



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**TEMA: SINGLE RAN COMO ESTRATEGIA DE ROLLOUT PARA REDES
LTE**

AUTOR: MINA CÁRDENAS, DIEGO ARMANDO

DIRECTOR: MGS. AGUILAR SALAZAR, DARWIN LEONIDAS

SANGOLQUÍ

2019



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, ***“SINGLE RAN COMO ESTRATEGIA DE ROLLOUT PARA REDES LTE”*** fue realizado por el señor ***Mina Cárdenas, Diego Armando*** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 19 de julio de 2019



.....
Mgs. Aguilar Salazar, Darwin Leonidas
DIRECTOR
C.C.: 1103036826



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, *Mina Cárdenas, Diego Armando*, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: ***“SINGLE RAN COMO ESTRATEGIA DE ROLLOUT PARA REDES LTE”*** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 19 de julio de 2019

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and flourishes, is positioned above a horizontal dotted line.

Mina Cárdenas, Diego Armando

C.C.: 0913799102



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **Mina Cárdenas, Diego Armando** autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“SINGLE RAN COMO ESTRATEGIA DE ROLLOUT PARA REDES LTE”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 19 de julio de 2019

Mina Cárdenas, Diego Armando

C.C.: 0913799102

DEDICATORIA

Aun cuando suene extraño, esto me lo dedico principalmente a mí, ¡luego de tanto finalmente puedo decir que lo logre!

A mi madre Eloisa, por todo el esfuerzo, sacrificio y amor desde el primer día que nos conocimos.

A mi esposa Marcela, por estar a mi lado incondicionalmente durante todo este proceso, dándome ánimos y alentándome a seguir

A Dios, a quien tanto le vine pidiendo este milagrito.

Diego Armando

AGRADECIMIENTO

Este trabajo está dedicado a mi Madre Eloísa, quien siempre ha sido un apoyo y más aún en aquellos días de universidad. A mi esposa Marcela, sin ti simplemente no hubiera podido llegar a este momento, a mi familia y amigos que me alentaron constantemente para finalizar este proceso.

Y un agradecimiento realmente especial a mi director Darwin Aguilar, por su inmensa paciencia e infinita comprensión, por guiarme no solo como profesor sino como un ejemplo a seguir.
¡Gracias!

Diego Mina Armando Cárdenas

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS	xvii
ÍNDICE DE FIGURAS	xix
RESUMEN.....	xxvi
ABSTRACT	xxvii
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	1
1.1 Justificación e Importancia	2
1.2 Objetivos.....	4
1.2.1 Objetivo General.....	4
1.2.2 Objetivos Específicos.....	4
1.3 Metodología	5
CAPÍTULO II FUNDAMENTO TEÓRICO	7
2.1 Introducción a las redes UMTS	7
2.1.1 Topología de la Red UMTS.....	9
2.1.1.1 Arquitectura de la Red GSM.....	9

2.1.1.2	Overlay UMTS.....	12
2.1.1.3	Arquitectura de red UMTS	13
2.1.2	Conceptos de WCDMA	14
2.1.2.1	Procedimientos de la capa física de WCDMA	14
2.1.2.2	Conceptos de Señalización de UMTS.....	21
2.1.2.3	Canales Físicos, Lógicos y de Transporte.....	26
2.2	Introducción a las redes LTE	28
2.2.1	La Necesidad de LTE.....	29
2.2.1.1	El Crecimiento de los Datos Móviles	29
2.2.1.2	Capacidad de un Sistema de Telecomunicaciones Móviles	31
2.2.1.3	Aumento de la Capacidad del Sistema.....	32
2.2.1.4	Motivaciones Adicionales.....	33
2.2.2	De UMTS a LTE.....	35
2.2.2.1	Arquitectura General de LTE.....	35
2.2.2.2	Evolución a Largo Plazo (LTE)	37
2.2.2.3	Evolución de la Arquitectura del Sistema (SAE)	39
2.2.3	Arquitectura de LTE	41
2.2.3.1	Arquitectura de Alto Nivel.....	41
2.2.3.2	Equipo de Usuario UE	43

2.2.3.3	Red de Acceso de Radio Terrestre UMTS Evolucionada.....	46
2.2.3.4	Núcleo de Paquete Evolucionado	49
2.2.3.5	Arquitectura de Roaming.....	53
2.2.3.6	Áreas de Red.....	55
2.2.3.7	Numeración, Direccionamiento e Identificación.	56
2.2.3.8	Interoperabilidad con Otras Redes.....	58
2.2.4	Protocolos de Comunicación.	59
2.2.4.1	Protocolos de Transporte de Interfaz Aérea.....	61
2.2.4.2	Protocolos de Transporte de Red de Core.....	62
2.2.4.3	Protocolos del Plano de Usuario	63
2.2.4.4	Protocolos del Plano de Control/Señalización.....	64
2.2.5	Interfaces de la Red E-UTRAN	65
2.2.5.1	Redes de Optimización Automática (SON).....	65
2.2.5.2	Interfaz S1	68
2.2.5.3	Interfaz X2	71
2.3	Concepto de Nodo Distribuido	72
2.3.1	Arquitectura Heredada (Legacy).....	74
2.3.2	Diseño de Arquitectura Dividida/Distribuida (DBS).....	75
2.3.3	Enfoque de "Hoteling"	76

2.3.4	Arquitectura BTS Outdoor:.....	77
2.3.5	Sistema de Transferencia de Capacidad:	78
2.4	Estrategias de Implementación para LTE	79
2.4.1	Consideraciones al implementar LTE.....	79
2.4.2	Opciones básicas para el despliegue de LTE	80
2.4.2.1	Overlay.....	81
2.4.2.2	Single RAN.....	82
2.4.3	Migración de LTE en la vida real.	83
2.4.4	Estrategia de Single RAN vs Overlay para LTE.	84
CAPÍTULO III SINGLE RADIO ACCESS NETWORK		88
3.1	Conceptos de Single RAN	88
3.1.1	Single RAN Multi-RAT.....	89
3.1.2	Single RAN Multi Operador	91
3.1.3	Compartición de la Red de Core.....	93
3.1.4	Beneficios potenciales de la implementación de Single RAN.....	94
3.1.5	Peligros potenciales de la implementación de Single RAN.....	96
3.2	Sitios celulares Multi-Estándar	97
3.2.1	Configuración típica del sitio.....	97
3.2.2	Estaciones base MSR.....	98

3.2.3	Radio definida por software.....	101
3.2.4	Compartición de Bandas Multi-Estándar.....	103
3.2.5	Arquitectura de estación base MSR.....	104
3.2.6	OBSAI y CPRI.....	106
3.2.7	Sitios celulares localizados frente a distribuidos	108
3.2.7.1	Ejemplos de sitios celulares distribuidos	110
3.2.8	RRH (Cabeza de Radio Remoto).....	111
3.2.9	Opciones de implementación Multi-RAT.....	113
3.2.9.1	Infraestructura Compartida	114
3.2.9.2	Estación Base Compartida	115
3.2.9.3	Estación Base MSR Compartida.....	116
3.2.9.4	Banda de Frecuencia Compartida	117
3.2.10	Problemas potenciales de RF	118
3.2.11	Arquitecturas Single RAN	119
3.3	Backhaul en Single RAN	120
3.3.1	Redes de Backhaul	120
3.3.2	Arquitecturas de Backhaul.....	122
3.3.3	Última Milla de Backhaul Compartida.....	123
3.3.4	Red de Agregación Compartida.....	124

3.3.5	Implementación del SeGW (Security Gateway).....	125
3.3.6	Tecnologías de transmisión para el backhaul	126
3.3.7	Carrier Ethernet.....	128
3.3.8	MPLS	131
3.3.9	Requerimientos de Backhaul IP RAN	132
3.3.10	Sincronismo en Single RAN.....	133
3.3.11	Redundancia y Protección.....	135
3.3.12	RAN QoS Requirements.....	137
3.3.13	Pila de Protocolos del Backhaul	139
3.3.14	Single RAN Protocol Stacks.....	141
3.3.15	VLANs y Dot-1q.....	142
3.3.16	VLANs en el Backhaul	144
3.3.16.1	Operación de VLANs en el Backhaul.....	146
3.3.16.2	Escenarios para uso de VLANs en el Backhaul.....	148
3.4	Implementación de Single RAN	153
3.4.1	Arquitectura Multi RAN.....	153
3.4.2	Arquitectura Single RAN.....	154
3.4.3	Ejemplo de Implementación de Single RAN.....	155
3.4.3.1	Etapas 1 – Preparación	157

3.4.3.2	Etapa 2 – Implementación del EPC LTE	158
3.4.3.3	Etapa 3 – Implementación del SeGW y Nodos de Agregación.	159
3.4.3.4	Etapa 4 – Reconfiguración de GERAN/UTRAN	161
3.4.3.5	Etapa 5 – Implementación de Estaciones Base Single RAN MSR.....	163
3.4.3.6	Etapa 6 – Optimización de Single RAN	165
3.4.3.7	Etapa 7 – Racionalización de Redes Heredadas	167
CAPÍTULO IV SOLUCIONES SINGLE RAN Y PRODUCTOS DE FABRICANTES		168
4.1	Principios de las Soluciones Single RAN.....	169
4.1.1	Arquitectura de red Single RAN.....	169
4.1.1.1	BTS en la capa física de la RAN	169
4.1.1.2	BTS en la capa lógica de la RAN	171
4.1.1.3	Mapeo de una BTS en la capa física de la RAN y la capa lógica de la RAN.....	174
4.1.2	Estructura lógica Single RAN.....	175
4.1.2.1	Subsistema de la BTS	175
4.1.2.2	Estructura Funcional de la BTS	177
4.2	Fabricantes Posicionados en Operadores Celulares del Ecuador.	178
4.3	Solución y Productos Single RAN HUAWEI	178
4.3.1	Escenarios de Aplicación	179
4.3.2	DBS 3900.....	180

