

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**“IMPLEMENTACION DE RED MOVIL CON TECNOLOGIA 4G
LTE”**

EXAMEN DE GRADO (COMPLEXIVO)

Previa a la obtención del grado de:

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN
ELECTRÓNICA**

MIGUEL AUGUSTO JARAMILLO DELGADO

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2015

AGRADECIMIENTO

A mi familia, amigos y todas aquellas personas que con su consejo me impulsaron a ser perseverante.

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mi familia,
por su constante soporte a través de estos
años y ser una fuente de inspiración.

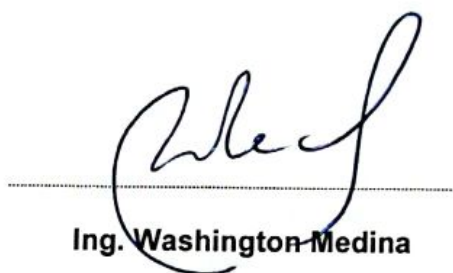
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Germán Vargas L.", written over a horizontal dotted line.

Dr. Germán Vargas L.

PROFESOR DELEGADO

POR LA SUBDECANA DE LA FIEC

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Washington Medina", written over a horizontal dotted line.

Ing. Washington Medina

PROFESOR DELEGADO

POR LA SUBDECANA DE LA FIEC

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en este Informe me corresponde exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).



Miguel Jaramillo

RESUMEN

A nivel global existe un creciente requerimiento de servicios de banda ancha móvil, originados por la alta penetración de redes celulares, y la creciente demanda de acceso a datos, contenido multimedia y servicios. Las redes tradicionales 2G y 3G se han visto sobrepasadas en su capacidad, sin lograr atender esta demanda, sufriendo de congestión, con impacto en la calidad de servicio al usuario.

La tecnología LTE, Long Term Evolution, surge como respuesta a estas necesidades, presentando una arquitectura de comunicación diseñada para brindar un acceso de banda ancha a través de una red móvil.

El objetivo del proyecto realizado, fue la implementación de una red móvil con tecnología 4G LTE para un operador celular en Chile. La implementación se basó en el despliegue de tecnología LTE en la capa E-UTRAN de radio acceso, en la banda de frecuencia de 2600 MHz, y en la introducción de un EPC, Evolved Packet Core.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	iv
DECLARACIÓN EXPRESA	v
RESUMEN	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
INTRODUCCIÓN	viii
CAPÍTULO 1	1
1. SOLUCIÓN TECNOLÓGICA: LTE.....	1
1.1 Introducción a LTE	2
1.2 Arquitectura LTE/SAE	3
1.3 Elementos de Red de solución implementada	6
1.4 Interfaces y Protocolos	8
CAPÍTULO 2.....	11
2. IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED MÓVIL 4G LTE	11
2.1 Implementación del Evolved Packet Core	12
2.2 Implementación del E-UTRAN	14
2.3 Resultados del proyecto de implementación de red LTE	17
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	19
BIBLIOGRAFÍA.....	22

INTRODUCCIÓN

El acceso a Internet y la gama de servicios brindados a través de redes de datos, ha revolucionado el estilo de vida moderno del ser humano. El contenido de texto, audio, video, multimedia y servicios en general han encontrado en Internet la plataforma para desplegarse masivamente, exigiendo a la vez un alto requerimiento de banda ancha para el acceso a información.

Por otro lado las redes móviles de datos, particularmente las redes celulares, se han expandido desde su introducción en los años 90, hasta convertirse en el principal medio de acceso a servicios de telefonía y datos.

Los requerimientos generados en el mercado global, tales como movilidad en redes de comunicaciones, y de acceso con banda ancha a contenido de multimedia y servicios, impulsaron el desarrollo de una tecnología móvil de alta capacidad, orientada a datos, conocida como Long Term Evolution (LTE).

En el ámbito sudamericano, los principales operadores móviles a nivel regional, iniciaron desde el año 2012, la evolución de sus servicios introduciendo redes con tecnología LTE sobre sus redes existentes de GSM/WCDMA.

El siguiente documento describe la solución tecnológica desplegada, introduciendo una red LTE a nivel nacional, como facilitador de acceso a banda ancha móvil, con el objeto de brindar servicios de mayor velocidad y menor latencia a través de la red comercial 4G LTE.

