

**DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE DESPLIEGUE DE RED PARA LA
IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍA LTE DE UN OPERADOR DE
TELECOMUNICACIONES EN COLOMBIA**

**GUSTAVO ADOLFO AYALA COLMENARES
VÍCTOR ALFONSO COLMENARES LEÓN**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA, ELECTRONICA Y
TELECOMUNICACIONES
ESPECIALIZACION EN TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2014**

**DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE DESPLIEGUE DE RED PARA LA
IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍA LTE DE UN OPERADOR DE
TELECOMUNICACIONES EN COLOMBIA**

**Monografía para optar por el título de:
ESPECIALISTA EN TELECOMUNICACIONES**

**GUSTAVO ADOLFO AYALA COLMENARES
VÍCTOR ALFONSO COLMENARES LEÓN**

**Director:
OSCAR MAURICIO REYES TORRES
Doctor en Ingeniería Electrónica**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA, ELECTRONICA Y
TELECOMUNICACIONES
ESPECIALIZACION EN TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2014**

DEDICATORIA

A Papá Dios, quien es la fuente de fortaleza y sabiduría en mi vida y que además hace posible todas las cosas. A mi hermosa esposa, Claudia, por estar siempre a mi lado dándome ánimo, teniendo paciencia y comprensión por el tiempo que no pudimos compartir para poder sacar adelante este proyecto. A mi preciosa hija, Isabelita, que sin decir una palabra su rostro me llena de esperanza por un futuro mejor. A mi compañero de proyecto, Gustavo, por darme la bienvenida a esta gran empresa y compartir conmigo su experiencia profesional y personal. A mis compañeros de especialización, pues juntos logramos una gran armonía que permitió que este proceso fuese inolvidable y enriquecedor.

Víctor Alfonso Colmenares León.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	16
1. MARCO TEÓRICO	17
1.1. ARQUITECTURA DE RED DE LOS SISTEMAS CELULARES	17
1.1.1. ARQUITECTURA GENERAL DE UN SISTEMA CELULAR [2]	17
1.1.2. ARQUITECTURA GENERAL DE LOS SISTEMAS 3GPP [2]	18
1.1.3. ARQUITECTURA DE UN SISTEMA LTE [2]	19
1.2. TÉCNICAS CON MÚLTIPLES ANTENAS [16]	22
1.2.1. MULTIPLEXACIÓN ESPACIAL	23
1.3. EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS CELULARES	25
1.3.1. PRIMERA GENERACIÓN (1G)	25
1.3.2. DE LA SEGUNDA (2G) A LA TERCERA GENERACIÓN (3G)	26
1.3.3. CUARTA GENERACIÓN (4G)	26
2. MARCO LEGAL Y REGULATORIO DE LA TELEFONÍA MÓVIL EN COLOMBIA	28
2.1. ACTOS LEGISLATIVOS PARA LA ASIGNACIÓN DEL ESPECTRO PARA LA TELEFONÍA MÓVIL	28
2.2. ASIGNACIÓN DEL ESPECTRO A COLOMBIA TELECOMUNICACIONES (RES. 2625 DE 2013)	30
2.2.1. ASIGNACIÓN DE LAS FRECUENCIAS Y LAS CONDICIONES DE PAGO	31
2.2.2. CONDICIONES DE DESPLIEGUE DE LA TECNOLOGÍA LTE	31
2.2.3. OTRAS CONSIDERACIONES INTERPRETADAS DE LA RESOLUCIÓN	31
3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA SOLUCIÓN Y DE LOS EQUIPOS IMPLEMENTADOS	34
3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA SOLUCIÓN.	34
3.2. DESCRIPCIÓN EQUIPO DE ACCESO	35
3.2.1. UNIDAD BBU	35
3.2.2. UNIDAD DE RADIO (RRU)	40
3.3. DESCRIPCIÓN SISTEMA DE GESTIÓN CENTRALIZADA	44
3.4. DESCRIPCIÓN EPC	45
3.4.1. CAPACIDADES EQUIPOS EPC	46
3.4.2. EQUIPO DE SINCRONISMO	47

4. PLAN DE DESPLIEGUE DE LA RED 4G LTE EN SANTANDER	49
4.1. GENERALIDADES DEL DESPLIEGUE DE RED	49
4.1.1. DISTRIBUCIÓN DE SITIOS POR OPERADOR	51
4.1.2. SERVICIOS DEL PROVEEDOR PARA LA PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DE LOS ENB	52
4.1.3. CONSIDERACIONES DE PLANEACIÓN PARA LA RED DE RADIO.	53
4.2. PLANEACIÓN DE LA RED DE RADIO EN SANTANDER PARA LA FASE INICIAL (FASE 0)	54
4.3. ETAPA DE INSTALACIÓN Y PUESTA EN SERVICIO DE LOS ENB	59
4.3.1. ASPECTOS GENERALES DE LA PUESTA EN SERVICIO DEL CORE	59
4.3.2. INSTALACIÓN Y PUESTA EN SERVICIO DE LOS ENB	60
4.4. DEFINICIÓN DE LA SIGUIENTE FASE DEL DESPLIEGUE	75
5. CONCLUSIONES	77
REFERENCIAS	79
BIBLIOGRAFIA	82
ANEXO A	84

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Arquitectura genérica de un sistema celular a partir de la segunda generación.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 2. Arquitectura de alto nivel de los sistemas 3GPP (GSM, UMTS Y LTE).</i>	<i>18</i>
<i>Figura 3. Arquitectura del sistema LTE.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 4. Arquitectura del E-UTRAN.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 5. Arquitectura básica de la red trocal EPC.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 6. Principio básico de operación de un sistema 2X2 de multiplexación espacial.</i>	<i>23</i>
<i>Figura 7. Operación de un sistema de multiplexación espacial con un número arbitrario de antenas. 24</i>	<i>24</i>
<i>Figura 8. Asignación de espectro para los operadores TCM y PCS antes de la subasta 4G.</i>	<i>30</i>
<i>Figura 9. Arquitectura general red Huawei.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 10. Esquema conexión de equipos de acceso.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 11. Esquema módulo BBU.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 12. Conexión local a la BBU.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 13. Paso 2 para la conexión local a la BBU</i>	<i>38</i>
<i>Figura 14. Gabinetes de BBU, rectificador y baterías.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 15. Vista interior del gabinete de BBU y rectificador.</i>	<i>39</i>
<i>Figura 16. Estructura gabinete BBU y rectificador</i>	<i>40</i>
<i>Figura 17. Estructura gabinete baterías.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 18. RRU y conexiones hacia antena</i>	<i>41</i>
<i>Figura 19. Vista frontal de RRU.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 20. Diagrama de puertos RRU3832.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 21. Configuración general sistema de gestión.</i>	<i>44</i>
<i>Figura 22. Hardware cluster sistema de gestión M2000 ATAE</i>	<i>45</i>
<i>Figura 23. Distribución y Configuración de EPC.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 24. Esquema de conexión del SeGW</i>	<i>46</i>
<i>Figura 25. Configuración de sincronismo.</i>	<i>47</i>
<i>Figura 26. Vista frontal equipo IPCLK300.</i>	<i>48</i>
<i>Figura 27. Eventos importantes antes del despliegue.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 28. Manejo de las frecuencia en la RRU 3832.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 29. Esquema de acceso de radio por sitio</i>	<i>51</i>
<i>Figura 30. División de despliegue y operación</i>	<i>52</i>
<i>Figura 31. Estudio de DL RSRP.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 32. Estudio de DL SINR</i>	<i>56</i>
<i>Figura 33. Estudio de DL RSRQ.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 34. Estudio de DL MAC Peak Throughput.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 35. Plano 1 celda Provenza</i>	<i>62</i>
<i>Figura 36. Plano 2 celda Provenza</i>	<i>63</i>
<i>Figura 37. Plano 3 celda Provenza</i>	<i>63</i>
<i>Figura 38. Validación de tarjetas.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 39. Conexión local</i>	<i>65</i>
<i>Figura 40. Archivos de actualización.....</i>	<i>65</i>

<i>Figura 41. Configuración sftp server</i>	<i>66</i>
<i>Figura 42. Menú software management</i>	<i>66</i>
<i>Figura 43. Actualizando software BBU.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 44. Seleccionado archivo de actualización</i>	<i>67</i>
<i>Figura 45. Cargando licencia</i>	<i>68</i>
<i>Figura 46. Comisionando el sitio</i>	<i>68</i>
<i>Figura 47. Validando la actualización de la BBU.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 48. Validando el archivo de comisionamiento.</i>	<i>69</i>
<i>Figura 49. Envío de comandos MML</i>	<i>71</i>
<i>Figura 50. Verificación 1 de conexión a la celda 4G</i>	<i>72</i>
<i>Figura 51. Prueba 1 de velocidades.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 52. Verificación 2 de conexión a la celda 4G</i>	<i>74</i>
<i>Figura 53. Prueba 2 de velocidades.....</i>	<i>74</i>

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Ganadores de la primera adjudicación de espectro para TMC.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 2. Tarjetas y Puertos de la BBU3900</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 3. Puertos físicos de la RRU3832</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 4. Bandas de frecuencia de la RRU3832</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 5. Capacidades de la RRU3832</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 6. Sensitividad receptores RRU3832</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 7. Detalle distribución EPCs</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 8. Capacidades equipos EPC</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 9. Equipo IPCLK300</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 10. Consideraciones de estudio y planeación</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 11. Cronograma instalación EPC+SeGW año 2013.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 12. Alcance de servicios de EPC+SeGW</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 13. Sitios para fase 0 en Bucaramanga</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 14. Cronograma instalación equipos fase 0 Bucaramanga</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 15. Despliegue fase 1 Colombia.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 16. Sitios Fase 1 en Santander.....</i>	<i>76</i>

LISTA DE ANEXOS

pág.

ANEXO A Informe fotográfico de las validaciones que se realizan después de la instalación
¡Error! Marcador no definido.4

RESUMEN

TITULO: DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE DESPLIEGUE DE RED PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍA LTE DE UN OPERADOR DE TELECOMUNICACIONES EN COLOMBIA*

AUTORES: Gustavo Adolfo Ayala Colmenares, Víctor Alfonso Colmenares León**

Palabras Clave: 4G, LTE, subasta espectro radioeléctrico, resolución 2625 de 2013, EPC, E-UTRAN, 3GPP

DESCRIPCION

Con la reciente expedición de los permisos para el uso del espectro radioeléctrico asignado para la implementación de la tecnología 4G en Colombia, Movistar, una de las empresas ganadoras de la subasta que otorgó dichos permisos, emprendió un proyecto que tiene como fin la selección de los equipos y el despliegue de la red 4G, acatando los requerimientos planteados por el Estado Colombiano en la resolución 2625 de 2013, siendo este otorgamiento un motor para el impulso del desarrollo socio-económico del país y por ende, en beneficio de toda la ciudadanía. En este orden de ideas, este trabajo se busca describir cada una de las etapas relacionadas con los procesos técnico-operativos que están involucradas en el despliegue de la fase cero de una red 4G (LTE) por parte de un operador de telecomunicaciones en Colombia, no sin antes repasar los conceptos que permitan entender de forma generalizada la arquitectura de un sistema 3GPP, haciendo énfasis en los de tercera y cuarta generación, además de una introducción a las técnicas con múltiples antenas. Seguidamente, se hace un análisis de las legislaciones que han marcado el rumbo de las tecnologías móviles, hasta llegar al acto legislativo que otorgó las licencias para poder desplegar la tecnología LTE en Colombia, con el fin de identificar los beneficios e impactos que estos actos legislativos generan en la sociedad.

* Trabajo de Investigación

** Facultad de Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director:
Dr.-Ing. Oscar Mauricio Reyes Torres

ABSTRACT

TITLE: DESCRIPTION OF NETWORK DEPLOYMENT PROCESS FOR IMPLEMENTATION OF LTE TECHNOLOGY BY A TELECOMMUNICATIONS OPERATOR IN COLOMBIA*

AUTHORS: Gustavo Adolfo Ayala Colmenares, Víctor Alfonso Colmenares León**

Keywords: 4G, LTE, radio electric spectrum auction, Resolution 2625, 2013, EPC, E-UTRAN, 3GPP

DESCRIPTION

With the recent issuance of permits for the use of radio spectrum allocated for the implementation of 4G technology in Colombia, Movistar, one of the winners of the auction that granted the permits, undertook a project that aims at selecting the equipment and deployment of the 4G network, obeying the requirements posed by the Colombian State in resolution 2625 of 2013, being this allocation an engine to boost the socio-economic development of the country and therefore the benefit of all citizens. In this vein, this paper seeks to describe each of the steps related to the technical and operational processes that are involved in the deployment of zero phase of a 4G (LTE) network by a telecommunications operator in Colombia, but first review the concepts with which to have a general understanding for the architecture of a 3GPP system, emphasizing the third and fourth generation, plus an introduction to multiple antenna techniques. Next, an analysis of the laws that have marked the course of mobile technologies, up to the legislative act granting licenses to deploy LTE technology in Colombia, in order to identify the benefits and impacts that these legislative acts generated in the society.

* Research Work

** Faculty of Physics-Mechanics Engineering. School of Electrical and Electronic Engineering and Telecommunications. Director: Dr.-Ing. Oscar Mauricio Reyes Torres

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

3GPP	Third Generation Partnership Project
AN	Access Network
BTS	Base Transceiver Station (GSM)
CDMA	Code División Múltiple Access
CN	Core Network
EDGE	Enhanced Data Rates for Global Evolution
eNB	Evolved Node B (Base Station E-UTRAN)
EPC	Evolved Packet Core
E-UTRAN	Evolved UTRAN
GERAN	GSM/EDGE Radio Access Network
GPRS	General Packet Radio Services
GSM	Global System for Mobile Communications
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSPA	High Speed Packet Access
HSS	Home Subscriber Server
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
ITU	International Telecommunication Union
LTE	Long Term Evolution
ME	Mobile Equipment
MINTIC	Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
MME	Mobility Management Entity
MVNO	Mobile Virtual Network Operator
NodeB	Base Station (UMTS)
OCS	Online Charging System
OFCS	Offline Charging System
PCRF	Policy and Charging Rules Function
PCS	Servicios de Comunicación Personal
PDC	Personal Digital Cellular
P-GW	Packet Data Network Gateway
S-GW	Serving Gateway
SIM	Subscriber Identity Module
TMC	Tecnología Movil Celular
TDMA	Time Division Multiple Access
UE	User Equipment
UICC	Universal Integrated Circuit Card
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
USIM	Universal SIM
UTRAN	Universal Terrestrial Radio Access Network

INTRODUCCIÓN

Con la reciente expedición de los permisos para el uso del espectro radioeléctrico asignado para la implementación de la tecnología 4G en Colombia, Movistar, una de las empresas ganadoras de la subasta que otorgó dichos permisos, emprendió un proyecto que tiene como fin la selección de los equipos y el despliegue de la red 4G, acatando los requerimientos planteados por el Estado Colombiano en la Resolución 2625 de 2013 [1], siendo este otorgamiento un motor para el impulso del desarrollo socio-económico del país y por ende, en beneficio de toda la ciudadanía.

La adopción de nuevas tecnologías implica retos y desafíos de interés para la comunidad académica y de profesionales afines a este sector. Por esto, conocer a fondo la manera como una empresa prestadora de servicios de telecomunicaciones lleva a cabo un proceso de renovación tecnológica de alto impacto para la sociedad, como lo es la puesta en servicio de la tecnología LTE, constituye una oportunidad valiosa para ser abordada a través de un trabajo documental analítico, que es precisamente el objetivo principal de este libro.

Este trabajo está dividido en 4 capítulos: en el primero recopila el marco teórico pertinente a la arquitectura de los sistemas celulares de tercera generación y la tecnología LTE de cuarta generación. Además, se hace una breve introducción a la técnica con múltiples antenas, multiplexación espacial. Finalmente, se hace un recorrido por la evolución de los sistemas celulares, resaltando los hitos que permitieron llegar a lo que hoy se conoce como 4G LTE.

En el capítulo 2 se hace una breve reseña del marco legislativo del establecimiento del servicio de telefonía móvil en Colombia, haciendo énfasis en la interpretación de la resolución 2625 de 2013, la cual es la normatividad que se quiere destacar de esta monografía por ser la que plasma los requerimientos para el despliegue de la tecnología LTE por parte del operador de telecomunicaciones, Telefónica Movistar.

Finalmente, los capítulos 3 y 4 contienen la información del objetivo principal de la monografía, el cual es poder mostrar mediante un documento los procesos que se encuentran involucrados en la puesta en servicio de una red LTE en Colombia, poder conocer las características técnicas de los equipos seleccionados y los aspectos relacionados con su instalación, integración y puesta en marcha.

1. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se busca recopilar los conceptos más relevantes que permitan entender de forma generalizada la arquitectura de un sistema 3GPP, haciendo énfasis en los de tercera y cuarta generación (LTE), además de una introducción a las técnicas con múltiples antenas, teniendo en cuenta que es una característica revolucionaria de la tecnología LTE al incrementar la tasa de transferencia de datos entre un equipo de usuario y la estación base.

1.1. ARQUITECTURA DE RED DE LOS SISTEMAS CELULARES

En esta sección se hace una introducción a lo que hasta el momento se puede ver como una caja negra que realiza la interconexión entre equipos terminales, y que por ende, permite la comunicación entre 2 o más usuarios o entre un usuario cualquiera y los servidores de internet. Se comenzará por dar una breve descripción de la arquitectura general de un sistema celular, seguidamente se describirá la arquitectura general de los sistemas 3GPP y finalmente, se detallará en qué consiste la arquitectura de un sistema LTE.

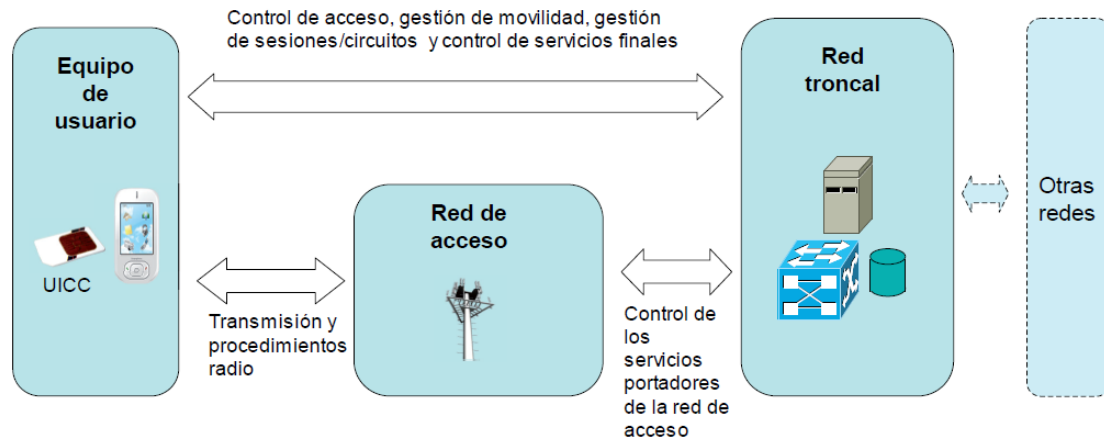
1.1.1. Arquitectura general de un sistema celular [2]

Para describir la arquitectura de un sistema LTE, primero se hace un repaso de la arquitectura genérica un sistema celular 2G/3G, en la que se identifican tres componentes básicos:

- **El equipo de usuario**, es el dispositivo utilizado por el usuario para hacer uso de los servicios de la red a la que tenga autorización dependiendo del identificador único asignado por el operador.
- **La red de acceso**, se encarga de gestionar la conectividad y los recursos disponibles de forma eficiente entre los equipos usuario y los equipos de la red troncal.
- **La red troncal**, administra el control de acceso a la red, la movilidad de los usuarios, sesiones de datos, mecanismos de interconexión entre redes, además de las funciones asociadas con el control de servicios finales, como la telefonía o las videoconferencias.

Esta arquitectura general ha sido adoptada en las diferentes familias de sistemas celulares desde la segunda generación (2G) hasta la cuarta (4G). En la figura 1 se resume esquemáticamente las tres componentes descritas anteriormente; el bloque punteado, denominado "otras redes" se vuelve práctico en el caso que se estén comunicando dos equipos de usuario que se encuentren en redes distintas y para su interconexión, dependiendo del escenario, se utiliza una red de tránsito entre troncales (conexión entre dos equipos celulares), la red de telefonía fija o la red de internet.

Figura 1. Arquitectura genérica de un sistema celular a partir de la segunda generación.

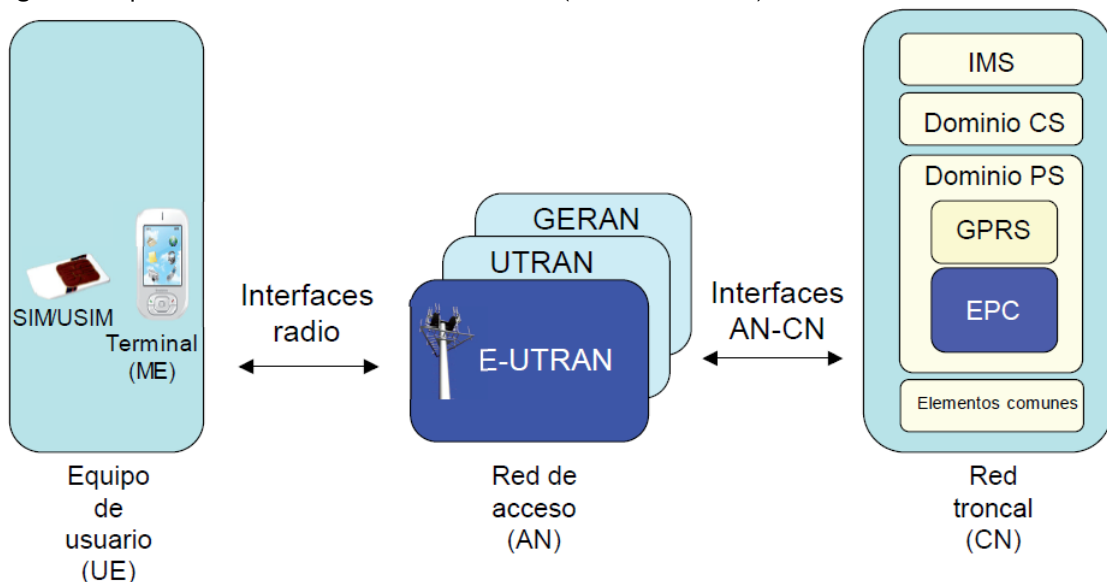


Fuente: [2]

1.1.2. ARQUITECTURA GENERAL DE LOS SISTEMAS 3GPP [2]

Tomando como referencia los tres componentes que conforman una arquitectura general, explicados en la sección anterior, podemos hacer un paralelo con las arquitecturas de los sistemas 3GPP (GSM, UMTS Y LTE). Esta arquitectura se presenta de forma ilustrativa en la figura 2.

Figura 2. Arquitectura de alto nivel de los sistemas 3GPP (GSM, UMTS Y LTE).



Fuente: [2]

Para la primera de ellas, el equipo de usuario (User Equipment, UE), se compone de dos elementos básicos: el dispositivo móvil o terminal (Mobile Equipment, ME) y una tarjeta UICC (Universal Integrated Circuit Card), que para el caso de los sistemas GSM es la SIM (Subscriber

Identify Module) y para el sistema UMTS y LTE es la USIM (Universal SIM), que en ambos casos es la encargada de almacenar información y autenticar la suscripción del usuario a los distintos servicios proporcionados por la red.

Por otra parte, la red de acceso (Access Network, AN) en 3GPP es de tres clases: GERAN (GSM/EDGE Radio Access Network), UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) y E-UTRAN (Evolved UTRAN). Las dos primeras forman parte del sistema 3G UMTS mientras que la última es la utilizada en el sistema LTE. Cada una de estas redes de acceso tiene su propia interfaz AN-CN, es decir, que es específica para cada tecnología.

Por último, la red troncal (Core Network, CN) está dividida de forma lógica en tres partes:

- Un **dominio de circuitos (Circuit Switched, CS, Domain)**, el cual contiene todos los servicios que utilizan recursos de forma dedicada, desde el momento de la conexión hasta la finalización del servicio. Este dominio solamente es utilizado por las redes de acceso GERAN y UTRAN.
- Un **dominio de paquetes (Packet Switched, PS, Domain)**, en donde la información del usuario es estructurada en paquetes de datos que se encaminan y transmiten por los diferentes componentes de la red. Se tienen dos implementaciones de dominio PS: GPRS, para redes GSM y UMTS, y EPC para el sistema LTE.
- Un **Subsistema IP Multimedia (IP Multimedia Subsystem, IMS)**, que soporta los servicios IP multimedia mediante el protocolo SIP (*Session Initiation Protocol*) de IETF (*Internet Engineering Task Force*). El IMS se encarga de las funciones propias de la capa de control de los servicios (señalización de aplicación), mientras que el dominio PS se encarga de las funciones asociadas al transporte de la información empaquetada.

1.1.3. Arquitectura de un sistema LTE [2]

Teniendo en mente la arquitectura general de un sistema 3GPP, se puede ver que los componentes fundamentales del sistema LTE son: la nueva red de **acceso E-UTRAN** y el nuevo dominio de paquetes **EPC** de la red troncal, además de la evolución del subsistema IMS. Estos componentes han sido diseñados para soportar todos los servicios mediante conmutación de paquetes.