4.3.2.1	BBU3900	182
4.3.2.2	Configuración de Hardware de la BBU3900 para Single RAN	185
4.4	Solución y Productos Single RAN ZTE	191
4.4.1	Escenarios de Aplicación	192
4.4.2	ZXSDR BS8700.....	193
4.4.2.1	BBU B8200.....	195
4.4.2.2	Configuración de Hardware de la BBU B8200 para Single RAN.....	201
4.5	Solución y Productos Single RAN NOKIA.....	205
4.5.1	Escenarios de Aplicación	207
4.5.1.1	Variante para exteriores e interiores	208
4.5.1.2	Variante solamente para interiores.....	208
4.5.2	BTS Flexi Multiradio 10.....	209
4.5.2.1	BTS Flexi Multiradio 10.....	213
4.5.2.2	System Module FSMF	215
4.5.2.3	Submódulo de extensión de capacidad (FBBA/FBBC).....	219
4.5.2.4	Submódulo de transporte (FTIF)	221
4.6	Comparativa de Soluciones Single RAN.....	224
4.6.1	Concepto de la solución Single RAN	225
4.6.2	Descripción de Hardware Single RAN.....	227

4.6.3	Capacidades Técnicas del Hardware Single RAN.....	228
CAPÍTULO V SINGLE RAN NOKIA.....		232
5.1	Arquitectura de red Single RAN.....	234
5.1.1	Productos de la Solución Single RAN NOKIA	235
5.1.1.1	Estación Base Single RAN (SBTS)	236
5.1.2	Despliegue Single RAN.....	238
5.1.2.1	Reutilización de hardware y Modernización de sitio existente a Single RAN	239
5.2	Operación y Mantenimiento de Single RAN	240
5.2.1	Arquitectura de O&M de Single RAN.....	240
5.2.2	Administrador de elementos basado en web (WebEM)	241
5.3	System Modules de la SBTS.....	243
5.3.1	Compartición de System Modules	245
5.3.2	Refarming	247
5.4	Compartición de Módulos de RF de la SBTS.....	249
5.4.1	Conexión en cascada del RF Module OBSAI.....	250
5.5	Transporte de Backhaul de la SBTS	251
5.5.1	Direccionamiento IP de la SBTS	253
5.5.2	Seguridad IP de la SBTS.....	254
5.5.3	Calidad de Servicio del Transporte de la SBTS.....	255

5.6	Configuración de la SBTS Single RAN.....	256
5.6.1	Configuración por Modelo de Objetos	257
5.6.2	Configuración del sitio SBTS	261
CAPÍTULO VI.....		263
MODELO DE COSTOS SINGLE RAN		263
6.1	Modelo de Costos TCO Single RAN.....	263
6.1.1	Datos de Ingreso del Modelo	266
6.1.1.1	Datos del sitio celular.....	266
6.1.1.2	RF Planning	267
6.1.1.3	Datos de Hardware.....	268
6.1.1.4	Datos Financieros.....	269
6.1.2	Dimensionamiento del Sitio.....	269
6.1.2.1	Dimensionamiento de Banda Base	269
6.1.2.2	Capacidad de Banda Base.....	270
6.1.2.3	Dimensionamiento de RF	271
6.1.3	Cálculos de Costos	272
6.1.3.1	Cálculos de CAPEX.....	273
6.1.3.2	Cálculos de OPEX	273
6.1.3.3	Costo total de Propiedad TCO (Total Cost of Ownership).....	275
6.2	Análisis del modelo de costos para despliegue Overlay vs Single RAN.....	275

6.2.1	Datos iniciales y asunciones	276
6.2.1.1	Datos del sitio	276
6.2.1.2	Datos del Hardware.....	276
6.2.1.3	RF Planning	277
6.2.1.4	Datos Financieros.....	278
6.2.2	Dimensionamiento del sitio	278
6.3	Cálculo de Costos	283
6.3.1	Cálculo de CAPEX	283
6.3.2	Cálculo de OPEX	285
6.3.3	Costos Totales del TCO	286
6.4	Análisis de los resultados de Costos TCO	286
CAPÍTULO VII.....		289
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		289
7.1	Conclusiones	289
7.2	Recomendaciones	291
BIBLIOGRAFÍA.....		293

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Lista de Canales WCDMA</i>	27
Tabla 2 <i>Características Clave de las Interfaces Aéreas de UMTS y LTE</i>	38
Tabla 3 <i>Características Clave de las RAN de UMTS y LTE</i>	40
Tabla 4 <i>Características Clave de las Redes de Core de UMTS y LTE</i>	40
Tabla 5 <i>Categorías de Equipos de Usuario LTE</i>	46
Tabla 6 <i>Escenarios de Implementación de Single RAN y Overlay para redes LTE</i>	86
Tabla 7 <i>Hardware que compone una BBU3900</i>	183
Tabla 8 <i>Configuraciones de Slots BBU3900</i>	184
Tabla 9 <i>Capacidades de Modelos de UMPT</i>	187
Tabla 10 <i>Capacidades de Modelos de WBBP</i>	189
Tabla 11 <i>Capacidades de Modelos de LBBP</i>	190
Tabla 12 <i>Hardware que compone una BBU B8200</i>	199
Tabla 13 <i>Listado de Tarjetas de la BBU B8200</i>	200
Tabla 14 <i>Configuraciones de Slots BBU B8200</i>	200
Tabla 15 <i>Capacidad máxima de la interfaz de aire del System Module</i>	218
Tabla 16 <i>Capacidad máxima de la interfaz de aire del FSFM y la FBBA/FBBC</i>	220
Tabla 17 <i>Interfaces de la FTIF y sus capacidades</i>	224
Tabla 18 <i>Concepto Single RAN HUAWEI vs ZTE vs NOKIA</i>	225
Tabla 19 <i>BTS HUAWEI vs ZTE vs NOKIA para un escenario UMTS + LTE</i>	226
Tabla 20 <i>Espacio requerido para una BTS Single RAN HUAWEI vs ZTE vs NOKIA</i>	228
Tabla 21 <i>Capacidad de Banda Base de 2G/3G/4G HUAWEI vs ZTE vs NOKIA</i>	229
Tabla 22 <i>Interfaces de Transmisión en Single RAN HUAWEI vs ZTE vs NOKIA</i>	230

Tabla 23 <i>Modos de Transporte Soportados por Single RAN</i>	253
Tabla 24 <i>Datos del sitio Celular</i>	267
Tabla 25 <i>RF Planning</i>	268
Tabla 26 <i>Datos de Hardware</i>	268
Tabla 27 <i>Datos Financieros</i>	269
Tabla 28 <i>Funciones de los módulos de Banda Base</i>	270
Tabla 29 <i>Número de Subunidades disponibles para FSMF y FBBA/C</i>	271
Tabla 30 <i>Datos del Sitio Tipo</i>	276
Tabla 31 <i>Datos de Hardware para el Sitio Tipo</i>	277
Tabla 32 <i>RF Planning para el sitio Overlay</i>	277
Tabla 33 <i>RF Planning para el sitio Single RAN</i>	277
Tabla 34 <i>Datos de hardware del sitio con las dos estrategias de despliegue</i>	282
Tabla 35 <i>RF Planning del sitio con las dos estrategias de despliegue</i>	282
Tabla 36 <i>Cálculos de CAPEX para la implementación con Overlay</i>	284
Tabla 37 <i>Cálculos de CAPEX para la implementación con Single RAN</i>	284
Tabla 38 <i>Cálculos de OPEX para la implementación con Overlay</i>	285
Tabla 39 <i>Cálculos de OPEX para la implementación con Single RAN</i>	285
Tabla 40 <i>Valores totales del modelo de costos</i>	286

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Red GSM de Referencia	10
<i>Figura 2.</i> Red UMTS de Referencia	13
<i>Figura 3.</i> Arquitectura de Interfaz Aire de WCDA	14
<i>Figura 4.</i> PSC y OVSF	20
<i>Figura 5.</i> Capas para el dominio de CS. Plano de Control (a) y Plano de Usuario (b)	22
<i>Figura 6.</i> Capas para el dominio de PS. Plano de Control (a) y Plano de Usuario (b).....	25
<i>Figura 7.</i> Capas del Plano de Usuario en el dominio de PS. Arquitectura HSDPA	25
<i>Figura 8.</i> Canales Físicos y de Transporte Release 99	26
<i>Figura 9.</i> Mediciones de Tráfico Global en Redes Móviles, 2007-2012.....	30
<i>Figura 10.</i> Previsiones de Tráfico Global en Redes Móviles, 2011-2016.....	30
<i>Figura 11.</i> Capacidad de Shannon de un Sistema de Comunicación	32
<i>Figura 12.</i> Evolución de la Arquitectura del Sistema de GSM y UMTS a LTE.....	36
<i>Figura 13.</i> Evolución de arquitectura de red móvil.....	41
<i>Figura 14.</i> Arquitectura de Alto Nivel de LTE.....	41
<i>Figura 15.</i> Elementos de Red del Sistema de Paquetes Evolucionado (EPS)	42
<i>Figura 16.</i> Separación Funcional entre la E-UTRAN y el EPC	43
<i>Figura 17.</i> Arquitectura de la Red de E-UTRAN	46
<i>Figura 18.</i> Arquitectura General de la E-UTRAN.....	49
<i>Figura 19.</i> Conceptos Principales de EPC.....	50
<i>Figura 20.</i> Arquitectura de LTE para Roaming.....	54
<i>Figura 21.</i> Relación entre Áreas de Rastreo	55
<i>Figura 22.</i> Identidades Utilizadas por el MME	57

