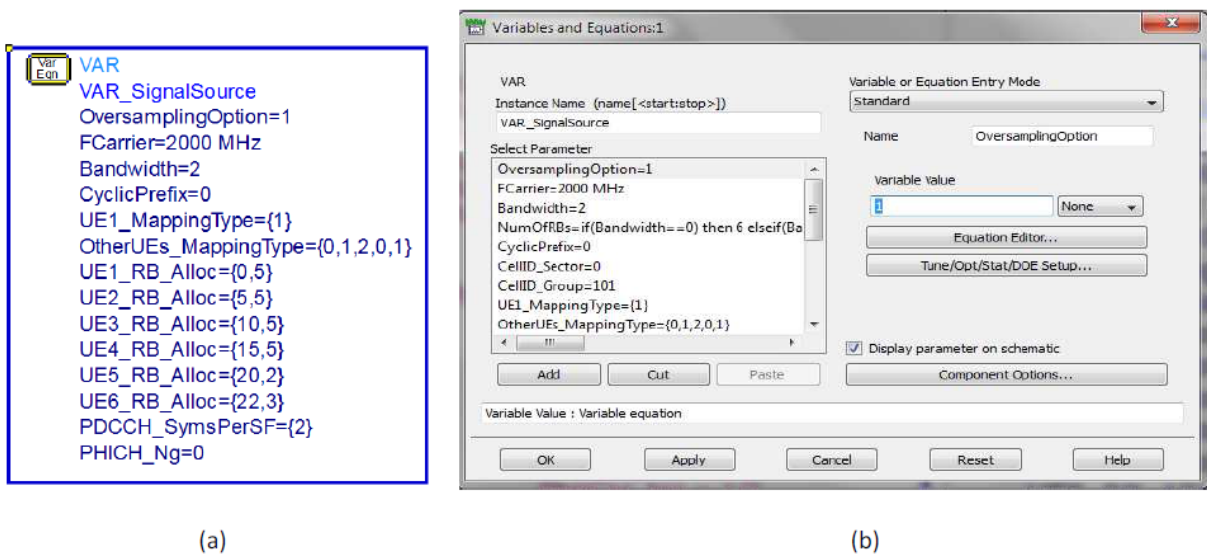


Figura 1.9: (a) Declaración de variables. (b) Panel para modificar y añadir variables.

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.

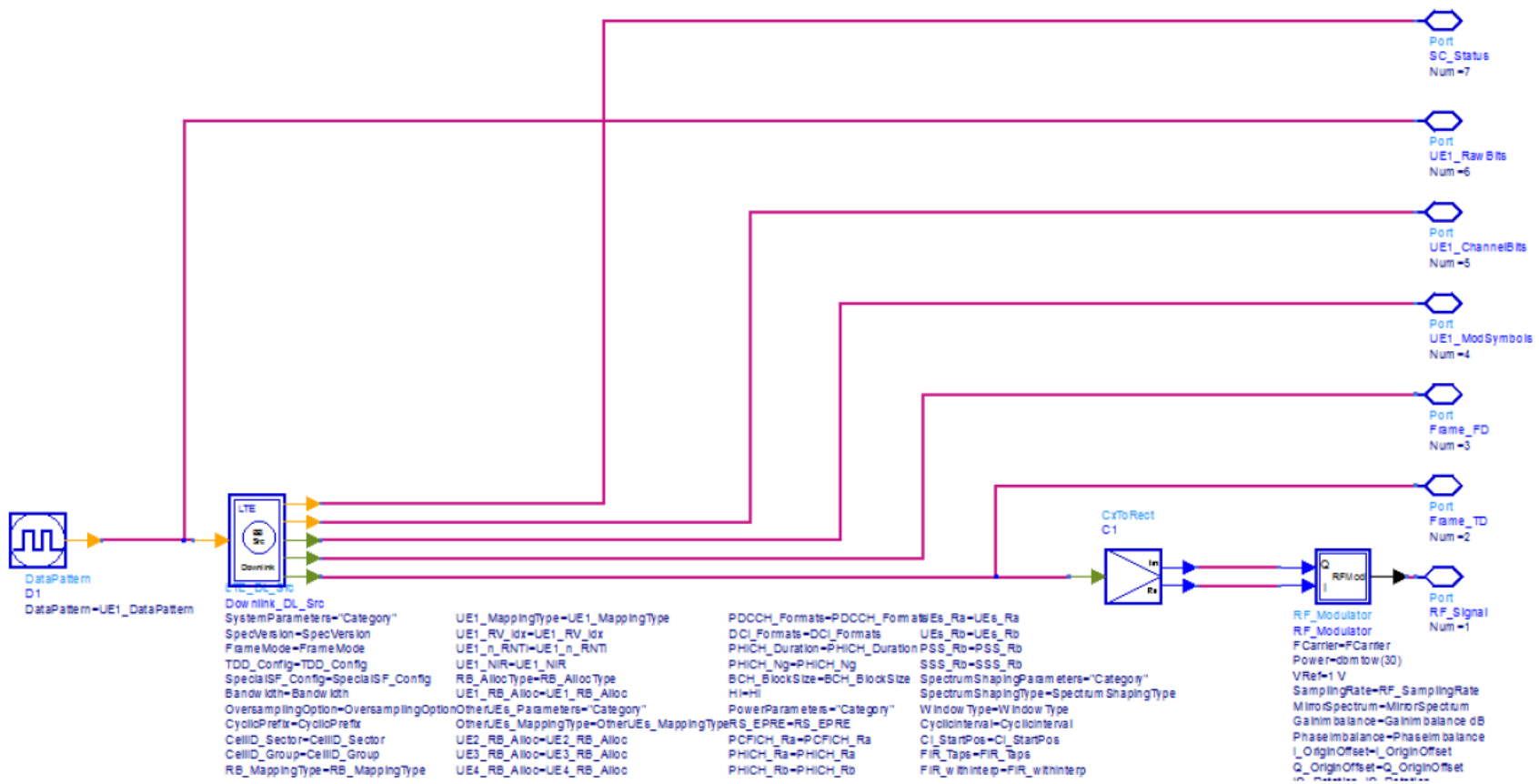


Figura 1.10: Esquema general del bloque del enlace descendente del sistema LTE

En la Figura 1.11 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.

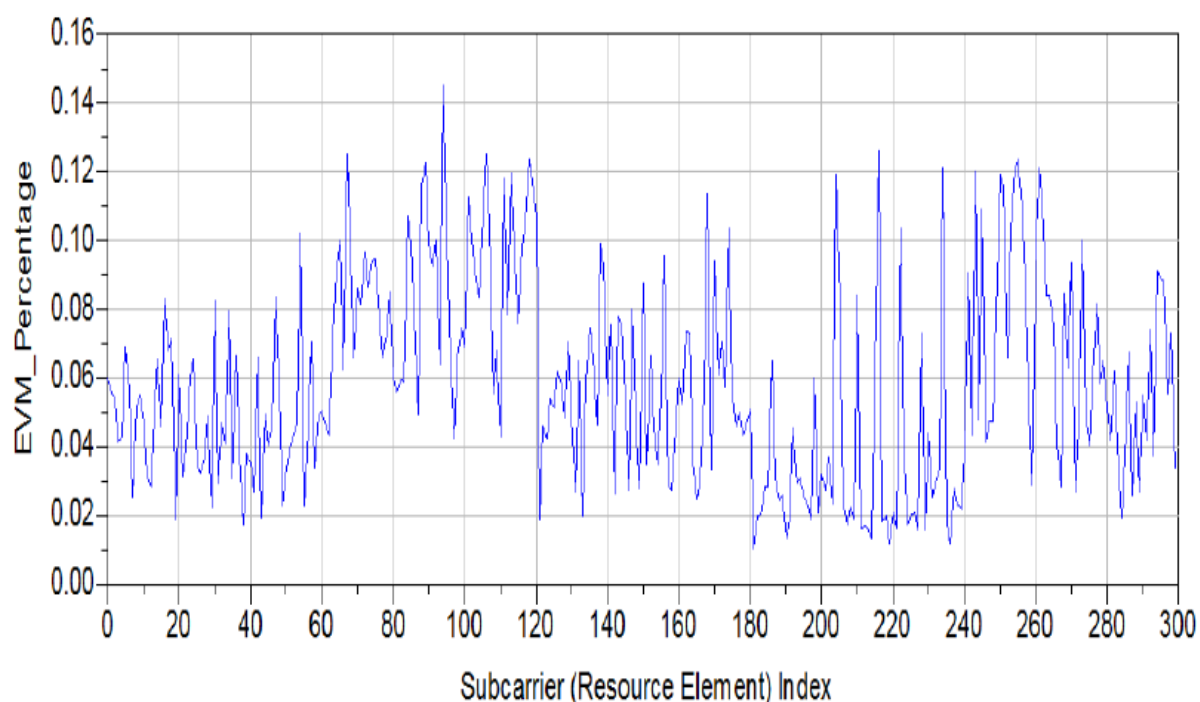


Figura 1.11: EVM en función de las subportadoras

En la Figura 1.11 vemos las diferentes constelaciones de los 6 usuarios, que se habían elegido en la declaración de variables. El UE1: 16-QAM, UE2: QPSK, UE3: 16-QAM, UE4: 64-QAM, UE5: QPSK y UE6: 16-QAM.

En la Figura 1.12 vemos el espectro de la señal transmitida centrada en 2 GHz como se había indicado en la variable “*FCarrier*”=2000 MHz.

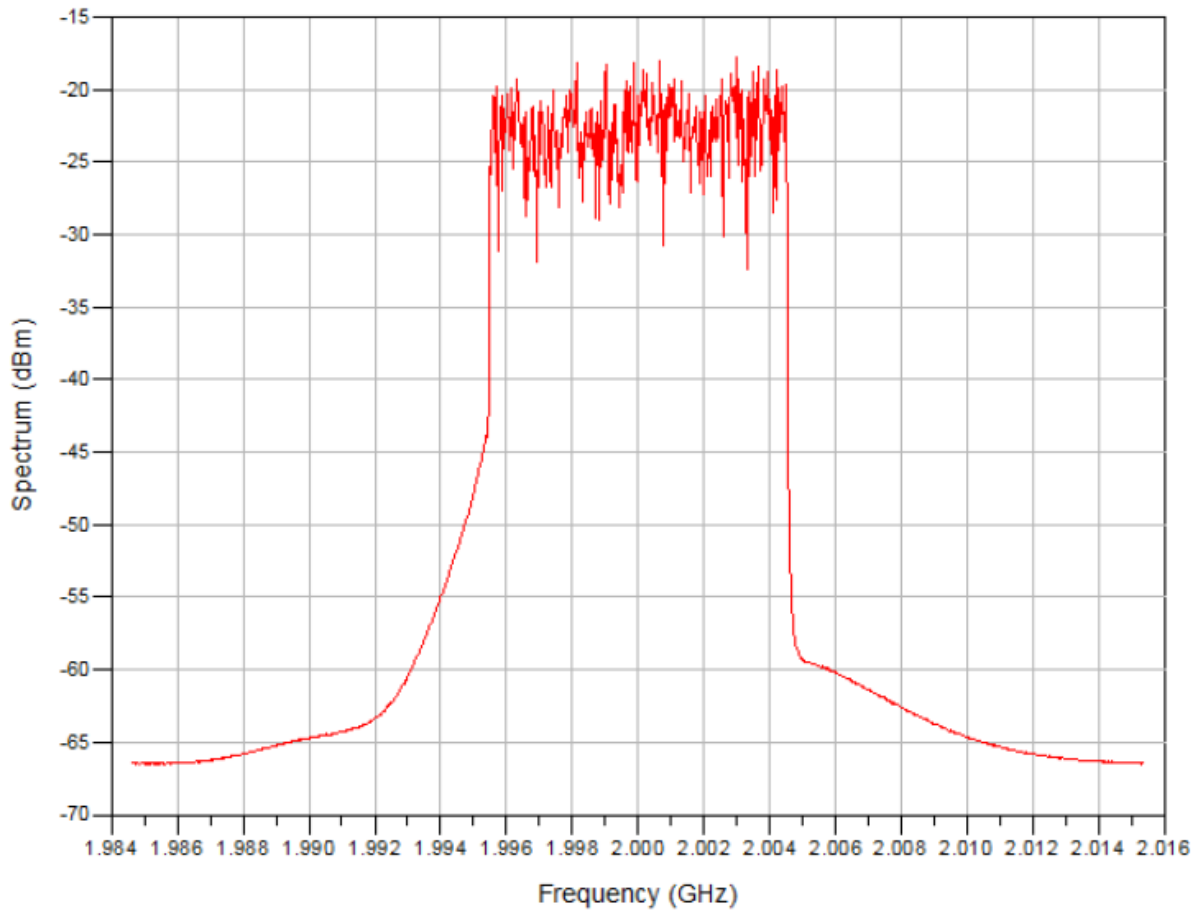


Figura 1.12: Espectro de la señal transmitida centrada en 2 GHz

En la Figura 1.13 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.

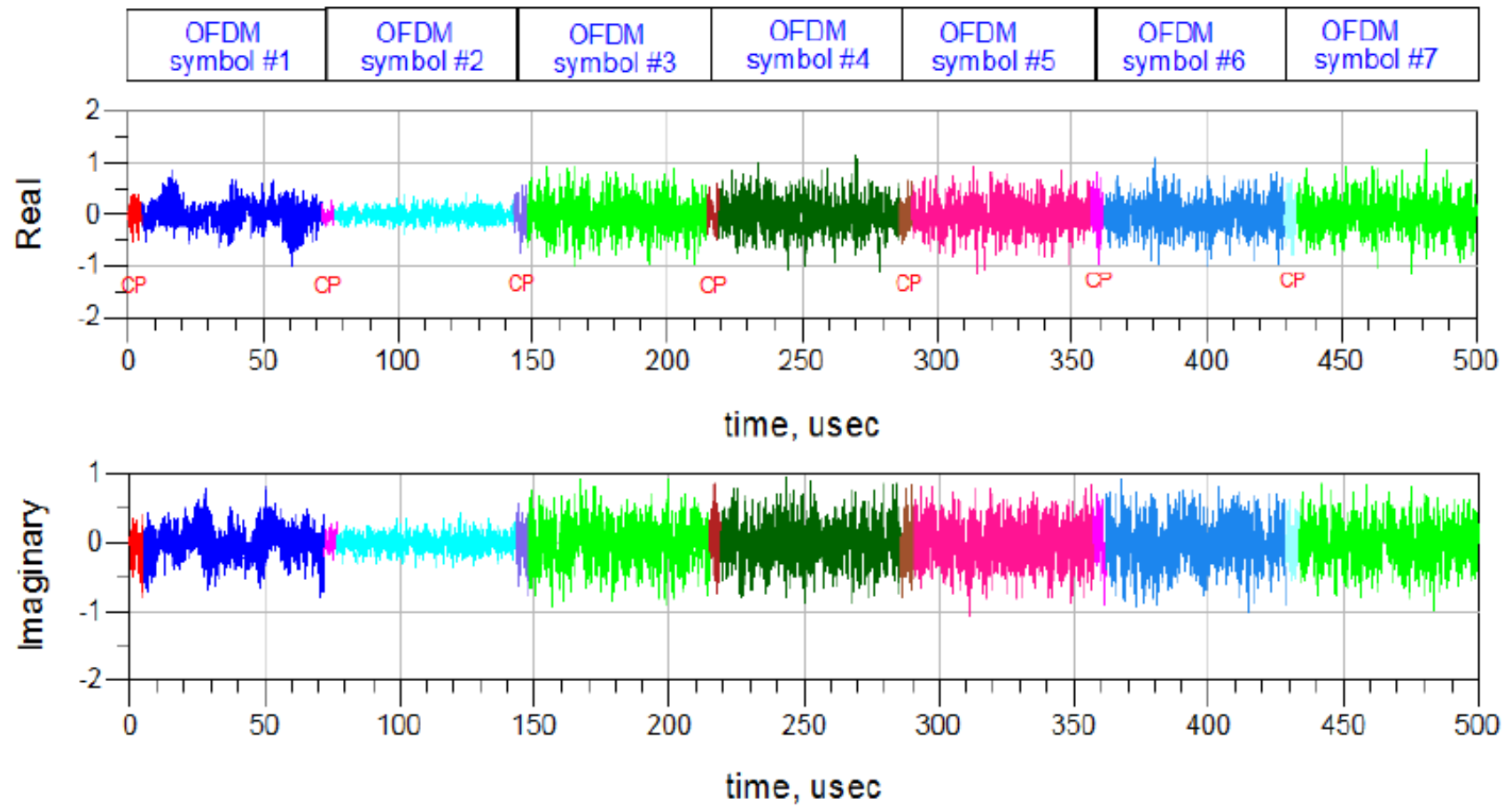


Figura 1.13: Señal OFDMA en el tiempo

En la Figura 1.14 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.