CAPÍTULO 1

1. SOLUCIÓN TECNOLÓGICA: LTE

Long Term Evolution, conocido por sus siglas como LTE, es una tecnología de radio, de alta capacidad, estandarizada por la 3GPP. La tecnología LTE es también conocida como 4G LTE o comercialmente como 4G [1].

La arquitectura del núcleo de datos (core) de la red, EPC (Evolved Packet Core), comprende los elementos del núcleo de la red en concordancia con el 3GPP SAE (System Architecture Evolution).

El proyecto desplegado, se realizó mediante la implementación de una solución con tecnología LTE 4G del fabricante Nokia. La red desplegada está basada en el release de Nokia LTE RL50 [2].

1.1 Introducción a LTE

LTE es una tecnología de radio acceso de 4ta generación, o 4G, desarrollada en respuesta a la creciente demanda de alta capacidad de ancho de banda en redes móviles. LTE se introdujo a partir del Release 8 de la 3GPP, como una evolución a las redes HSPA (rel.6) e I-HSPA (rel.7) [3].

Las soluciones para redes LTE están basadas en una arquitectura plana, de baja latencia, y con una tecnología de radio de alta capacidad. LTE es una tecnología de radio acceso con canales o portadoras de ancho de banda en un rango de 1.4MHz hasta 20MHz. Las bandas de frecuencia estándares en que se implementa esta tecnología, incluyen las bandas 700MHz, 850MHz, 1700MHz, 1800MHz, 1900MHz, 2100MHz, 2600MHz.

La interfaz de aire comprende tecnologías FDD (Frequency División Duplexing) y TDD (Time Division Duplexing) [4].

Dependiendo de la tecnología y el ancho de banda de la portadora LTE, el sistema permite tasas de throughput de 150Mbps en downlink y de 50Mbps en uplink. El término downlink en redes móviles se conoce a la comunicación en sentido radiobase hacia terminal móvil, mientras que el uplink se refiere a la comunicación del terminal móvil hacia la radiobase.

LTE utiliza como método de acceso OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). El OFDM es una tecnología de acceso basada en división de frecuencia en conjunto con sub portadoras ortogonales [4].

El desarrollo de funciones avanzadas de LTE como MIMO y agregación de portadoras, permiten el aumento de capacidad y tasas de transmisión de la solución.

Dentro de la arquitectura LTE/SAE, la capa de radio acceso se llama E-UTRAN, proveniente de Evolved-UTRAN, y el core de datos o Evolved Pack Core es el EPC. La arquitectura combinada del marco LTE/SAE, comprende el E-UTRAN y el EPC, formando el Evolved Packet System (EPS).

1.2 Arquitectura LTE/SAE

La arquitectura de LTE se establece en el Release 8 de la 3GPP. Presenta una estructura plana, buscando que solo existan dos elementos de red en el manejo de la comunicación del plano de usuario.

La figura 1.1 muestra la evolución de la arquitectura de redes móviles, desde una red WCDMA Release 6 hasta LTE.

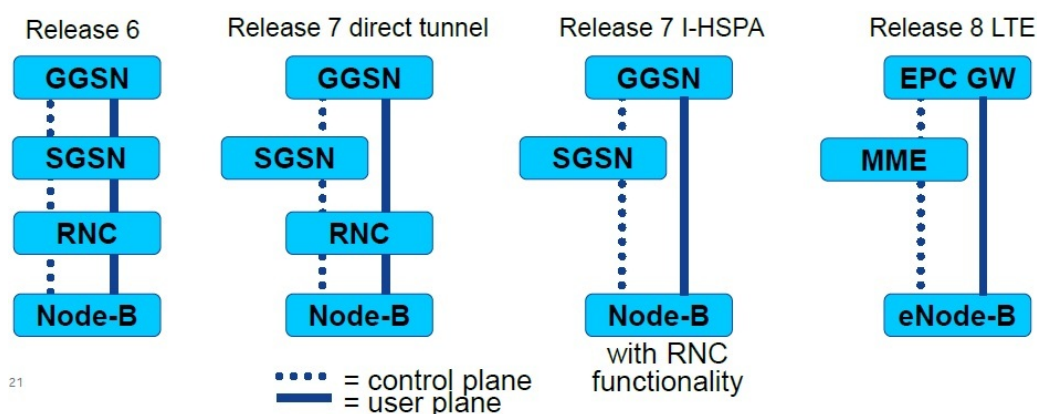


Figura 1.1: Evolución de arquitectura de red móvil [3]

La arquitectura de una solución de red móvil LTE se basa en el 3GPP LTE/SAE, y se conforma por la arquitectura combinada del E-UTRAN (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network) y el EPC (Evolved Packet Core).