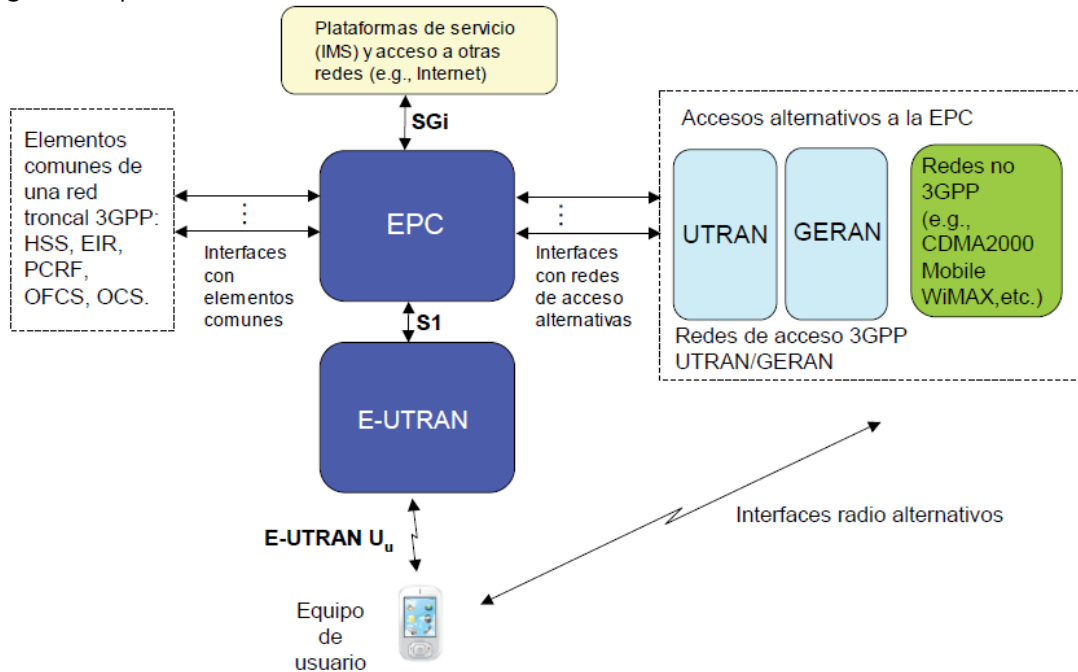
En la figura 3. se muestra el esquema que representa la arquitectura de un sistema LTE. Aquí se pueden observar las principales interfaces de E-UTRAN y EPC. La interfaz S1, entre E-UTRAN y EPC, es utilizada para entregar a EPC los mecanismos necesarios para la gestión del acceso de los terminales móviles. La interfaz E-UTRAN UU (también denominada LTE UU o interfaz radio LTE), entre el equipo de usuario y E-UTRAN, permite la transferencia de información por el canal de radio. La interfaz SGi de la EPC, soporta las plataformas de servicios como IMS y la conexión a redes de paquetes externos IP.

Por otro lado, también es importante señalar que el sistema LTE contempla el acceso a servicios a través de UTRAN y GERAN, y de la misma forma utiliza otras redes de acceso que

no pertenecen a la familia 3GPP, como por ejemplo, Mobile Wimax y CDA2000. Todo este se lleva a cabo por medio de un conjunto de interfaces de EPC.

En las subsecciones 1.1.3.1 y 1.1.3.2 se explicara con más detalle la arquitectura de los bloques E-UTRAN y EPC.

Figura 1. Arquitectura del sistema LTE.



Fuente: [2]

1.1.3.1. Arquitectura de la red de acceso evolucionada: E-UTRAN

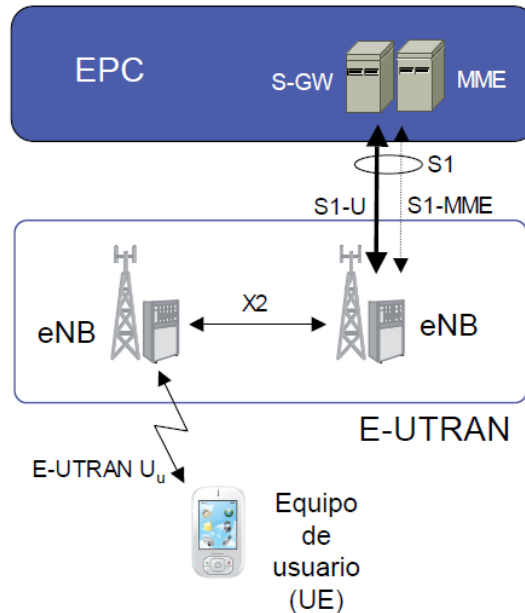
La red de acceso E-UTRAN se compone por una única entidad de red denominada *evolved NodeB* (eNB). La estación base, eNB, integra toda la funcionalidad de la red de acceso, en contraste con las redes de acceso de GSM y UMTS compuestas por estaciones base (BTS y NodeB, respectivamente) y equipos controladores (BSC y RNC, respectivamente). Más detalles de la descripción de la arquitectura de E-UTRAN se pueden conocer en las especificaciones técnicas emitidas por la 3GPP [3][4].

En la figura 4. se puede observar que la red de acceso está formada por eNB's, los cuales permiten conectividad entre los UE's y la red troncal EPC mediante las interfaces E-UTRAN Uu, S1 y X2.

Una característica importante de la red LTE se ve reflejada al ver en detalle la interfaz S1, que en realidad esta desdoblada en dos interfaces: S1-MME, para sustentar el plano de control [5]; y S1-U, como soporte del plano del usuario [6]. Esta división en la interfaz S1 permite

evaluar simultáneamente los recursos que se requieren para el soporte de la señalización del sistema (S1-MME) y para el envío del tráfico de los usuarios (S1-U).

Figura 2. Arquitectura del E-UTRAN.



Fuente: [2]

Además, los eNB's tienen la opción de interconectarse por medio de la interfaz X2, cuya función es permitir el intercambio de mensajes de señalización para la gestión de los recursos del medio (p.ej., posible interferencia entre eNB's) y el tráfico generado por los usuarios cuando se desplazan de un eNB a otro durante un proceso de *handover* [7].

1.1.3.2. Arquitectura de la red troncal de paquetes evolucionada: EPC

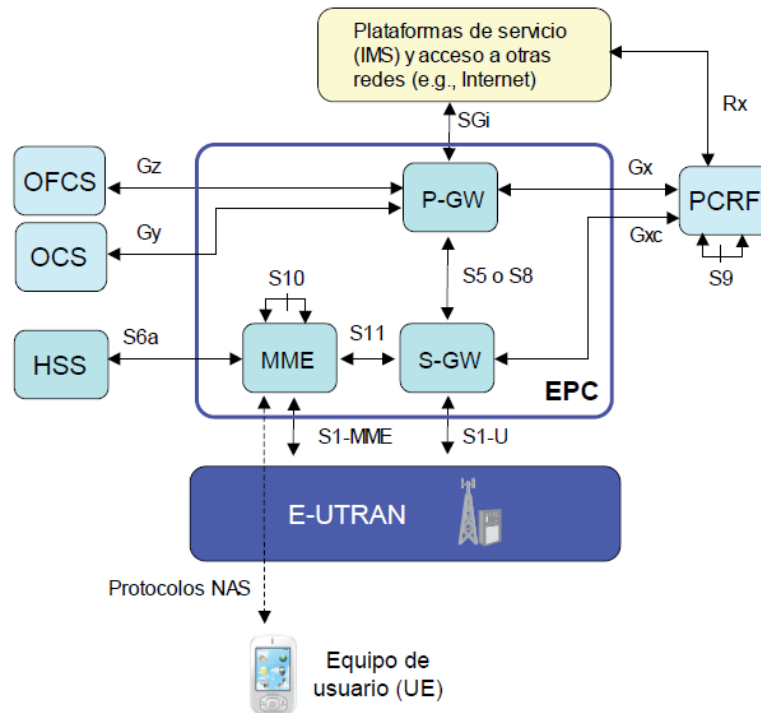
El objetivo principal del diseño de la red troncal EPC es el servicio de conectividad IP explotando las características de la red de acceso E-UTRAN [8]. Además, se ha de tener en cuenta la capacidad que tiene de permitir su acceso a través de otras redes de acceso 3GPP (UTRAN y GERAN) [8], inclusive aquellas fuera del ámbito 3GPP (cdma2000, WiMAX, 802.11) [9].

Como se puede observar en la figura 5. el sistema EPC está formado por tres entidades de red: **MME** (*Mobility Management Entity*), para la señalización del plano de control [8]; **S-GW** (*Serving Gateway*) y **P-GW** (*Packet Data Network Gateway*), las dos asociadas a las funciones en el plano de usuario [8]. Para completar los elementos básicos para establecer el servicio de conectividad IP entre los UE's conectados a través de E-UTRAN y redes externas a las que se conecta EPC, se tiene la base de datos principal del sistema 3GPP, **HSS** (*Home Subscriber Server*) [10].

Continuando con la entidad **PCRF** (*Policy and Charging Rules Function*) mostrada en la figura 5, presente en todos los sistemas 3GPP, siendo particularmente clave para LTE, se utiliza para controlar los servicios portadores ofrecidos por la red, también para realizar el control de los mecanismos de tarificación [11]. Lo anterior tanto para la plataforma EPC por medio de las interfaces G_x y G_{xc} [12], como para las plataformas externas por medio de la interfaz R_x [13].

Para terminar, las entidades **OFCS** (*Offline Charging System*) y **OCS** (*Online Charging System*) conforman el núcleo del Sistema de tarificación de la red [14]. Estas entidades interactúan con la pasarela P-GW por medio de las interfaces G_z y G_y , respectivamente [15].

Figura 3. Arquitectura básica de la red trocal EPC.



Fuente: [2]

1.2. TÉCNICAS CON MÚLTIPLES ANTENAS [16]

Desde un principio, LTE fue diseñado pensando en que sus estaciones base (eNB) y equipos de usuario pudiesen usar múltiples antenas para radio transmisión y recepción. En la referencia [16] se tratan las 3 principales técnicas con múltiples antenas: Procesamiento de la diversidad (*diversity processing*), multiplexación espacial (*spatial multiplexing*) y formación de haz (*beamforming*). Para el caso que compete al alcance de esta monografía, se hará una breve descripción de la multiplexación espacial que es la técnica utilizada por el operador de telecomunicaciones en el despliegue de la red 4G descrito en este documento. Las otras dos técnicas pueden ser consultadas en [16].

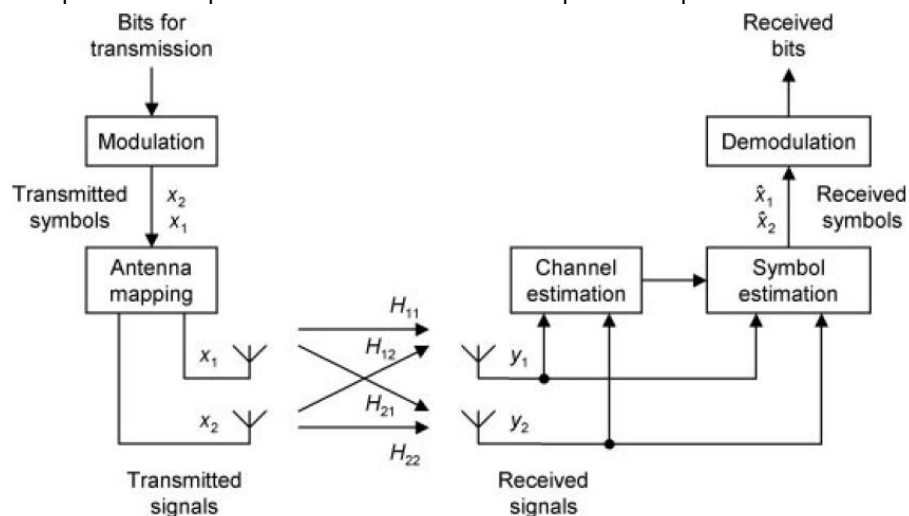
1.2.1. Multiplexación Espacial

1.2.1.1. Principios de operación

Tomando como punto de partida que el transmisor y el receptor tienen múltiples antenas, se puede hacer un arreglo con múltiples flujo de datos paralelos entre sí para incrementar la velocidad de los datos. En un sistema con N_T antenas transmisoras y N_R antenas receptoras, usualmente conocido como un sistema de multiplexación espacial $N_T \times N_R$, la velocidad de datos pico es proporcional a $\min(N_T, N_R)$.

A manera de ejemplo, en la figura 6 muestra un sistema básico de multiplexación espacial, en donde el transmisor y receptor tiene 2 antenas cada uno. En el transmisor, el asignador de antena toma símbolos del modulador dos a la vez, y envía un símbolo a cada antena. Las antenas transmiten los dos símbolos simultáneamente, entonces es así como se duplica la velocidad de transmisión.

Figura 4. Principio básico de operación de un sistema 2X2 de multiplexación espacial.



Fuente: [16]

Los símbolos viajan a las antenas receptoras por medio de cuatro caminos de radio separados, por lo tanto las señales recibidas se puede escribir como sigue:

$$\begin{aligned} y_1 &= H_{11}x_1 + H_{12}x_2 + n_1 \\ y_2 &= H_{21}x_1 + H_{22}x_2 + n_2 \end{aligned} \quad (1.1)$$

Aquí, x_1 y x_2 son las señales enviadas desde las dos antenas transmisoras, y_1 y y_2 son las señales que llegan a las dos antenas receptoras, y n_1 y n_2 representan el ruido recibido y la interferencia.

Después de algunas consideraciones para efectos prácticos, con la ecuación 1.2 podemos obtener un estimado de las señales x_1 y x_2 , representadas como \hat{x}_1 y \hat{x}_2 . Lo anterior se debe a

que los términos \hat{H}_{ij} son valores estimados diferentes de los términos H_{ij} debido al ruido y otros errores propios del proceso de estimación del canal.

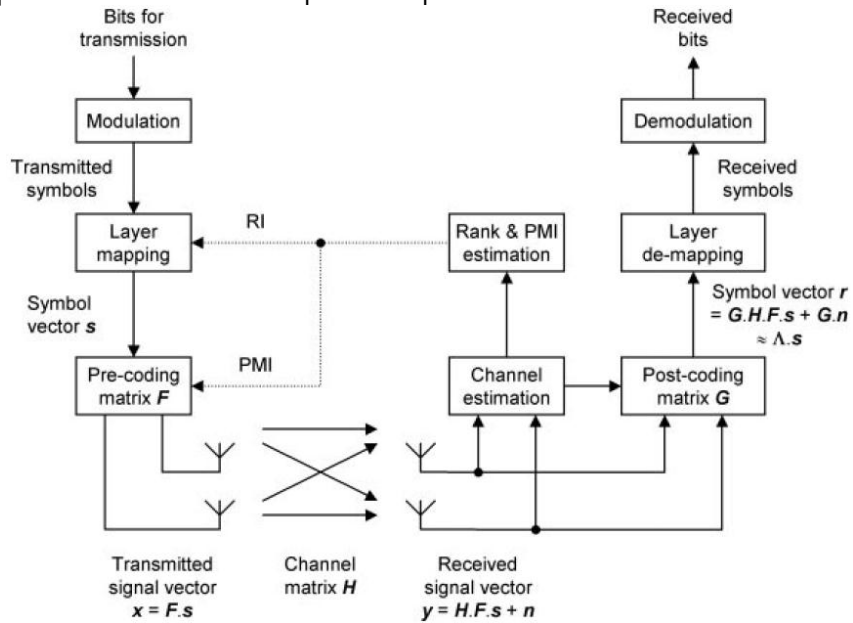
$$\hat{x}_1 = \frac{\hat{H}_{22}y_1 - \hat{H}_{12}y_2}{\hat{H}_{11}\hat{H}_{22} - \hat{H}_{21}\hat{H}_{12}}$$

$$\hat{x}_2 = \frac{\hat{H}_{11}y_2 - \hat{H}_{21}y_1}{\hat{H}_{11}\hat{H}_{22} - \hat{H}_{21}\hat{H}_{12}} \quad (1.2)$$

Para más detalles acerca de las ecuaciones que demuestran lo planteado anteriormente referirse a [16].

Teniendo en cuenta la ecuación 1.2, se pueden presentar dos problemas en el proceso de multiplexación espacial: multiplexación de lazo abierto (*open loop multiplexing*) y multiplexación de lazo cerrado (*close loop multiplexing*). El primer caso se presenta cuando la expresión en el denominador de la ecuación 1.2 es aproximadamente cero sin llegar a serlo, entonces se utiliza la técnica de procesamiento de la diversidad para enviar un símbolo a la vez. Para esto se utiliza un sistema adaptativo que detecte el comportamiento de los elementos del canal y de esta forma pueda usar multiplexación espacial o procesamiento de la diversidad, según sea el caso. Por otro lado, el segundo caso se presenta, de igual forma con el término del denominador siendo muy cercano a cero, pero si se intenta utilizar la corrección del primer caso, las señales se cancelan y las señales recibidas por el receptor es ruido e interferencia. En este orden de ideas, se requieren dos niveles de adaptación, de esta forma el sistema puede elegir entre el primer o segundo caso, cuando los elementos del canal no se comporten de tal manera que se pueda usar la técnica de multiplexación espacial.

Figura 5. Operación de un sistema de multiplexación espacial con un número arbitrario de antenas.



Fuente: [16]

En la figura 7 se muestra la operación de un sistema con multiplexación espacial con un número arbitrario de antenas. Se puede observar que diferencia de lo mostrado en el figura 1.6, se ha agregado el sistema adaptativo con los bloques de mapeo de capas (*layer mapping*), precodificación (*pre-coding*), estimación del rango e Indicador de matriz de precodificación, PMI (*Precoding Matrix Indicator*) y poscodificación (*post-coding*).

1.3. EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS CELULARES

En las últimas décadas la comunicación celular ha pasado de ser una tecnología costosa solamente asequible para muy pocas personas de sectores específicos a formar parte hoy en día de los sistemas omnipresentes usados por la gran mayoría de personas alrededor de todo el mundo. Por lo tanto, el desarrollo de las tecnologías móviles pasó de ser un asunto regional o nacional a ser una tarea tomada por con organizaciones globales desarrolladoras de estándares como el Proyecto de Asociación de Tercera Generación (3GPP) [17]. Por consiguiente, vale la pena repasar la proveniencia de las comunicaciones móviles y cómo los sistemas celulares han evolucionado, teniendo en cuenta cuáles fueron los hechos que marcaron grandes avances (servicios nuevos, aumento en la capacidad de usuarios, aumento de la velocidad de los enlaces, etc.). Una de las divisiones más comúnmente usadas de esta evolución es a través de saltos generacionales y en este orden de ideas, en las siguientes secciones se hará un breve recuento desde la primera generación (1G) hasta la actual cuarta generación (4G) enfocada en la tecnología LTE.

1.3.1. Primera generación (1G)

En 1946 la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) aprobó el primer servicio comercial telefónico en automóviles, operado por AT&T. Para el siguiente año, la misma compañía introdujo el concepto celular de reutilizar las frecuencias de radio, lo cual fue un avance importante para los sistemas que le sucedieron. Sistemas similares fueron operados por varios monopolios de las telecomunicaciones durante los años 50 y 60, usando equipo voluminoso, poco eficiente en el consumo de energía, alojado en automóviles y para un número muy limitado de usuarios [17].

Un gran salto en la cantidad de usuarios se dio cuando de la comunicación celular se convirtió en un asunto de interés internacional, lo que involucró varias partes en el proceso, principalmente la conformada por los operadores. Los primeros sistemas internacionales de comunicaciones aparecieron en los años 80's, pero los equipos eran aún bastante voluminosos y pensados, solamente para automóviles, con baja calidad en la voz y las conversaciones cruzadas entre usuarios era algo muy frecuente. El sistema de telefonía nórdico, NMT (*Nordisk MobilTelefoni* o *Nordiska MobilTelefoni-gruppen*) fue el primero en introducir el concepto de "*roaming*", lo cual permitió que los usuarios continuaran disfrutando del servicio una vez que salían del área perteneciente a su operador, lo que a su vez impulsó el mercado para teléfonos móviles, atrayendo más compañías hacia la comunicación móvil para hacer negocios [17]. Además, estos sistemas utilizaban técnicas análogas de comunicación, similares las utilizadas en los sistemas de radio análoga

tradicionales. Las celdas individuales eran grandes y no usaban eficientemente el espectro que se encontraba disponible [18].

1.3.2. De la segunda (2G) a la tercera generación (3G)

También en la década de los 80's apareció la comunicación digital, lo cual fue una oportunidad para saltar a la segunda generación de sistemas y estándares de comunicación móvil. La tecnología digital permitió aumentar la capacidad y calidad del servicio al mismo tiempo que se podía desarrollar dispositivos que realmente fuesen portables [17], [18].

A mediados de los años 80's se desarrolló en Europa el estándar GSM (Sistema Global de Comunicaciones móviles), el cual fue basado en la Multiplexación por división de Tiempo (TDMA para Europa, US-TDMA para EE.UU. y PDC para Japón). Para el año de 1993, EE.UU. desarrolló el estándar IS-95, basado en la Multiplexación por División de Código (CDMA) [17].

Las primeras incursiones en el manejo de datos sobre la red celular para los sistemas de la segunda generación se dio a través de los servicios de mensaje de texto, correo electrónico, entre otros, a una modesta tasa de 9.6 Kbit/s. Para la segunda mitad de los años 90's se introdujeron tecnologías como GPRS sobre los estándares GSM y PDC, y para EE. UU se desarrolló IS-95B, lo que permitió un verdadero manejo de paquetes de datos sobre la red celular. A estas tecnologías se les llamó 2.5G [18].

La llegada de la **tercera generación** se dio con la aparición de la interface de radio con mayor ancho de banda de UTRA (Acceso de Radio Terrestre Universal). El desarrollo de esta interfaz es manejado hoy por el la 3GPP, pero los pasos iniciales se dieron a principio de los años 90's, mucho antes de la formación de la 3GPP. Los primeros sistemas de tercera generación no cumplieron con expectativas mostradas por la publicidad que se hacía de esta tecnología. Fue solo hasta la incursión de las tecnologías 3.5G de alta velocidad de bajada (*High Speed Downlink Packet Access*, HSDPA) y alta velocidad de subida (*High Speed Uplink Packet Access*, HSUPA), los cuales eran llamados en conjunto como HSPA (*High Speed Packet Access*), que los sistemas de tercera generación despegaron apropiadamente [18].

HSPA se desarrolló para mejorar las aplicaciones de datos en el sistema 3G UMTS, el cual no es el único que se utiliza en el marco de la tercera generación pero si es el más dominante del mundo. Las otras dos tecnologías 3G son cdma2000 y WiMAX, la primera desarrollada por la 3GPP2 y la segunda por la IEEE bajo el estándar 802.16.

1.3.3. Cuarta generación (4G)

El crecimiento acelerado de tráfico de datos entre los años 2007 y 2011, generado en gran parte por la aparición de los *smartphones*, que explotaron al máximo las capacidades de las tecnologías 3.5G, y la posterior aparición de tarifas planas para navegación ilimitada, hizo que en ese lapso de tiempo las redes estuviesen muy cerca de su máxima capacidad. Esto impulsó el estudio de nuevas tecnologías que pudiesen cubrir la demanda de un número creciente de usuarios que deseaban estar conectados todo el tiempo a la nube por medio de sus

dispositivos móviles [19]. Era de esperarse que la(s) tecnología(s) que lograra(n) cubrir esta gran demanda fuera la merecedora de pertenecer a la cuarta generación.

Actualmente la ITU reconoce a la tecnología LTE y WiMAX 1.0 como sistemas 4G, pero no siempre fue así, ya que los requerimientos para pertenecer a 4G estaban enmarcados en el estándar ITM-Advance, siendo estos muy altos para que estas tecnologías pudieran ser catalogadas dentro de la cuarta generación. Mientras tanto, este gran avance era acotado por la comunidad de ingenieros como sistemas 3.9G, sin embargo, estas consideraciones no fueron un impedimento para que comercialmente se promocionaran estos sistemas como tecnologías 4G [20].

No pasó mucho tiempo desde que la ITU anunciara que solo los sistemas que cumplan los requerimientos del IMT-Advance formarían parte de la cuarta generación (Octubre de 2010) [21], pues en diciembre de 2010 al fin la ITU reconocería no solo a LTE y WiMAX 1.0 como sistemas 4G, sino a cualquier otro sistema 3G que proveyera un nivel de mejoría substancial en el desempeño y capacidades con respecto a las tecnologías 3G iniciales [22]. Aunque la acotación de la ITU es bastante ambigua, lo realmente importante para el objeto de esta monografía es reconocer que efectivamente el despliegue de la tecnología 4G LTE por parte de un operador de telecomunicaciones en Colombia, sí es una aseveración coherente a lo que actualmente es aceptado en la comunidad científica.

2. MARCO LEGAL Y REGULATORIO DE LA TELEFONÍA MÓVIL EN COLOMBIA

El objetivo de este capítulo es hacer una breve reseña del margo legislativo que permitió y reguló el establecimiento del servicio telefonía móvil (se evita la palabra “celular” para referirse al conjunto de los servicios de Telefonía Móvil Celular, TMC y Servicios de Comunicación Personal, PCS) en Colombia. Se hará énfasis en la normatividad que se encargó de la asignación del espectro radioeléctrico y el impacto que esta tuvo en la penetración de las tecnologías móviles en Colombia. Finalmente, se destacaran los aspectos más relevantes de la resolución 2625 de 2013, la cual es el centro de esta monografía por ser la que plasma los requerimientos para el despliegue de la tecnología LTE por parte del operador de telecomunicaciones, Telefónica Movistar.

2.1. ACTOS LEGISLATIVOS PARA LA ASIGNACIÓN DEL ESPECTRO PARA LA TELEFONÍA MÓVIL

En Colombia hay dos servicios de telefonía móvil basados en las tecnologías que se pueden categorizar dentro de las divisiones generacionales: TMC y PCS.