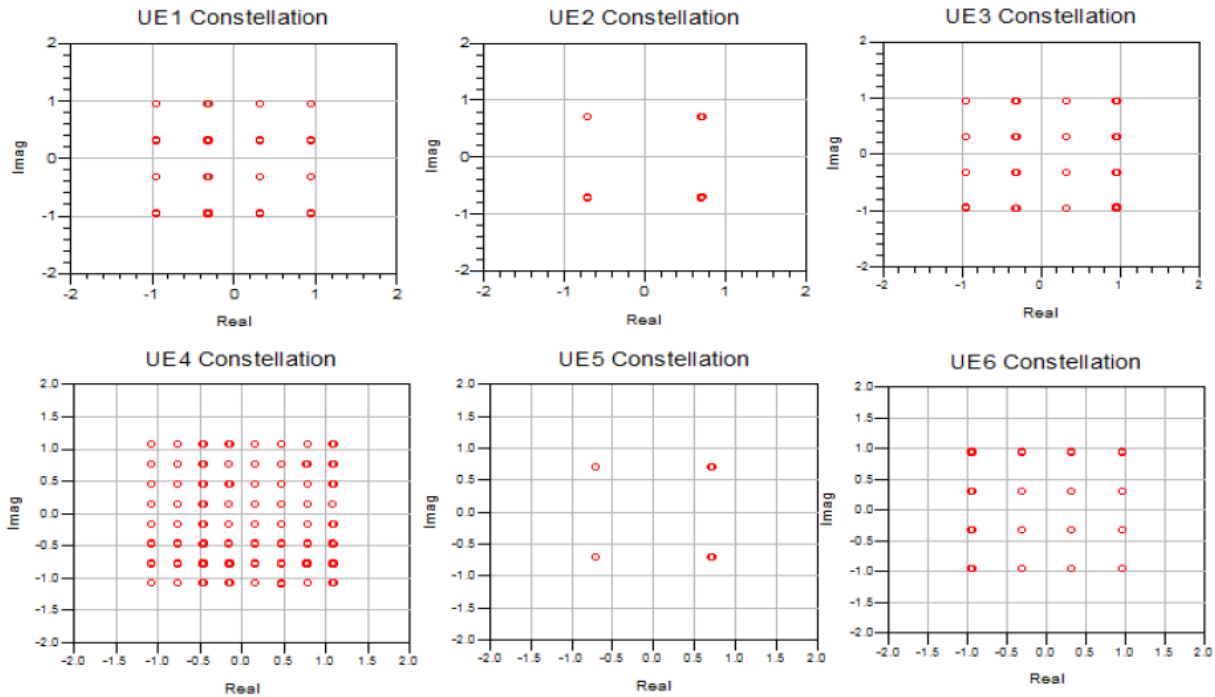
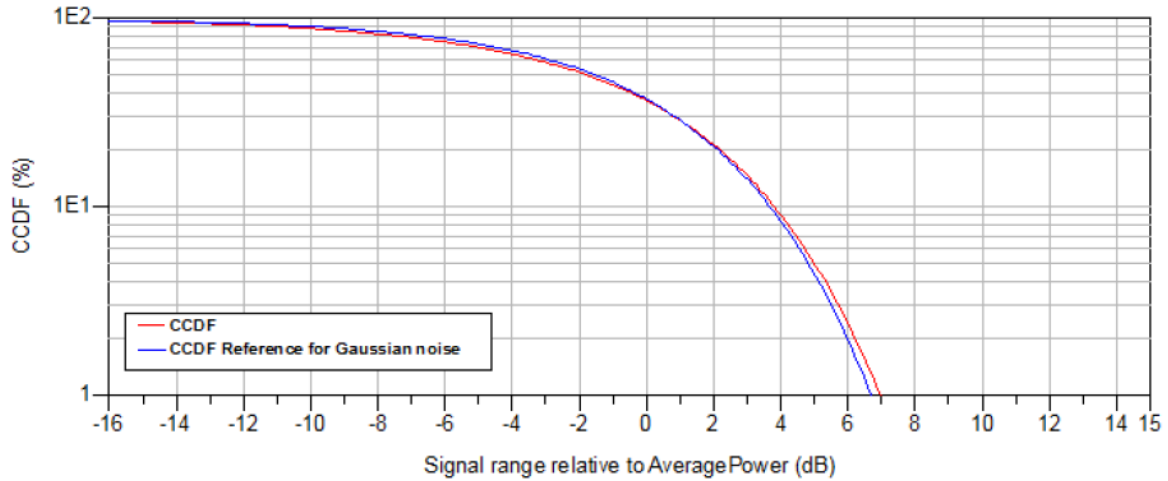


Figura 1.14: Constelaciones de los diferentes usuarios

Para terminar, en la Figura 1.15 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



Eqn RF_CCDF_Ref=100*power_ccdf_ref(SignalRange_dB)

Eqn PAPR_dB=PeakPower_dBm-MeanPower_dBm

Eqn AveragePower_dBm=MeanPower_dBm

Figura 1.15: CCDF %

CAPITULO II

SOLUCIÓN TECNOLÓGICA 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.

La solución tecnológica de este proyecto, basada en 4G, está orientada para servir a los operadores de redes móviles que buscan brindar servicios de datos de alta velocidad y con una gran área de cobertura, a un costo relativamente bajo de implementación y con muchas ganancias para la empresa que esté dispuesta a implementarlo.

La tecnología LTE-A, tiene un costo de instalación relativamente bajo comparado con el precio de instalación de tecnologías anteriores, además que se obtiene mayor cobertura que con tecnologías anteriores, y por su comportamiento celular acepta mayor cantidad de usuarios y su sistema inalámbrico está mejor equipado para acomodar el crecimiento de la utilización de datos, video y voz.

El aporte del presente documento se enfoca en brindar parámetros preliminares siguiendo las condiciones que dicta IMT–Avanzada, para desplegar y explotar redes basadas en dicha tecnología.

2.1 ESQUEMA GENERAL LTE-AVANZADO

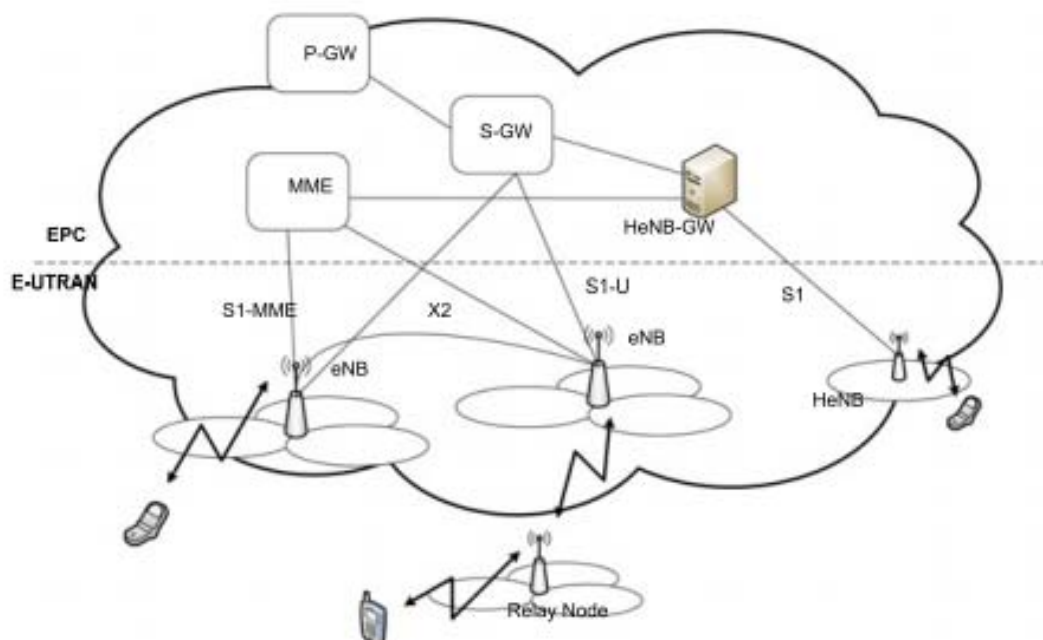


Figura 2.1: Arquitectura LTE – Avanzada E-UTRAN

Descripción Detallada

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 traspasos. 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

En la tabla 2.2 su muestra la clasificación de las distintas bandas de operación LTE, en nuestro caso las bandas 13 a la 17, pueden ser utilizadas para nuestros fines de proyecto.

Tabla 2.2: Despliegue Global de Bandas de Frecuencias para LTE

BANDAS LTE	UPLINK (MHz)	DOWNLINK (MHz)	DESPLIEGUE EN EL MUNDO
1	1920 – 1980	2110 – 2170	China, Japón, Estados Unidos, Asia u Australia
2	1850 – 1910	1930 – 1990	Norte América y Sudamérica
3	1710 – 1785	1805 – 1880	Estados Unidos, China, Asia, Australia y África
4	1710 – 1755	2110 – 2155	Norte América y Sudamérica
5	824 – 849	869 – 894	Norte América, Sudamérica, Australia, Asia y África
6	830 – 830	875 – 885	Japón
7	2500 – 2570	2620 – 2690	Estados Unidos, Sudamérica, Asia, Australia y África
8	880 – 915	925 – 960	
9	1749.9 - 1784.9	1844.9 - 1879.9	Japón
10	1710 - 1770	2110 – 2170	Norte América y Sudamérica
11	1427.9 - 1447.9	1475.9 - 1495.9	Japón
12	698 - 716	728 – 746	Norte América
13	777 - 787	746 – 756	Norte América
14	788 - 798	758 – 768	Norte América
17	704 - 716	734 – 746	Norte América

Tabla 2.2: Despliegue Global de Bandas de Frecuencias para LTE (Cont.)

BANDAS LTE	UPLINK (MHz)	DOWNLINK (MHz)	DESPLIEGUE EN EL MUNDO
18	815 - 830	860 – 875	Norte América, Sudamérica, Australia, Asia y África
19	830 - 845	875 – 890	Norte América, Sudamérica, Australia, Asia y África
20	832 - 862	791 – 821	Estados Unidos
21	1447.9 - 1462.9	1495.9 - 1510.9	Japón
22	3410 - 3500	3510 – 3600	
24	1626.5 - 1660.5	1525 – 1559	
33	1900 – 1920		
34	2010 – 2025		China
35	1850 – 1910		
36	1930 – 1990		
37	1910 – 1930		
38	2570 – 2620		Estados Unidos
39	1880 – 1920		China
40	2300 – 2400		China y Asia
41	2496 – 2690		
42	3400 – 3600		
43	3600 – 3800		

2.2 CANALIZACIÓN EXISTENTE

En Nicaragua, las inversiones en el sector telecomunicaciones, se desarrollan en un modo acelerado, siendo uno de los países de Centroamérica con una de las redes más modernas y un mercado creciente cada año, esto según datos estadísticos de Telcor ente regulador nacional.

Actualmente los operadores Claro y Movistar, solo proporciona acceso a datos de banda ancha sobre redes de 3G, lo cual hace que sus sistemas operen bajo una arquitectura fallback, esto significa que cuando una llamada de voz se va a iniciar o va ser recibida, automáticamente se puede conmutar de circuito a una red 2G o 3G, según el área urbana donde se encuentren los usuarios.

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 2.3: Especificaciones LTE UIT – Propuesta a Desarrollarse

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.

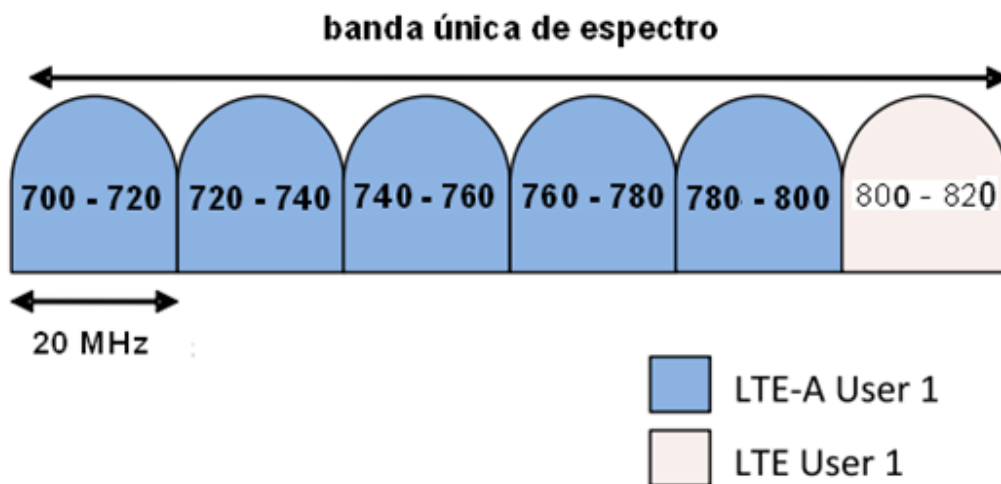


Figura 2.2: Intrabanda Contigua en la Banda de 700 MHz

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.

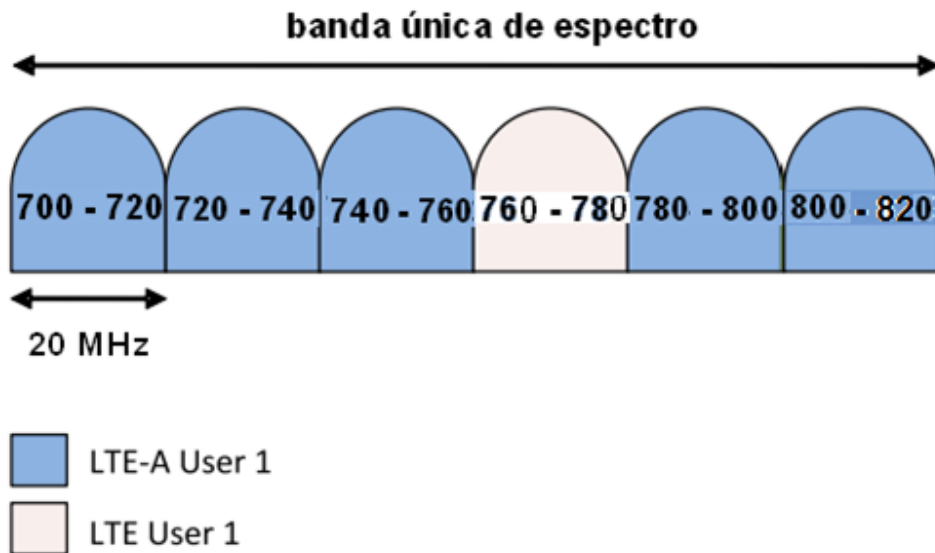


Figura 2.3: Intrabanda No Contigua en la Banda de 700 MHz

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.

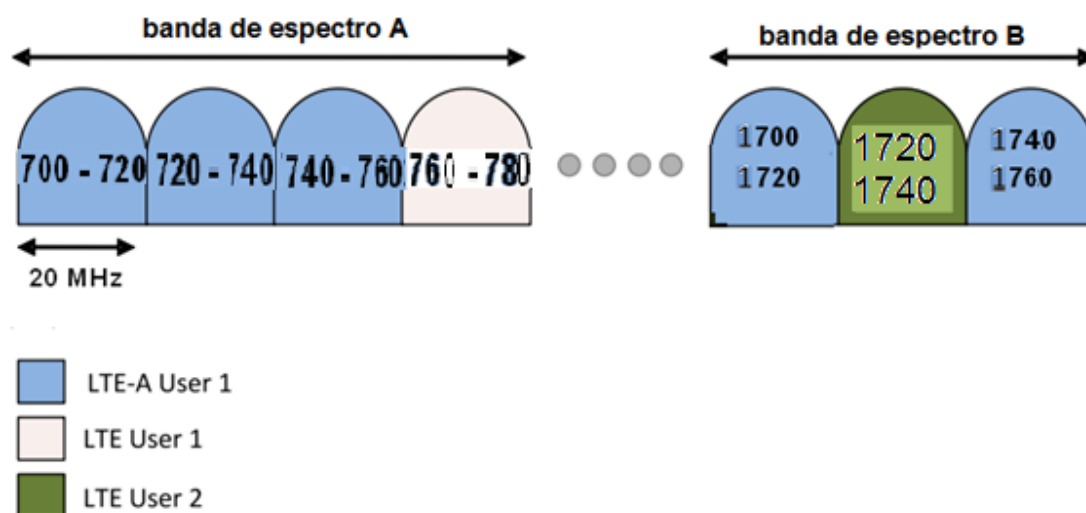


Figura 2.4: Interbanda No Contigua en la Banda de 700 MHz y 1700MHz.

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. Un escenario posible es el representado en la figura. 2.5. Un UE se encuentra dentro del rango de transmisión de un eNB de LTE-Advanced y un eNB LTE. El UE tiene la flexibilidad de utilizar la banda de espectro de la LTE eNB y las bandas adicionales proporcionadas a través de la eNB LTE-Advanced. De esta manera, la " banda base"

(utilizado para los UE LTE dentro de la cobertura de eNB LTE-Avanzada) puede dar prioridad para los UE LTE o viceversa dar prioridad a los UE LTE-Avanzada. En este escenario es posible la transmisión coordinada de múltiples eNBs. Los procesos de gestión de recursos de radio ó en inglés radio resource management (RRM) y los algoritmos se pueden mejorar para lograr la utilización de recursos más alta posible.