Cada capa de la red, tanto la E-UTRAN como el EPC, se componen de diversos elementos de red, y su comunicación se realiza a través de interfaces abiertas hacia las distintas capas de la red, y hacia otras redes tipo No-LTE (GSM/3G).

El Evolved-UTRAN se compone únicamente de un tipo de elemento de red, la radiobase, definida en LTE como evolved-NodeB (eNodeB). A diferencia de la arquitectura de redes 2G & 3G, la capa de radio acceso E-UTRAN no contiene un elemento tipo Controlador de Red de Radio (RNC o BSC), sino que se conforma exclusivamente de una red de radiobases eNodeBs.

El Evolved Packet Core (EPC) se compone de tres entidades. El Mobility Management Entity (MME), el Serving Gateway (S-GW) y el Packet data network Gateway (P-GW). El elemento de red MME administra el plano de control de la red, mientras que el S-GW y el P-GW trabajan con el plano de usuario o información.

La arquitectura de la red LTE está basada en IP completamente. El EPC por tanto, no se relaciona con comunicaciones asociadas a la conmutación de circuitos. En una red LTE, la voz como tal, se maneja como un servicio de Voz-sobre-IP (VoIP), o alternativamente se direcciona por medio de una red coexistente 2G/3G. El despliegue actual realizado por los operadores móviles

se orienta hacia manejar datos a alta velocidad y capacidad a través de la red LTE y canalizar la voz por las redes 2G/3G.

Las diversos elementos de red, se comunican por medio de interfaces estándares definidas, y permiten la comunicación del E-UTRAN y EPC, y hacia elementos como servidores de base de datos de usuarios, redes 2G & 3G y redes de datos.

Las plataformas utilizadas en el proyecto de implementación de red móvil con tecnología 4G para un operador en Chile, se basó en hardware y software LTE del fabricante Nokia:

E-UTRAN

- eNodeB: Plataforma Flexi Multiradio BTS

EPC

- MME: Plataforma Flexi-NS (Hw ATCA)
- S-GW/P-GW: Plataforma Flexi-NG (Hw ATCA)

La figura 1.2 muestra la arquitectura de una red LTE, con tecnología del fabricante Nokia, incluyendo las áreas de E-UTRAN y EPC, y las plataformas y elementos de red que la conforman.

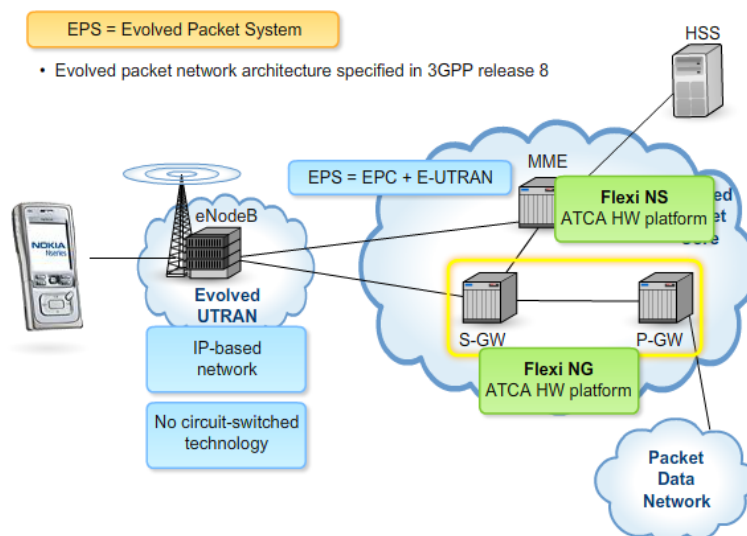


Figura 1.2: Arquitectura de red LTE [1]

1.3 Elementos de Red de solución implementada

eNodeB: Nokia Flexi Multiradio. Plataforma de hardware de arquitectura Flexi Multiradio BTS.

El eNodeB canaliza las comunicaciones de transmisión y recepción hacia el terminal móvil UE. El eNodeB maneja la tecnología de radio LTE y adicionalmente gestiona las funcionalidades tradicionales de un controlador de red de radio. Sus funciones son:

- Administración de recursos de radio
- Control de admisión
- Scheduling de data de usuario
- Señalización de control y cifrado de datos
- Administración de bearers de radio

Elemento de red MME: Plataforma Nokia Flexi NS. Hardware con arquitectura Advanced TCA (ATCA), sobre la cual se ejecuta la plataforma de software Flexi Network Server de Nokia.