La Telefonía Móvil Celular, TMC, se aprobó en Colombia con la Ley 37 de Enero de 1993 y se creó la reglamentación con el decreto 741 del 20 de abril de 1993. Aunque es un paso importante para la penetración de esta nueva tecnología, llega con 15 años de atraso y con sistemas de la primera generación, cuando en otras partes del mundo se ha implementado las tecnologías de segunda generación. Para esta primera adjudicación se utilizó la modalidad de subasta, lo cual dejó una gran ganancia para el estado, pero esto no necesariamente es positivo, ya que el sobre costo se verá reflejado en la baja inversión en la tecnología implementada y los precios altos para los usuarios de la misma [23]. Para entender más claramente el impacto económico de esta subasta se puede ver en la tabla 1 los operadores que resultaron ganadores de la subasta, la región a la que fueron asignados, la población a la que estarían dando cubrimiento del servicio, el precio total y el precio por habitante.

Tabla 1. Ganadores de la primera adjudicación de espectro para TMC.

Empresa	Región	Población	Valor en millones de pesos	Valor en US\$	Valor por habitante US\$
Cocelco	Oriental	15907555	129600	158095052	9.94
Occel	Oriental	15907555	123120	150190300	9.44
Celumovil	Occidental	14193000	272800	332780326	23.45
Comcel	Occidental	14193000	259161	316142530	22.27
Celumovil de la costa	Costa atlantica	8010899	96800	118083341	14.74
Celcaribe	Costa atlantica	8010899	91961	112180394	14.00
Totales		38111453	973442	1187471	31.16

Fuente: [23]

Más adelante el Estado emite la Ley 555 de 2000 con el fin de darle entrada a los servicios PCS. Nuevamente se hace una subasta, pero esta vez no fue tan rentable para el estado como se esperaba y solo se presentó una compañía llamada Colombia Móvil S.A, la cual ganó los

derechos para prestar los servicios en todas las zonas definidas en ese momento, por el monto de US\$56 millones, siendo el monto mínimo establecido en US\$55.94 millones [24].

Para el 2004 ya se encontraban en el escenario de la telefonía móvil tres operadores: dos de TMC y uno de PCS. Ahora bien, debido a que una nueva tendencia comenzó con la aparición de dispositivos móviles más potentes que hacían uso de máxima capacidad de los enlaces, aumentando así la demanda de tráfico de datos en el canal de comunicación, sumado a que la misma banda de frecuencias albergaba varias tecnologías y al creciente número de usuarios, los operadores TMC se vieron en la necesidad de solicitar espectro adicional, mediante la presentación del documento: *“Propuesta para el otorgamiento de espectro adicional a los operadores de Telefonía Móvil Celular en Colombia”*. En consecuencia, se emite el decreto 4234 de 2004, el cual plantea los lineamientos que se deben cumplir para que el Ministerio de Comunicaciones otorgue la asignación del espectro adicional a los operadores TMC.

Pese a que los operadores ETB, UNE y OLA presentaron su inconformidad, alegando que la asignación del espectro debía hacerse por medio de subasta pública, el Ministerio de Comunicaciones actúa en concordancia con el decreto 4234 de 2004 y emite las resoluciones 908 de 2003 (espectro adicional para PCS), 2720 de 2004 y 508 de 2005 (espectro adicional para operadores TMC).

El 09 de Julio de 2010, mediante las resoluciones 250 de 2010, 469 de 2010 y 833 de 2010, se adjudica a UNE EPM Telecomunicaciones S.A un ancho de 50 MHz en la banda de 2.6 GHz. De esta manera se convierte en el primer operador en incursionar en la prestación de servicios de cuarta generación con la tecnología LTE [25].

Casi tres años después, el 25 de Junio de 2013, en el marco de los requerimientos de la resolución 449 de 2013, se celebró una nueva subasta del espectro para la implementación de la tecnología LTE en la que participaron varios operadores y resultaron favorecidos seis al finalizar la misma, con la novedad de ingresar en el escenario los operadores AVANTEL y Directv y dejando fuera del juego al operador mexicano, Azteca Comunicaciones [26] [27]. En la siguiente sección, se describe con más detalle las resolución 2625 de 2013, por la cual se adjudica el derecho de explotación del espectro que ganó Movistar en la subasta y la cual es el centro de atención de esta monografía.

En resumidas cuentas, actualmente Colombia cuenta con dos operadores de TMC (CLARO Y MOVISTAR), un operador de Servicios de Comunicación Personales, PCS (TIGO), un operador de telefonía móvil que no está dentro de las dos categorías anteriores (AVANTEL) y ocho Operadores Móviles Virtuales, MVNO (UNE-EPM, Uff! Móvil, ETB, Metrotel, Eocali, Virgin Mobile, Móvil Éxito, Directv) [28]. La figura 8 muestra la distribución del espectro radioeléctrico para la telefonía móvil en Colombia antes de la subasta 4G.

2.2.1. Asignación de las frecuencias y las condiciones de pago

En el artículo primero se resuelve otorgar a Colombia Telecomunicaciones S.A. E.S.P, el permiso para el acceso, uso y explotación de 30 MHz de espectro radioeléctrico para la operaciones de servicios de radio comunicaciones móviles terrestres en el rango de frecuencias 1725 MHz a 1740 MHz pareada con 2125 MHz a 2140 MHz [1]. La adjudicación de estas bandas pueden ser un punto positivo en comparación con la ganada por Claro (2.5 GHz), ya que la oferta de equipos móviles en Colombia que funcionen en la banda de 2.5 GHz es muy baja.

En cuanto a las condiciones de pago, el valor ofertado es de \$197.899.222.800, pero no será pagado en su totalidad, sino un valor proporcional (\$164.739.282.455), ya que parte de la banda se encuentra ocupada. Un vez se libere la banda en su totalidad se procederá a pagar el saldo con un ajuste por medio de Índice de Precios al Consumidor, IPC.

2.2.2. Condiciones de despliegue de la tecnología LTE

El artículo duodécimo describe 5 literales con las condiciones para el despliegue de red; en el literal **a.** se muestra un cuadro con la lista de los 255 municipios que deben tener cubrimiento y los porcentajes de avance para el segundo año (25%), tercer años (50%) y cuarto años (75%); adicionalmente se muestra una tabla con las 57 cabeceras municipales y capitales que deben tener cubrimiento durante el primer año a partir de la ejecutoria de la resolución; el literal **b.** consigna la obligación de cubrimiento de San Andrés y Providencia en el plan de expansión de cobertura; el literal **c.** las condiciones de infraestructura para el despliegue de red; el literal **d.** se consigna las velocidades teóricas mínimas que deben ofrecer las tecnologías instaladas en las cabeceras municipales (100 Mbps enlace descendente, 35 Mbps enlace ascendente para el 70% de las cabeceras municipales y 21.6 Mbps enlace descendente, 11.5 enlace ascendente en el 30% restante); finalmente, el literal **e.** señala los casos en los que el MINTIC puede autorizar el cambio de obligación de cobertura.

2.2.3. Otras consideraciones interpretadas de la resolución

A continuación se listan una serie de implicaciones que se derivan del correcto y cabal cumplimiento de la resolución, teniendo en cuenta el impacto que pueden tener en el consumidor y el desarrollo del entorno social y cultural.

- Se exige a Colombia Telecomunicaciones, como requisitos para iniciar la prestación de servicios soportados en el espectro otorgado, cumplir los parámetros de calidad definidos por la Comisión de Regulación de Comunicaciones. Esta exigencia redundará en beneficios de los usuarios del servicio al demandarse la prestación del servicio bajo parámetros mínimos de calidad. Art. 3, par. Art. 7 lit. e.
- El Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MINTIC) está encargado de supervisar e inspeccionar el cumplimiento de las obligaciones, adquiridas por Colombia Telecomunicaciones, lo anterior permitirá que el Estado ejerza vigilancia

sobre la calidad del servicio, y si es el caso tomar las medidas sancionatorias en el evento de incumplimiento, incluso podrá dar por terminado el permiso concedido mediante esta resolución. Art. 7 lit. d.

- Se impone a la empresa prestar por su cuenta y riesgo, en forma continua y eficiente el servicio a que se refiere el permiso concedido mediante la resolución, lo que implica que la empresa asume los gastos que conlleva la prestación del servicio, como también que asume las pérdidas económicas que se puedan generar, lo que también implica que el Estado se releva de asumir los gastos y pérdidas que se ocasionen por la prestación del servicio. Esta situación también conlleva a que la empresa se comprometa a prestar un buen servicio, pues en la medida que sea eficiente tendrá beneficios económicos. Art. 7 lit. e.
- Con ocasión del permiso otorgado, Colombia Telecomunicaciones debe pagar al Estado una contraprestación económica o en especie, por lo que se aseguran unos ingresos que podrán ser invertidos en bienestar para los habitantes. Art. 7 lit f.
- La resolución protege a los consumidores de malas prácticas y competencia desleal en que pueda incurrir Colombia Telecomunicaciones, toda vez que se le exige actuar acatando el Estatuto del Consumidor, el Régimen de Protección de los derechos de Suscriptores y usuarios y el Régimen de Protección de la Competencia, lo que permitirá a los usuarios reclamar ante la Superintendencia de Industria y Comercio por la deficiente prestación del servicio, y por una publicidad engañosa. Art. 7 lit. i, j.
- Se exige a la empresa garantizar el funcionamiento e interconexión de su red con las demás redes de telecomunicaciones, lo que generará una mejor y mayor cobertura del servicio, en beneficio de los usuarios. Art.7 Lit. l.
- En atención al principio constitucional de solidaridad la empresa está obligada a prestar gratuitamente, en caso de desastre natural o calamidad pública, sus servicios a los organismos de seguridad, emergencia y socorro, incluso se le exige dar prioridad a este tipo de comunicaciones. Art. 7 Lit.p.
- La resolución autoriza al MINTIC para dar por terminado el permiso otorgado mediante esta resolución, en el evento de que la empresa realice prácticas restrictivas de la competencia, incurra en competencia desleal y desconozca los indicadores mínimos de calidad de los servicios desarrollados mediante lo asignado en virtud de esta resolución. Lo anterior se convierte en una garantía de la adecuada prestación del servicio. ART. 9. Lit a. b.
- Es importante que a la empresa se le exige permitir la compartición activa de elementos y capacidades de red para la itinerancia móvil automática digital a nivel nacional, para todo tipo de servicios soportados por su red, para lo cual debe adelantar los acuerdos de interconexión con los proveedores de redes y servicios móviles que lo soliciten. Esto fortalece la libre y justa competencia entre proveedores de servicios, lo que a su vez se traduce en una mejor prestación a los usuarios. ART. 10.
- En aras de un uso eficiente de infraestructura, la empresa debe permitir a otros asignatarios del espectro radioeléctrico la compartición de elementos de infraestructura activa o pasiva, incluyendo la relacionada con equipos propios de la red de comunicaciones, torres, postes, canalizaciones y cualquier otra requerida, sea propia o de terceros, siempre que no configure una cesión de espectro. ART. 11.

- La resolución exige que la empresa acredite contar con red de acceso instalada con tecnología que cumplan las condiciones de servicio exigidas, y poner en operación el servicio en todos los municipios relacionados en esta resolución, y en un plazo máximo de 5 años en todo el país, incluyendo San Andrés y Providencia. Exigencia que conlleva a ampliar y mejorar el servicio a más población. ART. 12.
- Se exige la operación de internet inalámbrico, de forma que se garantice equipo terminal con velocidades iguales al mayor valor ofrecido comercialmente con tecnología HSPA, para estudiantes, directivos o docentes de educación básica o media en instituciones educativas públicas, así como que se obtenga una masificación del uso de internet sobre redes móviles en la población donde puedan generar un mayor impacto social, educativo y cultural. ART. 13.
- Se exige que la empresa adopte un plan comercial que permita a los usuarios adquirir en condiciones especiales un computador portátil tableta o híbrido con conexión a internet inalámbrico y conectividad WiFi y redes móviles, puerto USB, protección contra golpes y bloqueo del equipo en caso de hurto. Lo anterior para efectos de hacer cumplir la responsabilidad que a toda empresa le compete. ART. 13.

3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA SOLUCIÓN Y DE LOS EQUIPOS IMPLEMENTADOS

Telefónica Movistar realizó la selección del proveedor que suministra los equipos para la solución LTE basado en lineamientos de calidad de servicio, cobertura y cumplimiento de objetivos comerciales, revisando propuestas de otros fabricantes y analizando cuál de ellas se ajustaba más al plan de despliegue de la empresa.

En este capítulo se da a conocer las características técnicas de la solución LTE implementada por el operador Movistar en Colombia. Se describirán las partes que conforman la arquitectura de la solución. En la descripción de cada parte se detallarán los parámetros de operación de cada uno de los equipos y los estándares definidos para la operatividad de la red, profundizando más en los equipos de la etapa de acceso. Es importante tener en cuenta que los equipos involucrados en la red acceso van a ser compartidos con el operador TIGO y que cada operador va a manejar portadoras diferentes.

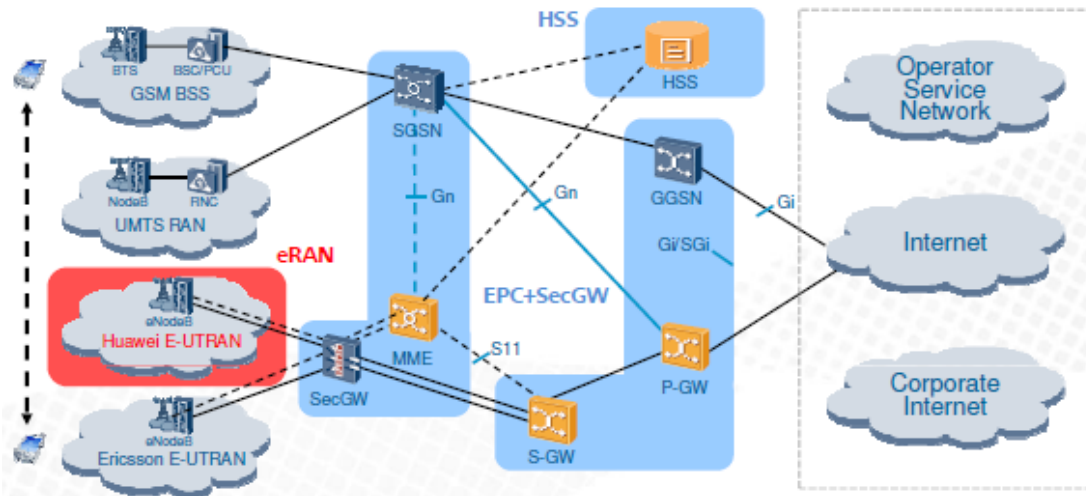
3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA SOLUCIÓN.

La solución técnica que se llevó a cabo para el proyecto LTE debe cumplir los siguientes requerimientos, los cuales fueron acordados con el fabricante de los equipos, que en este caso es la compañía HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD. A continuación se despliegan los mismos.

- Los equipos cumplen con todos los aspectos que el *release 10* de LTE ofrece.
- La red de acceso puede ser compartida y para este escenario se tendría una portadora dedicada por operador, los cuales son Movistar y Tigo.
- El sistema debe operar con las redes de comunicaciones actuales manteniendo las funcionalidades y capacidades existentes, tales como GPRS, EDGE, HSPA, HSPA+, etc.
- El sistema debe operar con EPCs de otros operadores y fabricantes, manteniendo las mismas funcionalidades y capacidades.
- El sistema debe soportar servicios de voz bajo el esquema CSFB hacia redes 3G. Es decir que los llamados de voz se establecerán mediante recursos de acceso de las redes 3G.
- La red de sincronismo de cumplir con el estándar IEEE1588 V2 y se debe garantizar las especificaciones de sincronismo establecidas por el 3GPP.
- La solución de acceso de radio permite implementar la técnica multiantena MIMO.
- La Solución de acceso de radio permite Calidad de Servicio QoS, Control de admisión y control de gestión.
- El sistema contiene una plataforma de gestión centralizada para los equipos que conforman el EPC y la red de acceso de radio.
- Para la etapa de puesta en marcha y sintonización inicial se deben realizar todas las pruebas contempladas en los anexos respectivos, las cuales están basadas en el cumplimiento de cobertura y calidad de servicio hacia el usuario.

En la figura 9. se observa un esquema de la arquitectura de la solución implementada

Figura 9. Arquitectura general red Huawei



Fuente: [29]

3.2. DESCRIPCIÓN EQUIPO DE ACCESO

El equipo usado para la etapa de acceso es el modelo DBS3900, el cual lo conforman la unidad de banda base con referencia BBU3900 y la unidad de radio con referencia RRU3832. La unidad de radio puede ser instalada en la torre al lado de la antena con el objetivo de reducir pérdidas por trayectoria de cable entre la BBU y la RRU. Estos equipos son alimentados por un rectificador que suministra -48Vdc, con su correspondiente respaldo de baterías (2 bancos) que cuentan con una autonomía de 92 AH cada uno.

En la figura 10. se muestra un esquema completo de la solución de acceso, en donde se observa conexiones para dos portadoras dedicadas.

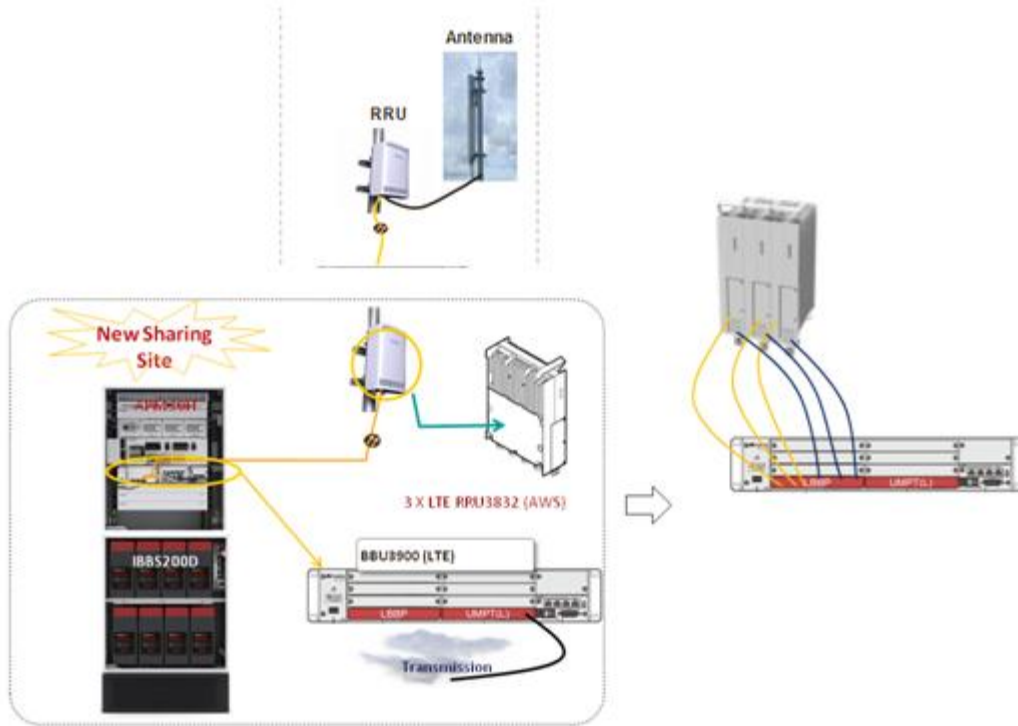
3.2.1. Unidad BBU

La unidad BBU se encuentra ubicada en gabinete interior al lado del rectificador y encima del gabinete de baterías. La BBU es conformada por tres tarjetas, que son la LBBP, UMPT y UPEU. A continuación se enuncian las funciones de la BBU.

- Se encarga de conectar el E-NODOB con el MME o S-GW. Esta conexión físicamente es realizada por medio de la tarjeta UMPT, la cual se encuentra conectada al equipo de transmisión.
- Por medio de la tarjeta LBBP se encarga de la comunicación con la unidad de radio(RRU) y de procesar las señales UPLINK y DOWNLINK.
- La BBU permite la administración centralizada del E-NODOB para las labores de operación y mantenimiento.

- Proporciona el reloj de referencia.

Figura 10. Esquema conexión de equipos de acceso



Fuente: [30]

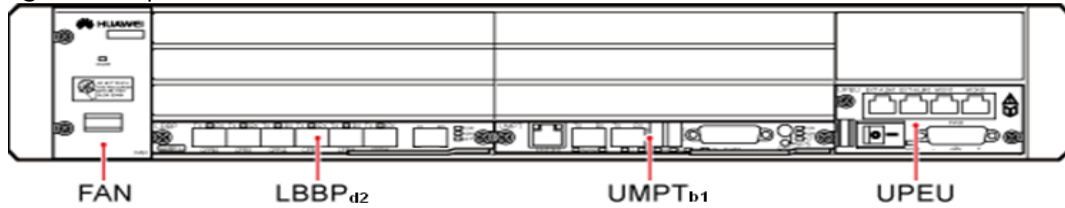
Tabla 2. Tarjetas y Puertos de la BBU3900

Tarjeta	Tipo de conector	Función	Señal	Velocidad de transmisión
UMPTb1	CI	Interconexión de la BBU	-	-
	RJ45(1)	Puerto ethernet de datos	Señales FE/GE	10, 100, 1000Mbit/s Full duplex
	USB (1)	Interfaz de comisionamiento	-	
	USB (2)	Interfaz de prueba de reloj	Reloj	10Mbit/s, 5 ms
	SFP(1)	Puerto optico de datos	Señales FE/GE	100Mbit/s or 1000Mbit/s
	GPS	Conector de antena	Señales GPS	-
	Reset	Boton de reset	-	-
	E1/T1	Trafico de datos	Transmisión en E1/T1	4 canales

LBBPd2	SFP(2)	Puerto optico	Señales CPRI	2.5 Gbit/s
	QSFP	Puerto optico	Señales CPRI	
UPEU	RJ45(2)	Puerto RS485	Protocolos RS485	-
	RJ45(3)	Salida de contactos secos	Señales TTL	-
	3V3	Fuente de poder	Señales de alimentación	-

Fuente: [31]

Figura 11. Esquema módulo BBU.



Fuente: [31]

Las funciones de la tarjeta UMPT son:

- Control principal, transmisión de señal de reloj, intercambio de mensajes y sincronización del reloj GPS.
- Contiene la interfaz hacia el equipo de transmisión.

Las funciones de la tarjeta LBBP son:

- Procesa las señales de banda base, implementa las funciones de la capa física y capa MAC.
- Contiene la interfaz hacia unidad de radio(RRU).

Las funciones de la tarjeta UPEU son:

- Provee energía a la BBU. A esta tarjeta le llegan -48Cdc provenientes del rectificador.
- Conexión de alarmas externas de contacto seco

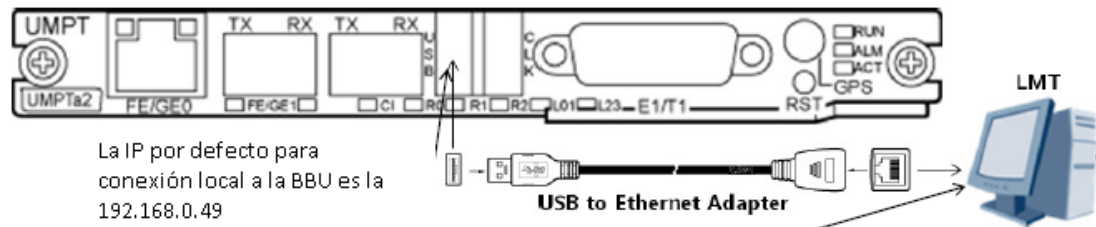
En la figura 12 se muestra como se realiza la conexión local al eNB para tareas de operación y mantenimiento

Para completarla conexión se abre el navegador y se apunta a la dirección local por defecto, digitando el nombre de usuario y contraseña destinado para las tareas de operación y mantenimiento en sitio, tal como se muestra en la figura 13.

Los comandos que pueden ser digitados para las tareas de operación y mantenimiento en sitio, se detallaran en el siguiente capítulo.

En las siguientes figuras se muestran los gabinetes que albergan la BBU, el rectificador y los bancos de baterías.

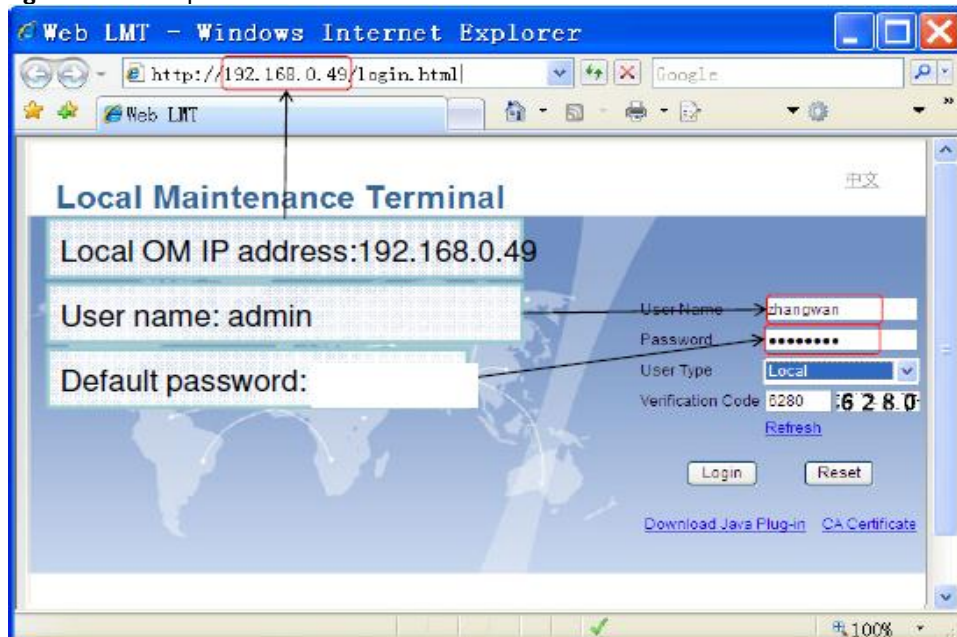
Figura 12. Conexión local a la BBU



En mi PC le configuro una IP dentro del mismo segmento, la cual puede ser 192.168.0.88

Fuente: [32]

Figura 13. Paso 2 para la conexión local a la BBU



Fuente: [32]

Figura 14. Gabinetes de BBU, rectificador y baterías.