Figura 23. Identidades Temporales utilizadas por el Móvil	58
Figura 24. Arquitectura de Interoperabilidad entre LTE y UMTS.....	59
Figura 25. Arquitectura General de Protocolo para LTE	59
Figura 26. Relación entre el Estrato de Acceso y.....	60
Figura 27. Protocolos de transporte de la Interfaz Aérea	61
Figura 28. Protocolos de Transporte utilizados por la Red de Core.....	62
Figura 29. Pila de Protocolos E-UTRAN para el Plano de Usuario.....	63
Figura 30. Pila de Protocolos E-UTRAN para el Plano de Control.	64
Figura 31. Funciones de Auto Configuración y Optimización Automática.....	66
Figura 32. Pila de Protocolos del Plano de Control para la Interfaz S1	69
Figura 33. Pila de Protocolos del Plano de Usuario para la Interfaz S1.....	70
Figura 34. Pila de Protocolos del Plano de Control para la Interfaz X2	71
Figura 35. Pila de Protocolos del Plano de Usuario para la Interfaz X2	71
Figura 36. Arquitectura de Estación Base Tradicional vs Estación Base Distribuida.....	73
Figura 37. Configuración típica de BTS Legacy.....	74
Figura 38. Torre de radio y equipo BTS utilizados en una típica ubicación de celda.....	76
Figura 39. Arquitectura de BTS Distribuida “Hoteling”.....	77
Figura 40. Arquitectura de BTS Distribuida Todo Outdoor.....	77
Figura 41. Concepto de BTS Remotizada	78
Figura 42. Requisitos de equipos de migración LTE	84
Figura 43. Estrategias de Implementación de LTE: Single RAN vs Overlay	85
Figura 44. Arquitectura de Diseño de Estación Base Común	91
Figura 45. RAN compartida en dos Operadores de Red	92

Figura 46. Red de Core y RAN Compartidas.....	94
Figura 47. Configuración Típica Sitio Celular Single RAT.....	98
Figura 48. Estación Base Single RAN 2G/3G/4G.....	99
Figura 49. Procesos SDR para enlace descendente y enlace ascendente	102
Figura 50. Bandas de Frecuencia para la Operación de Redes MSR	103
Figura 51. Arquitectura de BTS MSR.....	105
Figura 52. Arquitectura de Iniciativas OBSAI y CPRI.....	108
Figura 53. Sitio Celular Localizado vs Distribuido.....	109
Figura 54. Modelos de implementación de BTS Distribuidas	110
Figura 55. Arquitectura general de la Unidad RRH.....	111
Figura 56. Arquitectura general de la Unidad RRH.....	112
Figura 57. Modelos de Implementación Single RAN	113
Figura 58. Ejemplo de Modelo de Implementación Infraestructura Compartida.....	115
Figura 59. Ejemplo de Modelo de Implementación Estación Base Compartida.....	116
Figura 60. Ejemplo de Modelo de Implementación Estación Base MSR Compartida	117
Figura 61. Ejemplo de Modelo de Implementación MSR Frecuencia Compartida	118
Figura 62. Diagrama general de red de acceso y red de backhaul de una red 2G/3G.....	122
Figura 63. Tipos de Arquitecturas de Backhaul	123
Figura 64. Diagrama de Ultima Milla de Backhaul Compartida	124
Figura 65. Diagrama de Backhaul compartido.....	125
Figura 66. Diagrama de Enrutamiento del SeGW.....	126
Figura 67. Opciones de Capa Física de Backhaul	128
Figura 68. Ejemplo de Carrier Ethernet para la Red de Acceso.....	130

Figura 69. Ejemplo de Carrier Ethernet para la Red de Acceso.....	132
Figura 70. Tipos de Sincronismo para IP RAN.....	135
Figura 71. QoS en Backhaul Basado en E1 vs Backhaul Basado en IP	139
Figura 72. Ejemplos de Pila de Protocolos para Backhaul heredado 2G/3G/4G	140
Figura 73. Pila de Protocolos del Backhaul Single RAN.....	142
Figura 74. Tramas Ethernet II con y sin etiqueta de VLAN	144
Figura 75. Backhaul Single RAN utilizando VLANs	145
Figura 76. Ejemplo de Enrutamiento de VLAN.....	147
Figura 77. Ejemplo de Configuración de Red del Operador.....	148
Figura 78. Escenario VLAN para Single RAT.....	150
Figura 79. Escenario VLAN para Multi-RAT y Multi-RAN.....	151
Figura 80. Escenario VLAN para Multi-RAT y Single-RAN.....	152
Figura 81. Arquitectura General de Red Multi RAN	153
Figura 82. Arquitectura General de Red Single RAN.....	154
Figura 83. Plan de implementación Single RAN	156
Figura 84. Cambios Preliminares de Core de CS y Core de PS a Release 5.....	158
Figura 85. Esquema de Integración del EPC LTE a los nodos de Core heredados.....	159
Figura 86. Esquema general de la red backhaul necesaria para Single RAN.....	161
Figura 87. Esquema de Reorganización de TA/RA	163
Figura 88. Diagrama de Implementación de Estación Base Single RAN MSR.....	164
Figura 89. Optimización de Single RAN	166
Figura 90. Racionalización de las Redes Heredadas	167
Figura 91. Nodos BTS en la capa física RAN.....	170

Figura 92. Servicio GBTS en la red lógica GBSS.....	171
Figura 93. Servicio NodeB en la red lógica UTRAN.....	172
Figura 94. Servicio eNodeB en la red lógica E-UTRAN	173
Figura 95. Mapeo de una BTS en la capa física de la RAN y la capa lógica de la RAN.....	174
Figura 96. Subsistemas típicos de una BTS Single RAN.....	175
Figura 97. Estructura Funcional de la BTS	177
Figura 98. Escenarios de Instalación Típicos de la DBS3900	181
Figura 99. Escenarios de Aplicación Típicos de la DBS3900	181
Figura 100. BBU3900	182
Figura 101. Chasis de la BBU3900 con sus Ranuras	184
Figura 102. Configuración típica de la BBU3900.....	184
Figura 103. Panel de la GTMU	186
Figura 104. Panel de la UMPT	187
Figura 105. Panel de la WBBPa.....	188
Figura 106. Panel de la WBBPb.....	188
Figura 107. Panel de la WBBPf	189
Figura 108. Panel de la LBBPd	190
Figura 109. Panel de la UTRPc	191
Figura 110. Solución Uni-RAN.....	192
Figura 111. Diagrama de la ZXSDR BS8700	194
Figura 112. ZXSDR B8200.....	197
Figura 113. Chasis de la BBU B8200 con sus Ranuras	199
Figura 114. Configuración típica de la BBU B8200	199

Figura 115. Panel de la CC.....	203
Figura 116. Panel de la FS.....	204
Figura 117. Panel de la BPL1	205
Figura 118. Panel de la BPN2	205
Figura 119. Arquitectura general de la BTS Flexi Multiradio 10	206
Figura 120. FSMF	215
Figura 121. Estructura Física del FSMF	216
Figura 122. System Module FSMF con los submódulos adicionales	217
Figura 123. Interfaces del FSMF, la FTIF y la PPFD	217
Figura 124. Bloques funcionales del FSMF con FTIF, FBBA/FBBC y PPFD.....	218
Figura 125. Interfaces de la FBBA y la FBBC.....	219
Figura 126. Interfaces de Transporte del FSMF.....	222
Figura 127. Panel de la FTIF con sus interfaces físicas	223
Figura 128. Diagrama de las interfaces lógicas de la FTIF.....	223
Figura 129. Arquitectura de Sistema SRAN	235
Figura 130. Componentes de Single SRAN Nokia	236
Figura 131. BTS Legacy mejorada con Single RAN y nueva RAT de LTE	239
Figura 132. Arquitectura O&M de una SBTS.....	241
Figura 133. Diseño de la interfaz de usuario del Web Element Manager	243
Figura 134. System Module de la BTS Flexi Multiradio 10	244
Figura 135. Configuración de dos System Module (FSMF + FSMF).....	244
Figura 136. Banda Base Multipropósito.....	245
Figura 137. Ampliaciones de capacidad con el System Module.....	246

Figura 138. Ampliaciones de capacidad con el System Module.....	246
Figura 139. Modos de compartición del System Module en 2-RAT y 3-RAT.....	247
Figura 140. Banda de Frecuencia vs área de cobertura de la celda.....	248
Figura 141. Ejemplos de Compartición de RF.....	249
Figura 142. Compartición de RF con y sin compartición de System Module.....	250
Figura 143. Conexión en cascada del RF Module OBSAI.....	251
Figura 144. Compartición de Transporte en Backhaul.....	252
Figura 145. Conexión en cascada del RF Module OBSAI.....	252
Figura 146. Ejemplos de direccionamiento IP para Single RAN.....	254
Figura 147. Descripción general de la solución de extremo a extremo IPsec de Nokia.....	255
Figura 148. Ejemplos de QoS con programadores de nivel 1 y 2.....	256
Figura 149. Modelo de Objeto de Single RAN.....	258
Figura 150. Estructura del Modelo de Costos Single RAN.....	266
Figura 151. Diagrama de flujo de modelado de costos.....	272
Figura 152. Datos Financieros para modelo de costos Single RAN.....	278
Figura 153. Configuración de sitio 3G Overlay.....	279
Figura 154. Configuración de sitio 4G Overlay.....	280
Figura 155. Configuración de sitio 3G/4G Single RAN.....	280
Figura 156. Costos totales de CAPEX.....	287
Figura 157. Costos totales de OPEX.....	287
Figura 158. TCO Total de Single RAN.....	288

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo analizar la solución Single Radio Access Network SRAN, como una estrategia de despliegue de nuevas Tecnologías de Comunicación Móvil para las operadoras Celulares presentes en el Ecuador. Este análisis contempla una comparativa objetiva y técnica de las dos estrategias de implementación de estaciones base: Overlay y Single RAN que, como resultado de la comparativa, evidenciaremos las ventajas de Single RAN en términos de versatilidad para el despliegue y optimización de recursos que producirán ahorro en los costos de implementación del operador. Debido a que Single RAN no está estandarizado se analizarán las propuestas y soluciones de los fabricantes Huawei, ZTE y Nokia; haciendo una descripción rápida de los productos que conforman las soluciones, con el objetivo de determinar la solución más viable técnicamente y la solución que proporcione mayores beneficios al operador, beneficios que puedan ser diferenciadores al momento de desplegar una BTS o incluso una nueva tecnología en la red móvil existente. Posteriormente y como uno de los productos de este documento se analizará a fondo la solución Single RAN seleccionada para luego crear un caso de estudio y comparar técnica y económicamente la implementación de una estación base con las dos estrategias de despliegue: Overlay y Single RAN. Finalmente se elaborará un modelo de costos para analizar económicamente el impacto de la compartición de recursos que propone Single RAN, en términos de ahorro.