El MME o entidad de administración de movilidad, se encarga de suministrar las funcionalidades de plano de control sobre la red del EPC. Sus funciones son:

- Autenticación de usuarios
- Generación de identidades temporales y asignación a UEs
- Manejo de señalización durante handovers
- Administración de data bearers

Elemento de red S-GW/P-GW: Plataforma Nokia Flexi NG. Plataforma de hardware de arquitectura Advanced TCA (ATCA), sobre la cual se ejecuta la plataforma de software Flexi Network Gateway de Nokia.

El S-GW y el P-GW proveen la conectividad de plano de usuario entre la red de radio acceso y redes de datos externas, como la Internet.

Las funciones principales del S-GW son:

- Ruteo de paquetes de datos
- Forwarding
- Referencia de punto de anclaje durante movilidad

Las funciones principales del P-GW son:

- Asignación de direcciones IP a usuarios
- Control de políticas
- Soporte a plataformas de charging

1.4 Interfaces y Protocolos

La comunicación entre los diversos elementos de red se realiza por medio de interfaces y protocolos específicos para cada una de ellos. Las interfaces principales en una red LTE son:

- Interface de radio / aire (entre el eNodeB y el terminal móvil)
- Interface S1 (entre E-UTRAN y EPC)
- Interface X2 (entre eNodeBs)
- Interface S5 (entre S-GW y P-GW)
- Interface S6a (entre MME y HSS)

Interface de radio Uu: Es la interface de aire, especificada por la 3GPP como interface LTE-Uu. Esta interface comunica al eNodeB con el terminal móvil o UE (User Equipment). A través de la interface aire se manejan los planos de control y de usuario. En el plano de control se maneja señalización por medio mensajes de RRC (Radio Resource Control). En el plano de usuario, la interface facilita la comunicación directa del móvil UE hasta el EPC.

Interface S1: Esta interface comunica el E-UTRAN con el EPC, transportando información entre la parte de radio acceso y el core de la red. En el plano de control, el eNodeB se comunica hacia el MME a través de la interface S1-MME. Los mensajes de señalización se basan en S1 Application Protocol, para la gestión de movilidad. Este protocolo a la vez lleva transparentemente información no relacionada al E-UTRAN, entre el UE y el MME, llamada Non-Access Stratum, NAS. En el plano de usuario, el eNodeB se comunica con el S-

GW por medio de la interface S1-U, a través del uso de un túnel con el GPRS Tunnelling Protocol, GTP-U. El GTP-U encapsula los paquetes IP y los transporta a través del túnel GTP llevando la data del usuario.

Interface X2: Es la interface entre dos eNodeBs, utilizada durante un handover inter-eNodeb. El plano de control trabaja con el protocolo X2-AP, y transmite señalización de handover y de administración de recursos de radio, RRM. En el plano de usuario, se crea un túnel GTP a través de la X2, por medio del protocolo GTP-U, para comunicar los datos de usuario entre el eNodeB origen y el eNodeB destino.

Interface S5: La comunicación de usuario entre el S-GW y el P-GW se realiza a través de esta interfaz, por medio de un túnel GTP. Ciertas soluciones de elementos de red, integran en un solo elemento las entidades de S-GW y P-GW en un único nodo SAE-GW, en cuyo caso esta interface se convierte en una interface interna.

Interface S6a: Comunica la base de datos de suscriptores HSS (Home Subscriber Server) con la entidad de administración de movilidad (MME). La interfaz utiliza el protocolo Diameter para transferencia de datos de suscripción y autenticación de usuarios. El HSS adicionalmente registra la ubicación del usuario a nivel de área de tracking.

Interface S11: Utilizada para comunicación de plano de control via túnel GTP entre el S-GW y el MME durante un proceso de inter-eNodeB handover para

transferir los canales bearer de datos, y durante actualización del área de tracking. Utiliza el protocolo de aplicación GTP-C.

La figura 1.3 muestra un diagrama de red LTE con sus interfaces.