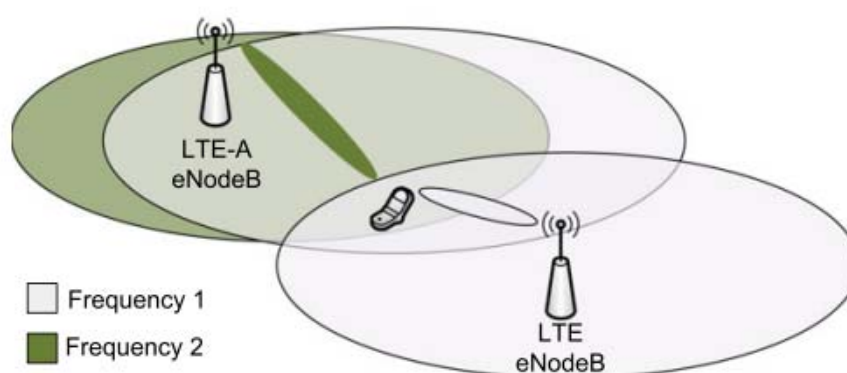


Figura 2.5: Escenario Posible para Agregar Portadoras LTE y LTE-Advanced

Control de Retransmisión

LTE utiliza el método de control de errores Automatic Repeat-reQuest (ARQ) en la capa Radio Link Control (RLC) al igual que en la capa MAC con el fin de lograr la baja probabilidad de error requerida para alcanzar 100 Mbps. Ambos métodos se complementan entre sí para evitar la sobrecarga excesiva, mientras que el logro de un alto rendimiento, especialmente teniendo en cuenta la relación entre la probabilidad de error y el rendimiento en TCP.

2.3 ARQUITECTURA DEL TRANSCÉPTOR

Para utilizar bandas de espectro más amplio, LTE-Advanced debe usar transceptores de banda ancha. Los dos enfoques básicos para transceptores de comunicación de banda ancha son los siguientes:

Múltiples Transceptores de una sola Banda

Para “n” bandas de espectro, se utilizan “n” transceptores, en otras palabras uno para cada banda del espectro. En este caso, los transceptores trabajan simultáneamente, lo que permite el uso de todas las bandas del espectro simultáneamente.

En el caso de tomar en cuenta todas las bandas de la tabla 2.1 (7 bandas), LTE-Advanced requeriría siete transceptores utilizando este esquema. Existe un punto en el que los transceptores se unen en el procesamiento de las señales. En la figura. 16, se muestra un ejemplo de un diagrama de bloques de un receptor, donde el procesamiento de la señal digital es el punto de unión de los transceptores paralelas. El receptor tiene una sola antena, y varias ramas de RF. Cada rama tiene un filtro pasa banda de RF de banda de espectro específico, una interfaz de RF, y un convertidor analógico-a-digital.

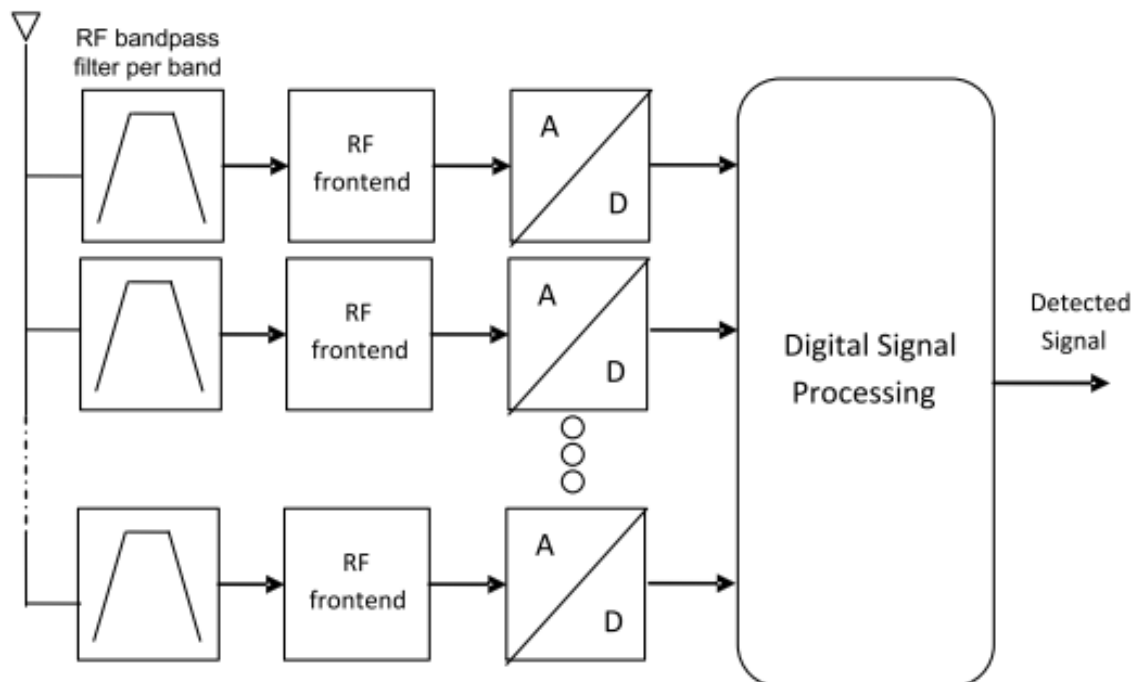


Figura 2.6: Múltiples Receptores de una sola Banda

Transceptor de Banda Ancha

En este caso, un único transceptor procesa todas las bandas del espectro de interés, y el filtrado de cada banda del espectro individual se realiza en el dominio digital, LTE-Advanced se procesará la banda de espectro de 450 MHz a 4,99 GHz a través de este esquema. En la figura. 2.7, muestran un ejemplo de un diagrama de bloques de un receptor de alto nivel. Se compone de un filtro de paso de banda de RF, interfaz RF, convertidor de analógico a digital, y los bloques de procesamiento de señales digitales. Debido a la naturaleza de banda ancha de este tipo de transceptores, la mayor parte de los componentes de RF utilizados tienen la necesidad de ser de banda ancha.

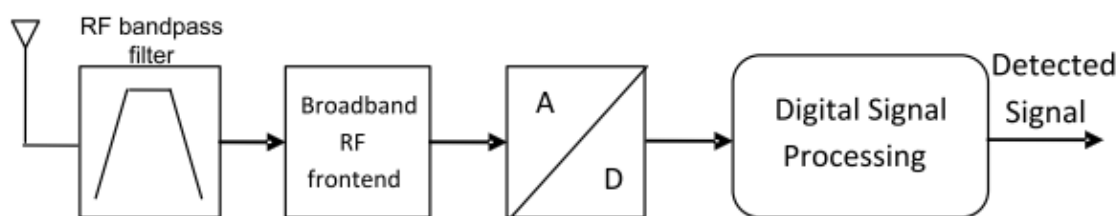


Figura 2.7: Receptor de Banda Ancha

MIMO Mejorado

El concepto MIMO mejorado se concibe como un marco multi-modo adaptativo donde la demanda de mayor velocidad de datos y una cobertura más amplia se acomoda al seleccionar el esquema MIMO adecuado. La estrategia de adaptación se elige en función de las diferentes mediciones de canal que se recogen en la estación base a través de un mecanismo de retroalimentación. Además, LTE-Advanced permitirá a varias de las tecnologías MIMO ser combinadas en lo que se conoce como precodificación extendida o avanzado. La figura 2.8 muestra la idea detrás de este concepto y la figura 19 ilustra los principales tres modos de funcionamiento. Además, cada uno de ellos se dirige a una de las mejoras llevadas a cabo por LTE-Advanced.

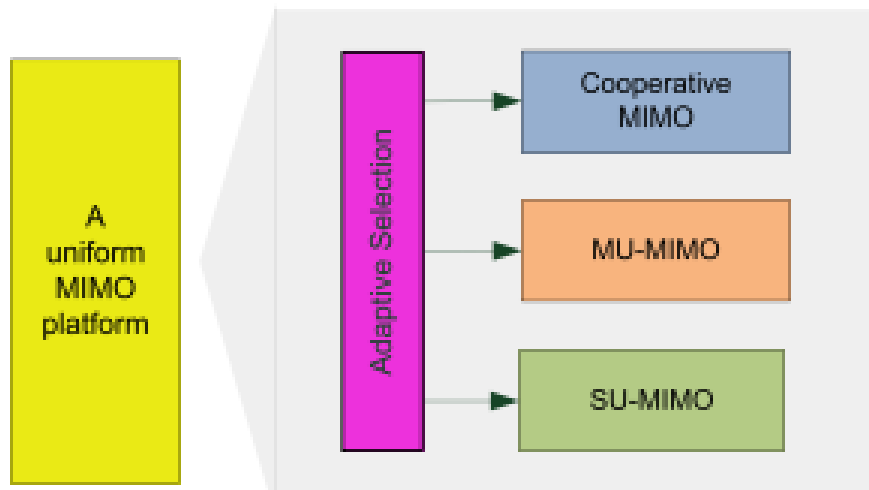


Figura 2.8: Esquema de Conmutación Adaptativa MIMO

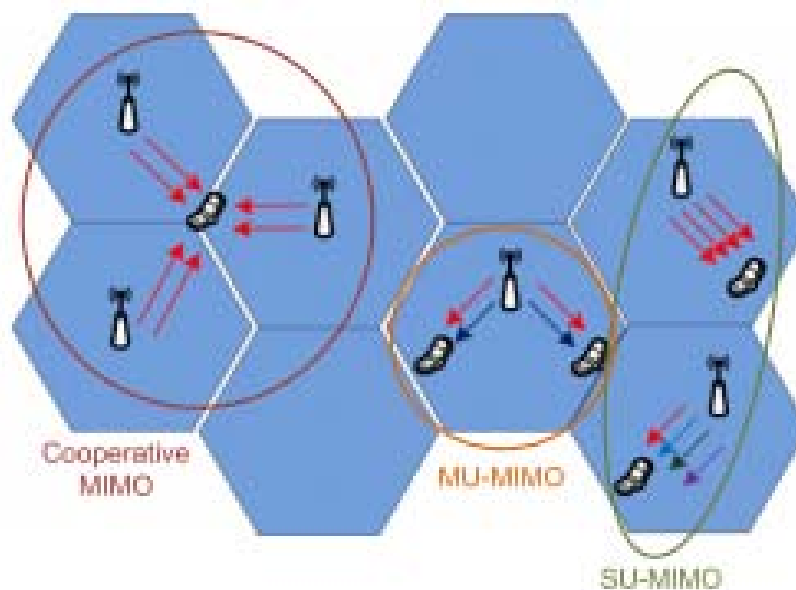


Figura 2.9: Principales Modalidades MIMO LTE-advanced

MIMO mono usuario (SU-MIMO): la diversidad de transmisión y las técnicas de multiplexado espacial se pueden seleccionar para la transmisión en combinación con la formación de haz. Esta nueva característica junto con una orden superior MIMO (es decir, un aumento del número de puertos de antena) hacen posible un aumento sustancial en las tasas pico de datos de usuario.

MIMO multiusuario (MU-MIMO): este ofrece el mejor rendimiento, complejidad y equilibrio. La flexibilidad de Space Division Multiple Access (SDMA) aumenta al permitir que un número diferente de corrientes para llegar a cada usuario con el fin de aumentar la tasa de datos promedio de células. SU-MIMO y MU-MIMO constituyen lo que se llama MIMO de sitio único.

Cooperativa MIMO: el rendimiento de usuario en el borde de la celda es impulsado por técnicas que permiten que utilizan la coordinación en la transmisión y recepción de señales entre las diferentes estaciones de base, que también ayuda a reducir la interferencia entre celdas. Estas técnicas también son conocidas como multipunto coordinado de transmisión y recepción (CoMP).

La idea es realizar una SpaceDivision Múltiple Access inteligente (SDMA) de modo que el patrón de radiación de la estación base está adaptado a cada usuario para obtener la ganancia más alta posible en la dirección de ese usuario. La inteligencia, obviamente, se encuentra en las estaciones base de las que recogen la channel state information (CSI) de cada UE y decidir sobre la asignación de recursos.

MIMO se utiliza para aumentar la tasa de bits global a través de la transmisión de dos (o más) diferentes flujos de datos en dos (o más) diferentes antenas - utilizando los mismos recursos, tanto en frecuencia y tiempo, separados sólo por el uso de diferentes señales de referencia - para ser recibido por dos o más antenas. Figura 2.10.

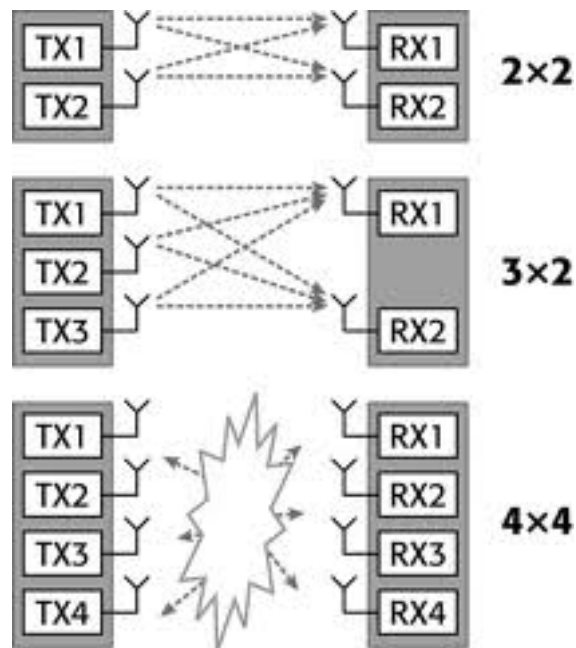


Figura 2.10: Configuraciones MIMO LTE-Advanced

A continuación se presenta la Tabla 2.4 con los requerimientos de eficiencia de espectro y algunos otros parámetros clave de comparación entre LTE, IMT – ADVANCED y LTE – ADVANCED.

Tabla 2.4: COMPARACIÓN PARÁMETROS CLAVE LTE, IMT-A y LTE-A

System aspect		E-UTRA/LTE (3GPP Rel-8)	IMT-Advanced requirements	LTE-Advanced (3GPP Rel-10)	LTE-Advanced feature set to exceed IMT-Advanced requirements	
(Peak) data rates	DL	327.6 Mbps (4x4 MIMO, 64QAM)	1 Gbps (high mobility) 100 Mbps (low mobility)	1 Gbps	Carrier aggregation, MIMO	
	UL	86.4 Mbps (64QAM)		500 Mbps		
Supportable bandwidth		up to 20MHz	40 MHz. up to 100 MHz	up to 100MHz	Carrier aggregation	
Spectral efficiency	Peak	DL	15 bps/Hz (UE category 5)	15 bps/Hz (4x4 MIMO)	30 bps/Hz	8x8 DL SU-MIMO
		UL	3.75 bps/Hz (UE category 5)	6.75 bps/Hz (2x4 MIMO)	15 bps/Hz	4x4 UL SU-MIMO
	Average	DL	1.87 bps/Hz	2.2 bps/Hz	3.7 bps/Hz (4x4 MIMO)	CoMP, MIMO
		UL		1.4 bps/Hz	2.0 bps/Hz (2x4 MIMO)	MIMO, UL enhancements, CoMP
	Cell edge	DL	0.06 bps/Hz (4x2 MIMO)	0.06 bps/Hz (4x2 MIMO)	0.12 bps/Hz (4x4 MIMO)	CoMP, MIMO
		UL	0.03 bps/Hz (2x4 MIMO)	0.03 bps/Hz (2x4 MIMO)	0.07 bps/Hz (2x4 MIMO)	MIMO, UL enhancements, CoMP
U-plane latency		less than 30 ms	less than 10 ms	less than 10 ms		
C-plane latency		less than 100 ms	less than 100 ms	less than 50 ms		

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.

2.4 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 2.11 representa la estructura centralizada de la coordinación entre las diferentes estaciones base.

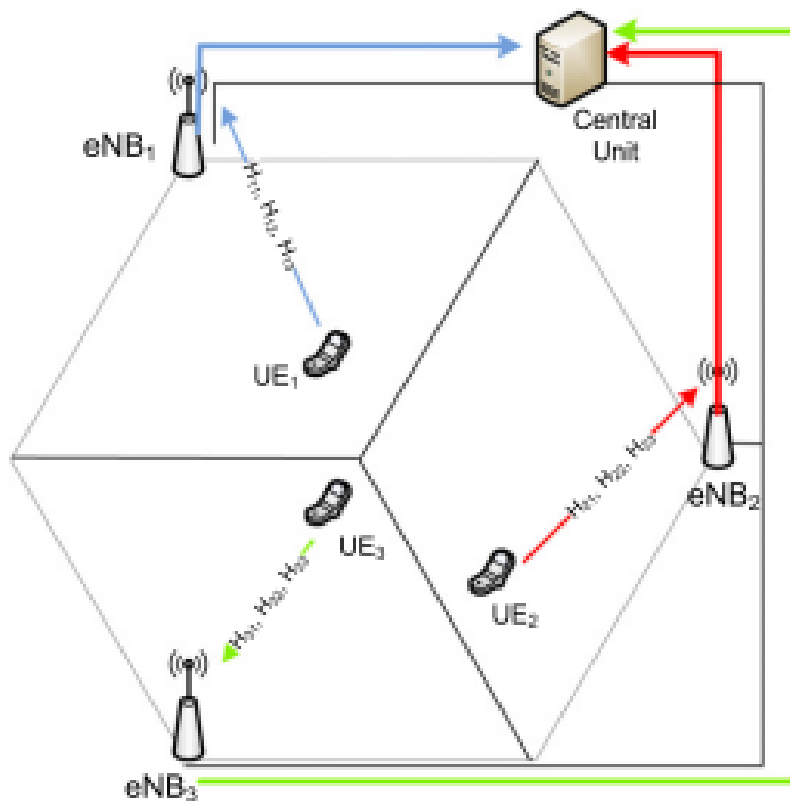


Figura 2.11: CoMP Arquitectura Centralizada

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.