Fuente: Fotografía en sitio

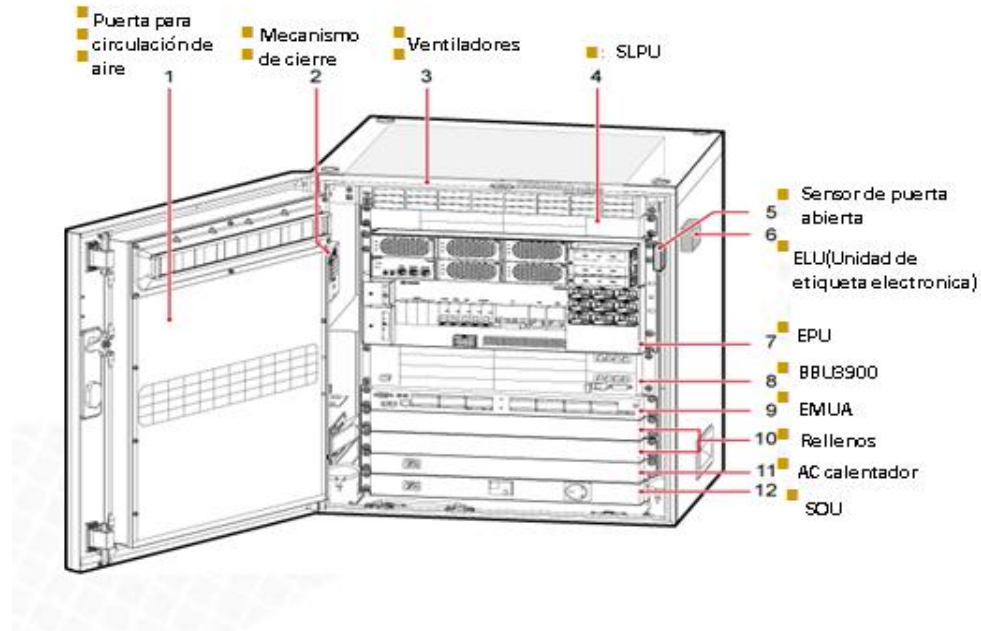
Figura 15. Vista interior del gabinete de BBU y rectificador.



Fuente: Fotografía en sitio

El gabinete donde se encuentra instalada la BBU y el rectificador, es de referencia APM30H. El gabinete está diseñado para ambientes outdoor y viene en una estructura modular e integrada para mejorar las tarea de mantenimiento. Las dimensiones de gabinete son 700mm*600mm*480mm.

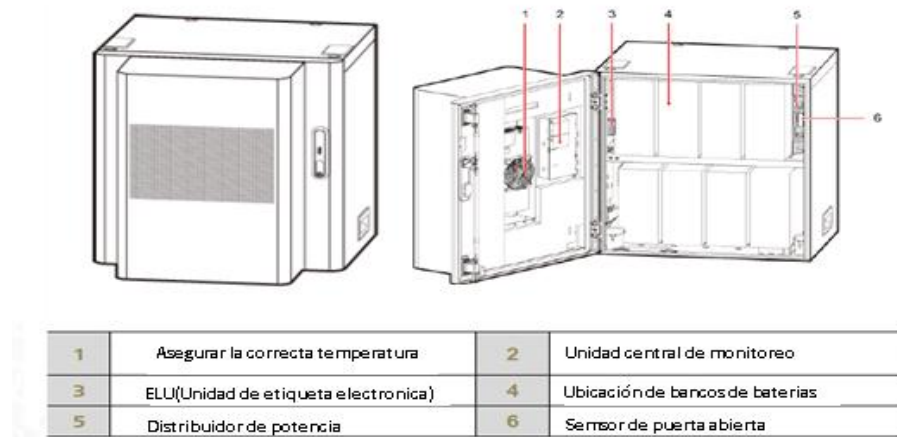
Figura 16. Estructura gabinete BBU y rectificador



Fuente [31]

El gabinete que contiene los bancos de baterías tiene referencia IBBS200T. Las dimensiones de gabinete son 700mm*600mm*480mm.

Figura 17. Estructura gabinete baterías



Fuente [31]

3.2.2. Unidad de radio (RRU)

El modelo de radio implementado es el RRU3832, el cual su alimentación es tomada desde el rectificador ubicado en gabinete interior. La RRU es el módulo de radio frecuencia del E-NODOB y se encuentra instalado al lado de la antena. La RRU 3832 cumple las funciones de

modulación, demodulación, procesamiento de datos, combinación y división de señales banda base y de radio frecuencia. Este modelo de RRU permite la configuración 2T4R.

Figura 18. RRU y conexiones hacia antena



Fuente: Fotografía en sitio

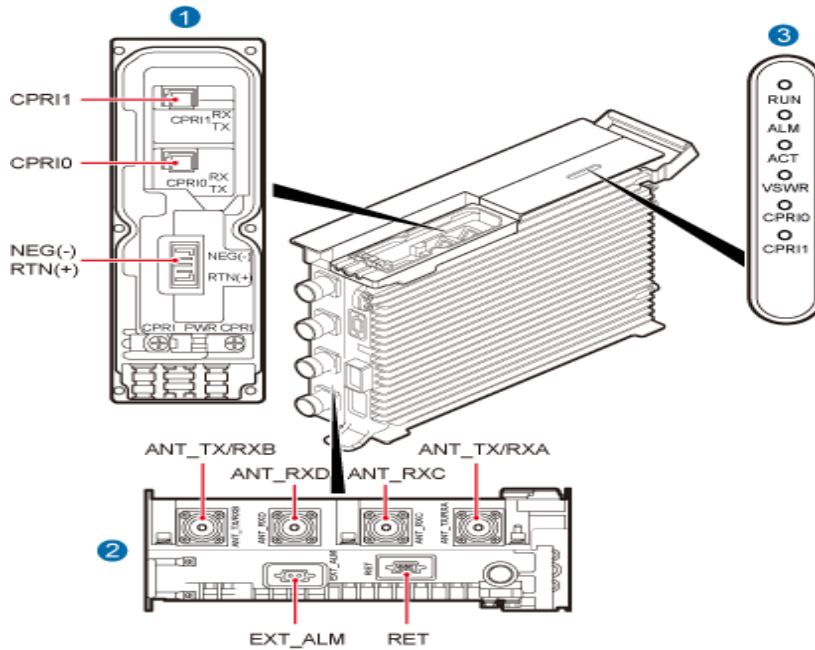
Figura 19. Vista frontal de RRU



Fuente: Fotografía en sitio

En la tabla 3.2 se relaciona las características técnicas referentes a puertos de conexión y bandas de frecuencias del módulo RRU 3832.

Figura 20. Diagrama de puertos RRU3832



PAR46C0002

Fuente [31]

Tabla 3. Puertos físicos de la RRU3832

Puerto	Conector	Cantidad	Funcion
Puerto de alimentación	Conector hembra Tool-Less	1	Recibe los -48Vdc del rectificador APM30.
Puerto Optico	Conector DLC	2	Puertos de conexión hacia BBU
Puerto de comunicación para la antena RET	Conector DB9	1	Otros puertos
Puerto de Tx y Rx Main	Conector hembra DIM	1	Puertos de radio frecuencia hacia antena
Puerto de Tx y Rx diversidad	Conector hembra DIM	1	
Puerto Rx Diversidad	Conector hembra DIM	2	
Puerto de alarma	Conector DB15	1	Puerto para alarmas provenientes de contactos secos

Fuente [33]

Tabla 4. Bandas de frecuencia de la RRU3832

Modo	Banda de Frecuencia (MHz)	Banda frecuencia de recepción (MHz)	Banda frecuencia de Transmisión (MHz)
UMTS	2100	1920 a 1980	2110 a 2170
UO, LO, UL	AWS	1710 a 1755	2110 a 2155

Fuente [33]

Tabla 5. Capacidades de la RRU3832

Configuración	Capacidad
Configuraciones UO No MIMO	Permite seis portadoras
Configuraciones UO MIMO	Permite cuatro portadoras
Configuraciones híbrido UO	Ver manual fabricante
Configuraciones normales LO	Permite dos portadoras
Configuraciones normales UL	Permite cuatro portadoras

Fuente [33]

Tabla 6. Sensitividad receptores RRU3832

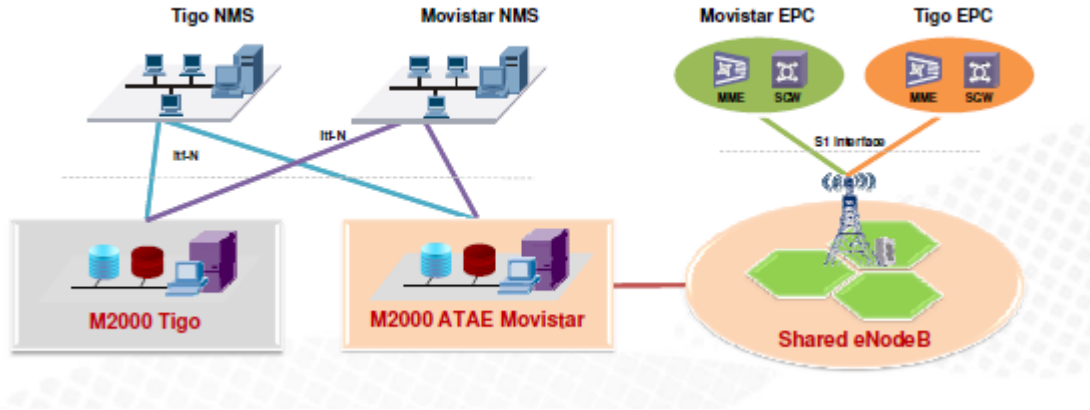
Modo	Banda de Frecuencia (MHz)	Sensitividad con un camino en recepción (dBm)	Sensitividad con dos caminos en recepción (dBm)	Sensitividad con tres caminos en recepción (dBm)
UMTS	AWS/2100	-126.1	-128.9	-131.6
LTE	AWS	-106.5	-109.3	-112.0

Fuente [33]

Las especificaciones técnicas más detalladas de la RRU se encuentran en el manual del fabricante para este producto.

3.3. DESCRIPCIÓN SISTEMA DE GESTIÓN CENTRALIZADA

Figura 21. Configuración general sistema de gestión.



Fuente [30]

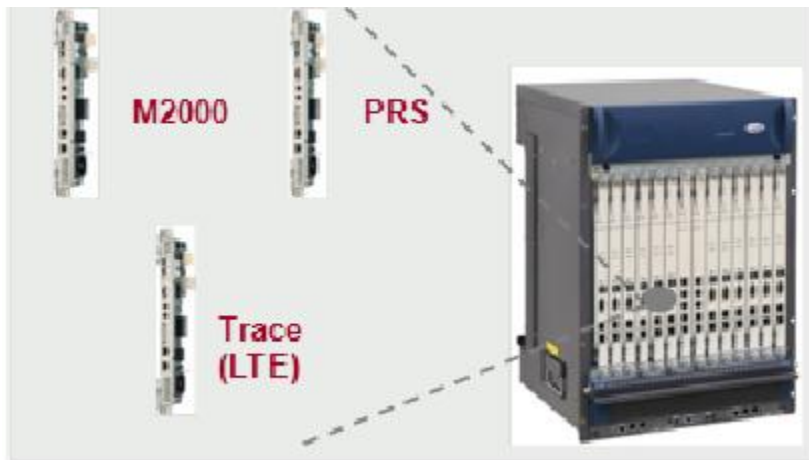
En la figura 21 se observa que los operadores Movistar y Tigo comparten el equipo de acceso, pero el EPC y el centro de gestión son independientes.

Para la solución de gestión centralizada, se implementa un sistema de gestión llamado M2000 ATAE (*Advanced Telecommunications Aplicación Environment*). El sistema de gestión M2000 permite de forma centralizada administrar todos los elementos que conforman la red móvil LTE, tanto en la etapa de red de acceso como en la etapa de *core* (EPC). Entre las funciones que provee se encuentran la configuración de elementos de red, administración de reportes de falla, topología de la red, logs de eventos, estadísticas de rendimiento de la red, entre otros.

El equipo que soporta el sistema de gestión cuenta con un diseño modular que permite a los módulos conectarse entre sí a través de una interfaz CORBA. El sistema cuenta con interfaces externas para comunicarse con otras plataformas. En la comunicación con los otros elementos de red, el sistema trabaja con protocolos FTPS, FTTPS y SSH.

El equipo que se observa en la figura 22 hace parte de la solución integral M2000 ATAE. El Subrack lo conforman 14 tarjetas, donde 12 de ellas funcionan como servidores para las diferentes funciones de administración de redes. Las otras dos tarjetas funcionan como tarjetas de conmutación para entregar redundancia al equipo en todas sus funciones de gestión.

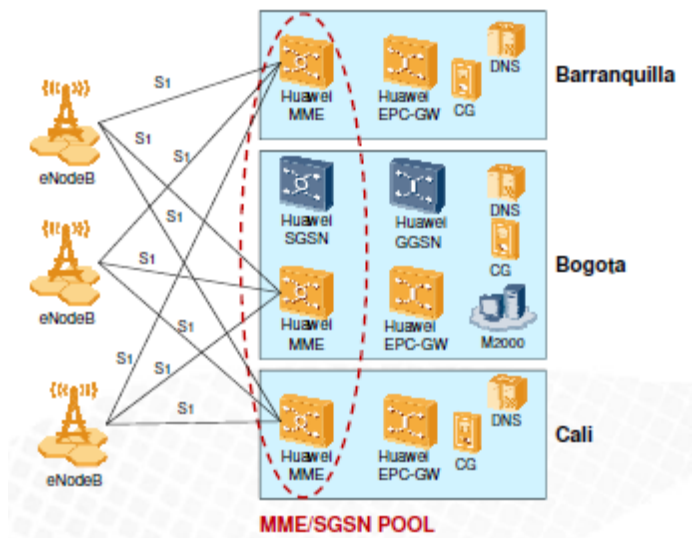
Figura 22. Hardware cluster sistema de gestión M2000 ATAE



Fuente [30]

3.4. DESCRIPCIÓN EPC

Figura 23. Distribución y Configuración de EPC



Fuente [29]

El EPC es la entidad que concentra los elementos encargados del encaminamiento de los paquetes provenientes de los terminales LTE hacia las diferentes redes externas. El EPC también es el encargado de administrar funciones de autenticación y tarificación para los diferentes usuarios que acceden la red LTE.

En la figura 23. se observa un esquema de cómo se distribuyeron y configuraron los EPC's a nivel nacional, de acuerdo a la solución implementada

Tabla 7. Detalle distribución EPCs

ELEMENTO DE RED	CANTIDAD	LOCALIZACION
MME/SGSN	3	BOGOTA, CALI Y BARRANQUILLA
S-GW/P-GW/GGSN	3	BOGOTA, CALI Y BARRANQUILLA
CG	3	BOGOTA, CALI Y BARRANQUILLA
DNS	3	BOGOTA, CALI Y BARRANQUILLA
Security GW	6	BOGOTA, CALI Y BARRANQUILLA

Fuente [29]

3.4.1. Capacidades equipos EPC

Tabla 8. Capacidades equipos EPC

EQUIPOS	CAPACIDAD FASE 1(2013)	CAPACIDAD FINAL
MME/SGSN	391k SAUs*3= 1173k SAUs	2188k SAUs*3=6564k SAUs
GGSN/S-GW/P-GW	5099M*3=15297 GB y 782k PDP*3=2346k PDPs	18593M*3=55,77 GB y 2293 K pdp*3=6879k PDPs

Fuente: [31]

En el cuadro anterior, la unidad SAU se refiere a la cantidad de accesos simultáneos de usuarios que el equipo puede tener. La unidad PDP, hace referencia a la cantidad de paquetes de datos del protocolo que va por las interfaces.

En la siguiente figura se puede observar el esquema de conexión para los SeGW. La distribución va a ser de dos equipos SeGW por ciudad, dos en Bogotá, dos en Barranquilla y dos en Cali. La capacidad de estos equipos es de 14Gbps (por 6) con interfaces de FO monomodo de 10G.

Figura 24. Esquema de conexión del SeGW



Fuente [29]

Dentro de la solución propuesta por Huawei, el EPC soporta las siguientes funcionalidades:

- Permite la interconexión entre las redes 3GPP actuales. E-UTRAN con UTRAN, E-UTRAN con GERAN y UTRAN con GERAN.
- El EPC ofrece redundancia geográfica a nivel de las funciones del MME, S-GW y P-GW. La función de seleccionar el MME se encuentra en el e-NODOB y la función de selección del S-GW y P-GW se encuentra en el MME.
- Para el funcionamiento de los protocolos que soportan las interfaces S1 y X2, Huawei se apoya en las redes ethernet existentes.
- Se cuenta con seguridad IP para el tráfico que viaja por las interfaces S1 y X2.
- El software sobre el cual está soportada la red Huawei-LTE es el eRAN6.0.

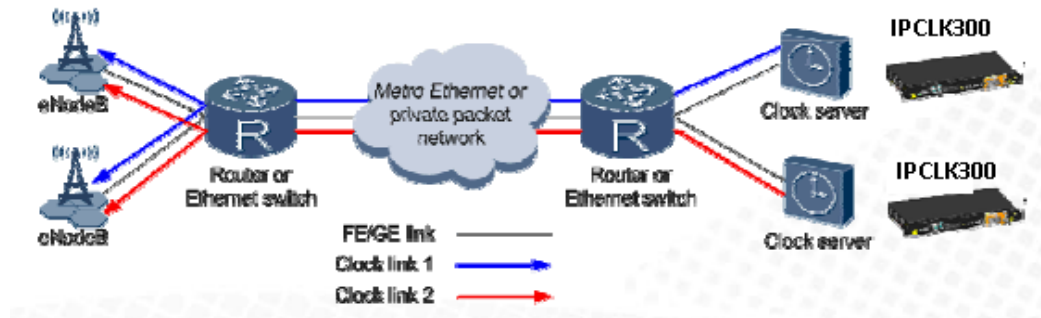
3.4.2. Equipo de sincronismo

Los e-NODOSB de Huawei permiten diferentes tipos de sincronización, entre los que se encuentran 1588V2, GPS, E1/T1, POR ETHERNET. La solución entregada por Huawei para el sincronismo de la red LTE es por medio de un servidor de sincronismo por IP. Este servidor se sincroniza con un elemento de sincronización de orden superior y entrega el sincronismo a los E-NODOS B por medio de la red IP a la cual están conectados los E-NODOS B.

El equipo implementado es el IPCLK300, el cual tiene redundancia en sus funciones, permite sincronizar hasta un máximo de 2048 e-NODOSB y se configuraría para que cumpla el estándar IEEE1588 V2. Este equipo soporta varios protocolos de sincronismo como son IPV6, SNTP, HTTPS, FTP, FTSP, ITU-T G.8265.1, PTP/IEEE.

En la figura 25. se observa un esquema de la configuración de sincronismo implementada.


Figura 25. Configuración de sincronismo.



Fuente: [29]

En la tabla 9. se observa el equipo IPCLK300 con sus características técnicas.

Tabla 9. Equipo IPCLK300

IP Clock	Item	Specification
	Voltaje de trabajo	-48 V DC power: Rango de voltaje de entrada: -36 V DC to -75 V DC 110 V/220 V AC 50/60 Hz: Rango de voltaje de entrada: 90 V AC to 264 V AC
	Peso(kg)	≤ 5 kg
	Dimensiones	483 mm x 220 mm x 43.6 mm

Tomado de [30]

Figura 26. Vista frontal equipo IPCLK300.



Fuente [29]

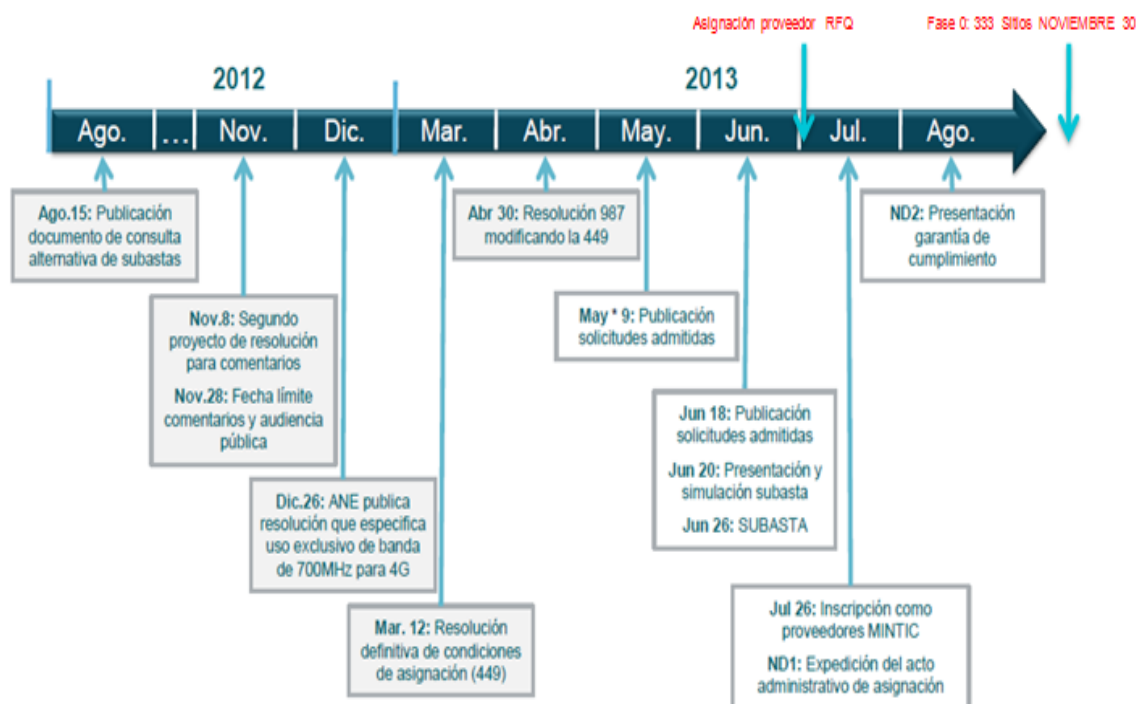
4. PLAN DE DESPLIEGUE DE LA RED 4G LTE EN SANTANDER

En el presente capítulo se presenta el plan de despliegue de la red LTE, tomando como referencia la Resolución 2625 de 2013 del MinTIC, y en particular en su Artículo 12 donde se definen las obligaciones que tiene la empresa para el despliegue de la red. Finalmente se describe el proceso de instalación y puesta en servicio de la red 4G en Santander hasta su lanzamiento comercial.

4.1. GENERALIDADES DEL DESPLIEGUE DE RED

El cronograma de la Figura 27. Ilustra los aspectos preliminares del plan de despliegue y puesta en marcha de la red LTE.

Figura 27. Eventos importantes antes del despliegue



Fuente: [34]

Entre estos aspectos preliminares concernientes al plan de despliegue de Movistar se destacan:

- Proceso de análisis de propuestas de los diferentes proveedores de equipos.
- Otorgamiento de los permisos para el uso de la banda de frecuencias en que trabaja LTE, por parte del MinTIC.
- Análisis y selección del proveedor.

- Inicio del plan de despliegue establecido entre la empresa y el proveedor (Huawei Technologies CO., LTD).

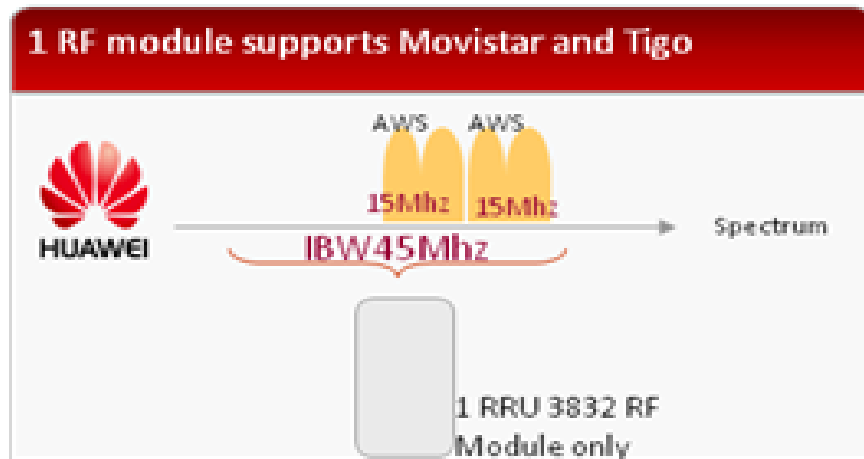
El proyecto de despliegue busca una sinergia en los equipos de acceso, la cual consiste en disponer de un único nodo por sitio, en el cual los dos operadores (Movistar y Tigo) comparten los equipos de acceso de radio (RAN *sharing*) irradiando con portadoras independientes.

El espectro asignado por el MinTIC para los dos operadores es de 90MHz para los enlaces ascendente y descendente, distribuidos de la siguiente forma:

- Enlace ascendente (*uplink*): 1710–1755 MHz
- El enlace descendente (*downlink*): 2110–2155 MHz.