PALABRAS CLAVE

- **SINGLE RADIO ACCESS NETWORK**
- **COSTO TOTAL DE PROPIEDAD**
- **OVERLAY**

ABSTRACT

Strategy for new Mobile Communication Technologies to be deployed by Ecuador mobile operators. This analysis includes an objective and technical comparison of the two implementation strategies of base station roll out: Overlay and Single RAN. As a result of the comparison, it will show the advantages of Single RAN in terms of versatility for the deployment and optimization of resources that will boost savings to operators. Because Single RAN is not standardized, the proposals and solutions of Huawei, ZTE and Nokia vendors will be analyzed; making a quick description of the products that compound their solutions, in order to identify the most technically viable solution that provides greatest benefits to mobile operators, benefits that could be the key to success when deploying a BTS or new technology in an existing mobile network. Subsequently, and as one deliverable of this document, the selected Single RAN solution will be analyzed in depth to then create a case study which technically and economically compare the implementation of a base station with the two deployment strategies: Overlay and Single RAN. Finally, a cost model will be developed to economically analyze the impact of resources sharing proposed by Single RAN, in terms of savings.

KEYWORDS:

- **ROLLOUT**
- **SINGLE RADIO ACCESS NETWORK**
- **OVERLAY**
- **VENDOR**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El concepto y la realidad comercial de la Red de Acceso de Radio Única (Single RAN) han existido por algunos años. Sin embargo, tal es el potencial de la tecnología para simplificar la complejidad cada vez mayor de la capa de acceso de radio, que se está desarrollando rápidamente y traerá muchos beneficios nuevos para los operadores móviles.

La idea detrás de Single RAN es simple: operar diferentes tecnologías de radio en una única plataforma de hardware multipropósito. En su forma más desarrollada, Single RAN comprenderá una instalación de radio con transporte común y un sistema operativo y de gestión con seguridad unificada e integrada a través de las RAT (Radio Access Technology). Además, permitirá la coordinación y el funcionamiento de diferentes RAT de forma unificada, además de poder utilizar los RAT existentes para lograr el mejor rendimiento al coordinar sus ventajas.

La modularidad del sistema Single RAN es un componente clave, que permite aumentar la capacidad de acuerdo con la demanda y utilizar el espectro nuevo y existente de manera más eficiente. Además, la eficiencia operativa se puede mejorar mediante el uso compartido de la red, se aumentará la eficiencia energética de la red de radio y se podrá utilizar el software para definir las funciones del hardware y así lograr la máxima flexibilidad, rendimiento y rentabilidad.

Single RAN ya está ayudando a muchos operadores a lograr beneficios sustanciales, pero en los próximos años se espera que la tecnología evolucione sustancialmente. Cuando se trata de Single RAN, lo mejor está por venir.

El ritmo del cambio en las redes de acceso de radio móvil se ha acelerado desde las primeras redes de radio GSM en 1991 y las primeras implementaciones de Single RAN en 2008. Este documento pretende demostrar los beneficios de la solución Single RAN de hoy y revelar algunos de los desarrollos esperados y sus beneficios.

1.1 Justificación e Importancia

Los operadores celulares hoy en día deben hacer frente a un número creciente de desafíos en sus redes. Por un lado, los dispositivos SMART están impulsando la demanda de banda ancha móvil, según el Ericsson Mobility Report de junio de 2018. Cada mes, un teléfono inteligente promedio en América Latina consume 2 Gigabytes, para el año 2020 ese uso podría aumentar casi siete veces a 15 Gb al mes.

Por otro lado, el despliegue de LTE/LTE ADVANCE junto a la ya existente red GSM y UMTS no es solamente el ingreso de una nueva tecnología, sino también implica una nueva red IP de transporte con mayores capacidades que debe coexistir con el acceso de GSM y UMTS.

Estos dos escenarios, entre otros, hacen que las redes celulares sean cada vez más complejas, por lo tanto, equilibrar la inversión entre LTE, 3G y GSM es cada vez más difícil. incrementando los costos CaPex del operador, y los costos OPex por el espacio y recursos de energía adicionales. Para los operadores de todo el mundo, este cambio en el horizonte es un desafío que puede convertirse en una oportunidad.

Una solución Single RAN brinda a los operadores las claves para un futuro simplificado, es una plataforma de red única sobre la cual corren todas las tecnologías y por lo tanto, simplifica las redes, su operación y mantenimiento.

En términos técnicos Single RAN, a diferencia del despliegue OVERLAY, optimiza los recursos en Hardware y Software de:

- **Transmisión:** Un solo canal de transmisión es necesario tomando ventaja de las bondades de las redes de transporte actuales que permiten encapsular la información de diferentes tecnologías sobre un mismo medio.
- **Banda Base:** Un solo chasis de banda base es utilizado, de configuración modular que permite escalabilidad en los recursos de procesamiento según las necesidades de cada estación base.
- **Radio Frecuencia:** Equipos de radio frecuencia de alta potencia, dual band, multi antenas y multi tecnologías, que permiten configuraciones optimizadas y customizadas según los requerimientos de planificación y optimización.
- **Antenas:** Elementos multibanda y multipuerto que permiten concentrar varias tecnologías en diferentes bandas de operación, en un solo elemento.

Todo esto tiene un impacto favorable sobre los requerimientos de espacio físico, infraestructura y energía.

La evolución de las redes es un hecho y Single RAN es la base, una solución completa no solo para hoy, sino también para el mañana. Se adapta perfectamente a las futuras tecnologías, garantizando el rendimiento y eficiencia de las redes y, por consiguiente, incrementando la rentabilidad del operador.

1.2 Objetivos

Los objetivos planteados para el desarrollo del presente trabajo se exponen en los siguientes puntos.

1.2.1 Objetivo General

Analizar la solución Single Radio Access Network - SRAN como una estrategia de despliegue de nuevas tecnologías de comunicación Móvil para las Operadoras Celulares presentes en el Ecuador

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar los recursos necesarios para el despliegue de las tecnologías LTE y LTE ADVANCE.
- Analizar y comparar las estrategias de despliegue de LTE y LTE ADVANCE: OVERLAY y SRAN.
- Describir, analizar y comparar las soluciones SRAN de los 3 fabricantes con más presencia en el Ecuador: HUAWEI, NOKIA y ZTE.
- Identificar el fabricante de equipos con la solución SRAN más adecuada, técnica y económicamente, que permita optimizar los recursos relacionados al despliegue de LTE y LTE ADVANCE en el Ecuador.
- Implementar en una estación base nueva la solución SRAN seleccionada y compararla con una solución OVERLAY de una estación base existente, bajo características de configuración, operación y funcionamiento similares para comprobar los resultados producto de esta investigación.

- Cuantificar en porcentaje y con base en la comparación de las estrategias de despliegue, la optimización de los recursos de obra civil, infraestructura, energía eléctrica, hardware, materiales, costos y tiempos de implementación y recursos técnicos en general.
- Identificar las mejoras y adaptaciones tecnológicas en la RAN de UMTS y LTE que permiten la coexistencia de las dos tecnologías en el mismo hardware.
- Describir en detalle los escenarios y aplicaciones en las cuales la solución SRAN proporciona al operador celular un mejor despliegue de red.

1.3 Metodología

Para el desarrollo de la investigación y tomando en cuenta la naturaleza de esta, se utilizará un método de investigación mixto combinando las técnicas de investigación cuantitativa y cualitativa en dos etapas del trabajo, con el fin de obtener un mejor entendimiento del estudio. El tipo de análisis de datos es comparativo y el tipo de reporte será documental con estructura de proyecto de titulación.

En la primera etapa de la investigación se utilizará una metodología de investigación cualitativa con el fin de analizar y comparar las diferentes soluciones Single RAN en Hardware y Software de los fabricantes HUAWEI, NOKIA y ZTE. Este análisis será realizado aplicando procedimientos interpretativos y analíticos que resulten en la elección de una de estas soluciones como la más idónea, elección basada en la evaluación en varios ámbitos.

El procedimiento de la metodología a ser aplicado es:

1. Investigación y análisis técnico- teórico de las soluciones SRAN de HUAWEI, NOKIA y ZTE.

2. Evaluación de cada una de las soluciones en los siguientes ámbitos:
 - a. Criterio técnico de la teoría de las tecnologías de comunicación inalámbrica
 - b. Versatilidad de adaptación a escenarios reales con configuraciones estándar y personalizadas
3. Elaboración de la matriz comparativa
4. Selección de la solución idónea.

En la segunda fase de la investigación se aplicará una metodología de investigación cuantitativa con el fin de determinar la elegibilidad de una solución Single RAN como estrategia de despliegue para tecnologías UMTS y LTE, sobre una estrategia de despliegue OVERLAY. El análisis será realizado a través de una comparativa objetiva de una radiobase existente desplegada con la estrategia OVERLAY contra una radiobase nueva a ser implementada con la estrategia Single RAN, bajo características de configuración, operación y funcionamiento similares.

Para la comparación se elaborará un Modelo de TCO (Costo total de Propiedad) para cada estrategia de despliegue y se compararán los TCO obtenidos.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 Introducción a las redes UMTS

Desde un inicio, las comunicaciones móviles han estado en constante evolución y se han vuelto cada vez más sofisticadas, sin embargo, a medida que la popularidad de las comunicaciones móviles aumentó en la década de 1990, las redes Celulares Móviles de Segunda Generación (2G) o Global System for Mobile (GSM), fueron incapaces de satisfacer la creciente demanda de mayor capacidad de la red. Al mismo tiempo, debido al auge de Internet, los usuarios demandaron cada vez más rápidas y mejores comunicaciones de datos, algo que las tecnologías 2G no pudieron soportar.

Las redes Celulares Móviles de Tercera Generación (3G) evolucionaron y dieron paso al desarrollo nuevos servicios como: navegación móvil por Internet, correo electrónico, transferencia de datos a alta velocidad y servicios multimedia entre otros. Estos servicios de datos tenían diferentes requisitos de calidad de servicio (QoS) y características de tráfico en términos de ancho de banda requerido. Más importante aún, el tráfico proyectado para estos tipos de datos se esperaba que supere el tráfico de voz, marcando una transición desde el paradigma de la voz al paradigma de los datos.