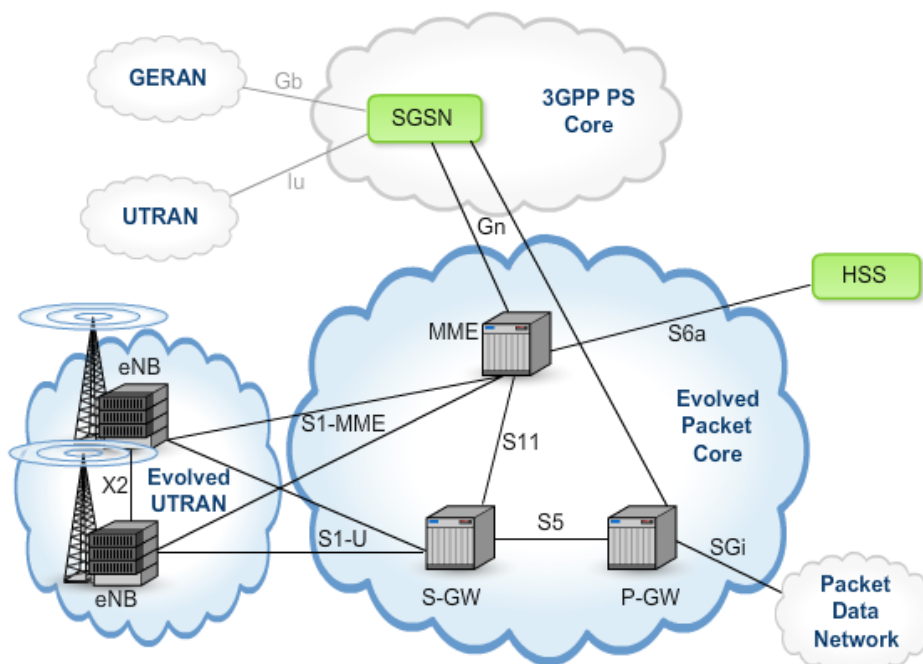


Figura 1.3: Interfaces de red LTE

Existen otras interfaces como la Gn y S12, que comunican el EPC de una red LTE con una red 2G/3G, como por ejemplo durante un inter-system handover. Por otro lado, la interfaz Gi, que permite la comunicación del EPC a través del P-GW hacia una red de datos. La interfaz Gi soporta DHCP y Radius en el plano de control, y en el plano de usuario provee funcionalidades de enrutamiento de paquetes y forwarding.

CAPÍTULO 2

2. IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED MÓVIL 4G LTE

Con objeto de atender los requerimientos de acceso a banda ancha móvil y mejora de los servicios de datos de los usuarios de un operador móvil en Chile, se ejecutó un proyecto de implementación de una red móvil con tecnología 4G LTE.

Se seleccionó una plataforma tecnológica que garantice robustez y alta disponibilidad en el núcleo de la red de datos, y una solución de radio acceso de alta capacidad, flexible, compacta, que se ajuste a diversos escenarios de instalación para un rápido despliegue.

El alcance general del proyecto consistió en el suministro de plataformas de hardware y software con tecnología Nokia LTE Release RL50, y servicios de gestión de proyectos e implementación de red, por parte del proveedor Nokia.

La implementación se basó en el despliegue de tecnología LTE en la capa E-UTRAN de radio acceso, en la banda de frecuencia de 2600 MHz, y la introducción de un EPC (Evolved Packet Core). El proyecto comprendió la implementación de 1000 radiobases LTE eNodeB a nivel nacional, dos elementos de red MME y S-GW/P-GW, integrados por medio de una red HighRAN (IP RAN) de alta capacidad.

La figura 2.1 ilustra los elementos del EPS Evolved Packet System, de la solución desplegada para el operador móvil.

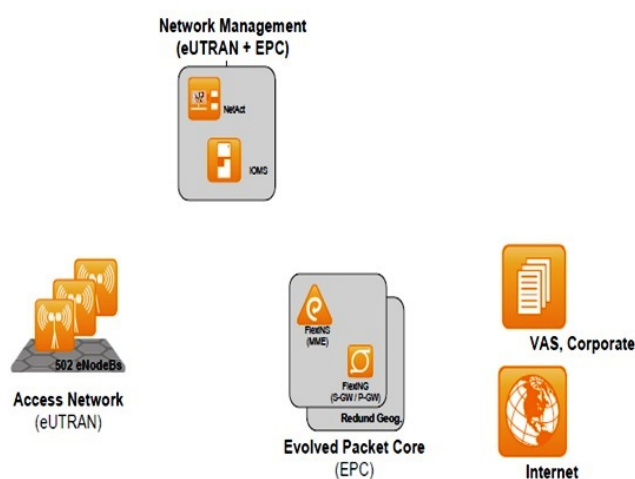


Figura 2.1: Elementos del EPS implementados [5]

2.1 Implementación del Evolved Packet Core

El despliegue del Evolved Packet Core comprendió la implementación de la solución Nokia de EPC, con una configuración de EPC redundante, mediante elementos de red Flexi NS (MME) y Flexi NG (S-GW / P-GW), basados en arquitectura de hardware ATCA.