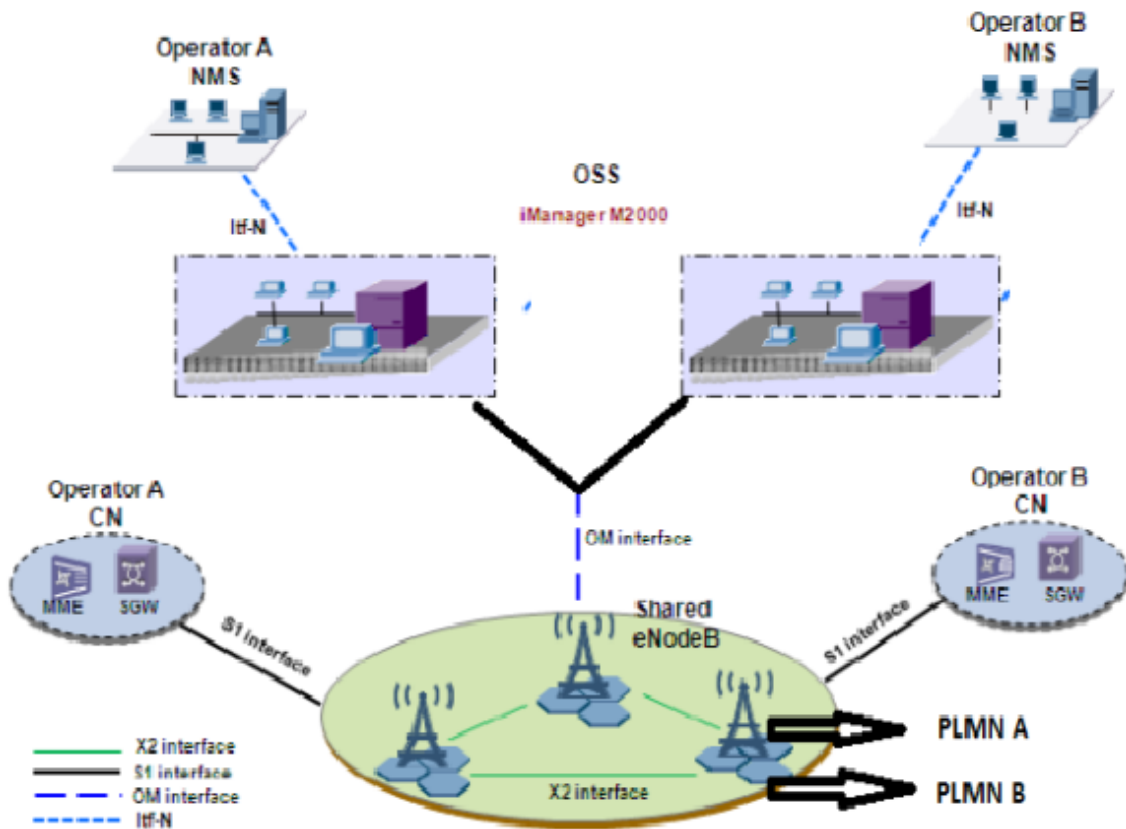
Cada operador dispone de 30 MHz (15 MHz en *uplink* y 15 MHz en *downlink*) para su despliegue de red. En sitio se dispone de un mismo módulo de radio por sector para los dos operadores con portadora dedicada para cada uno de ellos. En la figura 28 se puede observar el esquema implementado.

Figura 28. Manejo de las frecuencia en la RRU 3832



Fuente [30]

Figura 29. Esquema de acceso de radio por sitio

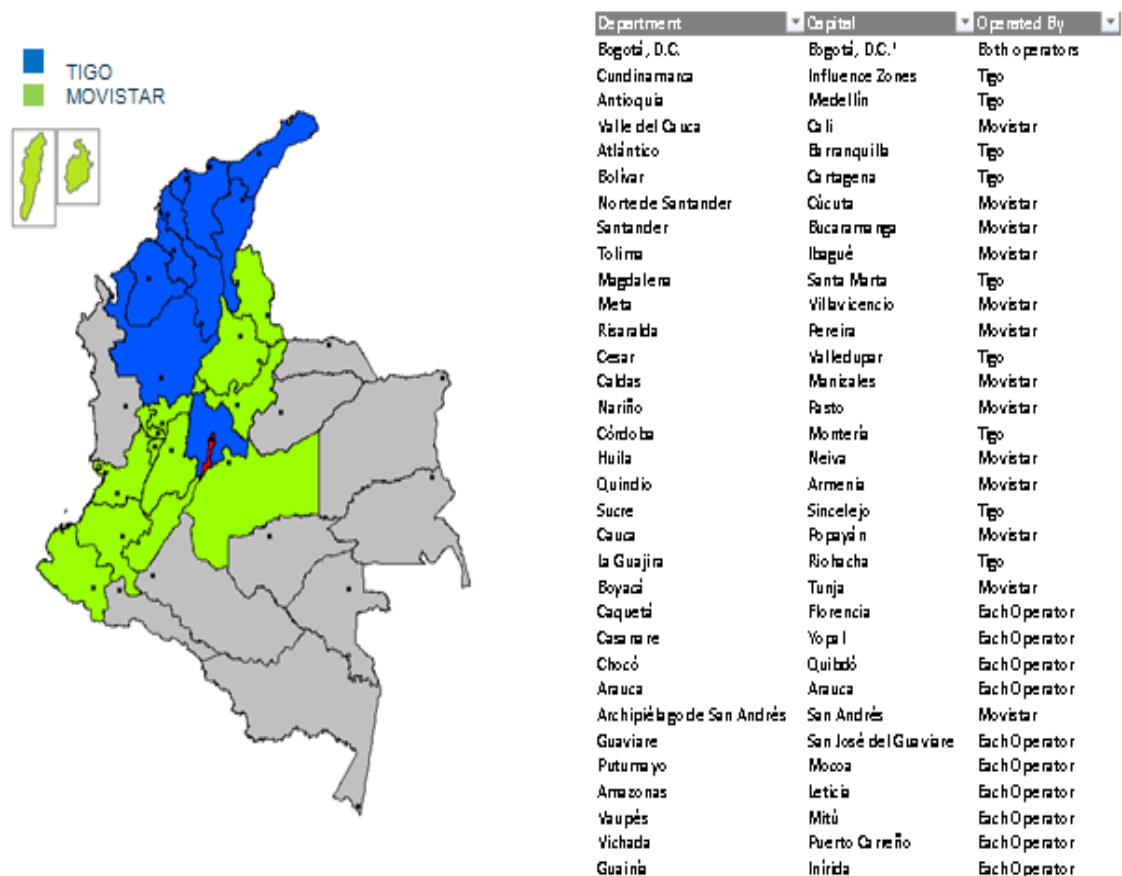


Fuente [34]

4.1.1. Distribución de sitios por operador

El acuerdo que se lleva a cabo entre los dos operadores, consiste en que en determinados departamentos la operación y el mantenimiento de los equipos de acceso las realiza el operador 1 y en los otros departamentos las realiza el operador 2. También existen departamentos en los que la operación y el mantenimiento es responsabilidad de cada operador, es decir, cada operador tiene su propio equipo de acceso (aNB). La forma como se realizó esta distribución se observa en la figura 29.

Figura 30. División de despliegue y operación



Fuente [34]

4.1.2. Servicios del proveedor para la puesta en funcionamiento de los eNB

El proceso de despliegue de red cuenta con los siguientes pasos para llevar a cabo la puesta en funcionamiento de cada E-nodo b, divididos en servicios de ingeniería y servicios de sintonización inicial.

a) Servicios de ingeniería:

- Plataforma de gerencia del proyecto
- Aseguramiento de calidad del proyecto
- Elaboración y entrega de *site survey*
- Supervisión e instalación física del eNB y sistema de energía en sitio
- Integración con el *core* del otro operador (RAN *Sharing*)
- Elaboración y documentación de pruebas de aceptación en sitio
- Instalación de M2000 y IP *Clock*

- Elaboración documentación de ingeniería de la nueva red implementada

b) Servicios de sintonización inicial:

- Pruebas de drive test
- Pruebas de sintonización inicial sin carga
- Set de pruebas estáticas por ciudad
- Trazas de usuario para casos de *trouble shooting*
- Recursos especializados dedicados de radio frecuencia

4.1.3. Consideraciones de planeación para la red de radio.

Estas consideraciones fueron realizadas para el estudio de despliegue de la fase 0 en las ciudades de Bogotá, Cali y Bucaramanga. Los estudios para otras ciudades y fases no son enunciados.

Para la distribución de los eNB con el objetivo de tener una cobertura y servicio de alta calidad para la tecnología LTE, se definieron inicialmente las zonas que se iban a cubrir y se clasificaron según sus características en cuanto a población, donde estas pueden ser densamente urbana, urbana, suburbana y rural. La ubicación de los equipos en estas zonas tuvo en cuenta los sitios donde Movistar tiene equipos operando en las redes 2G y 3G.

Para la puesta en servicio de la red de radio, Huawei realiza un estudio mediante herramientas predictivas tales como U-Net-Professional Radio Network Planning Tool y modelos de tráfico aplicados a los sitios previamente definidos donde se van a ubicar los equipos. Para este estudio se tienen en cuenta consideraciones de planeación, dentro de las cuales las más importantes se relacionan en la tabla 10.

Uno de los aspectos importantes que hacen parte de las consideraciones para la planeación de la red de radio es la característica de los equipos Huawei denominada ICIC, propiedad importante del software de la red Huawei, la cual consiste en controlar la interferencia entre celdas cuando se trabaja sobre las mismas frecuencias, mediante ajustes de potencias entre los sectores donde pueden llegar a presentarse solapamientos de frecuencia. Esta propiedad permite un mejor aprovechamiento del espectro y así lograr mejor rendimiento en las velocidades de datos.

Tabla 10. Consideraciones de estudio y planeación

Frecuencia de operación	AWS
Tecnología	LTE FDD
Potencia de transmisión	2x30W
Rango de Frecuencias	1740-1755 MHz y 2140-2155 MHz

Ancho de banda del canal	15 MHz
Tipo de terminal	Potencia de Tx=23dbm
Tipo de cobertura	Indoor
Configuración de antenas	MIMO 2X2
Throughput en área de cobertura de LTE	2048 Kbps DL/512 Kbps UL
Configuración de los sectores en las celdas LTE	1+1+1
Tipo de planeación de frecuencias	SFR 1X3X2(Soft Frequency Reuse)
Probabilidad de cobertura	95%

Fuente

4.2. PLANEACIÓN DE LA RED DE RADIO EN SANTANDER PARA LA FASE INICIAL (FASE 0)

El proveedor Huawei realizó estudios de cobertura para las áreas y ubicaciones que se definieron, teniendo en cuenta consideraciones técnicas establecidas. A continuación se observa una síntesis de los resultados más relevantes obtenidos mediante herramientas simuladoras, aplicadas en el despliegue de la fase 0 en Santander (Bucaramanga). Los detalles de las herramientas de software usadas para las predicciones no son mencionados. Estas predicciones sirven como base para el diseño de la red, pero debe tenerse en cuenta que en condiciones reales se presentan otros tipos de variables que las herramientas simuladores no calculan.

Dentro de los parámetros de medición se encuentran:

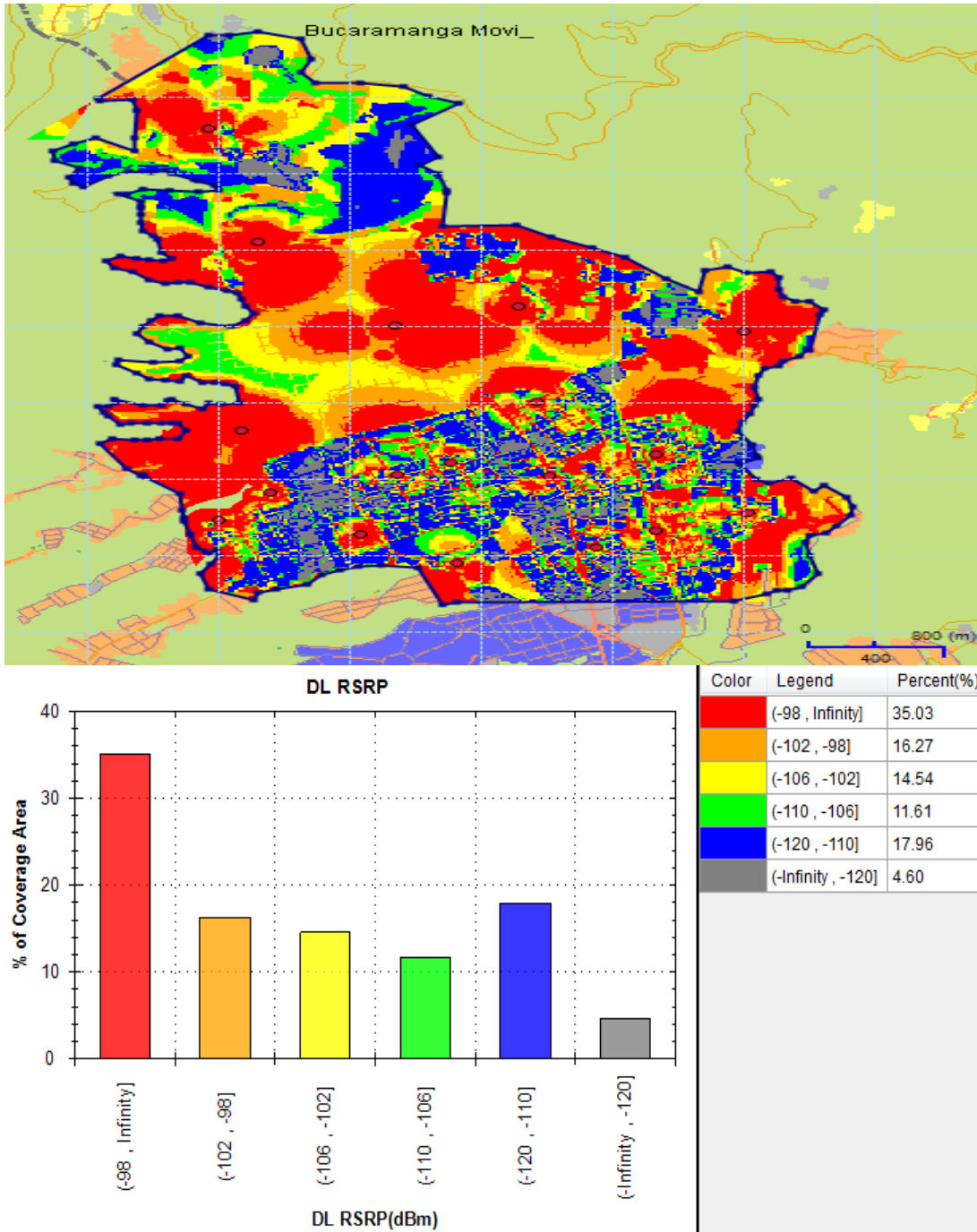
DL RSRP: Nivel de señal recibida a nivel de celda en *Down Link*.

DL SINR: Relación señal a ruido en *Down Link*

DL RSRQ: Calidad de señal recibida desde una celda específica

DL MAC *Peak Throughput*: Velocidad de datos en *down Link*

Figura 31. Estudio de DL RSRP

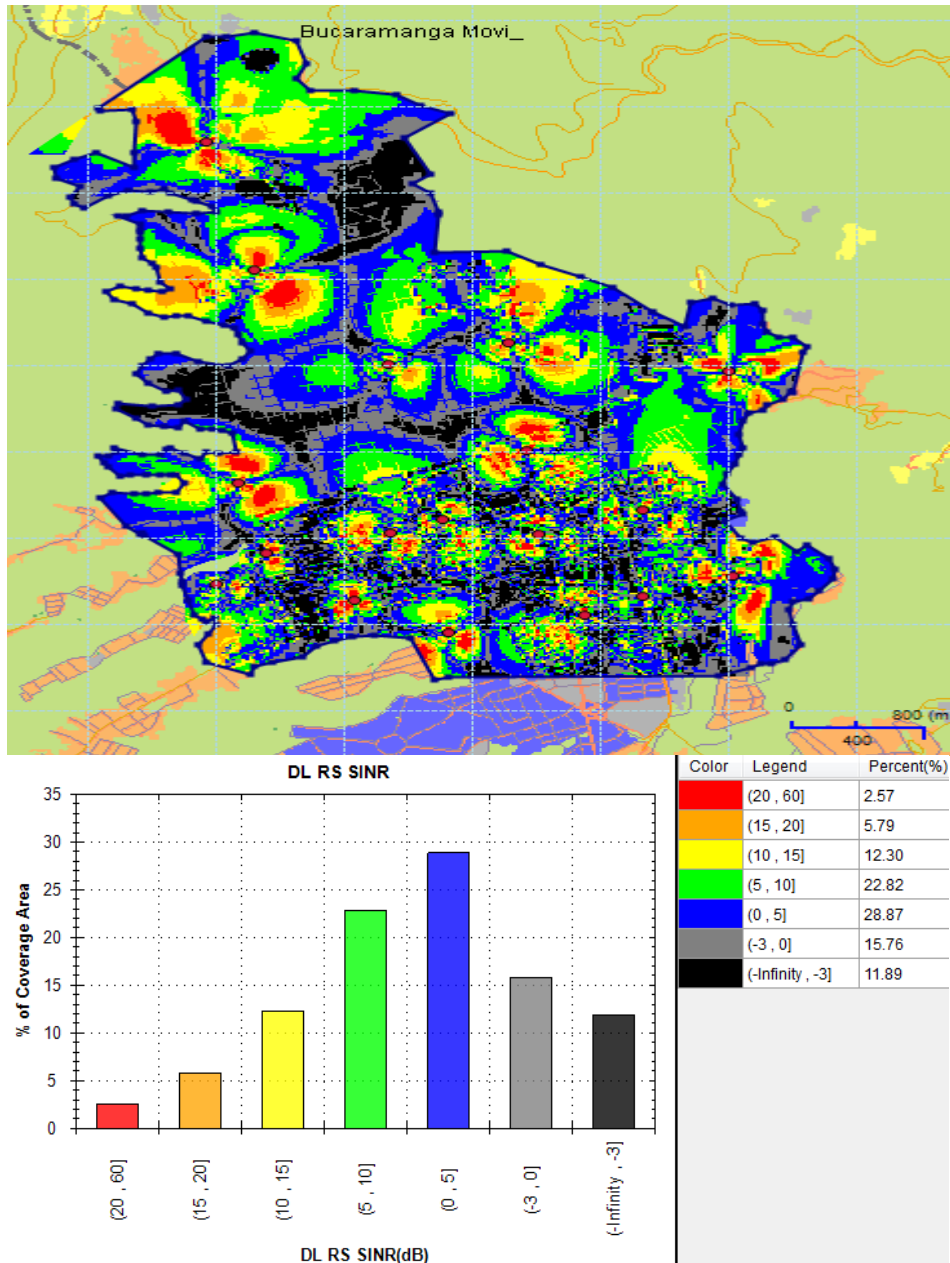


Fuente [35]

En la figura 31 se identifican en el mapa de la zona de Bucaramanga, mediante colores, los resultados del DL RSRP para las diferentes áreas de cobertura. Los círculos rojos son las ubicaciones de los 18 sitios definidos en la fase 0 para Bucaramanga. En esta gráfica se observa que los valores de DL RSRP mayores de -98 dBm (color rojo), se encuentran en el

35,03% del total del área de cobertura de la red LTE. Estos resultados predictivos obtenidos sirven como punto de referencia para determinar la calidad de cobertura que van a ofrecer los sitios de la fase 0 y como base para la planeación de la siguiente fase, con el objetivo de mejorar calidad y cobertura de la red LTE.

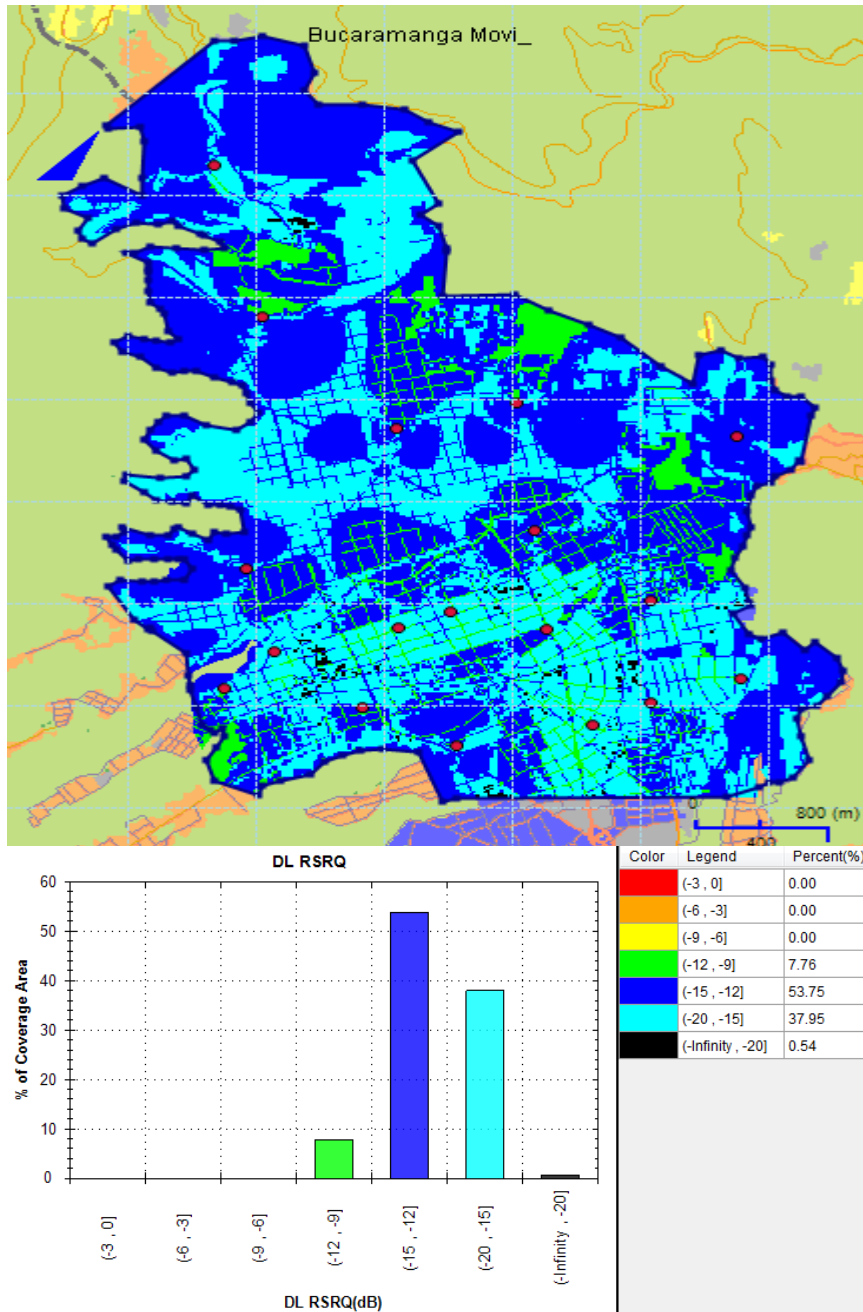
Figura 32. Estudio de DL SINR



Fuente [35]

En la figura 32 se observan los valores de DL SINR entre 0 y 5dB (color azul) para el 28,87% del área total de cobertura de la red LTE en Bucaramanga.

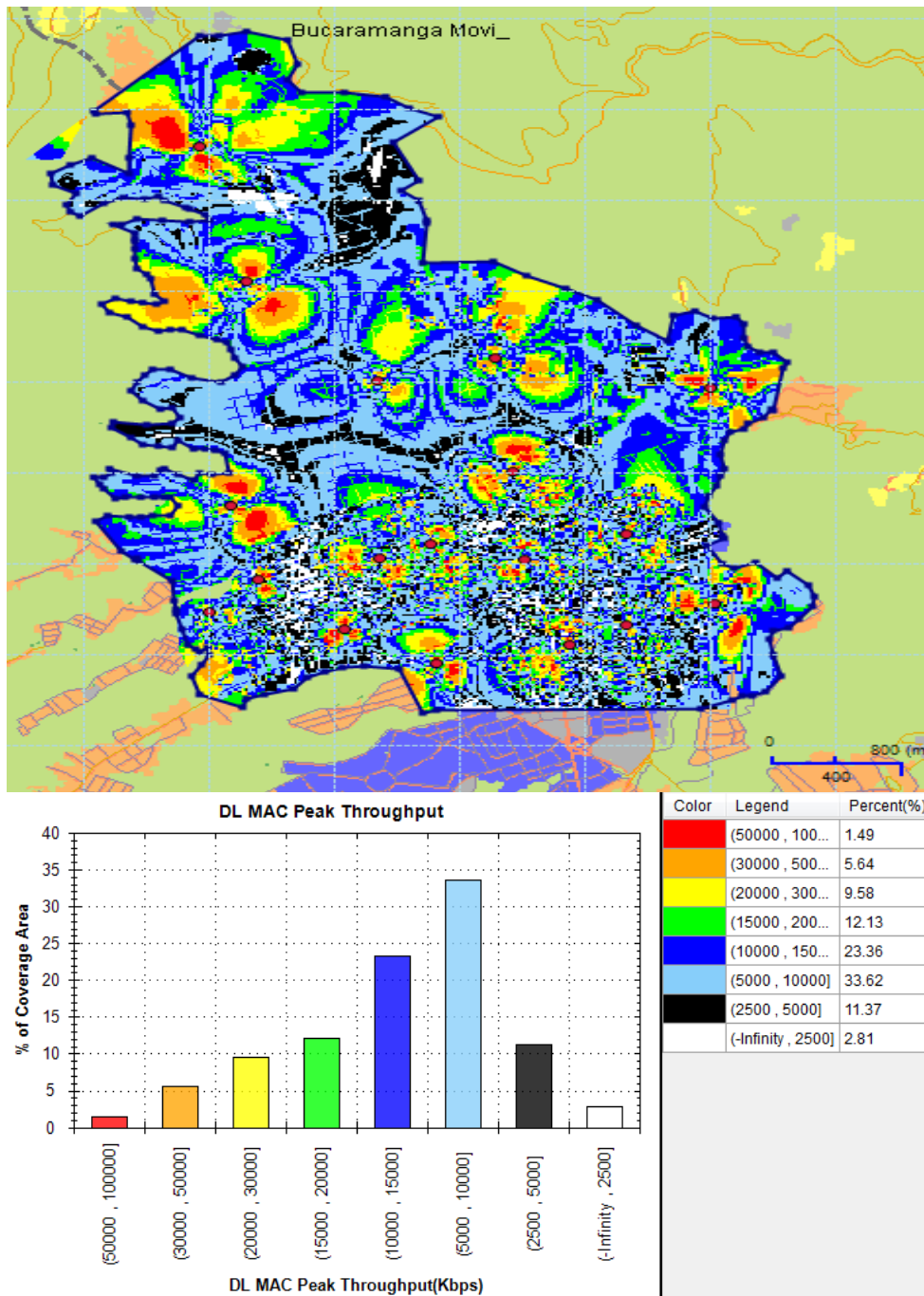
Figura 33. Estudio de DL RSRQ



Fuente [35]

En la figura 33 se observa que el 53,75% del área de cobertura presenta valores de RSRP entre -12dB y -15 dB. El 37,95% presenta valores entre -15dB y -20dB.