La tecnología celular existente necesitaba urgentemente un rediseño para maximizar la eficiencia del espectro para el tráfico mixto de servicios de voz y datos, otro desafío fue proporcionar roaming global e interoperabilidad de diferentes sistemas de comunicación móvil a

través de diversos ambientes móviles. Con estos fines, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI) y otras organizaciones de normalización de comunicaciones móviles colaboraron en el desarrollo del Futuro Sistema Público Terrestre de Telecomunicaciones Móviles (FPLMTS), el proyecto fue posteriormente renombrado como International Mobile Telecommunications-2000 (IMT-2000). El objetivo del proyecto era lograr la convergencia de las tecnologías actuales fomentando el trabajo colaborativo para un Globalizado y Compatible Sistema de Comunicaciones Inalámbricas.

El nuevo sistema de comunicación celular móvil 3G, configurado para funcionar en una banda de frecuencia portadora de 2 GHz, debía ser compatible con los sistemas 2G, al tiempo que mejoraba la capacidad del sistema y era compatible con los servicios de voz y datos. Se esperaba que el sistema admitiera servicios de datos con conmutación de circuitos (CS) y con conmutación de paquetes (PS). Para el dominio PS, las tasas de datos compatibles se especificaron para los diversos entornos móviles:

- Interiores o estático - 2 Mbps.
- Urbano exterior y peatonal - 384 kbps.
- Amplia área vehicular - 144 kbps.

De las diversas propuestas iniciales, solamente dos generaron un impacto significativo y se basaron en el Acceso Múltiple por División de Código (CDMA): CDMA2000 1X y el Sistema de Telecomunicación Móvil Universal (UMTS).

- CDMA2000 1X fue creado como una extensión de cdmaOne (IS-95), con mejoras para lograr una alta velocidad de datos y soportar varios servicios 3G. CDMA2000 1X

evolucionó aún más para admitir velocidades de datos aún mayores con una versión de datos optimizada: CDMA2000 1xEV-DO.

- UMTS se basó en la existente Core Network (CN) de la tecnología GSM, pero optó por una tecnología de acceso totalmente nueva, en forma de una versión de banda ancha de CDMA (Wideband CDMA: WCDMA). La propuesta de Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha (WCDMA) ofrecía dos modos de operación diferentes: División de Duplexación por Frecuencia (FDD), donde el tráfico de uplink (UL) y el downlink (DL) son transportados por diferentes canales de radio; y División de Duplexación por Tiempo (TDD), donde se usa el mismo canal de radio para el tráfico UL y DL, pero en diferentes momentos. La evolución para soportar velocidades de datos más altas se logró con la introducción del Acceso de Paquetes de Downlink de Alta Velocidad (HSDPA).

2.1.1 Topología de la Red UMTS

Al momento de desplegar una red WCDMA, muchos operadores celulares ya poseen una red 2G y ya que WCDMA fue pensada como una evolución de la red GSM hacia los servicios de datos 3G, es necesario analizar la arquitectura de la red GSM para posteriormente identificar los cambios necesarios para migrar a WCDMA y finalmente abordar las especificaciones y cambios en la red necesarios para soportar HSDPA.

2.1.1.1 Arquitectura de la Red GSM

La Figura 1 ilustra una Red GSM de Referencia, mostrando los nodos y las interfaces para soportar la operación en los dominios de Circuit Switching (CS) y Packet Switching.

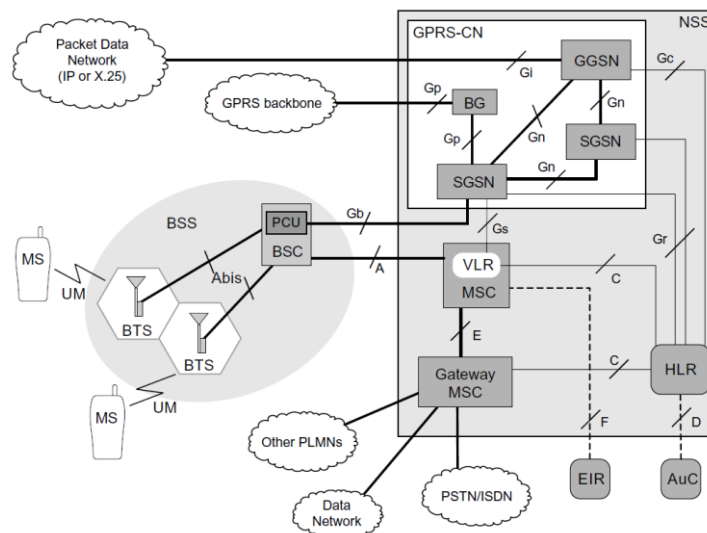


Figura 1. Red GSM de Referencia

Fuente: (Christophe Chevallier, 2006)

En esta red se pueden definir tres sub-redes:

- Subsistema de Estación Base (BSS)

Este Subsistema está compuesto básicamente por la *Base Transceiver Station* (BTS) y la *Base Station Controller* (BSC), estos dos nodos controlan en conjunto la interfaz de acceso GSM. Aun cuando la interfaz entre los dos nodos fue diseñada para ser estándar, en las implementaciones reales las interfaces BTS-BSC son propietarias de cada fabricante, particularmente en términos de Operación y Mantenimiento (O&M).

Cuando la funcionalidad de datos fue añadida a GSM con el desarrollo del Servicio General de Radio por Paquetes (GPRS), un nodo fue agregado a la arquitectura de red para establecer la interfaz entre el *Core Network* de datos (GPRS-CN) y la Red de Acceso (RAN), este nodo es la Unidad de Control de Paquetes (PCU). Las interfaces que comunican el Subsistema de Estación Base y el Subsistema de Red y Conmutación (NSS)

se denominan “A” para el dominio y señalización de CS, y “Gb” para el tráfico del dominio de PS.

- Subsistema de Red y Conmutación (NSS)

Este Subsistema está conformado principalmente por el Centro de Conmutación Móvil (MSC) que cumple con la importante tarea de enrutar las llamadas hacia y desde el Terminal Móvil. Para fines de administración de la red, nodos adicionales son introducidos en el NSS ya sea internamente o externamente, su principal propósito es mantener un seguimiento, en el Registro de ubicación local (HLR), de la información de suscripción junto con sus privilegios. Estos nodos cumplen adicionalmente la función de dar el seguimiento de la movilidad de los suscriptores en el Registro de ubicación de visitantes (HLR) y el Registro de ubicación de visitantes (VLR).

Otros dos nodos gestionan problemas relacionados a la seguridad de la red, el Registro de identidad del equipo (EIR) se encarga de verificar el estado del Teléfono Móvil (es decir el hardware), mientras que el Centro de autenticación (AuC) administra la seguridad asociada con el Módulo de identidad del suscriptor (SIM). El ultimo nodo descrito en la Figura 1 es el Gateway-MSC (GMSC), para todos los propósitos prácticos el GMSC se diferencia del MSC, solamente por establecer la interfaz con otras redes como la Red de Telefónica Pública (PSTN); y generalmente estos dos elementos de la red están integrados en un mismo nodo.

- Servicio General de Radio por Paquetes, Core Network (GPRS-CN).

Como parte del NSS, dos nodos son definidos para el manejo de GPRS, el Nodo de Soporte Servidor de GPRS (SGSN) funciona de forma similar al MSC usado en el dominio

de CS, para el dominio de PS el SGSN cumple con la importante tarea de enrutar las llamadas de datos hacia y desde el Terminal Móvil; por otro lado el Nodo de Soporte Gateway de GPRS (GGSN) tiene un funcionamiento similar al GMSC usado para los servicios de CS, estableciendo interfaces con redes externas.

Los dos nodos antes mencionados basan su operación en los subsistemas existentes BSS y NSS, principalmente en el VLR y HLR para administrar la movilidad y las suscripciones, debido a esto las interfaces Gs y Gr, desde el SGSN al VLR y HLR respectivamente.

La arquitectura de red que se muestra en la Figura 1 define también el Nodo *Border Gateway* (BG) que hace posible la interconexión entre diferentes redes GPRS para permitir el roaming mientras que la Unidad de Control de Paquetes (PCU) se encarga de administrar y enrutar el tráfico GPRS al BSS.

2.1.1.2 Overlay UMTS

Como se mencionó anteriormente, UMTS se basa en la red de referencia GSM y, por lo tanto, comparte la mayoría de los nodos de los subsistemas NSS y General Packet Radio Service GPRS, Core Network (GPRS-CN). El BSS se mantiene en la red de referencia UMTS como complemento de la nueva Red de Acceso de Radio Terrestre Universal (UTRAN), que se compone de múltiples Sistemas de Red de Radio (RNS) como se muestra en la Figura 2.

En comparación con la red de referencia GSM, la introducción del Controlador de Red de Radio (RNC) y el nodo B dentro del RNS son la única diferencia. Esencialmente, estos dos nodos introducidos en la red de referencia UMTS realizan tareas equivalentes a la BSC y BTS respectivamente, en la arquitectura GSM.

Con la adición de estos nuevos nodos, se definen varias interfaces nuevas hacia el NSS, la interfaz Iub es equivalente a la Abis, Iu-CS es equivalente a la interfaz A y la interfaz Iu-PS es equivalente a la Gb. Además, se crea una nueva interfaz Iur utilizada para administrar el Handover (HO) de un suscriptor entre todos los RNC existentes dentro de la misma UTRAN.

Desde un punto de vista práctico, en la implementación de una red UMTS los nodos comunes entre GSM y UMTS no se duplicarán, puesto que los nodos originales soportarán el tráfico 2G y 3G.

2.1.1.3 Arquitectura de red UMTS

Las implementaciones iniciales de redes WCDMA cumplen con el Release 99 de la norma. Este estándar o familia de estándares, comenzó a evolucionar incluso antes de implementarse completamente, para abordar las limitaciones de Release 99, así como para incluir avances técnicos.