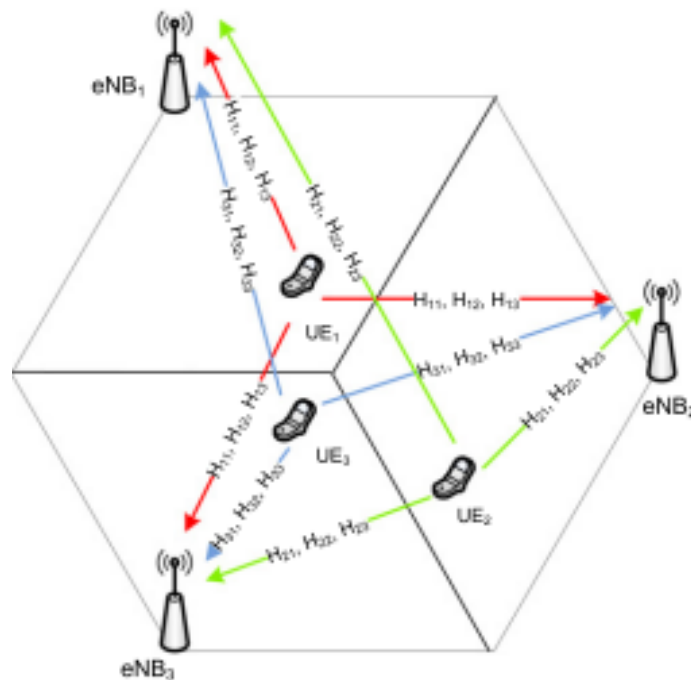


Figura 2.12: CoMP Arquitectura Distribuida

2.5 ESQUEMAS DE DOWNLINK Y UPLINK EN CoMP

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. La figura 2.13 representa un ejemplo de arquitectura de este sistema de transmisión. 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.

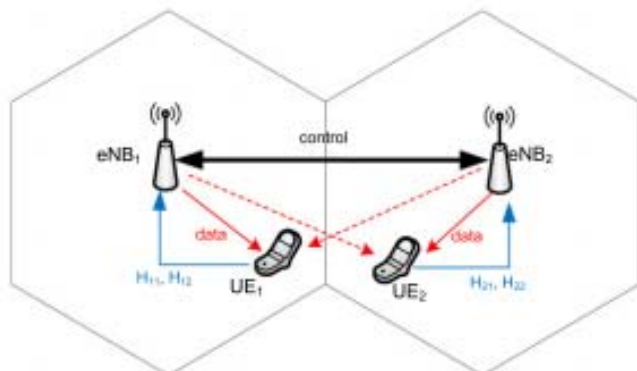


Figura 2.13: Programación Coordinada / Formación de Haz (CS / CB)

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. La figura 2.14 muestra un esquema simplificado de ambas técnicas. En ambos casos, los datos de usuario deben ser compartidos entre estaciones base por lo que un enlace de interconexión muy rápido entre ellos se requiere.

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.

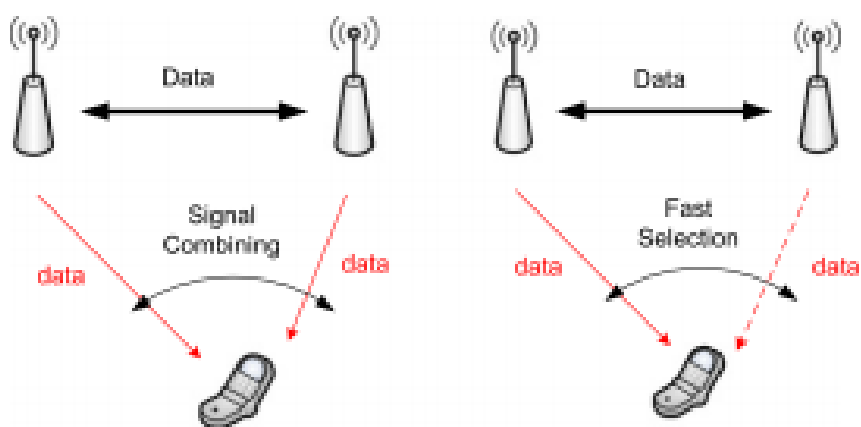


Figura 2.14: Transmisión Conjunta (Izquierda), Selección Dinámica Celdas (Derecha)

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. como la figura 2.15 muestra. 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.

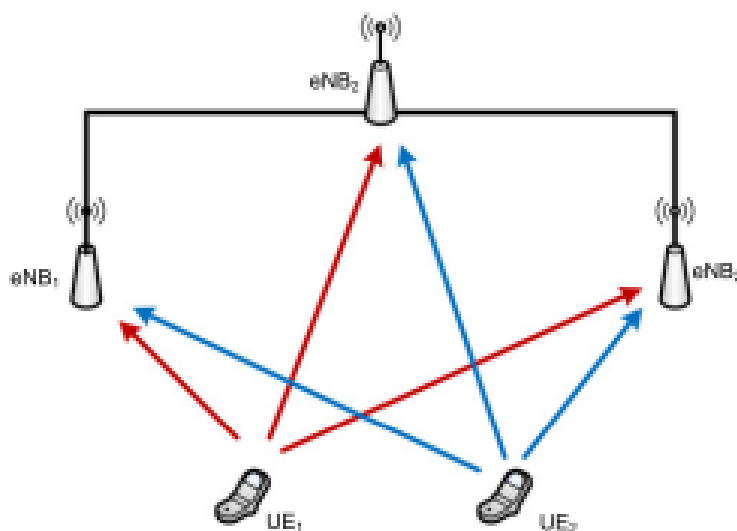


Figura 2.15: Esquema de UpLink en CoMP

ESCENARIO 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 Perdida 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.

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

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 log10(R)
RN-UE Link
PL = Prob(LOS) PL(LOS) + [1-Prob(LOS)] PL(NLOS) PL(LOS): 103.8 + 20.9 log10(R), PL(NLOS): 145.4 + 37.5 log10(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 log10(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	$A(\theta) = -\min[12 (\theta/\theta_{3\text{dB}})^2, A_m]$ $\Theta_{3\text{dB}} = 70^\circ$ and $A_m = 25$ 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

En la Figura 2.15 (a) se presentan implementaciones de RN en el escenario 1, mientras que las implementaciones de RN en el escenario 2 y Escenario 3 se muestran en la Figura 2.15 (b). En ambas 2 niveles de RN se despliegan. Un nivel de RN se define como el número suficiente de RNs requerido para cubrir el borde de la celda y sin dejar huecos de cobertura. En este estudio, en el escenario 1 se despliegan 7 y 14 RNs, que constituyen, respectivamente, 1 y 2 hileras. La segunda hilera es otro grupo de RNs desplegado cerca de la eNB, sin embargo, existen vacíos de cobertura entre las hileras. En el escenario 2 y Escenario 3, se despliegan 5 o 10 RN. El diferente número de RNs por nivel refleja las diferentes áreas de cobertura de RNs en diferentes entornos de propagación.

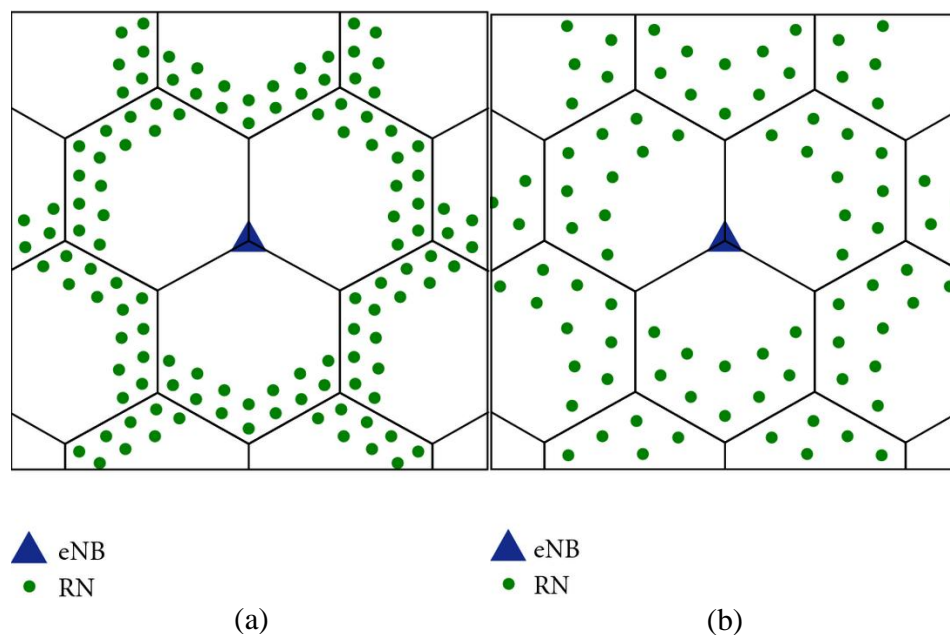


Figura 2.15: Niveles RN

Las Tablas 2.9 y 2.10 presentan, respectivamente, las áreas de cobertura de RN para los tres escenarios considerados en redes con ISD 500 m y ISD 1732 m. Observamos que estos valores ISD han sido ampliamente utilizados en 3GPP para los casos de prueba urbanos y suburbanos. Se ha encontrado que en el caso de ISD 500 m, el primer nivel de RN abarca aproximadamente el 20% de la macrocelda en el Escenario 1, mientras que en el escenario 2 la cobertura es de alrededor de 40%. Un comportamiento similar se experimentó en ISD1732m. Recordamos que el área de cobertura está definida por la selección de células de acuerdo con la intensidad de la señal recibida y, por lo tanto, mejores condiciones de propagación sobre el enlace de acceso en el escenario 2, debido a la componente LOS rendido observados mayor área de cobertura. Esta conclusión también es válida para el escenario 3, pero no, el componente potencial LOS ocurre también en la relación directa entre eNB y la UE y, por lo tanto, las áreas de cobertura de RN son algo menores que en el escenario 2 para el caso ISD 500 m. En el caso de redes con ISD 1732 m, sin embargo, el escenario 3 modela un entorno suburbano donde los UE hacia la experiencia del borde del sector, con muy alta probabilidad, NLOS condiciones de propagación en el eNB que son

peores que las que en el escenario 2. Esto conduce a una mayor cobertura de las RNs en el escenario 3 en ISD 1732 m caso.

Tabla 2.9: Características de Despliegue ISD 500m

RN tiers per sector	Scenario	Number of RNs	Total RN coverage area [%]
1 tier	Sc 1	7	19.5
	Sc 2	5	39.5
	Sc 3	5	35.5
2 tiers	Sc 1	14	33
	Sc 2	10	65
	Sc 3	10	53.5

Tabla 2.10: Características de Despliegue ISD 700m

RN tiers per sector	Scenario	Number of RNs	Total RN coverage area [%]
1 tier	Sc 1	7	21
	Sc 2	5	39
	Sc 3	5	48
2 tiers	Sc 1	14	36.5
	Sc 2	10	61.5
	Sc 3	10	69.5

Límite de Nodos RELAY Desplegados

Desde la perspectiva de extensión de cobertura, el borde exterior de la macrocelda ofrece los lugares más atractivos para los despliegues del RN. Por lo tanto, los relays están por lo general desplegados en los niveles de partida desde el borde macrocelda. Más específicamente, mientras que el balance del enlace relay define la distancia

máxima entre el eNB y el primer nivel RNs, el nivel de interferencia que causaría el eNB con un nodo relay que esté muy cerca sería bastante perjudicial para la eficiencia del servicio, por lo tanto es necesario establecer una distancia mínima práctica entre el eNB y RNs. Para describir esto con más detalle, se considera un usuario entre el eNB y el RN en un lugar donde las facultades que reciba de ambos sean iguales. Por lo cual se define la siguiente formula:

$$\frac{P_{eNB}}{L_{eNB-UE}} = \frac{P_{RN}}{L_{RN-UE}}, \quad (8)$$

donde P_{eNB} y P_{RN} se refieren a las potencias de transmisión de la eNB y la RN, respectivamente, y L_{eNB-UE} y L_{RN-UE} se refieren a las pérdidas de trayectoria en los enlaces. Vamos a considerar sólo las pérdidas de trayectoria dependientes de la distancia y las ganancias de antena para la simplicidad. Entonces:

$$\begin{aligned} L_{eNB-UE} &= G_{eNB} \cdot \alpha_{eNB} \cdot D_{eNB}^{\beta_{eNB}}, \\ L_{RN-UE} &= G_{RN} \cdot \alpha_{RN} \cdot D_{RN}^{\beta_{RN}}, \end{aligned} \quad (9)$$

donde D_{eNB} y D_{RN} son distancias de un UE al eNB y al RN, respectivamente, $(\alpha_{eNB}, \beta_{eNB})$ y $(\alpha_{RN}, \beta_{RN})$ son los parámetros del modelo de pérdida de trayectoria, y G_{eNB} y G_{RN} son las ganancias de antena del eNB y RN respectivamente.

$$D_{RN} = D_{eNB}^{\beta_{eNB}/\beta_{RN}} \cdot \left(\frac{\alpha_{eNB}}{\alpha_{RN}} \cdot \frac{G_{RN}}{G_{eNB}} \cdot \frac{P_{RN}}{P_{eNB}} \right)^{1/\beta_{RN}}. \quad (10)$$

Si utilizamos los parámetros de la tabla 2.5 y tabla 2.8 suponiendo que el RN está en la dirección del eje de alineación de eNB, entonces obtenemos.

$$D_{RN} \approx 0.095 \cdot D_{eNB}^{1.02}. \quad (11)$$

A partir de la geometría macrocelda, encontramos que si $ISD = 500$ m, el rango macrocelda es 333 m. Si RN se encuentra cerca del borde de la celda y, a continuación se la sitúa a 300 m ya sería entonces de 31,94 metros. Por lo tanto, el rango RN es muy

pequeña incluso para los primeros relés de nivel en el escenario 1. Por otra parte, si RN se coloca cerca del punto medio entre el borde de la celda y el eNB, y asumir = 160 m, por ejemplo, tenemos = 16,82 m, y la cobertura de RN llega a ser verdaderamente pequeña. Afortunadamente, la situación en el escenario 2 y Escenario 3 será más favorable para la retransmisión, véase, por ejemplo, las tablas 2.9 y 2.10.

2.6 ESQUEMA FINAL

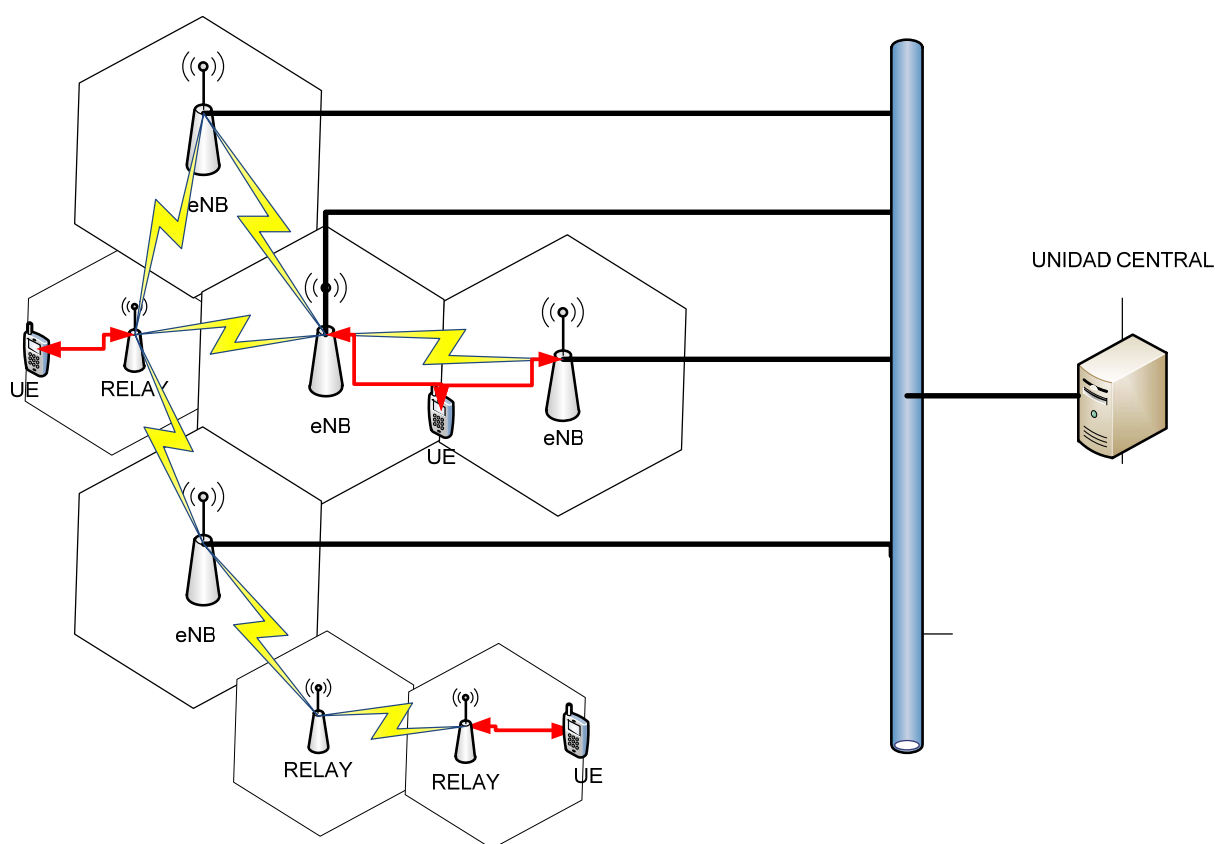


Figura 2.16: Esquema Final de Implementación

La figura 2.16 muestra una Arquitectura Centralizada. Se eligió esta en lugar de la arquitectura distribuida debido a que en la arquitectura distribuida nace del supuesto de que la programación que todos los eNBs son idénticos y el canal de información respecto a todo el conjunto de coordinación puede estar disponible para todos los nodos que intervienen.