Figura 34. Estudio de DL MAC Peak Throughput



Fuente [35]

En la figura 34 se visualizan los diferentes valores *throughput* que se obtienen dentro del área analizada. Se observa que existen valores entre 5Mbps y 10 Mbps para el 33,62% del área analizada. Se observa que las mayores velocidades se obtienen en las áreas que tienen mejor cobertura de los eNB.

4.3. ETAPA DE INSTALACIÓN Y PUESTA EN SERVICIO DE LOS ENB

Para el lanzamiento comercial de la red 4G en Santander se definió un grupo de 18 sitios de acuerdo a los estudios mencionados anteriormente, este grupo se denominó fase 0 del despliegue de red. La integración de estos eNB la precedió la puesta en servicio de los elementos que constituyen el EPC y SeGW. En la tabla 11. Se muestra el cronograma de instalación del EPC y una descripción de los alcances del proveedor para el proceso de puesta en servicio del EPC.

4.3.1. Aspectos generales de la puesta en servicio del core

Tabla 11. Cronograma instalación EPC+SeGW año 2013

ACTIVIDAD	JULIO		AGOSTO					SEPTIEMBRE					OCTUBRE				NOVIEMBRE				DIC
	W30	W31	W32	W33	W34	W35	W36	W37	W38	W39	W40	W41	W42	W43	W44	W45	W46	W47	W48	W49	
	Jul 22 Jul 28	Jul 29 Aug 4	Aug 5 Aug 11	Aug 12 Aug 18	Aug 19 Aug 25	Aug 26 Sep 1	Sep 2 Sep 8	Sep 9 Sep 15	Sep 16 Sep 22	Sep 23 Sep 29	Sep 30 Oct 6	Oct 7 Oct 13	Oct 14 Oct 20	Oct 21 Oct 27	Oct 28 Nov 3	Nov 4 Nov 10	Nov 11 Nov 17	Nov 18 Nov 24	Nov 25 Dic 1	Dic 2 Dic 8	
Festivos			1		1								1			1	1			1	
Progreso Semanal																					
EPC, CORE, Security Gateway	Site Survey																				
	Confirmaciones entre proveedor y comprador																				
	Diseño de equipos																				
	Elaboración de equipos																				
	Transporte a Colombia																				
	Llegada a bodega																				
	Custom Clearance																				
	Trabajos de obra civil y adecuaciones electricas																				
	Instalación de equipos																				
	Configuración básica																				
	Integración a la plataforma de Movistar																				
	Pruebas de aceptación																				
	Pruebas de red previas al lanzamiento																				
Lanzamiento																					

En el cronograma de la tabla 11. se observa una fecha de confirmación entre el proveedor y el comprador para el inicio del proyecto dentro de la semana de Julio29-Agosto 4, en las semanas de Septiembre16 a Septiembre29 se comienza la instalación y configuración de equipos y en las semanas de Noviembre 11 a Diciembre 01 se realizan las pruebas finales de red del EPC previas al lanzamiento.

Tabla 12. Alcance de servicios de EPC+SeGW

SERVICIOS	DESCRIPCION
SGSN MME	Ingeniería, instalación, comisionamiento, pruebas y project management
GGSN S/S-GW/P-GW	Ingeniería, instalación, comisionamiento, pruebas y project management
Otros Servicios	Diseño de red y Babysitting(Ingeniero de soporte)

Migración	Planeación y migración de BSC, RNC, APNs
Pool	Pruebas e integración de esquema MME Pool
Activación de features	Activación y pruebas de features adicionales.
Interfaces	Configuración de interfaces Gx, Gy, GD, integración CSFB
CG	Ingeniería, instalación, comisionamiento, pruebas
OSS	Instalación y configuración del OSS
Servicios de banco de pruebas	Instalación y comisionamiento de Testbed(Banco de pruebas)
DNS	Ingeniería, instalación, comisionamiento, pruebas y project management
Servicios LIG	Por definir de acuerdo con la regulación colombiana.
Security GW	Ingeniería, instalación, comisionamiento, pruebas y project management
Capacitación de EPC+SeGW	Capacitación por definir de acuerdo con los requerimientos de Movistar

Fuente [29]

En la tabla 12 se encuentran los compromisos que debe cumplir el proveedor para la instalación y puesta en servicio del EPC.

4.3.2. Instalación y puesta en servicio de los eNB

Para Bucaramanga en la fase 0 se instalaron 18 equipos en 18 sitios previamente definidos. La ubicación de los mismos se realizó en los sitios donde ya se tienen equipos que prestan servicios en las tecnologías 2G y 3G.

Tabla 13. Sitios para fase 0 en Bucaramanga

Código LTE	Código sitio	Nombre del sitio	Department
MLU0030	U030	CABECERA	SANTANDER
MLU0038	U038	PROVENZA	SANTANDER
MLU0039	U039	REAL DE MINAS	SANTANDER
MLU0040	U040	BUCARAMANGA CENTRO	SANTANDER
MLU0043	U043	CAÑAVERAL	SANTANDER
MLU0048	U048	CHAMPAGNE	SANTANDER
MLU0050	U050	PUERTA DEL SOL	SANTANDER
MLU0051	U051	VIADUCTO	SANTANDER
MLU0052	U052	ZAPAMANGA	SANTANDER
MLU0053	U053	PALOMITAS MOVIL 2	SANTANDER
MLU0057	U057	FLORIDABLANCA	SANTANDER
MLU0105	U105	GIRALUZ	SANTANDER

MLU0126	U126	PRADO BUCARAMANGA	SANTANDER
MLU0176	U176	MUTUALIDAD	SANTANDER
MLU0188	U188	INEM BUCARAMANGA	SANTANDER
MLU0200	U200	ZONA REFRESCANTE	SANTANDER
MLU0205	U205	AEROPUERTO BUCARAMANGA	SANTANDER
MLU0368	U368	SWITCH LA JOYA	SANTANDER

En la tabla 13. Se muestran los sitios donde se instalaran equipos para la fase 0, el nombre del sitio es como se identifican en la red de Movistar. Cada sitio tiene asociado un código de identificación actual. También se observa el código con el que se va a identificar el equipo en la red LTE.

Tabla 14. Cronograma instalación equipos fase 0 Bucaramanga

ACTIVIDAD	JULIO		AGOSTO					SEPTIEMBRE					OCTUBRE				NOVIEMBRE		
	W30	W31	W32	W33	W34	W35	W36	W37	W38	W39	W40	W41	W42	W43	W44	W45	W46		
	Jul 22 Jul 28	Jul 29 Aug 4	Aug 5 Aug 11	Aug 12 Aug 18	Aug 19 Aug 25	Aug 26 sep 1	Sep 2 sep 8	Sep 9 sep 15	Sep 16 sep 22	Sep 23 sep 29	Sep 30 Oct 6	Oct 7 Oct 13	Oct 14 Oct 20	Oct 21 Oct 27	Oct 28 Nov 3	Nov 4 Nov 10	Nov 11 Nov 17		
Festivos			1		1								1			1	1		
Progreso Semanal																			
NodeB	Site Survey										8	10							
	Confirmación entre proveedor y comprador					18													
	Informe de los site survey por parte de Huawei										8	10							
	Elaboración de equipos						18	18	18	18									
	Transporte a Colombia												18	18					
	Llegada de equipos a bodega														18				
	Aceptación de la carga por parte de Movistar														18				
	Alistar equipos para instalación											8	10						
	Transporte de los equipos a sitio															9	9		
	Instalación															9	9		
	Etapas de pruebas transmisión															9	9		
	Protocolo de aceptación															9	9		
	Integración al EPC															9	9		

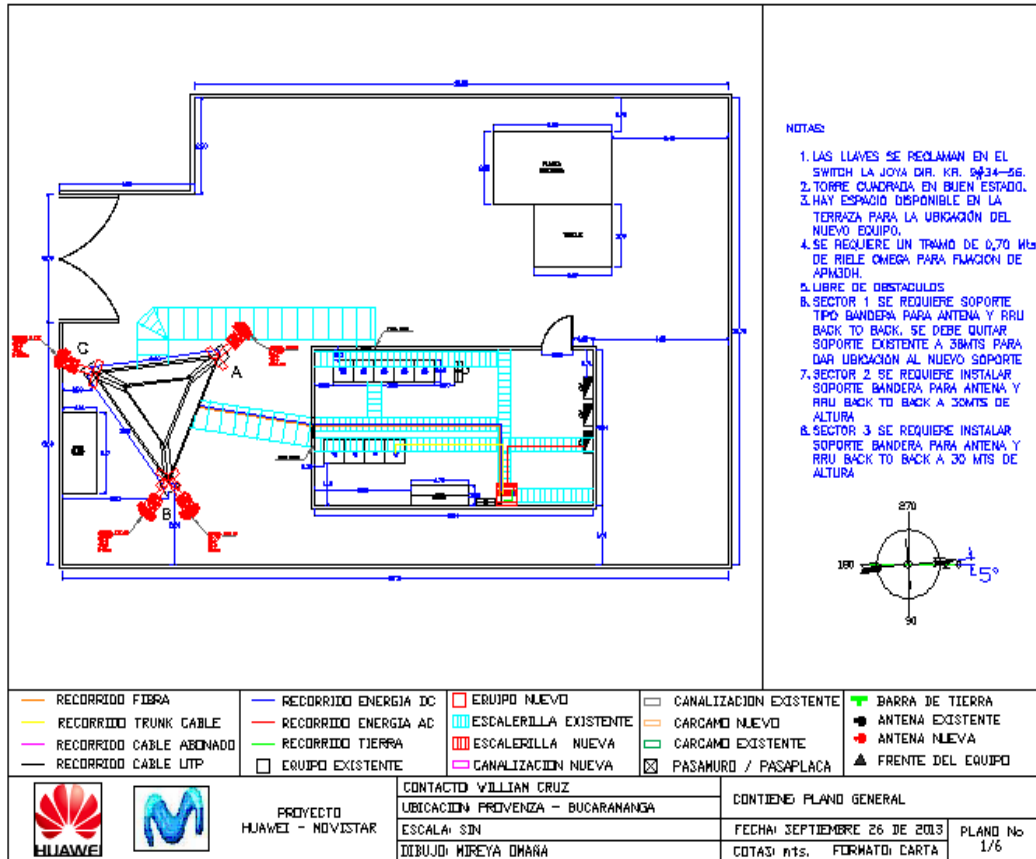
En el cronograma de la tabla 14. se observa que en la semana de Noviembre 04 a Noviembre 10 se instalan y se integran al EPC los primeros 9 equipos de la fase 0 y en la semana de Noviembre 11 a Noviembre 17 se instala el segundo grupo de 9 equipos de esta fase, para así completar la puesta en servicio del grupo de 18 equipos definidos para la fase 0 en Bucaramanga.

4.3.2.1. Estudio de sitio para instalación

El proveedor Huawei realiza un estudio de sitio (*site survey*) para la ubicación de los equipos, puntos de energía, puntos de tierra, antenas, y así poder determinar la cantidad de material

requerido para la instalación y si existe la necesidad de realizar algún trabajo de obra civil para adecuar espacios

Figura 35. Plano I celda Provenza



En las figuras 35, 36 y 37 se muestran un ejemplo de los planos que elabora el proveedor en el levantamiento de información para el estudio de sitio, en el cual se detallan ubicaciones de equipos y recorridos de cables y escalerillas. En este caso se toma como ejemplo la celda llamada Provenza.

Figura 36. Plano 2 celda Provenza

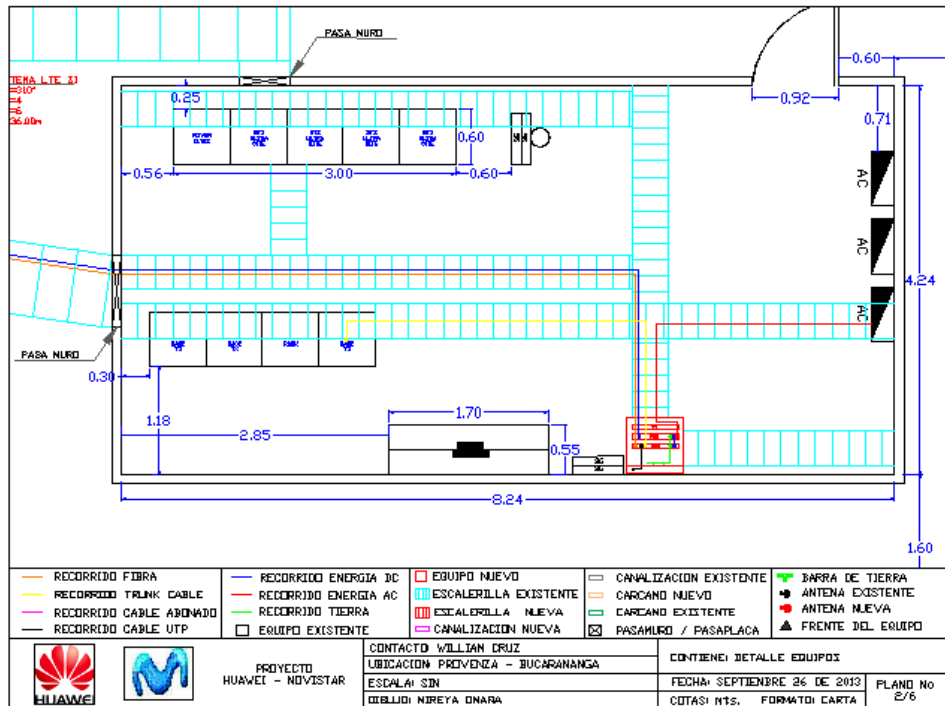
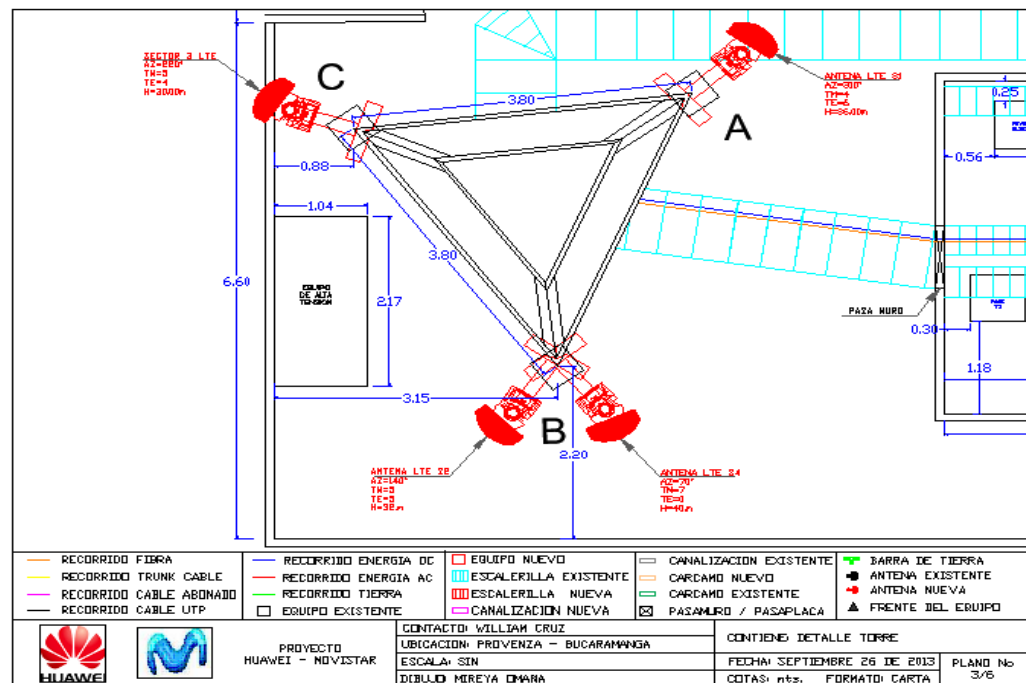


Figura 37. Plano 3 celda Provenza



4.3.2.2. Comisionamiento local e integración del eNB.

Una vez el equipo se encuentra instalado y energizado se procede con el comisionamiento para integrarlo al *core* y dejarlo con gestión remota sobre la plataforma M2000 para las configuraciones y pruebas posteriores.

El procedimiento general para el comisionamiento local e integración es el siguiente:

- Alistar las herramientas necesarias para la conexión a la BBU por LMT(proceso indicado en el capítulo 5) y los archivos de comisionamiento.
- Descargar el archivo de actualización del eNB y el archivo de configuración del sitio(*script*)
- Verificar el estado general del eNB y las alarmas presentes
- Validar con el centro de gestión que el equipo ya se vea remotamente

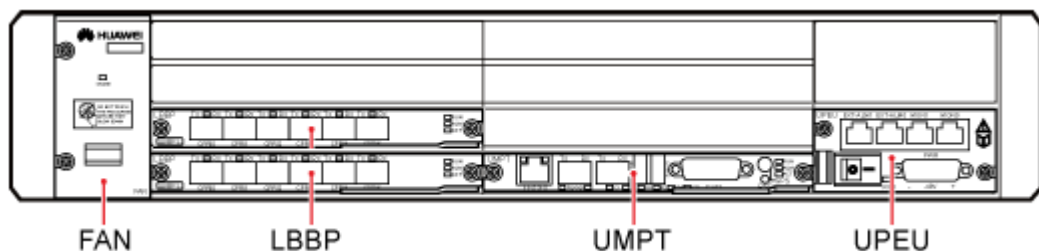
El *script* de configuración contiene la información necesaria para poner el equipo en funcionamiento y contiene los direccionamientos para integrar el equipo a gestión. Algunos de los parámetros importantes que contiene el script son:

- Configuración de datos generales del equipo como identificadores del nodo ante la red LTE.
- Configuración de datos específicos del equipo a nivel de hardware como tarjetas de la BBU, unidades de radio remota (RRU), alarmas, fuente de sincronismo entre otros.
- Configuración de parámetros para la etapa de transmisión como son las interfaces S1 y X2 y los direccionamientos de acuerdo a la solución implementada.
- Configuración de datos específicos para la etapa de acceso de radio como son sectores, tipo de red(RAN SHARIG o NO RAN SHARING), frecuencias, potencias, configuración de las antenas entre otros.

A continuación se muestran los pasos para comisionar e integrar un eNB en sitio.

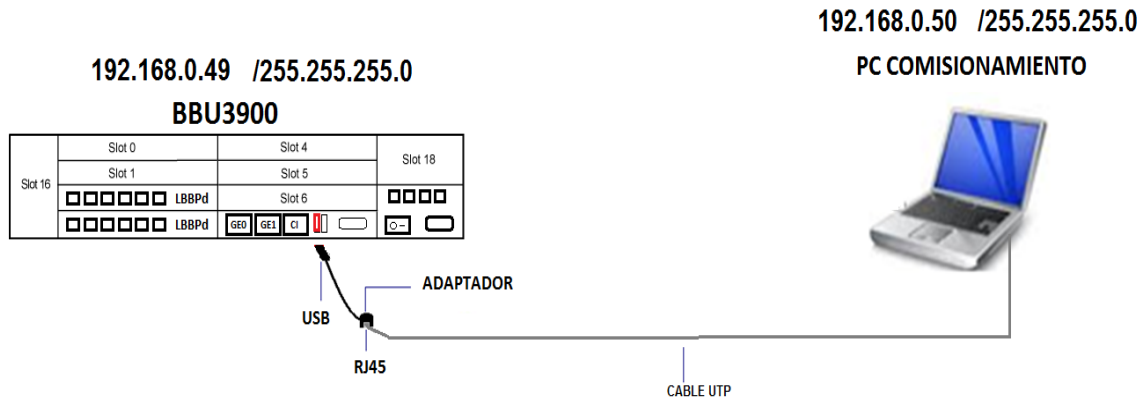
1. Validar que el equipo se encuentre energizado. Identificar la tarjeta para conectarse localmente al equipo y realizar la conexión con el PC (proceso indicado en el capítulo

Figura 38. Validación de tarjetas



Fuente [36]

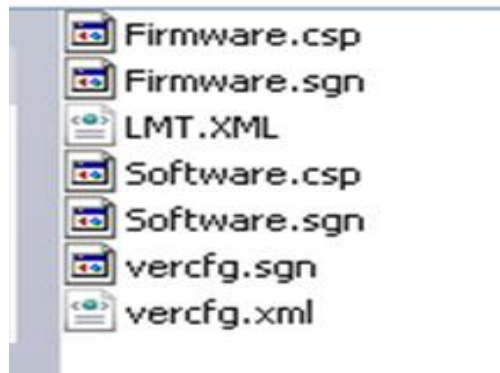
Figura 39. Conexión local



Fuente [36]

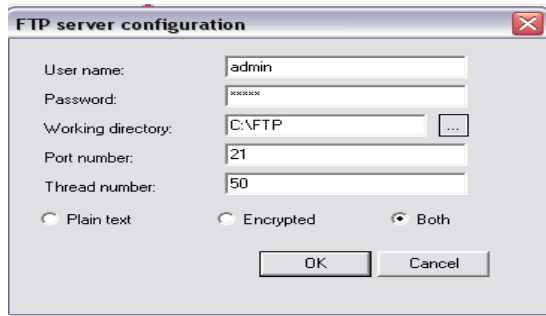
2. Tener en el PC los archivos de actualización de software y comisionamiento.

Figura 40. Archivos de actualización



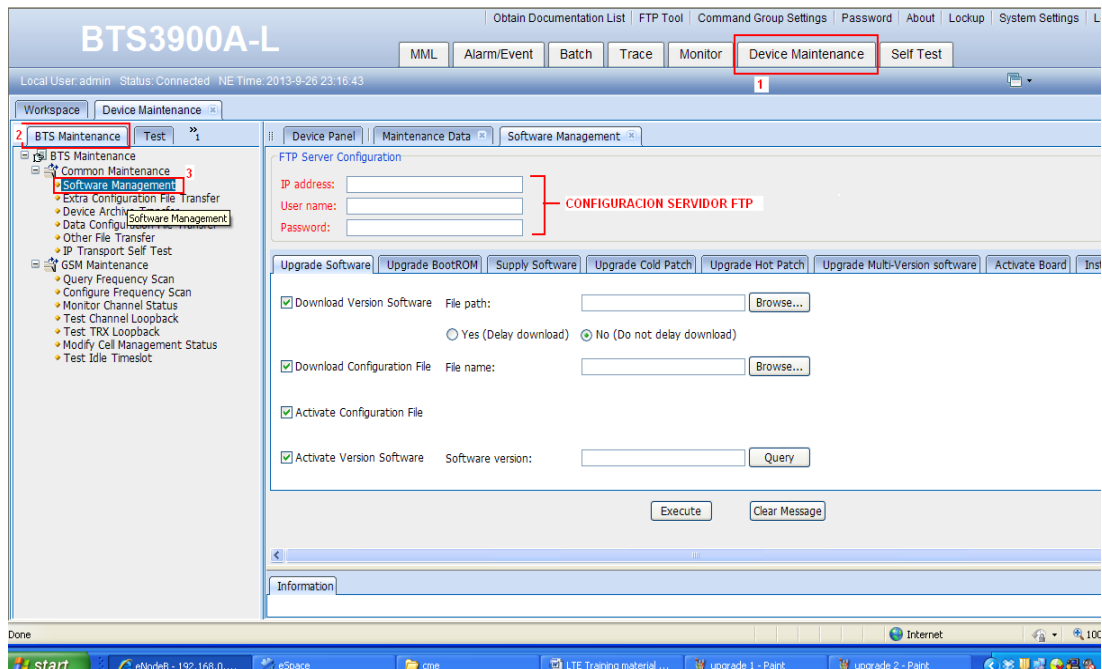
3. Crear la carpeta FTP en la ruta C:\ y guardar en este; el BootRom, software de los eNB, script del sitio (LMT.XML) y licencia del eNB.
4. Ingresar a la BBU y descargar el SFTP server al PC. Para esto se debe dar click en la pestaña FTP TOOL.
5. Una vez instalado el SFTP server se ejecuta y se configura. La carpeta FTP es en la que están los archivos de comisionamiento y actualización de la BBU. El archivo de comisionamiento debe nombrarse como LMT.