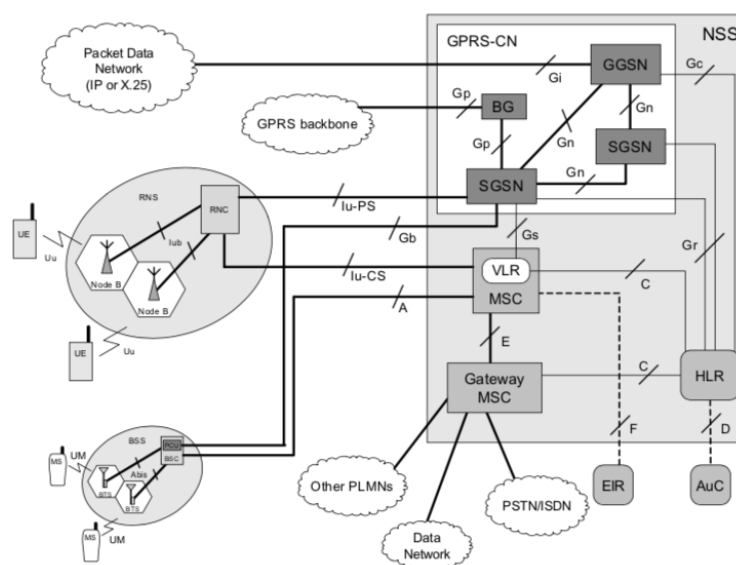


Figura 2. Red UMTS de Referencia

Fuente: (Christophe Chevallier, 2006)

En un nivel superior, la migración de UMTS desde el Release 99 a Release 4, 5 y 6 no cambia la estructura de la red, sin embargo, algunos detalles difieren, por ejemplo: el transporte para las interfaces cambia del Modo de transferencia asíncrono (ATM) en el Release 99 al Modo Todo IP en el Release 5.

2.1.2 Conceptos de WCDMA

La Figura 3 resume los aspectos físicos de la interfaz aire de WCDMA, donde el flujo de información a 3.84 Mega Chips por Segundo (Mcps) se divide en frames de radio de 10ms, luego cada uno de estos frames es dividido en 15 slots de 2560 chips cada uno. En WCDMA se introduce el concepto de Chips en lugar del concepto ya conocido de bits, el chip es la unidad base en WCDMA. Los bits de los diferentes canales se codifican representando cada bit por un número variable de chips. Lo que representa cada chip dependerá del canal.

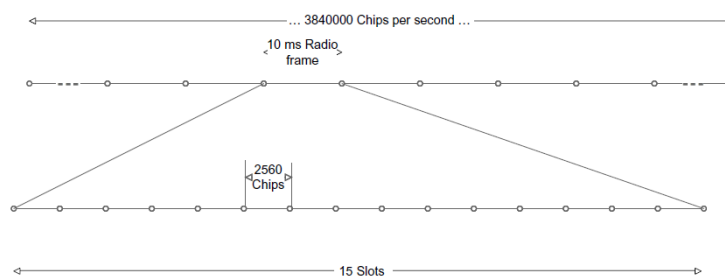


Figura 3. Arquitectura de Interfaz Aire de WCDA
Fuente: (Christophe Chevallier, 2006)

2.1.2.1 Procedimientos de la capa física de WCDMA

En el proceso de discusión de los estándares 3G, la eficiencia de la interfaz aire, que puede traducirse en capacidad de acceso, fue uno de los principales criterios utilizados para evaluar las diferentes propuestas. Para ese momento, importantes implementaciones mundiales de redes

basadas en 2G con tecnología CDMA, habían demostrado la capacidad de la tecnología para ofrecer sistemas con alta eficiencia espectral. Los conceptos descritos a continuación son los más importantes en cualquier tecnología CDMA.

2.1.2.1.1 Control de Potencia

El Control de Potencia es crítico en una red CDMA, puesto que asegura que la energía utilizada para establecer los links sea la suficiente, links de Downlink desde la Estación Base al Dispositivo Móvil, o links de Uplink desde el dispositivo móvil a la Estación Base. De estos dos tipos de links, los de Uplink son los más críticos, ya que este link asegura que todas las instancias del Equipo de Usuario (UE) sean detectadas por las celdas de la estación base a una misma potencia, como consecuencia cada Equipo de Usuario contribuye equitativamente a la interferencia total recibida por las celdas, impidiendo que algún Equipo de Usuario supere la potencia de Uplink impactado en la sensibilidad de recepción de la celda. El Control de Potencia es muy importante ya que, sin él, cualquier Equipo de Usuario que se encuentre cerca de la Estación Base y transmita a máxima potencia, ocasionaría que los demás usuarios no sean detectados por la celda quedando ocultos por la fuerte señal del usuario cercano, que crea una cantidad desproporcionada de interferencia.

En el caso del enlace de Downlink, el control de potencia tiene un propósito diferente, ya que la potencia del Nodo B debe ser repartida entre los canales comunes y los canales dedicados para todos los usuarios activos. Estos canales son ortogonales entre si (con la excepción del Canal de sincronización), lo que permite que la potencia de downlink no sea percibida como una interferencia. Sin embargo, el Control de Potencia aun es necesario para garantizar que un canal determinado utilice solo la potencia que necesita, incrementando la potencia disponible para otros usuarios, lo que se traduce en un aumento efectivo de la capacidad del sistema.

Conceptualmente, el Control de Potencia se completa en dos pasos:

- Estimación de la Calidad Mínima Aceptable
- Garantizar una mínima potencia para mantener esta calidad Mínima Aceptable

El control de potencia del bucle externo maneja el primer paso mientras que el bucle interno maneja el segundo. Idealmente, el bucle externo debería monitorear la tasa de error de bloque (BLER) de cualquier canal establecido y compararlo con el objetivo seleccionado, si difieren, se ajusta la Calidad Mínima Aceptable, estimada en términos de Relación Señal-Interferencia (SIR). El control de potencia de bucle cerrado puede entonces comparar, en función de cada slot, el SIR medido y deseado, y enviar comandos de ajuste de incremento o decremento de la potencia. Los procesos de control de potencia se ejecutan de manera independiente en Uplink y Downlink, y cada uno de ellos señala el ajuste requerido mediante los Bits de Control de Potencia de Transmisión (TPC), el proceso de Downlink transporta los bits TPC que indican la calidad en Uplink, mientras que el proceso de Uplink transporta los bits TPC que indican la calidad en Downlink.

Sobre la base de la estructura de frame y slot (frames de radio de 10 ms que consisten en 15 slots cada uno), podemos deducir que los bits TPC se envían a 1500 Hz, que es la velocidad del bucle interno, por otra parte, el bucle externo no está tan estrictamente controlado por el estándar y, por lo tanto, depende de la implementación. Además, aunque el propósito del bucle cerrado es asegurar que se cumpla el objetivo de BLER, la implementación puede basarse en otras mediciones como SIR y pasar o fallar la verificación de redundancia cíclica (CRC).

2.1.2.1.2 Soft Handover

El Soft Handover es el proceso que permite que una conexión sea establecida simultáneamente por varias celdas, agregándolas y eliminándolas según sea necesario. Esta característica es posible en WCDMA porque todas las celdas usan la misma frecuencia y están separadas solo por códigos: un solo receptor puede detectar las diferentes celdas servidoras únicamente mediante procesamiento. La necesidad de un Soft Handover en un sistema WCDMA está interrelacionada con la función de control de potencia, pues al realizar el Soft Handover se garantiza que un UE que se encuentre en el límite entre varias celdas, use la mínima potencia de transmisión en cada conexión y desconexión de las celdas. En el enlace de Uplink, es necesario evitar la sobrecarga de los otros UE conectados a la celda mientras que en el enlace de Downlink no es tan crítico, pero es una buena práctica porque maximiza la capacidad y aumenta la confiabilidad del enlace. Una vez que el Soft Handover es habilitado en la red, el UE debe monitorear constantemente las celdas para usar el mejor enlace posible, durante este proceso surgen los siguientes beneficios adicionales:

- En el enlace de Downlink, el UE puede combinar las diferentes señales recibidas para aumentar la confiabilidad de la demodulación, al combinar las señales de diferentes celdas servidoras, el SIR efectivo aumenta lo que reduce la potencia de transmisión, se requiere aún menos potencia que la necesaria en el mejor enlace. Esto se denomina *Soft Combining Gain* (Ganancia de Combinación Suave). Además, el hecho de que el UE se pueda conectar a varios servidores a la vez aumenta la confiabilidad del enlace y, por lo tanto, proporciona una ganancia de diversidad, generalmente denominada *Macro-Diversity Gain* (Ganancia de Diversidad Macro).

- En el enlace de Uplink, de igual manera se presenta la *Macro-Diversity Gain*, sin embargo, la *Soft Combining Gain* depende de otros factores. Si las celdas que intervienen en el Soft Handover no pertenecen al mismo Nodo B, no es posible combinar las señales antes de demodularlas, en su lugar, todas las tramas demoduladas se envían a la RNC, que decide cuál usar para el Soft Handover. Este proceso aún proporciona una ganancia en comparación con un solo enlace, ya que aumenta la probabilidad de tener al menos un enlace sin errores.

Como se ha explicado, el Soft Handover ofrece importantes ventajas, aumenta la fiabilidad de la transmisión y reduce los requisitos de potencia para cada enlace utilizado. Pero en contraposición, el Soft Handover también presenta inconvenientes dado que la información debe ser enviada a través de múltiples enlaces y a múltiples receptores, esa repetición disminuye la eficiencia de utilización de recursos, a esto se suma el hecho de que lograr el equilibrio entre las Ganancias de Handover y la utilización de recursos es un proceso delicado, controlado por múltiples parámetros, equilibrio que se puede establecer solamente cuando los enlaces que contribuyen significativamente a la calidad de transmisión se incluyen en el proceso de Handover.

2.1.2.1.3 Canalización, Spreading y Scrambling

El Soft Handover es posible en un sistema WCDMA porque todas las celdas de los Nodos B se transmiten utilizando la misma frecuencia. Esta reutilización de frecuencia tanto para el Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA) como para el Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA), requiere varios códigos para diferenciar entre celdas y usuarios. Estos códigos deben introducirse tanto en los enlaces de Uplink como en los enlaces de Downlink, ya que las restricciones en cada enlace son diferentes.