Este es un caso teórico y su límite de realización práctica estará determinado por la geografía propia del entorno donde será desplegada la red, por lo que esto implica que no se pueda tener una misma configuración para cada eNB, haciendo que la coordinación se vea afectada y no ser la óptima.

En el caso de la agregación de portadora, como se dijo anteriormente, por el momento en Bolivia no es posible la implementación de esta tecnología debido a que la ATT solo liberó 10 MHz en la banda de 700 MHz, Se sabe que se tiene pensado licitar la banda de 1700 MHz pero aún no se sabe que sección y cuanto de ancho de banda se liberaría. En el supuesto caso que se libere alguna banda y esta sea adjudicada a ENTEL, se recomendaría utilizar el método INTERBANDA NO CONTIGUA y que la agregación de portadora sea de hasta 2 portadoras de 20 MHz, haciendo un total de 40 MHz. Esto por fines prácticos y tomando en cuenta un entorno realista hay que tomar en cuenta que la banda de guarda de para la agregación de portadora sea de 300 KHz o múltiplo de esta.

Para la implementación de Interbanda no contigua se necesitarán MULTIPLES TRANCEPTORES DE UNA SOLA BANDA, el número de transceptores será el mismo número de bandas que esta utilice.

En cualquier caso LTE puede subsistir en las mismas bandas de LTE-Avanzada por que como se dijo LTE – Advanced es: backwards y forwards compatible con LTE esto significa que las bandas designadas para LTE también serían válidas para LTE – ADVANCED; 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).

LTE utiliza el método de CONTROL DE ERRORES AUTOMATIC REPEAT REQUEST (ARQ) por lo cual no se pone en discusión el uso de este.

En cuanto a MIMO un ambiente realista es el uso de 4X2, por el momento, ya que para empezar los UE por el momento no constan con más de dos antenas receptoras, por lo cual no se puede pensar en la implementación de MIMO superior a esta. Por lo cual la eficiencia de espectro llegaría hasta 3.7bps/Hz utilizando CoMP. CON TASAS DE LATENCIAS QUE VAN DESDE 10ms hasta 50 ms

En cuanto a MULTIPUNTO COORDINADO en cuanto al DOWNLINK se utilizará el mecanismo de PROCESAMIENTO CONJUNTO ya que como se dijo se prevé que sea la aplicación dominante de CoMP

En cuanto al UPLINK solo existe un mecanismo, por lo cual no tendríamos más elección.

En cuanto a los nodos RELAY se pueden utilizar dependiendo de su necesidad a HALF DUPLEX o FULL DUPLEX por el momento En Bolivia se podría implementar con un SISTEMA INBAND.

El estudio económico no es factible realizarlo ya que los equipos para LTE-A están en proceso de prueba y no están siendo comercializados, y ni tampoco se tiene especificaciones técnicas de estos. Una de las empresas que está desarrollando la LTE-A es ERICSSON, pero todos los equipos especializados para LTE-A son netamente de prueba.

El equipamiento necesario para la implementación de la tecnología LTE –Avanzada, no se especifica ya que no se tiene especificaciones reguladas por entidades internacionales, por lo cual se encuentran en etapa de prueba.

CAPITULO III

DATOS TECNICOS DE INSTALACION LTE-A

3.1 IMPACTO AMBIENTAL DE LTE-ADVANCED

El desarrollo de la telefonía móvil ha experimentado un crecimiento casi exponencial que ha supuesto la proliferación caótica de este tipo de redes de telecomunicaciones y un aumento significativo de la contaminación electromagnética y la percepción social del riesgo asociado a estas infraestructuras. La legislación nacional Colombiana no ha resuelto de fondo el impacto social y ambiental de las redes de telefonía móvil. La estructura normativa y legislativa que nos rige en Colombia respecto a las redes de telefonía móvil no esta tan desarrollada y preparada como lo ha sido su implantación por los diferentes operadores que cuenta el país, Se ha visto el establecimiento de la trama de telecomunicaciones para sitios muy alejados de las ciudades o mejor llamados rurales con toda una serie de infraestructuras de antenas, estaciones base GSM, UMTS, dipolos, receptores de tv y radio, picocelulas, microantenas, radioenlaces etc. Que se van a multiplicar más con el desarrollo de nuevas tecnologías como LTE.

El porcentaje de Entre 2010 y 2011, los abonados al servicio móvil celular registraron un crecimiento continuo de dos dígitos en los mercados de los países en desarrollo, pero se observó una desaceleración general en comparación con años anteriores. El número de abonados al servicio móvil celular aumentó en más de 600 millones, casi todos ellos en los países desarrollados, a un total de alrededor de 6 mil millones, o sea, 86 de cada 100 habitantes a nivel mundial. China por sí sola alberga mil millones de abonados y se espera que la India llegue a mil millones en 2012. La tasa de penetración móvil celular aumentó en un 11% en todo el mundo, en comparación con 13% el año anterior. En general, el aumento del número de proveedores de servicios ha dado lugar a una competencia a veces feroz en el sector y ha hecho bajar los precios al consumidor de manera significativa, lo cual ha sido un factor clave en la propagación de los servicios móviles celulares.

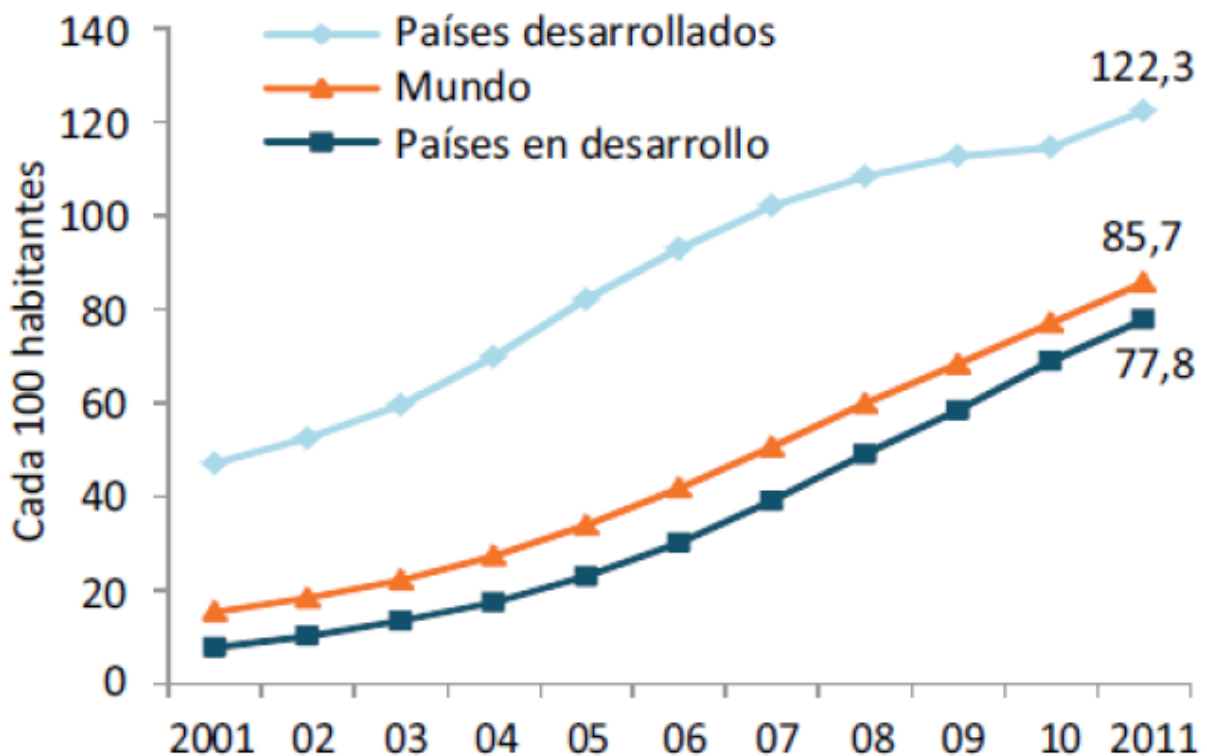


Figura 3.1: Abonados servicio móvil celular en el mundo y por nivel de desarrollo 2001-2011 ITU.

LTE tiene una característica muy importante la cual el hecho de interactuar con una red RAN y no ser de por si una RAN permite a los operadores de telefonía móvil independiente de sus condiciones de servicio (Virtual o no Virtual) permite la escalabilidad en las tecnologías existentes o mejor llamado su correspondiente migración del actual estándar UMTS de manera escalada sin afectar los servicios o la interrupción de los mismos por el cambio de plataforma tecnológica. Tomando en cuenta como punto relevante en las redes LTE-A lo descrito anteriormente desde su implementación tecnológica, permitiendo mayor cobertura a partir de frecuencias y tasas de transferencia mayores, permitiendo mayor independencia de la red LTE-A a su red de acceso RAN.

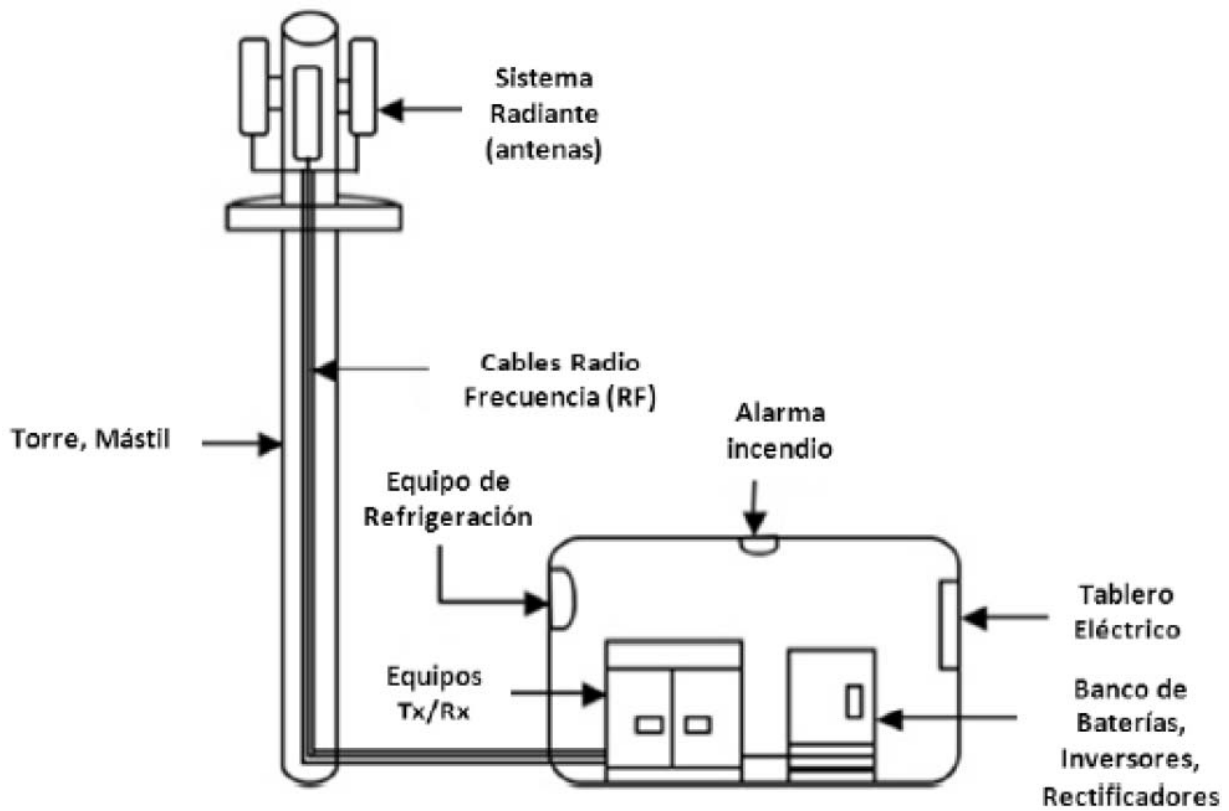


Figura 3.2: Diseño conceptual de una estación base BTS

Eso hace que la cantidad de energía consumida por la red de acceso sea menor a lo frecuentemente usado, una RAN representa alrededor de un 30% de la energía utilizada para un servicio de telefonía móvil actual, otro componente que consume grandes cantidades de energía son las estaciones base de telefonía móvil (*Base Transceiver Station BTS*) las cuales representan el centro de toda la actividad de comunicación con vista hacia la prestación del servicio (Potencia para cubrir una celda), el esfuerzo adicional que se está implementando en este tipo de redes RAN se presenta técnicas de software para mitigar en parte toda la carga a la red como tal y otorgarle el esfuerzo al software. Siendo así todas las empresas deben reducir las emisiones de CO₂ y un uso innovador de la tecnología móvil como la tecnología LTE-A puede crear una economía con bajas emisiones.

La necesidad de reducir las emisiones de gases efecto invernadero es una notable oportunidad de negocio para este tipo de empresas los productos y servicios inteligentes permitirán ahorrar el dinero a los clientes y ayudaran a reducir las emisiones, por lo que su atractivo se irá incrementando a medida que el coste de CO₂ aumente.

Tabla 3.1: Conversión entre factores de energía y CO₂

Generación CO ₂	Kilogramos CO ₂
1kWh de electricidad	0.5453
1kWh de gas natural	0.185
1 m ³ de electricidad	1.9

Las oportunidades en la disminución de emisiones de gas en servicios móviles que se proyectan hacia el 2020 se basan en diseño de dispositivos móviles (UE), desarrollo de sistemas Software para soportar dispositivos electrónicos de carga de trabajo alta (Firewalls) que corresponden a 113 millones de toneladas de CO₂ que equivalen a la reducción del 18% de las emisiones del Reino Unido en el 2008.

Esto significa un ahorro de 43.000 millones de euros solo en gasto energético i requerirá 1.000 millones de conexiones móviles el 87% de ellas de maquina a máquina (M2M), para conectar un dispositivo a otro de manera inalámbrica. Lo cual resulta a otros gobiernos muy útiles datos como los anteriores y a entes implicados en la normalización de reglas para proteger el medio ambiente sin dejar de lado el desarrollo tecnológico como tecnologías emergentes LTE-A.

3.2 ESPECIFICACIONES TECNICAS DE TECNOLOGIA 4G

Especificaciones Modem ZTE USB

A continuación se ilustra las especificaciones del modem ZTE USB con el cual se realizó una de las pruebas de transferencia de datos.

ZTE MF 821 USB MODEM



Introducción

El módem USB ZTE es un módem USB multi modo, que operando en redes LTE FDD/UMTS /EDGE /GSM. Con una interfaz USB de conexión a su computador, este integra las funcionalidades de un módem y combina la comunicación móvil con el internet perfectamente. El módem soporta datos permitiéndole comunicarse a cualquier lugar y/o cualquier hora.

Especificaciones

La tabla a continuación muestra las especificaciones de su dispositivo.

Tipo de interfaz	USB 2.0 de alta velocidad
Sistemas soportados	Soporta la mayoría de tipos computadores portátiles y de escritorio.
Sistemas operativos soportados	Windows XP, Vista, Windows 7 MAC 10.5, 10.6, 10.7,
Funciones	Servicios de datos, administración de aplicaciones, etc.
Estándares de red	LTE FDD/UMTS/EDGE/GSM

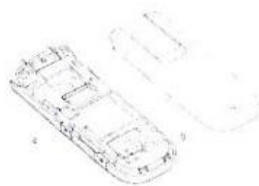
Velocidad de transmisión (Max)	LTE-FDD: 100Mbps DL, 50Mbps UL HSUPA: 5.76Mbps UL, HSDPA: 42Mb/s DL WCDMA PS: UL 384kbps/DL 384kbps
Temperatura	Almacenamiento: -40°C ~ +80°C
	Operación: -10°C ~ +45°C
Dimensiones	87.3mm×29.5mm×14mm
Capacidad microSD	Soporta tarjeta microSD de hasta 32GB

Notas:

microSD  es una marca registrada de la Asociación SD Card.

Conociendo su dispositivo

La imagen a continuación muestra la apariencia del MF821. Esta es solo para referencia. El producto real puede diferir



1. Conector USB
2. Tapa frontal
3. Indicador
4. Ranura para tarjeta microSD
5. Ranura para tarjeta (U)SIM

Instalación del Hardware

1. Coloque el dedo en el agarre táctil inferior y levante la tapa delantera del módem para soltarla y removerla.

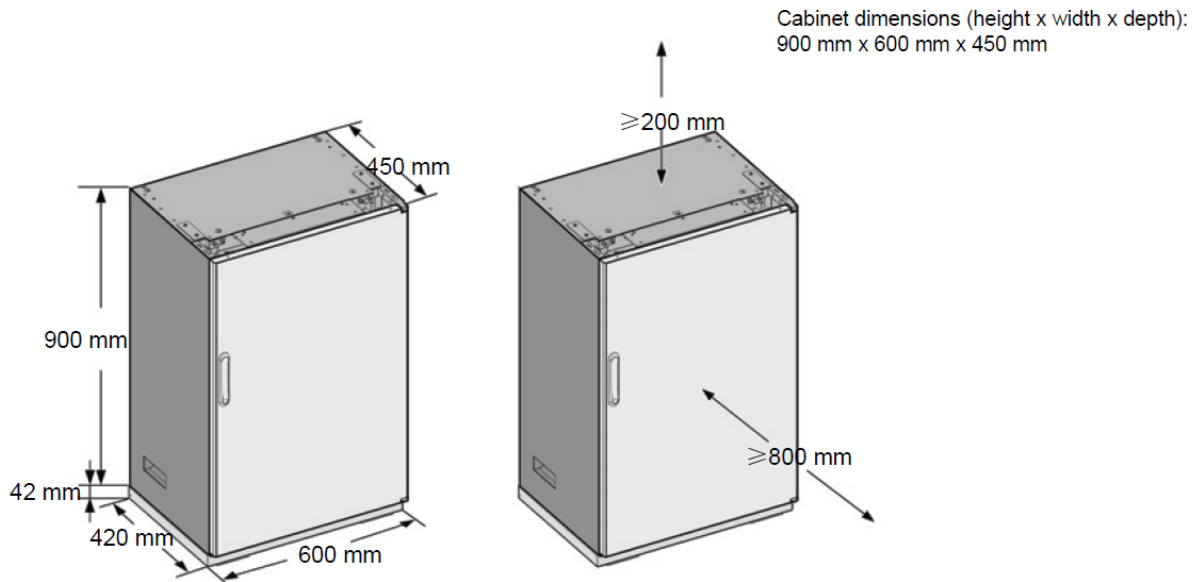
Notas:

Levante la tapa delantera cuidadosamente para evitar daños a la misma.