Los elementos de red del EPC implementados fueron:

- 2 Flexi NS (MME)
- 2 Flexi NG (S-GW & P-GW)

Los elementos para conectividad del EPC fueron:

- 4 Cisco ASR9100

Los elementos de gestión fueron:

- 1 iOMS (Blade Server en plataforma de gestión de red NetAct)

Características de elementos de red usados en el EPC:

MME: Nokia Flexi NS. Plataforma de hardware de arquitectura Advanced TCA (ATCA), sobre la cual se ejecuta la plataforma de software Flexi Network Server de Nokia.

S-GW/P-GW: Nokia Flexi NG. Plataforma de hardware de arquitectura Advanced TCA (ATCA), sobre la cual se ejecuta la plataforma de software Flexi Network Gateway de Nokia.

La implementación de los elementos de red se realizó sobre dos estaciones diferentes, con el objeto de permitir redundancia tecnológica y geográfica. Con esto se garantizó la disponibilidad del EPC ante fallas de la plataforma y ante eventos externos sobre la infraestructura física donde se ubican los elementos.

En ambas estaciones se instalaron tres racks para albergar a los equipos:

1 Flexi ATCA Cabinet (Flexi NS y Flexi NG)

2 Rack Panduit (Routers para el EPC)

El footprint de los elementos del Evolved Packet Core implementados en las estaciones 1 y 2 del operador móvil, y su conectividad, se ilustra en la figura 2.2

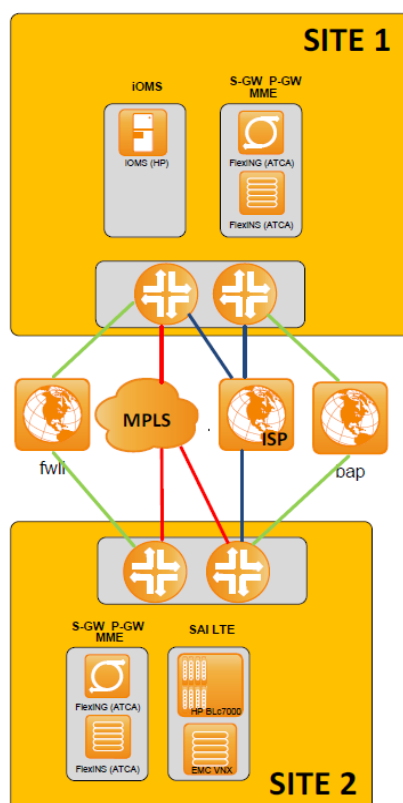


Figura 2.2: Diseño de alto nivel de EPC LTE [5]

2.2 Implementación del E-UTRAN

La implementación de la red de radio acceso E-UTRAN, consistió en la instalación, integración y puesta en servicio de 1000 radiobases LTE, desplegadas a lo largo del territorio nacional.

La conectividad de los eNodeBs hacia el EPC se realizó a través de una red IP de alta capacidad HighRAN (IP RAN). La transmisión a través de la red HighRAN se implementó por el proveedor Alcatel-Lucent.

Las características de los elementos de red eNodeB usados en la implementación del E-UTRAN fueron:

eNodeB: Radiobase Nokia Flexi Multiradio. Plataforma de hardware de arquitectura Flexi Multiradio BTS, en solución de tipo feederless, en la banda de 2600MHz.

La implementación de la E-UTRAN se hizo con dos tipos de soluciones de Flexi Multiradio, solución concentrada, y solución con módulos de RF distribuidos.

1) Radiobase Flexi Multiradio BTS, tipo concentrada.