En el enlace de Downlink, el primer requisito es diferenciar las distintas celdas. En el mundo TDMA/FDMA, esto se logra utilizando una frecuencia diferente para cada celda, pero en el mundo WCDMA las celdas se discriminan mediante el uso del PSC (*Primary Scrambling Code*). Para entender el funcionamiento del PSC se puede establecer la siguiente analogía: un mensaje codificado por sí solo se percibe como letras aleatorias, solamente el receptor con la clave de cifrado adecuada (PSC en un sistema WCDMA) puede decodificar el mensaje. Estos mensajes pueden hacer referencia a un tema o varios temas diferentes. Estos temas pueden compararse con los diferentes canales para los cuales se definen reglas puntuales, estas reglas corresponderían a los diferentes códigos de canalización que permiten que los mensajes sean decodificados. Al igual que solo un conjunto limitado de reglas constituye un lenguaje para garantizar que todos lo entiendan, solo se utiliza un número limitado de códigos de canalización para simplificar la implementación.

Para extender la analogía, varias palabras en una oración expresan típicamente una sola idea; este es el principio de la propagación (*spreading*), donde varios chips representan un bit. Al igual que en un idioma, donde perder una sola palabra no impide comprender la idea, perder el valor exacto de un chip no compromete la demodulación del bit correspondiente. En el mundo WCDMA, la propagación o el transporte de un solo bit a través de múltiples chips, se realiza a nivel de canal, antes de que el PSC cifre todo el mensaje. Multiplicar una señal con un PSC no logra la propagación, solo modifica aleatoriamente la señal como se ilustra en Figura 4 (a).

Dentro de la celda, los diferentes canales están separados por su propio conjunto de reglas, el Factor de Propagación Variable Ortogonal (OVSF). El OVSF maneja la propagación de la señal, como se ilustra en la Figura 4 (b), y tiene dos características principales: una propiedad de ortogonalidad y el hecho de que la ortogonalidad se conserve entre OVSF de longitudes variables.

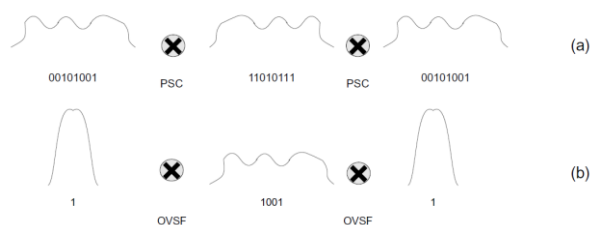


Figura 4. PSC y OVSF
Fuente: (Christophe Chevallier, 2006)

- La propiedad de ortogonalidad del OVSF garantiza que diferentes usuarios de la misma celda no se interfieran entre sí. Si una señal codificada con un OVSF dado se decodifica con un OVSF diferente, la señal resultante da un número igual de 1s (-1) y 0s (+1). El resultado es una señal nula promedio.
- El aspecto variable del OVSF admite diferentes velocidades de datos del mismo árbol de códigos, las velocidades de datos bajas se pueden codificar con OVSF largos mientras que las tasas de datos altas se codifican con OVSF cortos. La longitud del OVSF se refiere al número de chips para un solo bit de entrada, un bit codificado con una longitud de OVSF de 256 estará representado por 256 chips, mientras que un bit codificado con una longitud de OVSF de 4 estará representado por 4 chips. Usar un largo OVSF tiene la ventaja de agregar redundancia a la información transmitida, el impacto de esta redundancia se ve en la ganancia de propagación, es decir, la proporción de bits de usuario por chips transmitidos.

Usados en conjunto y con solo un número limitado de códigos, el PSC y el OVSF pueden distinguir entre celdas y usuarios. Sin el PSC, el receptor no puede reconstruir los mensajes enviados por las diferentes celdas, una vez que se reconstruye el mensaje, el mismo conjunto de reglas OVSF se puede reutilizar para demodular los mensajes.

2.1.2.1.4 Codificación de Canal

Todos los procedimientos de la Capa Física descritos en las secciones anteriores son necesarios para la implementación eficiente de WCDMA. Además de estos procedimientos obligatorios, la codificación de canales protege aún más contra los errores de transmisión causados por la repetición de la información en múltiples eventos y la propagación de las retransmisiones a lo largo del tiempo.

Para la codificación de canales, se pueden usar codificadores turbo o convolucionales. Los codificadores convolucionales se aplican principalmente a la información sensible a retrasos, ya que el retraso resultante es relativamente corto, pero se ve afectado por la tasa del código y una restricción en la cantidad de información a ser codificada. Por otro lado, los codificadores turbo deben tomar un bloque de datos antes de generar el bloque codificado, para que la codificación turbo sea eficiente, el bloque debe contener una gran cantidad de datos, generalmente más de 320 símbolos, lo que provoca un retraso significativo en los procesos de codificación y decodificación.

2.1.2.2 Conceptos de Señalización de UMTS

Para comprender la señalización, o más generalmente el intercambio de datos en WCDMA, es importante entender la estructura de capas y su relación con los distintos nodos, tanto para el plano de control (señalización) como para el plano del usuario (datos del usuario). WCDMA ofrece una pila de protocolos altamente estructurada con una clara delimitación entre las funciones de cada entidad.

2.1.2.2.1 Conceptos de Estructura por Capas

Desde un punto de vista general de la red, la primera distinción que se puede hacer es entre las funciones de acceso de radio y las funciones de Core, la segunda distinción es entre el plano de control o señalización y el plano de usuario (datos de usuario). Para el plano de control, todas las capas terminan en los nodos controlados por los operadores; para el plano de usuario, la capa superior garantiza la conexión de usuario a usuario. La Figura 5 ilustra estos conceptos según se aplican al dominio de CS.

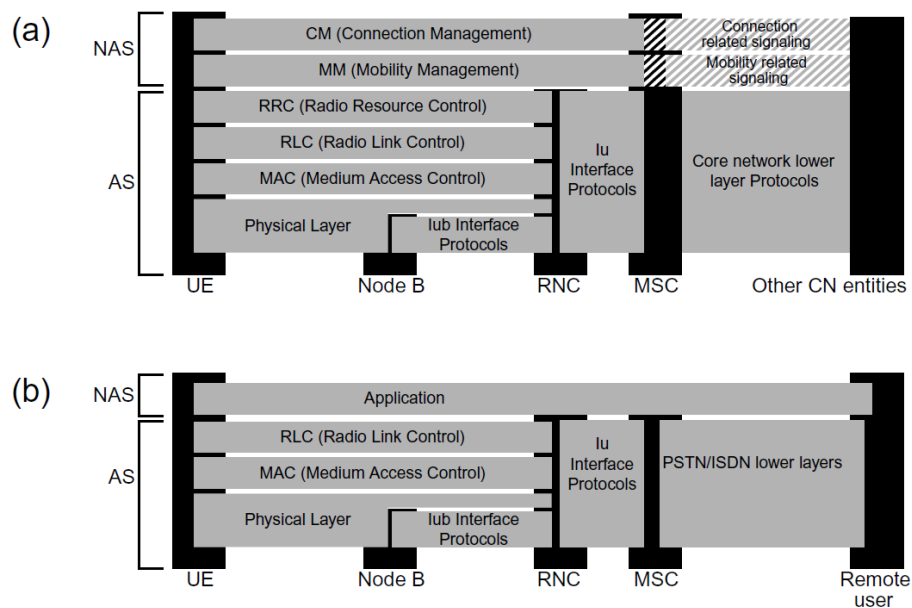


Figura 5. Capas para el dominio de CS. Plano de Control (a) y Plano de Usuario (b)

Fuente: (Christophe Chevallier, 2006)

El procesamiento específico de WCDMA ocurre en la Red de Acceso, en las tres capas inferiores que son similares en ambos planos, control y usuario.

- **Control de enlace de radio (RLC):** Configura el mecanismo de entrega asegurándose de que los datos enviados se reciben en el extremo distante.

- **Control de acceso al medio (MAC):** Permite enviar múltiples flujos de información a través de un solo canal físico.
- **Capa física (Capa 1):** Transmite el flujo de información combinado a través de la interfaz aérea WCDMA (Uu).

Para cada capa, se definen y asignan diferentes canales entre sí: los canales lógicos están asociados con el Control de Enlace de Radio (RLC), los canales de transporte con Control de Acceso Medio (MAC) y los canales físicos con Capas Físicas.

En la Figura 6, podemos observar que la capa física no está completamente contenida dentro del nodo B. El control de potencia del bucle externo y la selección de trama se producen en el RNC, aunque sean procesos de capa física, esto confirma que en la UTRAN la RNC es un nodo crítico.

Además de parte del procesamiento de la Capa Física, la RNC es responsable de la supervisión del enlace (RLC) y cualquier multiplexación/ensamblaje (MAC) de los canales. En el nivel de RLC, la supervisión del enlace se realiza en uno de los tres modos: Modo transparente (TM), Modo reconocido (AM) o Modo no reconocido (UM). El modo apropiado depende de las restricciones de tiempo y la tolerancia de error de la información:

- **Modo Transparente (TM):** Normalmente se utiliza para la carga útil del usuario para servicios de voz. Para la voz, la entrega de paquetes de vocoder a una velocidad constante es más importante que la transmisión sin errores; el vocoder puede disimular errores si están por debajo de un pequeño porcentaje, generalmente 1% o 2%. En el Modo Transparente, el RLC no verifica que los paquetes solo los pasan a las capas superiores, en el peor de los casos, la retransmisión se puede lograr en la capa de aplicación cuando el usuario lo solicita.

- **Modo Reconocido (AM):** Se utiliza cuando la información debe ser enviada sin errores. A cada paquete se le asigna un número de secuencia para que sea reconocido individualmente y entregado en la misma secuencia a las capas más altas. Una aplicación típica son los mensajes de correo electrónico, donde el contenido es más importante que cualquier latencia en la entrega.
- **Modo No Reconocido (UM):** Se utiliza para las aplicaciones que deben recibir paquetes en orden, pero no están limitadas por error ni por retardo. Algunos ejemplos son la transmisión multimedia y algunos tipos de señalización. El modo no reconocido es apropiado para paquetes que pueden procesarse en la capa RLC, pero para los cuales no se solicita la retransmisión si se detectan errores. Para los paquetes de mensajería unificada, el procesamiento generalmente se limita a la reordenación, el cifrado o la segmentación/concatenación.