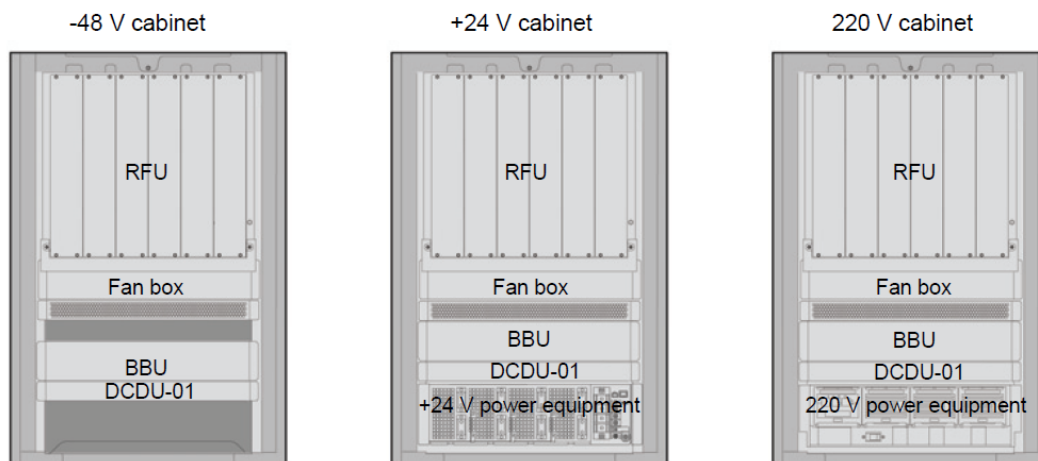


ESTACION BASE BTS3900 LTE V100R002C00

Clearance for the Cabinet

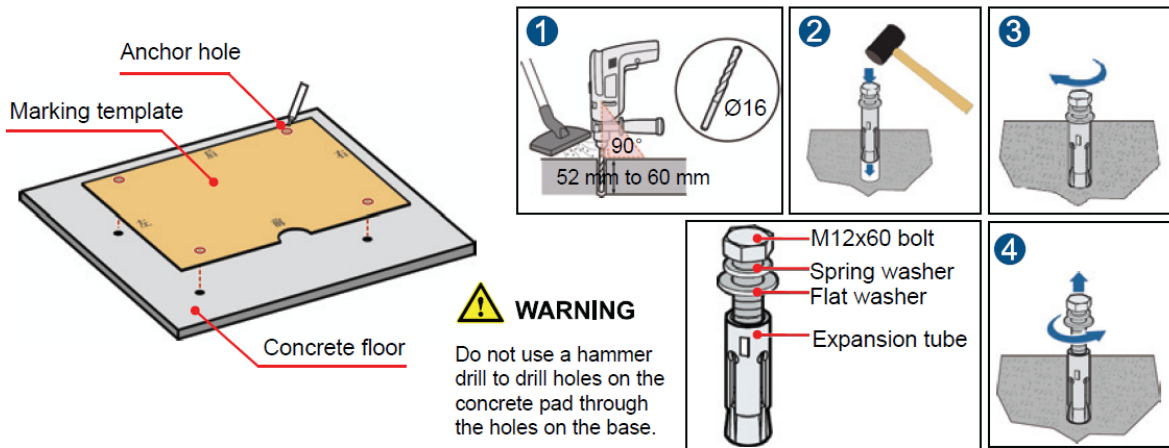


Modules in the Cabinet

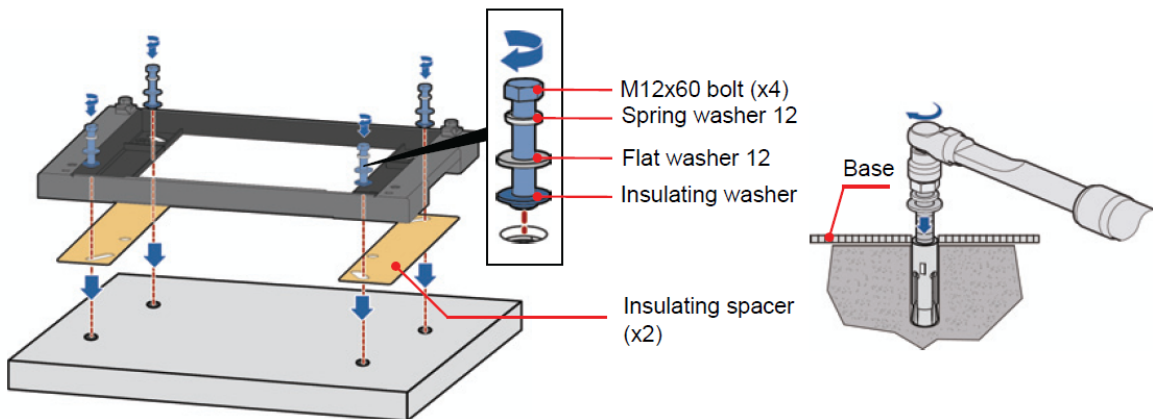


Installing the Base on the Concrete Floor

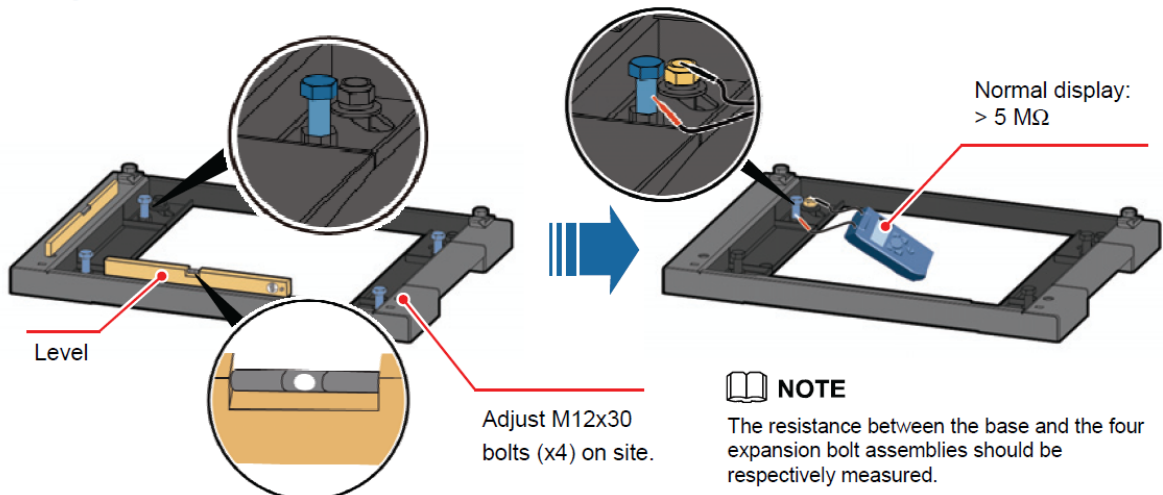
1. Determine the installation position of the base and install expansion bolt assemblies.



2. Install the base.



3. Adjust the base level and measure the resistance between the base and the bolts.



Installing the Base on the ESD Floor

1. Determine the installation position of the base and drill holes on the ESD floor.



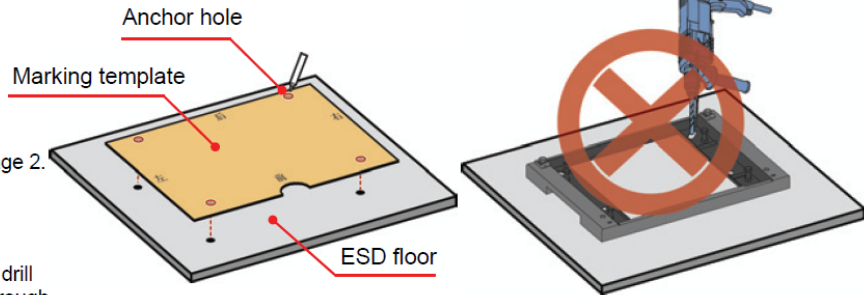
NOTE

For details, see step 1 on page 2.



WARNING

Do not use a hammer drill to drill holes on the concrete pad through the holes on the base.



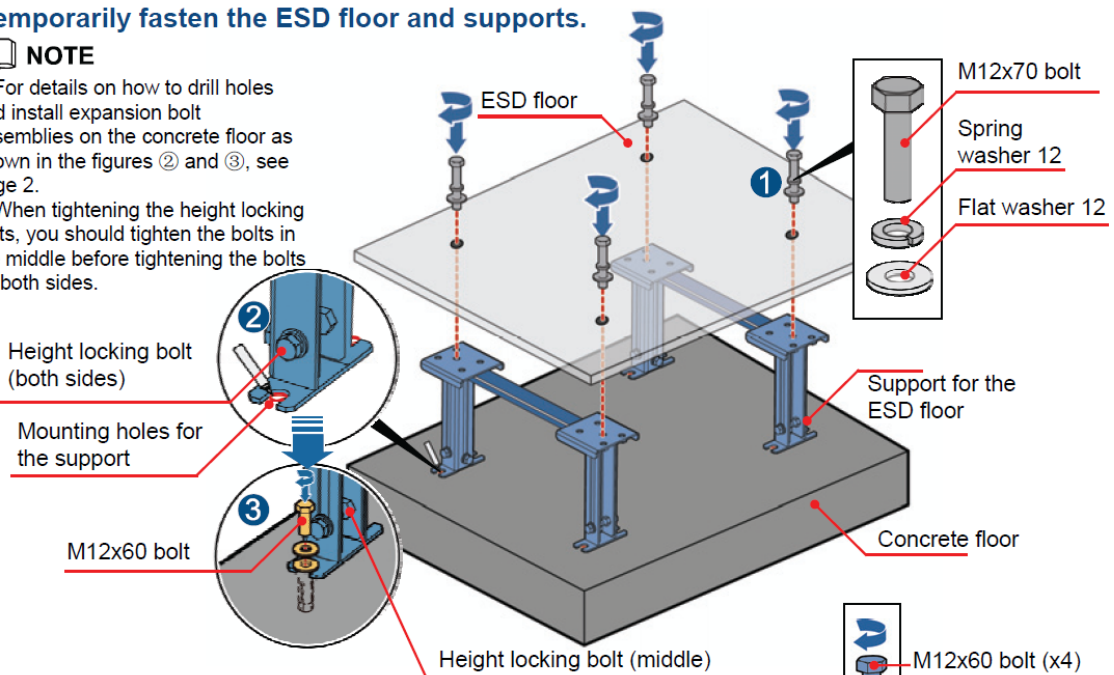
2. Temporarily fasten the ESD floor and supports.



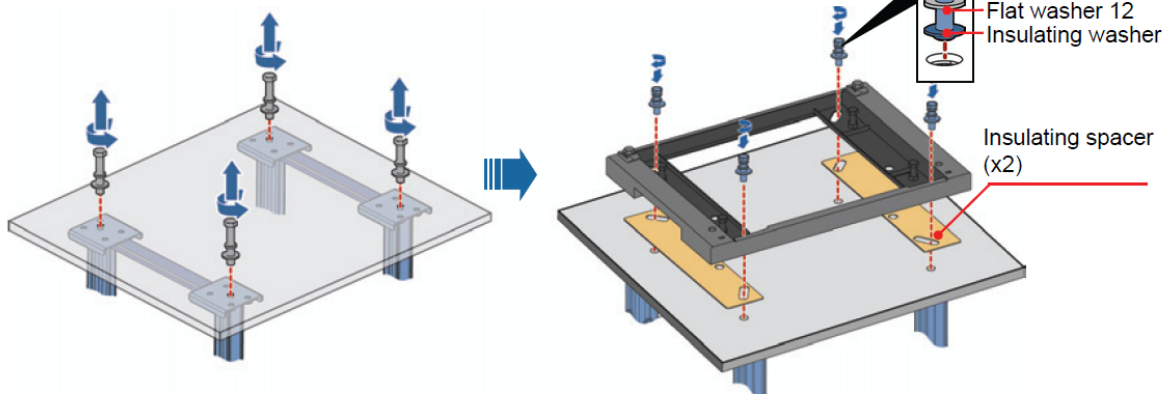
NOTE

- For details on how to drill holes and install expansion bolt assemblies on the concrete floor as shown in the figures ② and ③, see page 2.

- When tightening the height locking bolts, you should tighten the bolts in the middle before tightening the bolts on both sides.



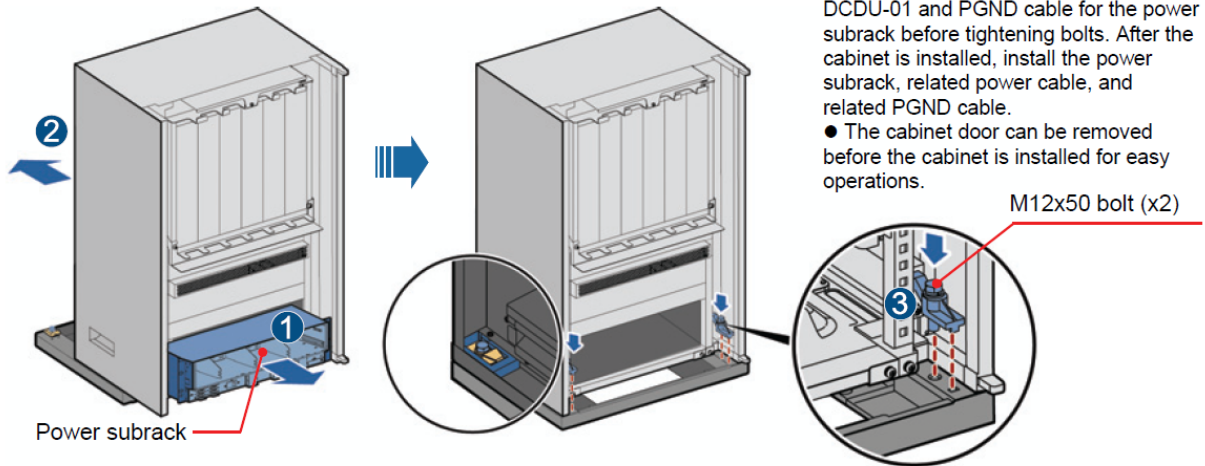
3. Install the base on the ESD floor.



4. Adjust the base level and measure the resistance between the base and the bolts.

(For details, see step 3 on page 2.)

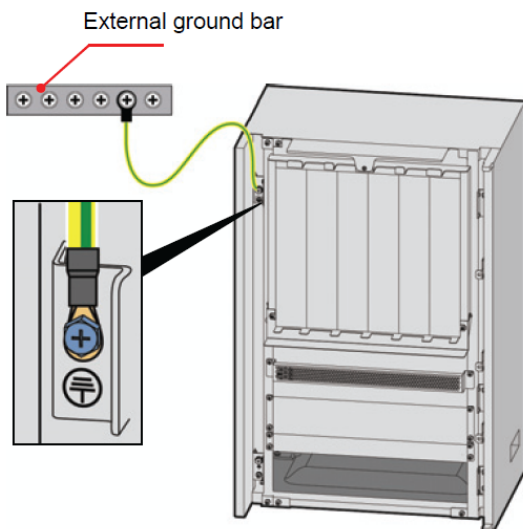
Installing the Cabinet



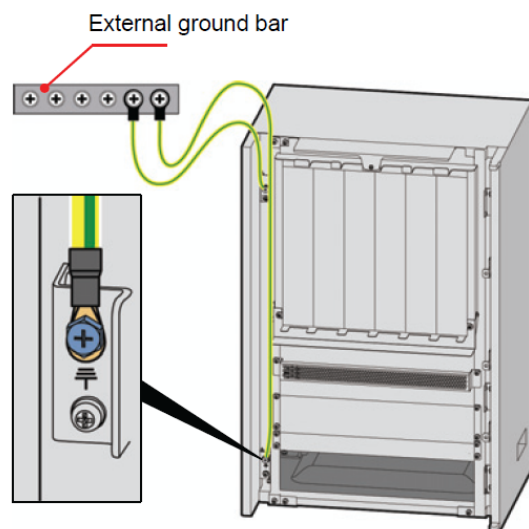
Installing the PGND Cables and Equipotential Cables

a Installing the PGND Cables

1. Install the PGND cable for the -48 V or 220 V cabinet.



2. Install the PGND cable for the +24 V cabinet.



Installing Cables

NOTE

- In this document, the cable color and equipment appearance is for reference only. The actual cables and equipment may differ from what are shown in the figures.
- Attach labels before routing cables.
- When cutting the BTS3900 input power cable, reserve an extra length of 300 mm. Add an OT terminal to the cable on site.