Solución típica para tres sectores, con módulos de radio concentrados, en escenarios con antenas ubicadas en monopostes y torres (Figura 2.3). A continuación se listan los elementos de hardware utilizados en la solución:

- 1 Módulo de sistema, modelo FSMF
- 2 Módulos de Radio, modelo FRHA
- 2 Fibras ópticas de 100m por cada módulo RF FRHA
- 3 antenas Kathrein modelo 80010620, rango de frecuencia 1710-2690 MHz
- Solución lista para soporte de MIMO 4x4

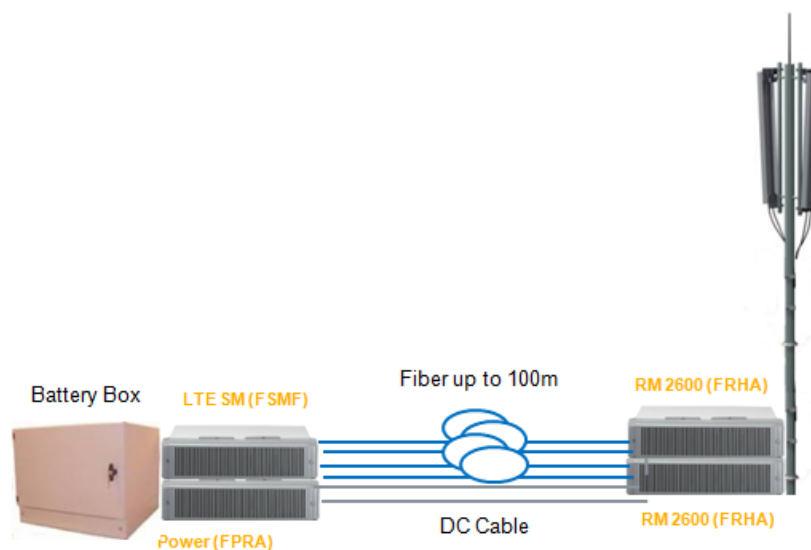


Figura 2.3: Solución eNodeB Flexi Multiradio concentrada [6]

2) Radiobase Flexi Multiradio BTS, tipo distribuida.

Solución para uno o más sectores, con antenas y módulos de radio distribuidos, en escenarios típicos de en terrazas y azoteas, en donde se requiere separar las antenas para ubicar las mismas en diversas caras de la azotea (Figura 2.4).

A continuación se listan los elementos de hardware utilizados en la solución:

- 1 Módulo de sistema, modelo FSMF
- 3 Módulos de Radio, modelo RRH
- 1 Fibra óptica de 100m por cada módulo RF RRH
- 3 antenas Kathrein modelo 80010620, rango de frecuencia 1710-2690 MHz

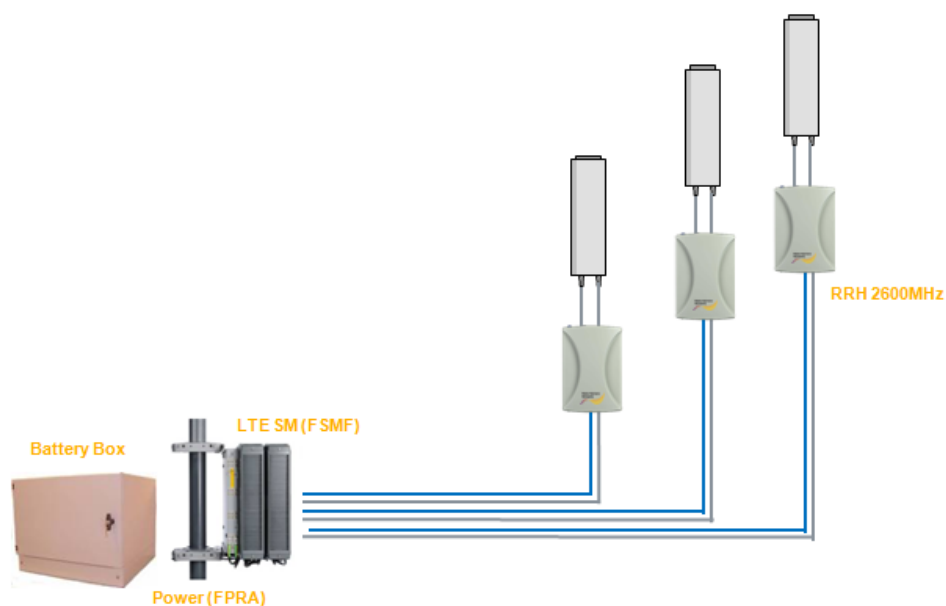


Figura 2.4: Solución eNodeB Flexi Multiradio distribuida [6]

2.3 Resultados del proyecto de implementación de red LTE

El proyecto de implementación de la red LTE fue contratado a la empresa Nokia, para el suministro de equipos y servicios de implementación.