Figura 41. Configuración sftp server



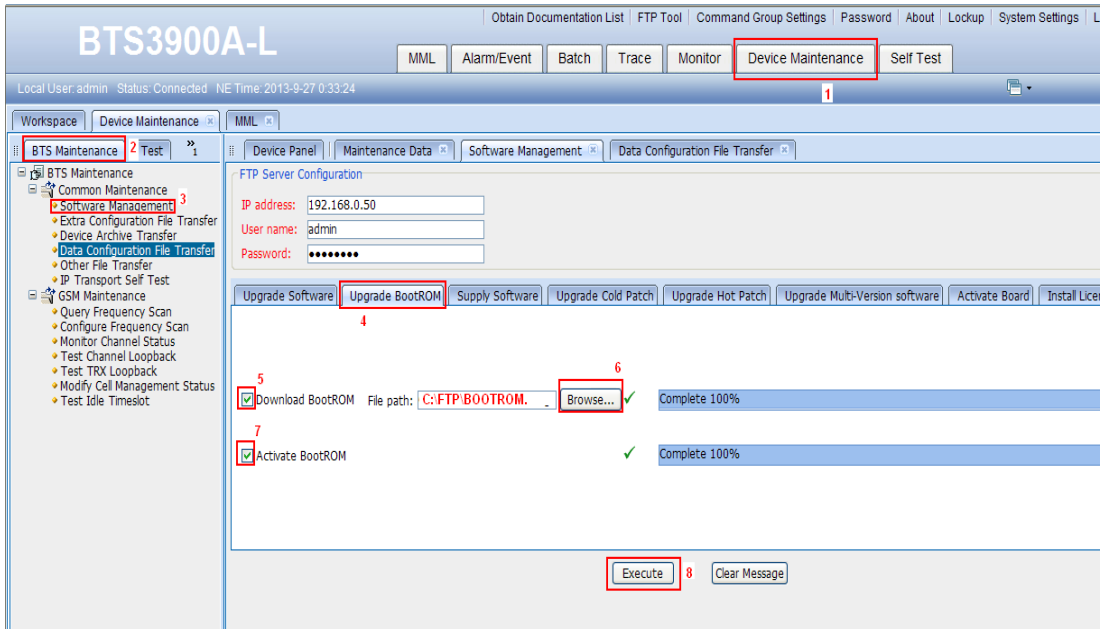
6. Dar click en **DEVICE MANAGEMENT** en el LMT. Luego entrar a **SOFTWARE MANAGEMENT** y dar los datos de ip address, user name y password.

Figura 42. Menú software management



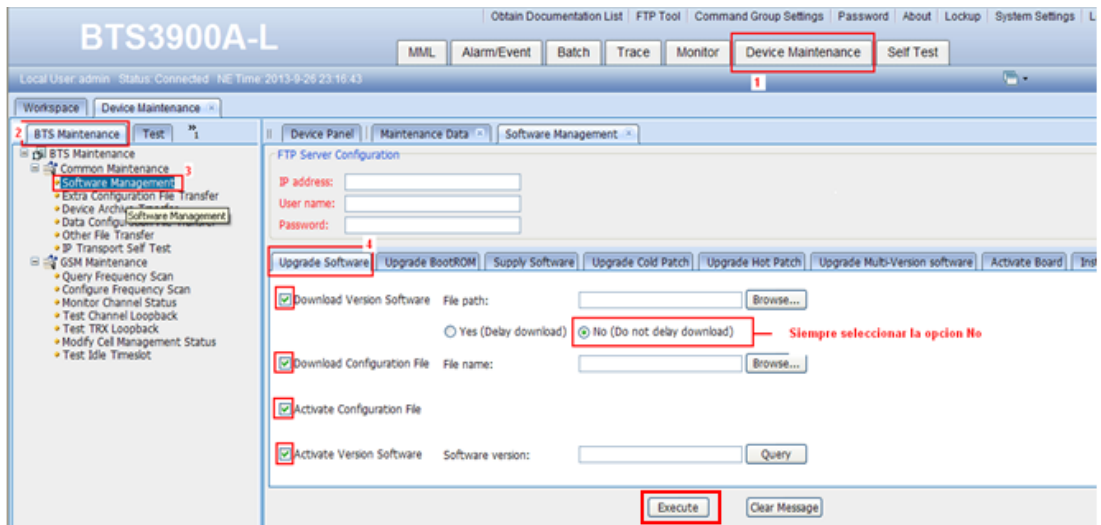
7. En el paso anterior, si se requiere actualizar el software de la BBU, se selecciona la pestaña **UPGRADE BOOTROM** y se configura la ruta del archivo de actualización.

Figura 43. Actualizando software BBU



8. Después entrar al menú UPGRADE SOFTWARE y seleccionar el archivo en la casilla ACTIVATE VERSION SOFTWARE. Deben estar seleccionadas las opciones como se muestra en la siguiente figura. Dar ejecutar y el proceso toma alrededor de 30 minutos.

Figura 44. Seleccionado archivo de actualización



9. Instalar la licencia temporal digitando el comando INS LICENSE como se muestra en la siguiente figura y con el nombre de archivo de licencia correspondiente.

Figura 45. Cargando licencia

INS LICENSE: DIR="C:\FTP", FN="Demo_LTE_V100R003C00_ALL_20111222.dat", FLG=YES, MODE=IPV4, IP="192.168.0.50", USR="admin", PWD="*****";

History Command: [dropdown] [←] [→]

Command Input(F5): INS LICENSE [Assist] [Save]

Directory Name: C:\FTP File Name: 003C00_ALL_20111222.dat

Force Flag: YES(Yes) [dropdown] IP Mode: IPV4(IPV4) [dropdown]

FTPServer IP: 192.168.0.50 User Name: admin

User Password: [masked]

10. Para comisionar el sitio, se entra al menú DEVICE MAINTENACE, luego BTS MAINTENANCE y se selecciona DATA CONFIGURATION FILE TRANSFER. Seleccionar opciones como se observa en la siguiente figura. El proceso dura alrededor de 30 minutos y la BBU se reinicia automáticamente.

Figura 46. Comisionando el sitio

BTS3900A-L

Obtain Documentation List | **FTP Tool** | Command Group Settings | Password | About | Lockup | System Settings | Logo

MML Alarm/Event Batch Trace Monitor **Device Maintenance** Self Test

Local User: admin Status: Connected NE Time: 2013-9-27 0:23:53

Workspace: Device Maintenance MML

BTS Maintenance [2] Test [1]

Device Panel Maintenance Data Software Management **Data Configuration File Transfer**

Parameter Settings

FTP Server Configuration:

IP address: 192.168.0.50 User name: admin

File Path: C:\FTP [Browse...] Password: hws@com

Transfer Type:

Upload (Site to FTP server) **Download (FTP server to site)** [4]

Make data configuration file take effect [5] Reset immediately Reset later

[Execute] [6]

Transfer Status

Status:

Progress:

11. Después de cargar el archivo de comisionamiento se procede a cargar la licencia como se explicó en el numeral 9.
12. Para terminar el proceso de actualización y/o comisionamiento se debe verificar que los archivos se cargaron de forma correcta.

Para el caso del archivo de actualización, este se revisa mediante el comando LST SOFTWARE, observando que en el campo MAIN AREA se muestra el archivo que se cargó.

Figura 47. Validando la actualización de la BBU

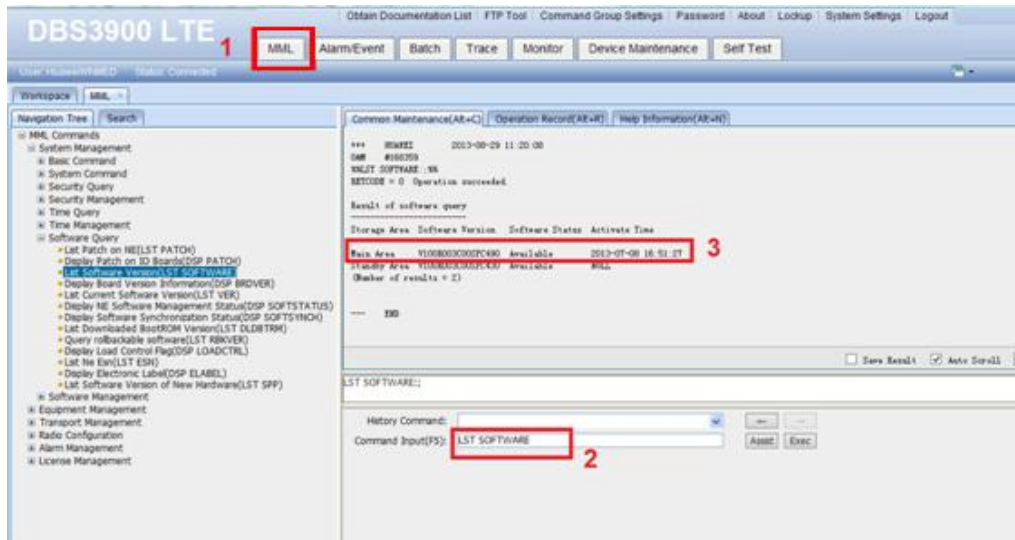
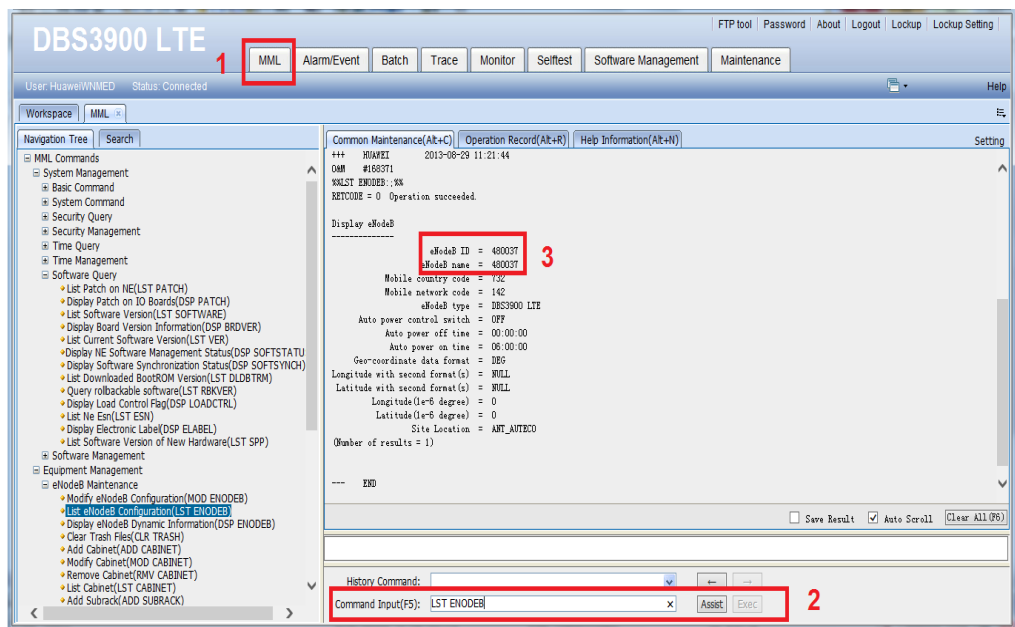


Figura 48. Validando el archivo de comisionamiento.



4.3.2.3. Protocolo de aceptación y pruebas para el eNB en sitio

El protocolo de aceptación de los equipos en sitio, está conformado por la revisión de Sistema de energía, sistema radiante-RRU, BBU-Rack, comandos de revisión y pruebas de velocidad.

Para el sistema de energía se revisan los siguientes puntos:

- Adecuada organización del cableado y etiquetado de los cables de alimentación tanto DC como AC.
- Validar la capacidad del breaker que alimenta el rectificador.
- Medir las corrientes y voltajes de las fases.
- Realizar pruebas al banco batería mediante la suspensión del voltaje de AC.
- Verificar correcto ponchado y conexión de tierras de las RRU y BBU.
- Verificar en gestión mediante LMT que se estén reportando las alarmas de puerta abierta del gabinete, alta temperatura, falla AC y falla rectificador.

Para el sistema radiante y RRUs se revisan los siguientes puntos:

- Verificar que la antena se encuentre debidamente ajustada y permite labores de mantenimiento.
- Verificar correcto encintado de conectores en la antena.
- Verificar adecuada organización de los jumper hacia la antena
- Verificar que la RRU se encuentre debidamente fijada a la estructura y que permite labores de mantenimiento de forma fácil.
- Verificar que los cables de alimentación y fibra que llegan a la RRU estén organizados.
- Verificar correcta conexión de las tierras en la RRU.

Para la BBU y Rack se revisan los siguientes puntos:

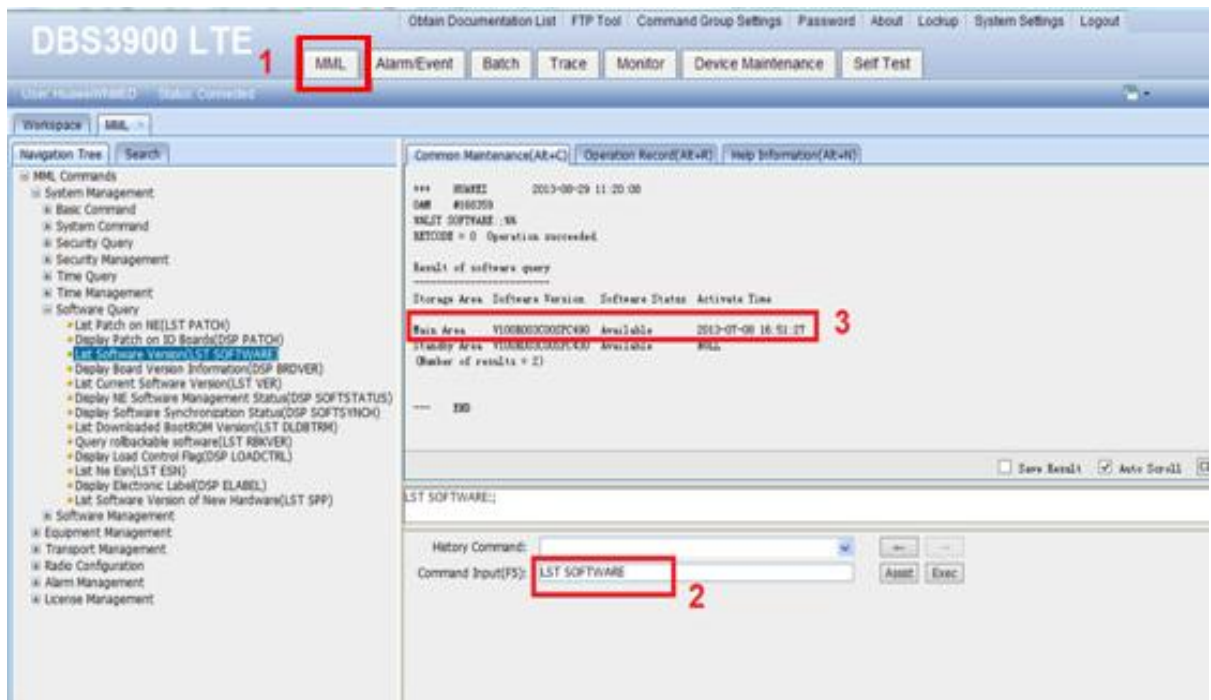
- Verificar correcta fijación de BBU y sus tierras.
- Verificar que las tarjetas se encuentren en sus posiciones correctas y debidamente insertadas.
- Verificar que las fibras se encuentren organizadas e identificadas.
- Verificar que el rack se encuentre debidamente fijado y sin posibles filtraciones.

En el Anexo A se observa un reporte fotográfico de las validaciones que se deben realizar en sitio.

Dentro del protocolo de aceptación se revisa a nivel de comandos mediante LMT, algunos parámetros de operación importantes, los cuales se describen a continuación.

Una vez conectado a la BBU por medio del LMT, se selecciona la opción de envío de comando MML y se procede a digitar los respectivos comandos de verificación.

Figura 49. Envío de comandos MML



- **DSP VSWR:** Mediante este comando se visualizan los valores de VSWR para cada uno de los jumper que conecta la RRU con la antena. Este valor se recomienda que debe estar por debajo de 1,4.
- **LST ENODEB:** Mediante este comando se valida el ID del equipo, el cual debe corresponder al asignado a este sitio.
- **LST IPRT:** Mediante este comando se revisan si están bien configuradas las rutas en el eNB.
- **LST VLANMAP:** Mediante este comando se verifica la correcta configuración de las VLAN en el eNB.
- **DSP S1INTERFACE:** Mediante este comando se visualiza el estado de la interfaz S1.

- **LST ETHPORT y DSP ETHPORT:** Mediante este comando se visualiza el estado y configuración de los puertos ethernet.
- **DSP CLKSTAT:** Mediante este comando se revisa el estado del sincronismo para eNodoB.
- **DSP CELL:** Mediante este comando se revisa el estado de cada sector, si esta operativo y valores de potencia que maneja.
- **LST SOFTWARE:** Mediante este comando se visualiza la versión del software para la BBU, la cual debe corresponde con la asignada a la fase del proyecto.

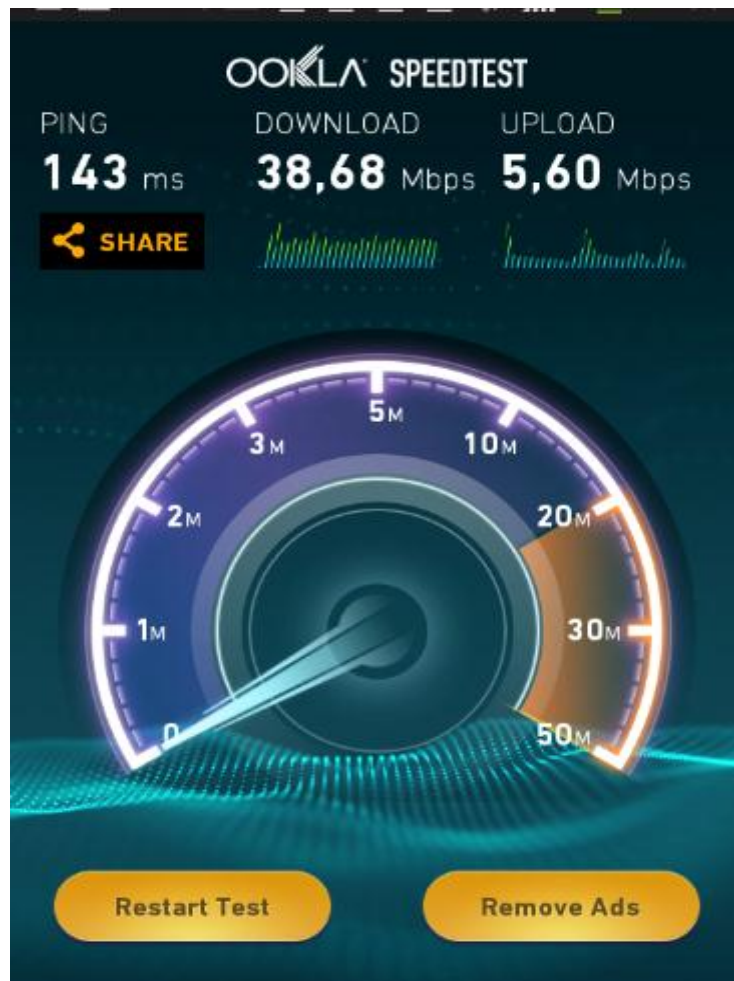
Para completar el protocolo de revisión se realizan pruebas de velocidad en uplink y downlink mediante equipo móvil activo en la red LTE. Estas pruebas se realizan con dos escenarios, uno en que la ubicación del móvil es cercana a la antena y sin obstrucciones y la segunda en que la ubicación del móvil es más lejana y dentro de edificación.

Figura 50. Verificación I de conexión a la celda 4G

Time	LAC	Node	CELLID	Level	Qual	Type	Serv,s
21:31:03	6411	560038	3	-58	-7	4G	

En la figura 50. Se observa una captura de pantalla de la aplicación G-NetTrack, donde se visualiza que el móvil se encuentra enganchado a la celda 4G con identificación 560038 sector 3 y con RSRP=-58 y RSSI=-63.

Figura 51. Prueba I de velocidades



En la figura 51 se observa una captura de pantalla de la aplicación *speedtest* ejecutada desde el teléfono móvil. Se visualiza que para las condiciones de cobertura y recepción de mostradas en la figura 52 (G-NetTrack) se tienen velocidades en DOWNLINK de 38.68Mbps y en DOWNLINK de 5.60Mbps. Estas pruebas fueron realizadas en cercanía a la antena y sin obstáculos.

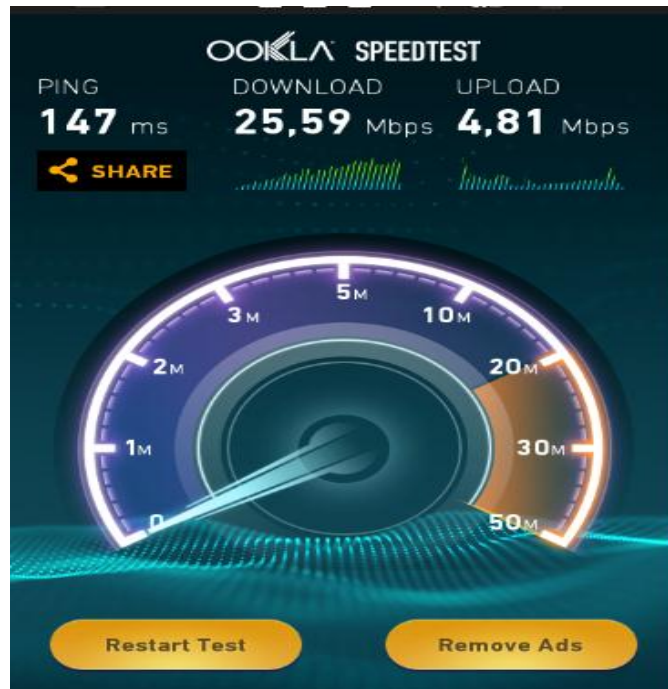
En la figura 52 se muestra una segunda prueba con otras condiciones de cobertura.

Figura 52. Verificación 2 de conexión a la celda 4G



En la figura 52 se observa una captura de pantalla de la aplicación G-NetTrack, donde se visualiza que el móvil se encuentra enganchado a la celda 4G con identificación 560038 sector 2, con RSRP=-98 y RSSI=-74.

Figura 53. Prueba 2 de velocidades



En la figura 53 se observa una captura de pantalla de la aplicación speedtest ejecutada desde el teléfono móvil. Se visualiza que para las condiciones de cobertura y recepción mostradas en la figura 6.27(G-NetTrack) se tienen velocidades en DOWNLINK de 25.59Mbps y en DOWNLINK de 4.81Mbps. Estas pruebas fueron realizadas en sitio cerrado y lejos de la antena.

4.4. DEFINICIÓN DE LA SIGUIENTE FASE DEL DESPLIEGUE

Una vez finalizada la fase 0 de proyecto LTE en todas sus etapas, se procede a definir el plan de despliegue para la fase 1 correspondiente al año 2014 y así poder continuar cumpliendo con los requisitos de despliegue establecidos por el Ministerio. A continuación se observa de forma general los sitios que se van a instalar a nivel nacional para la fase 1(año 2014). Se observa en que modalidad se van a instalar, ya sea RAN-SHARING, solo sitio Movistar o solo sitio Tigo.

Tabla 15. Despliegue fase I Colombia

Departamento	Enero	Febrero	Marzo	Abril		Mayo			Total
	RAN SHARING	RAN SHARING	RAN SHARING	RAN SHARING	Solo Movistar	RAN SHARING	Solo Movistar	Solo Tigo	
Arauca							1		1
San Andres					1				1
Boyacá			1		2	1			4
Caquetá					1				1
Casanare					1				1
Cundinamarca	12	21	16	14		8			71
Huila						1	6		7
Meta					2	3			5
Norte de Santander			9			2			11
Santander	6	13	2	17		2			40
Tolima			10	4	2	2		5	23
TOTAL	18	34	38	35	10	24	1	5	165

A continuación se relacionan de forma detallada las celdas donde van a quedar ubicados los equipos que hacen parte del despliegue LTE en Santander para la fase 1(año 2014). Como se presentó en el despliegue de la fase 0, esta distribución se realizó en los sitios donde vienen operando las redes 2G y 3G. En la figura anterior se observa que para el caso de Santander, la fase 1 en su totalidad viene en modalidad RAN SHARING.