Installing the Input Power Cable

NOTE

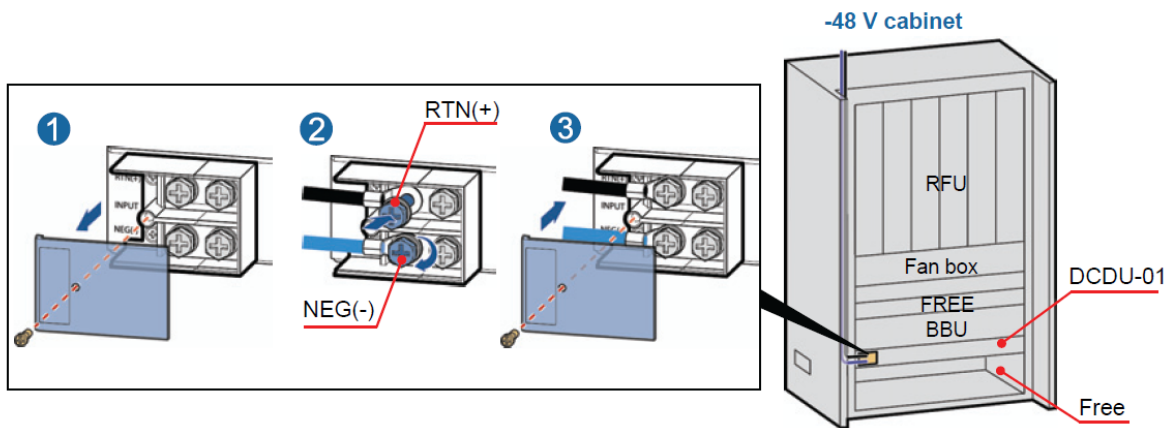
The method for installing the power cable for cabinets installed side-by-side or power cable for stacked cabinets is the same as that for installing the power cable for a single cabinet.

WARNING

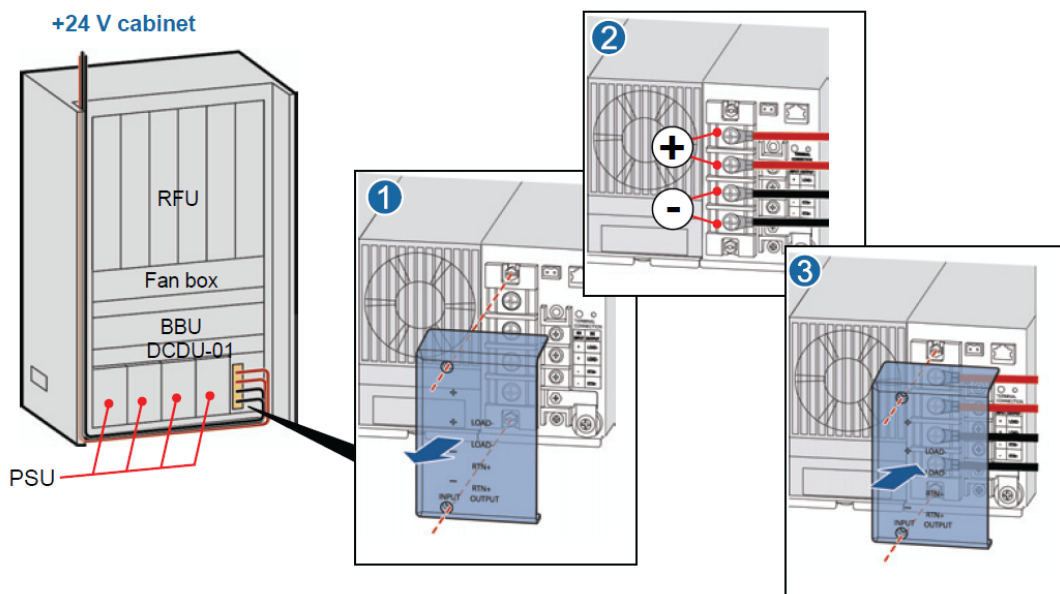
When arranging for the power cable on site, do not expose the metal wire.



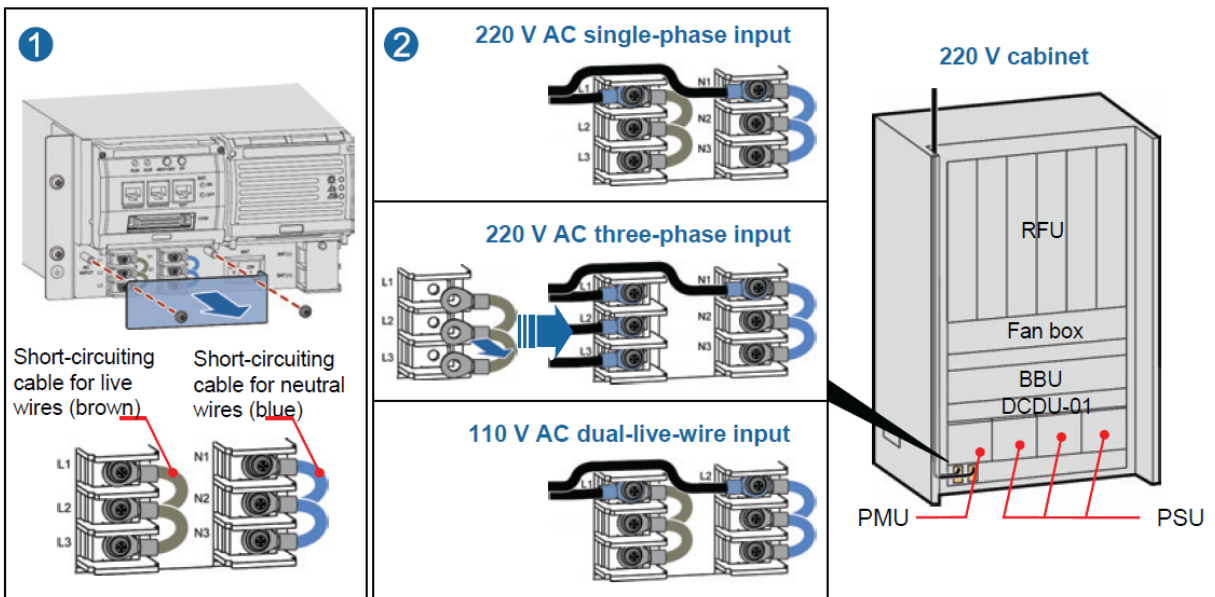
a Installing the Power Cable for the -48 V Cabinet



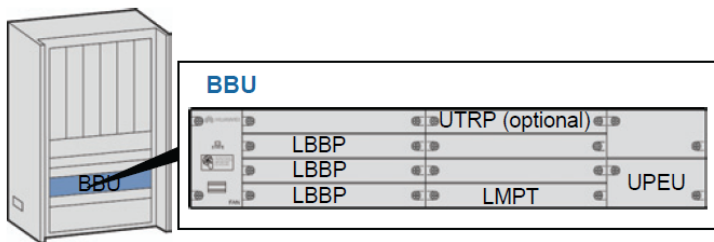
b Installing the Power Cable for the +24 V Cabinet



C Installing the Power Cable for the 220 V Cabinet



Installing Transmission Cables

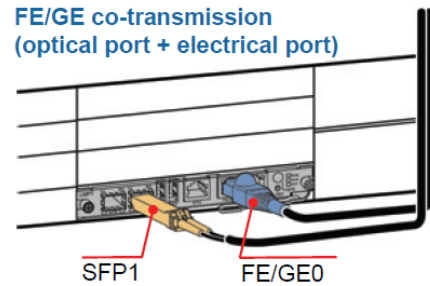
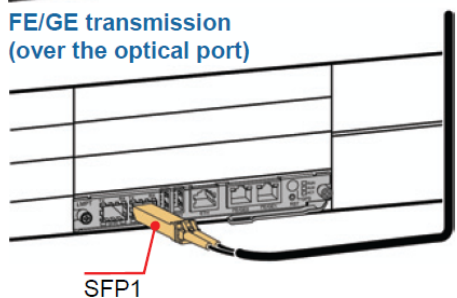
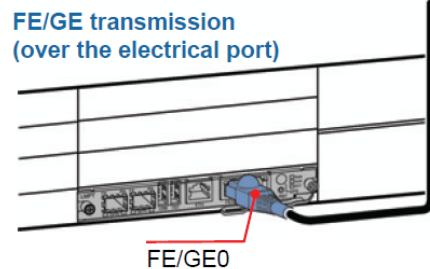
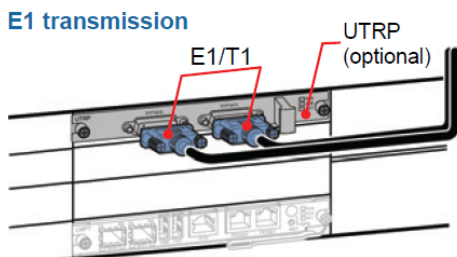


CAUTION

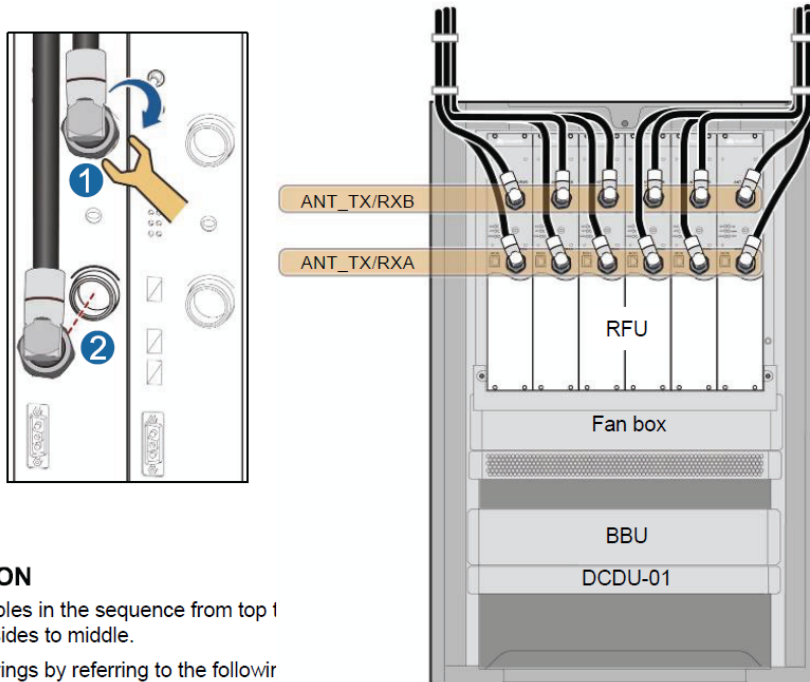
Ensure that both ends of the E1 cable are disconnected. Then, weld connectors to the bare wires at one end of the E1 cable all at once.

NOTE

- The UTRP is optional for E1 transmission.
- The ports labeled SFP0 and FE/GE0 on the LMPT cannot be used at the same time, and the ports labeled SFP1 and FE/GE1 cannot be used at the same time. Only one of the GE optical cable or GE cable can be connected to one of the ports labeled SFP and FE/GE, and the other port must be idle.



Installing RF Cables



CAUTION

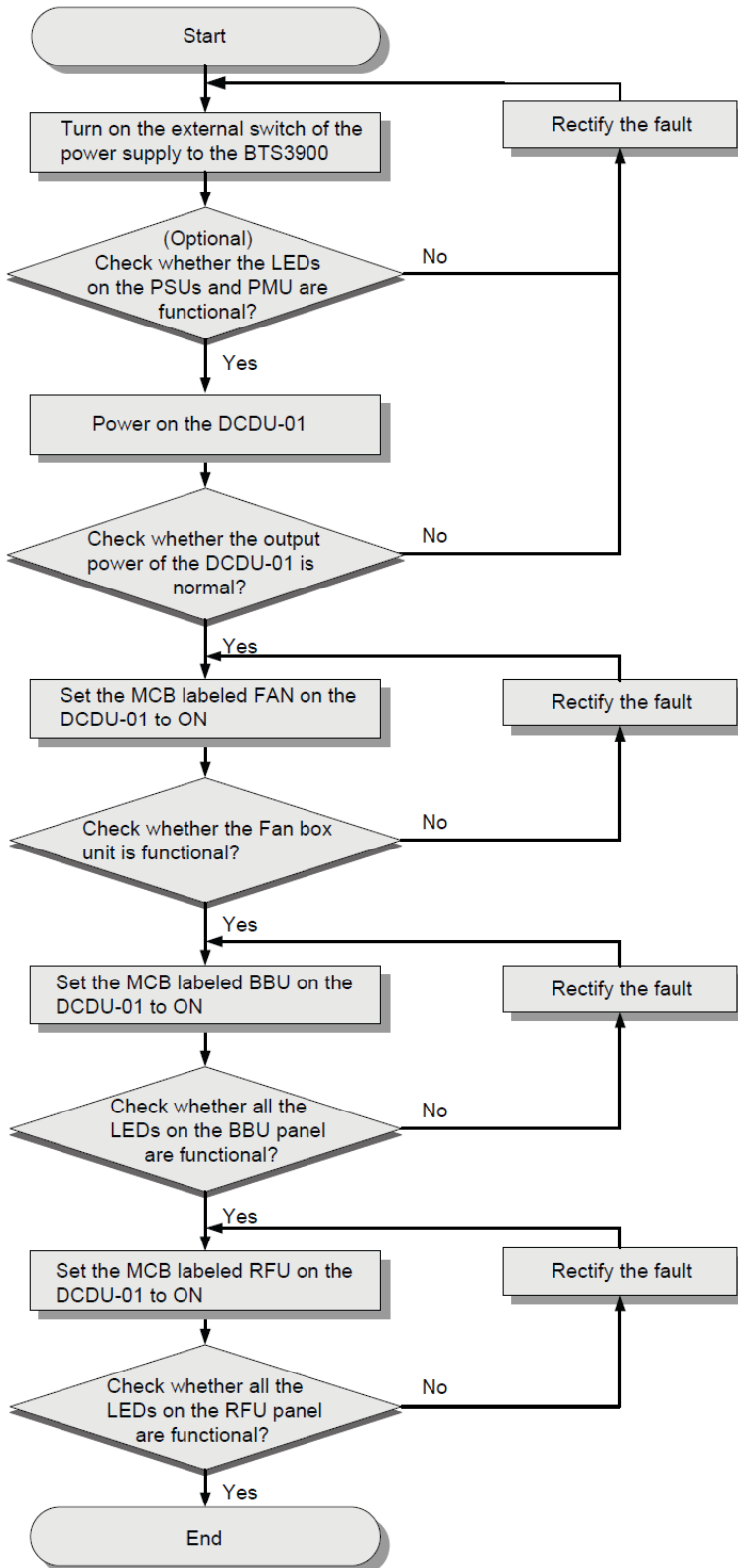
- Install the cables in the sequence from top 1 and from both sides to middle.
- Attach color rings by referring to the followir

NOTE

- If main and diversity are not distinguished, the RF signals transmitted from the left RF unit are regarded as the main signals by default, and the RF signals transmitted from the right RF unit are regarded as the diversity signals.
- If an antenna system serves six sectors, the colors of the rings for sectors 4, 5, and 6 are purple, orange, and green respectively.
- The methods for routing RF jumpers in a single cabinet and in cabinets installed side-by-side are the same.

System	Sector	Color Ring
System 1	1	Main antenna: two red rings
		Diversity antenna: one red ring
	2	Main antenna: two yellow rings
		Diversity antenna: one yellow ring
	3	Main antenna: two blue rings
		Diversity antenna: one blue ring
System 2	1	Main antenna: one white ring and two red rings
		Diversity antenna: one white ring and one red ring
	2	Main antenna: one white ring and two yellow rings
		Diversity antenna: one white ring and one yellow ring
	3	Main antenna: one white ring and two blue rings
		Diversity antenna: one white ring and one blue ring

Power-On Check



The normal status of the indicators on the RFU:

- RUN indicator: Blinking
- ALM indicator: ON for 1s and then OFF
- ACT indicator: ON
- VSWR indicator: OFF
- CPRI indicator: Steady green

The normal status of the LEDs on the Fan box is as follows:

- RUN indicator: Blinking
- ALM indicator: OFF

The normal status of the indicators on the LMPT:

- RUN indicator: Blinking
- ALM indicator: OFF
- ACT indicator: ON

The normal status of the indicators on the LBBP:

- RUN indicator: Blinking
- ALM indicator: OFF

The normal status of the indicators on the FAN:

- STATE indicator: Blinking green

The normal status of the indicators on the UPEU:

- RUN indicator: ON

The normal voltage range of the DC output power to the DCDU-01 is from:

- -38.4 V DC to -57 V DC

The normal status of the indicators on the PMU:

- RUN indicator: Blinking
- ALM indicator: OFF

The normal status of the indicators on the PSU:

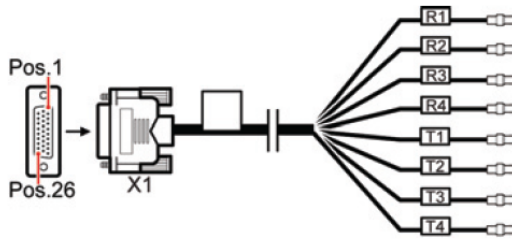
- Power indicator: Steady green
- Protection indicator: OFF
- Fault indicator: OFF

NOTE

This chapter describes only the power-on check of the equipment. The base station must be powered on in seven days after installation.