Como funcionario de la empresa de telecomunicaciones Nokia, mi participación en el proyecto de implementación de la red LTE, fue en el rol de Gerente de Proyecto, con responsabilidad completa de la ejecución de los servicios de implementación del mismo. Bajo este rol, estuve orientado en la planificación, ejecución, control y monitoreo de las actividades del proyecto por parte de Nokia. La dirección del proyecto se realizó en base a la metodología y prácticas de la gestión de proyectos estandarizada por el organismo PMI, Project Management Institute.

La implementación de la red LTE se llevó a cabo en un periodo de 18 meses. Se desplegaron 1000 eNodeBs, ubicados en ciudades principales como primer foco de despliegue, y posteriormente en zonas rurales.

El proceso de configuración de la red IP RAN, en sus agregadores y última milla, fue implementado a la par que el despliegue de LTE. La red de transporte suministró conexiones de 150Mbps hacia los eNodeBs, facilitando la capacidad teórica de una celda (sector) de LTE.

El manejo de llamadas de voz se implementó derivando la voz hacia la red 3G, por medio de la funcionalidad de CS-Fallback. Esta funcionalidad se implementó sobre las centrales telefónicas MSS de la red, las cuales se integran hacia el MME del EPC de LTE.

Los resultados de evaluación de performance realizados sobre la red, mostraron throughputs con velocidades de 130 Mbps por sector. Las pruebas fueron realizadas con terminales LTE y módems de datos USB en banda de 2600Mhz para verificación de servicio.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. El proyecto de implementación de red 4G LTE para el operador móvil de Chile fue ejecutado en un periodo de 18 meses. Se cumplió el cronograma de tiempo planificado, cumpliendo el hito de entrega de radiobases LTE en operación.
2. Se cumplió el objetivo de estratégico de permitir al operador móvil, ser la primera empresa de telecomunicaciones en hacer el lanzamiento comercial de servicios LTE en Chile.
3. Se realizó un despliegue de 1000 radiobases eNodeBs LTE a nivel nacional, incluyendo 526 radiobases de requerimiento obligatorio por parte del ente regulador de telecomunicaciones de Chile, la Subsecretaría de Telecomunicaciones (SUBTEL).

4. Se implementó un Evolved Packet Core, con un esquema de redundancia, garantizando la alta disponibilidad de la red LTE
5. La red 4G LTE actualmente en operación, brinda una capacidad de 150Mbps por eNodeB, delimitados por el ancho de banda entregado por la red de transporte al eNodeB.
6. El servicio de datos se maneja a través de la red LTE, y la voz por la red 3G mediante la funcionalidad CS-Fallback
7. La introducción de una red LTE coexistente con 3G, permite la descarga de usuarios de datos hacia la nueva red LTE de alta capacidad, mejorando los problemas de congestión que padecen las redes WCDMA.
8. El despliegue de la red 4G LTE del operador, fue reconocido por el Diario Financiero de Chile, otorgándole el reconocimiento de Mejor Iniciativa Empresarial 2013.

Recomendaciones

1. Al implementar una red LTE, se recomienda siempre implementar una arquitectura de solución redundante en el EPC con objeto de garantizar la disponibilidad de la red.
2. Se recomienda anticipadamente realizar la preparación de la red de transmisión IP RAN, con objeto de mitigar retrasos en la integración a servicio de radiobases eNodeB durante el despliegue masivo.

3. Considerar que el performance de la radiobase estará limitado por el ancho de banda disponible en la transmisión.
4. Se recomienda la introducción de una red LTE, en escenarios en donde las redes GSM y WCDMA están congestionadas en el servicio de acceso a datos móviles.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Nokia Academy, LTE End to End System Part 1, Nokia Academy, 2014
- [2] Nokia Academy, LTE End to End System Part 2, Nokia Academy, 2014
- [3] Antti Toskala, LTE Release 8/9 course, Nokia Academy, 2015
- [4] Harri Holma, LTE for UMTS, Evolution to LTE-Advanced, Wiley, 2011
- [5] Nokia Proyectos, Reporte EPC LTE Nokia Chile, Nokia, 2013
- [6] Nokia Quality, Estándar de Instalación LTE Nokia Chile, Nokia, 2013