Tabla 16. Sitios Fase I en Santander

CODIGO LTE	NOMBRE SITIO	DPTO	FASE
MLU_TBUC_560031	UIS	SANTANDER	1
MLU_TBUC_560164	ALVAREZ	SANTANDER	1
MLU_TBUC_560193	BULEVAR BOLIVAR	SANTANDER	1
MLU_TBUC_560204	DIAMANTE II	SANTANDER	1
MLU_TBUC_560222	GUARIN	SANTANDER	1
MLU_TBUC_560256	SAN ANDRESITO ISLA	SANTANDER	1
MLU_TBUC_560027	GARCIA ROVIRA	SANTANDER	1
MLU_TBUC_560042	AMERICAS	SANTANDER	1
MLU_TBUC_560045	QUEBRADA SECA	SANTANDER	1
MLU_TBUC_560091	ACROPOLIS	SANTANDER	1
MLU_TBUC_560128	LAGOS MOVIL	SANTANDER	1
MLU_TBUC_560172	SAN PIO BUCARAMANGA	SANTANDER	1
MLU_TBUC_560178	EL BOSQUE BUCARAMANGA	SANTANDER	1
MLU_TBUC_560187	BUCARICA	SANTANDER	1
MLU_TBUC_560239	NUEVO SOTOMAYOR	SANTANDER	1
MLU_TBUC_560267	CABECERA DEL LLANO	SANTANDER	1
MLU_TBUC_560290	LOS ANDES FLORIDABLANCA	SANTANDER	1
MLU_TBUC_560321	CAMINO REAL BUCARAMANGA	SANTANDER	1
MLU_TBUC_560035	EPICENTRO	SANTANDER	1
MLU_TBUC_560047	CAMPO HERMOSO	SANTANDER	1
MLU_TBUC_560049	DANN BUCARAMANGA	SANTANDER	1
MLU_TBUC_560092	ALTOS DEL JARDIN	SANTANDER	1
MLU_TBUC_560094	UDES	SANTANDER	1
MLU_TBUC_560125	LA TRIADA	SANTANDER	1
MLU_TBUC_560253	FUNDACION CARDIOVASCULAR	SANTANDER	1
MLU_TSAT_560386	PIEDRECUESTA PARQUE	SANTANDER	1
MLU_TBUC_560390	PORTON DEL TEJAR	SANTANDER	1
MLU_TBUC_560421	NATURA ZONA FRANCA	SANTANDER	1
MLU_TSAT_560021	RUITOQUE	SANTANDER	1
MLU_TSAT_560072	PIEDRECUESTA	SANTANDER	1
MLU_TBUC_560151	MOLINOS BAJOS	SANTANDER	1
MLU_TSAT_560168	LA MACARENA BUCARAMANGA	SANTANDER	1
MLU_TBUC_560179	UNIVERSIDAD PONTIFICIA BUCARAMANGA	SANTANDER	1
MLU_TBUC_560191	SAN ALONSO	SANTANDER	1
MLU_TSAT_560006	BARRANCABERMEJA	SANTANDER	1
MLU_TSAT_560029	LEBRIJA	SANTANDER	1
MLU_TBUC_560055	GIRON CENTRO	SANTANDER	1
MLU_TSAT_560066	REFINERIA	SANTANDER	1
MLU_TBUC_560177	PALENQUE BUCARAMANGA	SANTANDER	1
MLU_TBUC_560229	PARQUE INDUSTRIAL	SANTANDER	1

5. CONCLUSIONES

El aumento de la capacidad de procesamiento de los dispositivos móviles orientados a las aplicaciones (smartphones y/o tablets), a precios cada vez más asequibles, impulsaron la exigencia de la velocidad de transferencia de datos y la cantidad de usuarios que desean estar conectados a la nube las 24 horas del día. Lo anterior se ve reflejado al contrastar una tecnología 3G que tiene diferenciada el dominio de circuitos y el dominio de paquetes, con la tecnología 4G LTE que fue diseñada para procesar dominio de paquetes de datos.

La resolución 2625 de 2013 fue pensada de manera que el beneficio recibido por parte de las compañías que deseen explotar el espectro radioeléctrico fuese mucho más allá de la adquisición de una gran cantidad de capital, que aunque fuese reinvertido en los proyectos sociales para reducir la brecha digital, también se imputara una responsabilidad social por parte del operador de los servicios de telefonía e internet móvil.

Aunque en esta monografía se concentraron los esfuerzos en analizar los requerimientos de la resolución correspondiente a solamente uno de los operadores ganadores de la subasta 4G, se puede asumir que los compromisos imputados para obligar al operador a ser socialmente responsable, se puede extrapolar a los demás participantes de la subasta, lo que implica un impacto global aún mayor que el dimensionado por la resolución 2625 de 2013.

En el proceso de la puesta en servicio de la red LTE, uno de los aspectos que generó más dificultad para las áreas de planificación e ingeniería, estuvo relacionado con la convergencia de esta red nueva con las redes existentes (denominadas *Legacy*), ya que se debía garantizar operatividad conjunta entre una red de paquetes IP (LTE) con redes GSM y UMTS. Esta operatividad contemplaba entre los puntos más críticos, el poder ofrecer servicios de datos sobre la red LTE y servicios de voz sobre 3G y ahí entraba el garantizar que el CSFB (*circuit switch fall back*) operará de forma correcta en todas sus etapas, tanto de abonado conectado a red LTE llamando a abonados 3G o 2G, como de abonado 3G o 2G llamando a abonado conectado a red LTE, donde este último resulta ser el más crítico en aspectos de señalización y tiempos de conmutación.

Relacionado con la conclusión anterior y derivado del proceso de integrar las redes *legacy* y LTE, se encuentran escenarios que en la planificación inicial están presupuestados pero ya en la puesta en servicio generan dificultad, uno de los casos más notorios de esto y con los cuales se tuvo que trabajar más, fue el de poder garantizar una conexión de datos y voz de forma simultánea, es decir, que si un usuario donde su conexión de datos está por la red LTE y este se encuentra en una transacción bancaria y le entra una llamada de voz, la transacción no se caiga, continúe y al mismo tiempo pueda recibir la llamada y todo esto siga funcionando de forma simultánea y sea transparente para el usuario. También se puede observar que es necesario que todas las etapas involucradas en el despliegue de red, tales como la red de acceso de radio, la red de transmisión y el *core* se dejen bien planificadas y ajustadas para poder cumplir con el objetivo principal, que es llegar al usuario con las mejores velocidades de conexión de datos que la tecnología LTE puede ofrecer.

En el tipo de hardware implementado para el despliegue de la red LTE, se destaca dentro de la solución que ofreció Huawei a nivel de etapa de acceso de radio, el módulo RRU, ya que para el tipo de solución que se necesitaba, este módulo permitía trabajar las dos portadoras (MOVISTAR y TIGO) de forma independiente en ancho de banda y espectro, instalando un solo módulo, lo que en otros fabricantes puede implicar la instalación de dos módulos. Este aspecto resulta importante en temas de consumo de energía y tareas de mantenimiento.

Esta monografía resulta relevante en el medio académico, puesto que pasa a un plano donde se explica que es lo que se hace en la práctica, cuando un operador de telecomunicaciones implementa la tecnología LTE, lo cual es valor agregado a toda la literatura con enfoque meramente científico. Un estudiante interesado en el tema, podrá encontrar un gran listado de bibliografía que luego es llevado a una implementación real, e inclusive podrá apreciar el enfoque legislativo y el impacto socio-económico en Colombia. Al final, este documento podrá ser un material complementario para la academia que trate los temas de tecnologías para comunicaciones móviles celulares y al mismo tiempo ser un documento de gran relevancia en la trazabilidad que necesita documentar una empresa como Telefónica Movistar.

REFERENCIAS

- [1] G. Posada Vanegas, P. Perdomo Rangel, and F. Herrera Santana, *MINTIC: Resolucion 2625 de 2013*. Colombia, 2013, p. 19.
- [2] R. Agusti, F. Bernardo, F. Casadevall, R. Ferrús, J. Pérez-Romero, and O. Sallent, "Capitulo 2: Arquitectura del sistema LTE," in *LTE: NUEVAS TENDENCIAS EN COMUNICACIONES MÓVILES*, Primera., E. Fundación Vodafone, Ed. 2010, pp. 55–111.
- [3] 3GPP, "TS 36.300: Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2," 2014.
- [4] 3GPP, "TS 36.401: Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Architecture description," 2013.
- [5] 3GPP, "TS 36.412: S1 signalling transport (Release 11)," 2012.
- [6] 3GPP, "TS 36.414: S1 data transport (Release 12)." p. 8, 2014.
- [7] 3GPP, "TS 36.420: X2 General Aspects and Principles," 2014.
- [8] 3GPP, "TS 23.401: General Packet Radio Service (GPRS) enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) access (Release 12)." p. 303, 2014.
- [9] 3GPP, "TS 23.402: Architecture enhancements for non-3GPP accesses (Release 12)." p. 280, 2014.
- [10] 3GPP, "TS 23.008: Organization of subscriber data (Release 12)." p. 108, 2014.
- [11] 3GPP, "TS 23.203: Policy and charging control architecture (Release 13)." p. 215, 2014.
- [12] 3GPP, "TS 29.212: Policy and Charging Control (PCC); Reference points (Release 12)." p. 185, 2014.
- [13] 3GPP, "TS 29.214: Policy and Charging Control over Rx reference point (Release 12)." p. 61, 2014.
- [14] 3GPP, "TS 32.240: Telecommunication management; Charging management; Charging architecture and principles (Release 12)." p. 51, 2014.
- [15] 3GPP, "TS 32.2xx: Telecommunication management; Charging management." 2014.

- [16] C. Cox, "Chapter 5: Multiple Antenna Techniques," in *AN INTRODUCTION TO LTE: LTE, LTE-Advance, SAE and 4G Mobile Communications*, 2012, pp. 77–94.
- [17] J. Dahlman, Erik; Sko, "Chapter 1: Background of LTE," in *4G LTE/LTE-Advance for mobile Broadband*, Second., 2014, pp. 1–15.
- [18] C. Cox, "History of Mobile Telecommunication Systems," in *AN INTRODUCTION TO LTE: LTE, LTE-Advance, SAE and 4G Mobile Communications*, 2012, pp. 6–7.
- [19] C. Cox, "1.3. The need for LTE," in *AN INTRODUCTION TO LTE: LTE, LTE-Advance, SAE and 4G Mobile Communications*, 2012, pp. 8–11.
- [20] C. Cox, "1.5. From LTE to LTE-Advanced," in *AN INTRODUCTION TO LTE: LTE, LTE-Advance, SAE and 4G Mobile Communications*, 2012, pp. 15–16.
- [21] ITU, "International Telecommunication Union (2010) ITU Paves Way for Next-Generation 4G Mobile Technologies," 2010. [Online]. Available: http://www.itu.int/net/pressoffice/press_releases/2010/40.aspx. [Accessed: 01-Aug-2014].
- [22] ITU, "International Telecommunication Union (2010) ITU World Radiocommunication Seminar Highlights Future Communication Technologies," 2010. [Online]. Available: http://www.itu.int/net/pressoffice/press_releases/2010/48.aspx. [Accessed: 01-Aug-2014].
- [23] J. F. Restrepo Piedrahita, "Distribución del espectro radioeléctrico y esquemas de asignación de ancho de banda en Colombia y su relación con el nivel de desarrollo de los servicios móviles en Colombia," in *Análisis y estudio técnico de la transferencia de tecnología para la prestación de servicios de telefonía y banda ancha móvil en Colombia a través de operadores móviles virtuales soportados por tecnología LTE*, 2011, pp. 29–34.
- [24] J. F. Restrepo Piedrahita, "Anexo F. Proceso y resultado de la adjudicación de bandas PCS en Colombia," in *Análisis y estudio técnico de la transferencia de tecnología para la prestación de servicios de telefonía y banda ancha móvil en Colombia a través de operadores móviles virtuales soportados por tecnología LTE*, 2011, pp. 92–93.
- [25] UNE, "UNE ganó subasta de espectro de 2,5Ghz," 2010. [Online]. Available: <http://www.une.com.co/saladeprensa/index.php/noticias-23062/une-epm-telecomunicaciones/116-une-epm-telecomunicaciones/676-une-gano-subasta-de-espectro-de-25ghz>. [Accessed: 30-Aug-2014].
- [26] ENTER.CO, "Cifras y reacciones de la subasta de 4G," 2013. [Online]. Available: <http://www.enter.co/cultura-digital/colombia-digital/cifras-y-reacciones-de-la-subasta-de-4g/>. [Accessed: 30-Aug-2014].

- [27] E. TIEMPO, "Nación gana 70% más de lo esperado en la subasta," 2013. [Online]. Available: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-12895485>. [Accessed: 30-Aug-2014].
- [28] Paul Budde Communication, "Colombia - Mobile Market - Overview, Statistics and | Market Research," 2014. [Online]. Available: <http://www.marketresearch.com/Paul-Budde-Communication-Pty-Ltd-v1533/Colombia-Mobile-Overview-Statistics-Forecasts-8043956/>. [Accessed: 29-Aug-2014].
- [29] L. HUAWEI TECHNOLOGIES CO., "Kick - Off Proyecto LTE Movistar Colombia." p. 63, 2013.
- [30] L. HUAWEI TECHNOLOGIES CO., "Huawei LTE Technical Proposal For Movistar Colombia RFQ.. 2013. p. 56,
- [31] L. HUAWEI TECHNOLOGIES CO., "Movistar Colombia LTE." 2013.
- [32] L. HUAWEI TECHNOLOGIES CO., "eNodeB V100R006 Field." 2013.
- [33] L. HUAWEI TECHNOLOGIES CO., "RR3832 Description." 2013.
- [34] Telefónica, "Presentación LTE 2." 2013.
- [35] L. HUAWEI TECHNOLOGIES CO., "Radio Network Planning Technical Proposal." 2013.
- [36] L. HUAWEI TECHNOLOGIES CO., "LTE manual - 1." 2013.

BIBLIOGRAFIA

C. Cox, "1.5. From LTE to LTE-Advanced," in AN INTRODUCTION TO LTE: LTE, LTE-Advance, SAE and 4G Mobile Communications, 2012, pp. 15–16.

E. TIEMPO, "Nación gana 70% más de lo esperado en la subasta," 2013. [Online]. Available: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-12895485>. [Accessed: 30-Aug-2014].

ENTER.CO, "Cifras y reacciones de la subasta de 4G," 2013. [Online]. Available: <http://www.enter.co/cultura-digital/colombia-digital/cifras-y-reacciones-de-la-subasta-de-4g/>. [Accessed: 30-Aug-2014].

G. Posada Vanegas, P. Perdomo Rangel, and F. Herrera Santana, MINTIC: Resolucion 2625 de 2013. Colombia, 2013, p. 19.

ITU, "International Telecommunication Union (2010) ITU Paves Way for Next-Generation 4G Mobile Technologies," 2010. [Online]. Available: http://www.itu.int/net/pressoffice/press_releases/2010/40.aspx. [Accessed: 01-Aug-2014].

ITU, "International Telecommunication Union (2010) ITU World Radiocommunication Seminar Highlights Future Communication Technologies," 2010. [Online]. Available: http://www.itu.int/net/pressoffice/press_releases/2010/48.aspx. [Accessed: 01-Aug-2014].

J. Dahlman, Erik; Sko, "Chapter 1: Backgroud of LTE," in 4G LTE/LTE-Advance for mobile Broadband, Second., 2014, pp. 1–15.

J. F. Restrepo Piedrahita, "Anexo F. Proceso y resultado de la adjudicación de bandas PCS en Colombia," in Análisis y estudio técnico de la transferencia de tecnología para la prestación de servicios de telefonía y banda ancha móvil en Colombia a través de operadores móviles virtuales soportados por tecnología LTE, 2011, pp. 92–93.

J. F. Restrepo Piedrahita, "Distribución del espectro radioeléctrico y esquemas de asignación de ancho de banda en Colombia y su relación con el nivel de desarrollo de los servicios móviles en Colombia," in Análisis y estudio técnico de la transferencia de tecnología para la prestación de servicios de telefonía y banda ancha móvil en Colombia a través de operadores móviles virtuales soportados por tecnología LTE, 2011, pp. 29–34.

J. F. Restrepo Piedrahita, "Distribución del espectro radioeléctrico y esquemas de asignación de ancho de banda en Colombia y su relación con el nivel de desarrollo de los servicios móviles en Colombia," in Análisis y estudio técnico de la transferencia de tecnología para la prestación de servicios de telefonía y banda ancha móvil en Colombia a través de operadores móviles virtuales soportados por tecnología LTE, 2011, pp. 29–34.

L. HUAWEI TECHNOLOGIES CO., "Huawei LTE Technical Proposal For Movistar Colombia

L. HUAWEI TECHNOLOGIES CO., "Kick - Off Proyecto LTE Movistar Colombia." p. 63, 2013.

L. HUAWEI TECHNOLOGIES CO., "Movistar Colombia LTE." 2013.

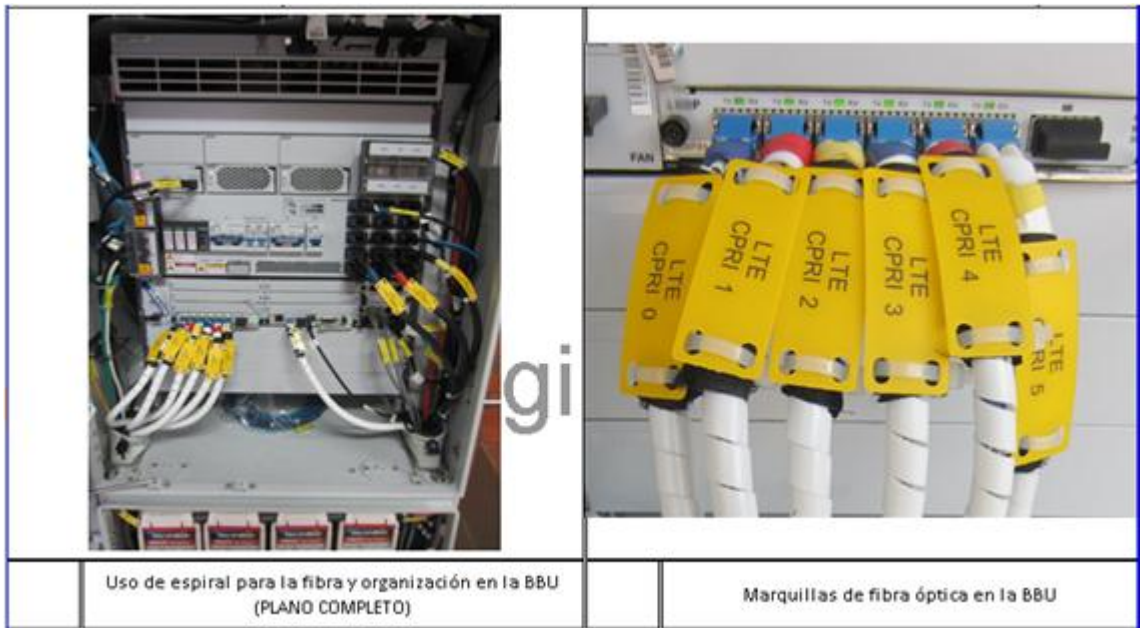
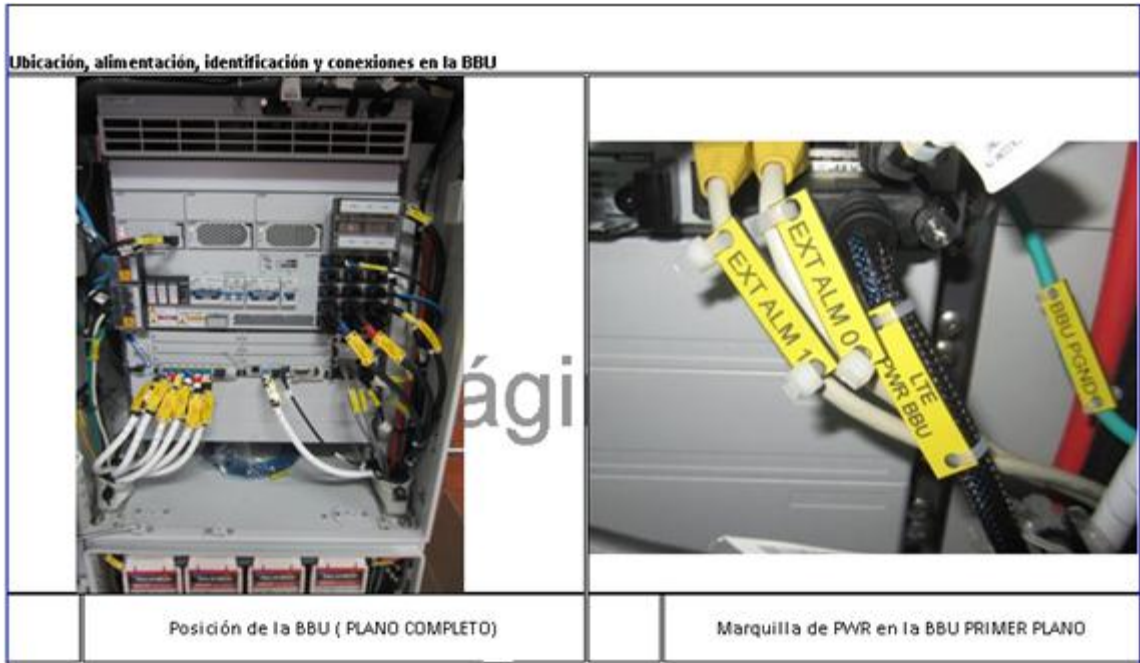
Paul Budde Communication, "Colombia - Mobile Market - Overview, Statistics and | Market Research," 2014. [Online]. Available: <http://www.marketresearch.com/Paul-Budde-Communication-Pty-Ltd-v1533/Colombia-Mobile-Overview-Statistics-Forecasts-8043956/>. [Accessed: 29-Aug-2014].

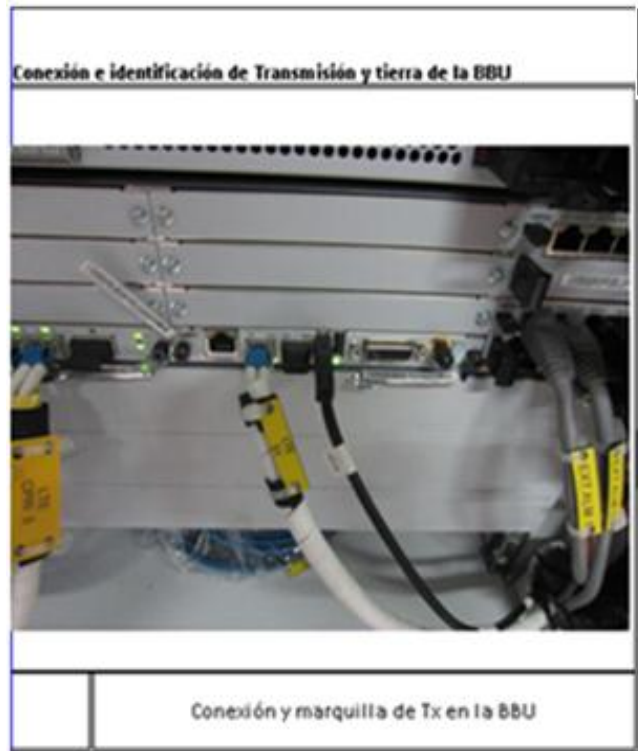
R. Agusti, F. Bernardo, F. Casadevall, R. Ferrús, J. Pérez-Romero, and O. Sallent, "Capítulo 2: Arquitectura del sistema LTE," in LTE: NUEVAS TENDENCIAS EN COMUNICACIONES MÓVILES, Primera., E. Fundación Vodafone, Ed. 2010, pp. 55–111.

UNE, "UNE ganó subasta de espectro de 2,5Ghz," 2010. [Online]. Available: <http://www.une.com.co/saladeprensa/index.php/noticias-23062/une-epm-telecomunicaciones/116-une-epm-telecomunicaciones/676-une-gano-subasta-de-espectro-de-25ghz>. [Accessed: 30-Aug-2014].

ANEXOS

ANEXO A. Informe fotográfico de las validaciones que se realizan después de la instalación





Aterrizaje de armario - Conexiones e identificación en DC BOX



Foto 9

Aterrizaje de armario (MW / APM) o rack donde se ubica la BBU y DC BOX

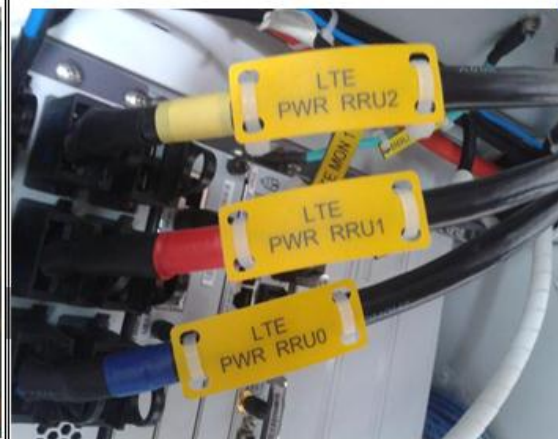


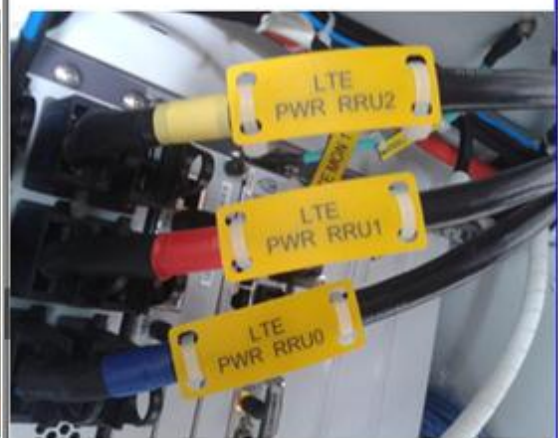
Foto 10

Conexión y Marquillas de RRUs y BBU en el DC BOX

Aterrizaje de armario - Conexiones e identificación en DC BOX



Aterrizaje de armario (MW / APM) o rack donde se ubica la BBU y DC BOX



Conexión y Marquillas de RRUs y BBU en el DC BOX



	
<p>Recorrido y organización, de fibra y cable DC en puente guía</p>	<p>Goteo de cable DC y fibra óptica cambio de dirección a escalerilla vertical (PLANO COMPLETO)</p>

Enrutamiento de fibra y energía

	
<p>Instalación de fibra y energía en la torre o bandeja portacables</p>	<p>Enrutamiento y llegada de fibra / energía a estructura (plataforma o mástil) de sector 1 (PLANO COMPLETO DERRIDO DE PLATAFORMA)</p>

Sector 1



Panorámica RRU Sector1 (Que se vea plataforma y antena)



Panorámica RRU Sector1 (Plano Completo RRU con cableado en mastil)



encintados debajo de RRU Sector1 (PLANO COMPLETO)



encintados debajo de RRU Sector1 (PLANO COMPLETO)



Marquillas JUMPER, FIBRA OPTICA Y CABLE DC Sector 1 (PRIMER PLANO)



Marquillas JUMPER, FIBRA OPTICA Y CABLE DC Sector 1 (PRIMER PLANO)



Enrutamiento y aterrizaje del sector 1 en barraje



Enrutamiento, marquillas (incluye cintas de colores) e impermeabilización de conectores en antena (PRIMER PLANO)

Sitio antes y después de la instalación



Sitio antes de la instalación



Panorámica superior de distribución final de los equipos