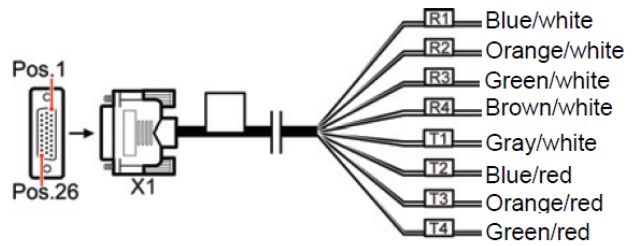
Pin Assignment

1. Pin assignments for the wires of the 75-ohm E1 cable



X1	Wire Type	Coaxial SN	Label
1	Tip	1	RX1
2	Ring		
3	Tip	3	RX2
4	Ring		
5	Tip	5	RX3
6	Ring		
7	Tip	7	RX4
8	Ring		
19	Tip	2	TX1
20	Ring		
21	Tip	4	TX2
22	Ring		
23	Tip	6	TX3
24	Ring		
25	Tip	8	TX4
26	Ring		

2. Pin assignments for the wires of the 120-ohm E1 twisted pair cable



X1	Wire Color	Wire Type	Label
1	Blue	Twisted pair	RX1
2	White		
3	Orange	Twisted pair	RX2
4	White		
5	Green	Twisted pair	RX3
6	White		
7	Brown	Twisted pair	RX4
8	White		
19	Gray	Twisted pair	TX1
20	White		
21	Blue	Twisted pair	TX2
22	Red		
23	Orange	Twisted pair	TX3
24	Red		
25	Green	Twisted pair	TX4
26	Red		



742 266

65° Dualband Directional Antenna

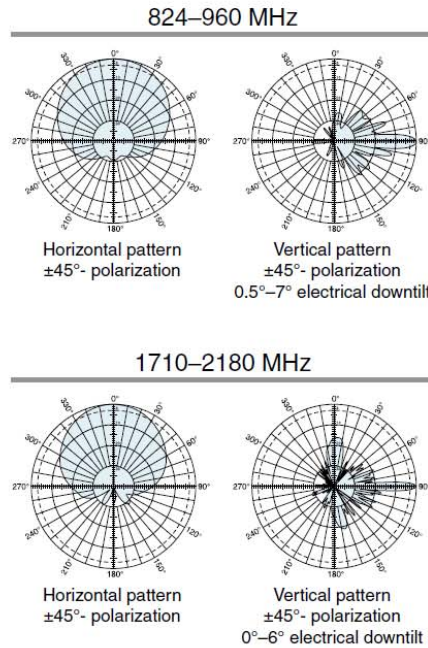
Kathrein's dual band antennas are ready for 3G applications, covering all existing wireless bands as well as all spectrum under consideration for future systems, AMPS, PCS and 3G/UMTS. These cross-polarized antennas offer diversity operation in the same space as a conventional 800 MHz antenna, and are mountable on our compact sector brackets.

- Wide band operation.
- Exceptional intermodulation characteristics.
- Remote control ready.
- Various gain, beamwidth and downtilt ranges.
- AISG compatible.
- High strength pultruded fiberglass radome.

General specifications:

Frequency range	824–960 MHz 1710–2180 MHz
VSWR	<1.5:1
Impedance	50 ohms
Intermodulation (2x20w)	IM3: <-150dBc
Polarization	+45° and -45°
Connector	4 x 7/16 DIN female
Isolation intrasystem intersystem	>30 dB >50 dB (824–960 // 1710–2180 MHz)
Weight	57.3 lb (26 kg)
Dimensions	99.1 x 10.3 x 5.5 inches (2516 x 262 x 139 mm)
Equivalent flat plate area	8.27 ft ² (0.768 m ²)
Wind survival rating*	120 mph (200 kph)
Shipping dimensions	111.3 x 11.9 x 7.8 inches (2826 x 302 x 192 mm)
Shipping weight	72.8 lb (33 kg)
Mounting	Fixed and tilt mount options are available for 2 to 4.6 inch (50 to 115 mm) OD masts.

See reverse for order information.



Specifications:	824–894 MHz	880–960 MHz	1710–1880 MHz	1850–1990 MHz	1900–2180 MHz
Gain	16.5 dBi	17 dBi	17.8 dBi	18.2 dBi	18.5 dBi
Front-to-back ratio	>28 dB (co-polar)	>28 dB (co-polar)	>25 dB (co-polar)	>25 dB (co-polar)	>25 dB (co-polar)
Maximum input power per input total power	400 watts (at 50°C) 800 watts (at 50°C)	400 watts (at 50°C) 800 watts (at 50°C)	250 watts (at 50°C)	250 watts (at 50°C) 500 watts (at 50°C)	250 watts (at 50°C)
+45° and -45° polarization horizontal beamwidth	68° (half-power)	65° (half-power)	66° (half-power)	65° (half-power)	63° (half-power)
+45° and -45° polarization vertical beamwidth	8.1° (half-power)	7.5° (half-power)	5.2° (half-power)	5° (half-power)	4.7° (half-power)
Electrical downtilt continuously adjustable	0.5°–7°	0.5°–7°	0°–6°	0°–6°	0°–6°
Sidelobe suppression for first sidelobe above horizon	0° 4° 7° T 16 16 14 dB	0° 4° 7° T 16 16 14 dB	0° 3° 6° T 13 13 13 dB	0° 3° 6° T 16 15 14 dB	0° 3° 6° T 15 15 15 dB
Cross polar ratio					
Main direction	0°	0°	16 dB (typical)	18 dB (typical)	20 dB (typical)
Sector	±60°	>10 dB	>10 dB	>10 dB	>10 dB



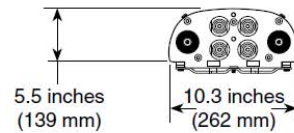
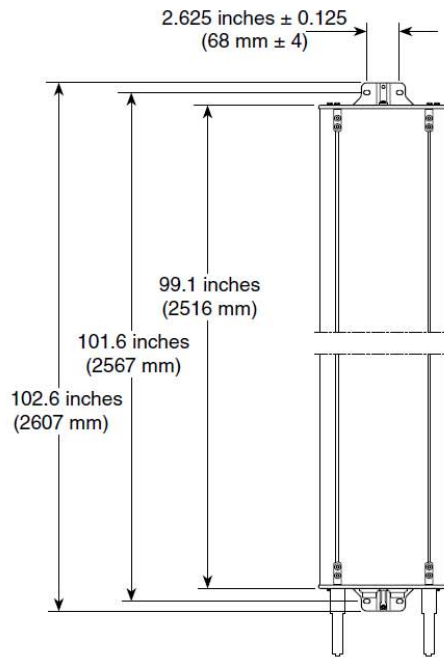
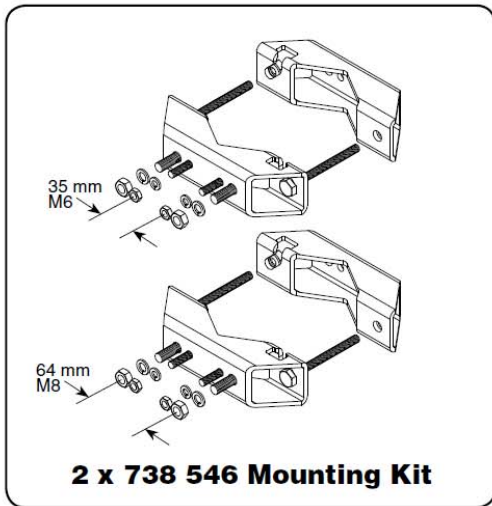
* Mechanical design is based on environmental conditions as stipulated in EIA-222-F (June 1996) and/or ETS 300 019-1-4 which include the static mechanical load imposed on an antenna by wind at maximum velocity. See the Engineering Section of the catalog for further details.

Kathrein Inc., Scala Division Post Office Box 4580 Medford, OR 97501 (USA) Phone: (541) 779-6500 Fax: (541) 779-3991
Email: communications@kathrein.com Internet: www.kathrein-scala.com



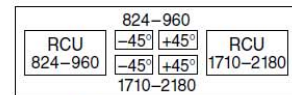
742 266

65° Dualband Directional Antenna



Mounting Options:

Model	Description
2 x 738 546	Mounting Kit for 2 to 4.6 inch (50 to 115 mm) OD mast.
742 033	Three-panel Sector Mounting Kit (120 deg. ea.) for 4.5 inch (114.3 mm) OD steel mast.
742 034	Three-panel Sector Mounting Kit (120 deg. ea.) for 5.5 inch (139.7 mm) OD steel mast.
737 978	Tilt Mount Kit 0–8 Degrees downtilt angle.



Layout of interface

Order Information:

Model	Description
742 266	Antenna with 7/16 DIN connectors

Dual Broadband Antenna

65° 2.6 m X-polarized MET Antenna

824-960/1710-2170 MHz

Part Number: 7755.00	Horizontal Beamwidth: 65° Gain: 18/ 18 dBi 15.9 / 15.9 dBd	Electrical Downtilt: Adjustable Connector Type: 7/16 DIN female
-------------------------	--	--

The Powerwave broadband antenna design is based on a patented stacked aperture-coupled patch technology, which provides high isolation performance and a wide VSWR bandwidth. The antennas have superior radiation patterns due to a unique reflector design that provides a very small variation of the -3dB horizontal beam width over the frequency band as well as a high front-to-back ratio. Powerwave broadband antennas come with manually adjustable electrical tilt (MET) for tuning flexibility of tilt angles. This design ensures the highest possible cross-polar discrimination value. Available with Powerwave's pre-mounted RET solution and upgradeable in field.



Key Benefits

- Excellent broad- and multi-band capabilities
- Polarization purity maximizes diversity gain
- Excellent pattern performance and high gain over frequency
- Guaranteed passive intermodulation performance
- Light, slim and robust design

ANTENNA SYSTEMS

BASE STATION SYSTEMS

COVERAGE SYSTEMS

THE POWER IN WIRELESS®

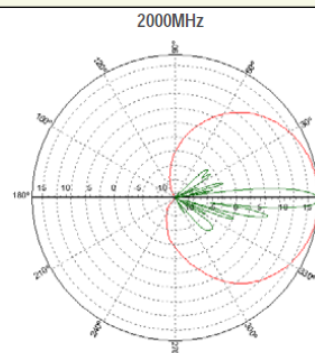
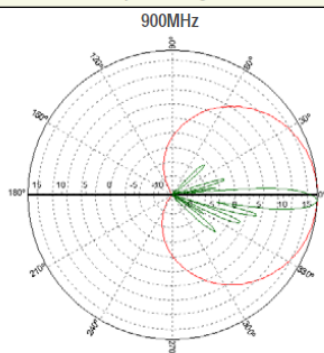


Dual Broadband Antenna

Electrical Specifications

Frequency band (MHz)	824-960	1710-1990	1920-2170
Gain (dBi)	17.8 ± 0.6	17.4 ± 0.2	18.1 ± 0.3
Polarization	dual linear ± 45°	dual linear ± 45°	dual linear ± 45°
Nominal impedance (W)	50	50	50
VSWR	>1.5:1	>1.5:1	>1.5:1
Isolation between inputs (dB)	>30	>30	>30
Horizontal -3dB beam width	68° ± 4°	63° ± 3°	60° ± 3°
Tracking, Horizontal plane, ±60°	<1.0 dB	<1.5 dB	<1.5 dB
Electrical down tilt range (adjustable)	2° to 8°	0° to 8°	0° to 8°
Vertical Beam width -3dB MHz	7.2° ± 0.4°	7° ± 0.5°	6.2°±0.4°
Side lobe suppression, 1st upper (dB)	>19,16,16,15@2,4,6,9°	>18,17,15,14@0,2,4,8°	>18,17,15,14@0,2,4,8°
Side lobe suppression, Vertical Upper (dB)	>12	>12	>12
Vertical beam squint	<1°	<1°	<1°
Front-to-back Ratio (dB)	>30	>30	>30
Front-to-back Ratio, Total Power (dB)	>25	>25	>25
Cross-polar discrimination (XPD) 0° (dB)	>17	>18	>18
Cross-polar discrimination (XPD) ±60° (dB)	>10	>10	>10
IM3, 2Tx@43dBm (dBc)	-153	-153	
IM7, 2Tx@43dBm (dBc)			-160
Power Handling, Average per input (W)	300	250	250
Power Handling, Average total (W)	600	500	500

All specifications are subject to change without notice. Contact factory for complete performance data.



Typical Horizontal and Vertical 7755.00 Patterns

Mechanical Specifications

Connector type (6 pcs)	7/16 DIN female
Connector position	Bottom
Dimensions, HxWxD	2630x280x125mm (8'8"x11"x5")
Weight, including brackets	25.5kg (56.1lbs)
Wind load, frontal, 42 m/s, Cd=1	868N (195 lbf)
Survival wind speed	70 m/s
Weatherproofing	According to T1102
Radome material	GRP
Radome colour	Grey (RAL 7035 on all visible plastic parts)
Packing size HxWxD	2830x355x255mm (9'4"x1'2"x10")
Shipping weight including bracket kit	30.5kg (67.1lbs)
Mounting	Pre-mounted standard brackets

Corporate Headquarters

Powerwave Technologies, Inc.
1801 East St. Andrew Place
Santa Ana, CA 92705 USA
Tel: 714-466-1000
Fax: 714-466-5800
www.powerwave.com

Main European Office

Antennvägen 6
SE-187 80 Täby
Sweden
Tel: +46 8 540 822 00
Fax: +46 8 540 823 40

Hong Kong Office

23 F Tai Yau Building
181 Johnston Road
Wanchai, Hong Kong
Tel: +852 2512 6123
Fax: +852 2575 4860



CONCLUSIONES

Las características técnicas de diseño de LTE-Avanzado cumplen con los requerimientos establecidos por la UIT-R para IMT-avanzado y fue aceptada por esta organización como la tecnología oficial para el despliegue de IMT-avanzadas o comercialmente llamada cuarta generación 4G.

La característica más relevante de la Tecnología LTE-A entre muchas otras es el reúso de las frecuencias, permitiendo optimizar de la mejor manera el espectro radioeléctrico en el cual opere, el cual permite ofrecer las mejores condiciones de transmisión, eficiencia y confiabilidad en los servicios.

En una red móvil de cuarta generación como LTE-A se centra en la conmutación de paquetes y no en la conmutación de circuitos como los operadores actuales o 3G, esto permite mayor seguridad en la red que transporta los datos e interoperabilidad con otras redes IP permitiendo lo que se llama convergencia de tecnologías.

En este proyecto se ha presentado el caso de despliegue de una red LTE-Advanced, bajo el supuesto de no disponer de bandas de frecuencias por lo que la agregación de portadora es de vital importancia para el despliegue real de un proyecto de esta naturaleza.

Por ello, como se explicó detalladamente en el capítulo dos, el problema crítico a vencer previo a cualquier despliegue es NO DISPONER de suficiente espectro para operar servicios móviles, se recomendaría utilizar el método INTERBANDA NO CONTIGUA y que la agregación de portadora sea de hasta 2 portadoras de 20 MHz, haciendo un total de 40 MHz. Esto por fines prácticos y tomando en cuenta un entorno realista hay que tomar en cuenta que la banda de guarda de para la agregación de portadora sea de 300 KHz o múltiplo de esta.

Para la implementación de Interbanda no contigua se necesitarán MULTIPLES TRANCEPTORES DE UNA SOLA BANDA, el número de transceptores será el mismo número de bandas que esta utilice.

En cualquier caso LTE puede subsistir en las mismas bandas de LTE-Avanzada por que como se dijo LTE – Advanced es: backwards y forwards compatible con LTE esto significa que las bandas designadas para LTE también serían válidas para LTE – ADVANCED; 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). LTE utiliza el método de CONTROL DE ERRORES AUTOMATIC REPEAT REQUEST (ARQ) por lo cual no se pone en discusión el uso de este.

En cuanto a MIMO un ambiente realista es el uso de 4X2, por el momento, ya que para empezar los UE por el momento no constan con más de dos antenas receptoras, por lo cual no se puede pensar en la implementación de MIMO superior a esta. Por lo cual la eficiencia de espectro llegaría hasta 3.7bps/Hz utilizando CoMP. CON TASAS DE LATENCIAS QUE VAN DESDE 10ms hasta 50 ms

En cuanto a MULTIPUNTO COORDINADO en cuanto al DOWNLINK se utilizará el mecanismo de PROCESAMIENTO CONJUNTO ya que como se dijo se prevé que sea la aplicación dominante de CoMP. En cuanto al UPLINK solo existe un mecanismo, por lo cual no tendríamos más elección.

En cuanto a los nodos RELAY se pueden utilizar dependiendo de su necesidad a HALF DUPLEX o FULL DUPLEX por el momento En Bolivia se podría implementar con un SISTEMA INBAND.

El estudio económico no es factible realizarlo ya que los equipos para LTE-A están en proceso de prueba y no están siendo comercializados, y las especificaciones técnicas

de estos aún son limitadas. Una de las empresas que está desarrollando la LTE-A es ERICSSON, pero todos los equipos especializados para LTE-A son netamente de prueba.

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.

Websites

[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/josefernandorestrepopiedrahita.2011.parte3.pdf>

[11] http://www.3gpp.org/ftp/workshop/2009-12-17_ITU-R_IMT-Adv_eval/docs/pdf/REV-090006.pdf

[12] 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