En el dominio de PS, la estructura es similar para el plano de control con la excepción de los nodos de terminales, como se muestra en la Figura 6 (a). El plano de usuario de PS representado en la Figura 6 (b) muestra diferencias más pronunciadas con respecto al plano de usuario de CS. El Protocolo de convergencia de datos en paquetes (PDCP) se utiliza principalmente para la compresión del encabezado, para transferir paquetes TCP/IP de manera más eficiente a través de la interfaz inalámbrica. El protocolo de datos en paquetes (PDP) crea y administra las variables asociadas para las sesiones de datos en paquetes. Por ejemplo, cuando se requiere una sesión de IP, las direcciones de IP que identifican al UE para una sesión se asignan en esa capa.

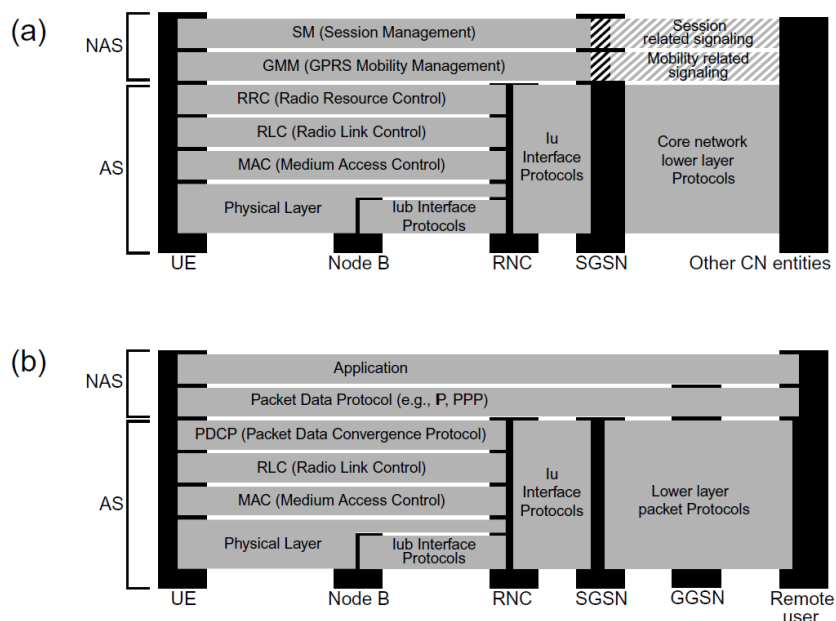


Figura 6. Capas para el dominio de PS. Plano de Control (a) y Plano de Usuario (b)
Fuente: (Christophe Chevallier, 2006)

A medida que los sistemas evolucionaron e incorporaron HSDPA, la capa de dominio de PS cambió como se muestra en la Figura 7, para acelerar el procesamiento de la Capa Física, toda la Capa 1 termina en el Nodo B, el inconveniente es que la capa MAC debe extenderse al Nodo B, con la introducción de una entidad MAC específica dedicada a datos de alta velocidad, esta es la MAC-hs.

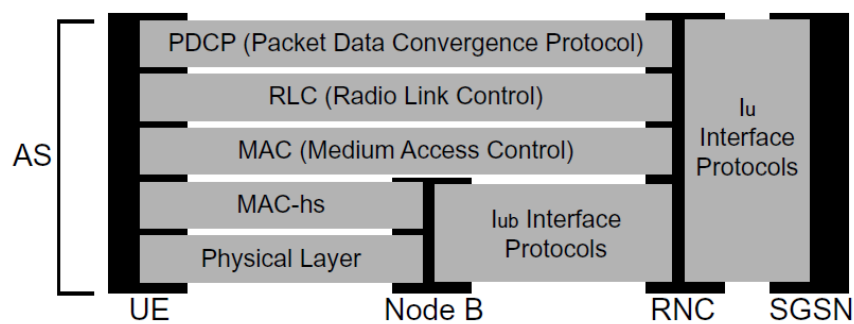


Figura 7. Capas del Plano de Usuario en el dominio de PS. Arquitectura HSDPA
Fuente: (Christophe Chevallier, 2006)

Como podemos notar la Figura 7 no muestra el plano de control; esto se debe a que HSDPA solo admite el plano de usuario, el plano de control se mantiene en el dominio de PS.

Además de las tres capas básicas utilizadas en todos los dominios (paquetes/PS o circuitos/CS) y todos los planos (datos de usuario/plano de usuario o datos de señalización/plano de control), se define una capa en el plano de control que define los mensajes intercambiados entre el RNC y el UE, esta capa es la de Control de Recursos de Radio (RRC). El RRC define los mensajes intercambiados entre el RNC y el UE, que inician el establecimiento de la conexión, el proceso de desconexión o la reconfiguración.

2.1.2.3 Canales Físicos, Lógicos y de Transporte

La Figura 8 muestra los diferentes canales del Release 99 y la operación HSDPA, junto con la forma en que se mapean entre las diferentes capas. En la capa física, algunos de los canales, por ejemplo, el Canal de Sincronización (SCH) y el Canal Piloto Común (CPICH), no se asignan a ningún canal de transporte, esto se debe a que estos canales solo admiten procedimientos de capa física puesto que no se transmiten datos reales de capas superiores sobre ellos. Además de mostrar los canales lógicos, canales de transporte y canales físicos, la Figura 8 también muestra las asignaciones entre ellos, junto con el modo RLC normalmente utilizado para estos canales.

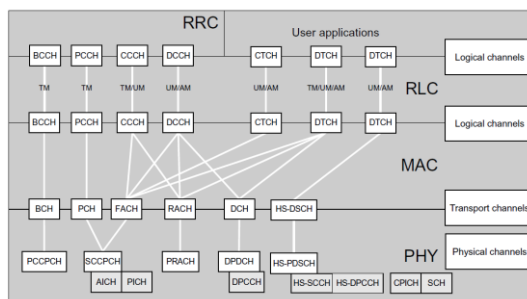


Figura 8. Canales Físicos y de Transporte Release 99
Fuente: (Christophe Chevallier, 2006)

Durante la optimización, es importante comprender qué procesos están asociados con cada tipo de canal; los canales físicos están asociados con todos los procesos de codificación y control de potencia de bucle cerrado; los canales de transporte están asociados con algunas de las mediciones críticas del canal, como los objetivos BLER o SIR, ya que estos valores se establecen por canal de transporte. Otros canales físicos se utilizan para procedimientos físicos o programación, pero no se asignan directamente a los canales de transporte; sin embargo, sí llevan información relacionada con estos procedimientos físicos.

Los canales de este grupo incluyen el Canal Indicador de Adquisición (AICH), el Canal Indicador de Paginación (PICH), el Canal de Control Físico Dedicado (DPCCH), el Canal de Control Compartido de Alta Velocidad (HS-SCCH) y el Canal de Control Físico Dedicado de Alta Velocidad (HS-DPCCH). Por ejemplo, el DPCCH es un canal que no transporta ningún usuario ni información de señalización pero que contiene información para ayudar al receptor a decodificar la información que lleva el Canal de Datos Físicos Dedicados (DPDCH).

La Tabla 1 enumera los canales que se muestran en la Figura 8, junto con sus usos principales.

Tabla 1
Lista de Canales WCDMA

Nombre de canal	Descripción
BCCH - Canal De Control De Transmisión	Canal Lógico que envía el Bloque de Información del Sistema (SIB)
BCH - Canal De Difusión	Canal de Transporte que lleva el BCCH.
PCCPCH - Canal Físico De Control Común Primario	Canal Físico portador del BCH.
PCCH - Canal De Control De Paging	Canal Lógico que lleva las páginas al UE.
PCH - Canal De Paging	Canal de Transporte que lleva el PCCH.
CCCH - Canal De Control Común	Canal Lógico que lleva la señalización común, por ejemplo, mensaje de configuración de conexión RRC
FACH - Canal De Acceso Directo	Canal de Transporte que lleva el canal de control común y dedicado, así como la carga útil del usuario en ciertos estados conectados (Cell_FACH)

CONTINÚA

SCCPCH - Canal Físico De Control Común Secundario	Canal Físico portador de los canales PCH y FACH.
AICH - Canal Indicador De Adquisición	Canal Físico utilizado por la celda para ACK la recepción de información preliminar del RACH
PICH - Canal Indicador De Paging	Canal Físico utilizado por la celda para informar a un grupo de UE que un mensaje de paging puede dirigirse a ellos
DCCH - Canal De Control Dedicado	Canal Lógico utilizado para llevar la señalización dedicada de Capa 3 (RRC) al UE
RACH - Canal De Acceso Aleatorio	Canal de Transporte utilizado por el UE para transportar la señalización o la carga útil del usuario
PRACH - Físico RACH	Canal Físico utilizado para transportar el RACH.
CTCH - Canal De Tráfico Común	Canal Lógico utilizado para transportar carga útil común, por ejemplo, servicios de difusión o multidifusión
DTCH - Canal De Tráfico Dedicado	Canal Lógico utilizado para transportar la carga útil del usuario.
DCH - Canal Dedicado	Canal de Transporte utilizado para transportar señalización dedicada (DCCH) o carga útil (DTCH)
DPDCH - Canal De Datos Físicos Dedicado	Canal Físico utilizado para llevar el DCH.
DPCCH - Canal De Control Físico Dedicado	Canal Físico utilizado para transportar información relacionada con la operación de la capa física, por ejemplo, bits de control de potencia o piloto dedicados
HS-DSCH - Canal Compartido De Enlace Descendente De Alta Velocidad	Canal de Transporte utilizado para llevar la carga útil del usuario. A diferencia del DCH, solo la carga útil del usuario se transporta a través del HS-DSCH
HS-PDSCH - Canal Compartido De Enlace Descendente Físico De Alta Velocidad	Canal Físico utilizado para llevar el HS-DSCH.
HS-SCCH - Canal De Control Compartido De Alta Velocidad	Canal Físico utilizado para transportar información de control específica de HS, por ejemplo, modulación, Tamaño de Bloque de Transporte (TBS), o información relacionada con HARQ
HS-DPCCH - Canal De Control Físico Dedicado De Alta Velocidad	Canal Físico de Uplink utilizado por el UE para transportar el indicador de calidad del canal (CQI) e información de acuse de recibo.
CPICH – Canal Piloto Común	Canal Físico utilizado para la identificación de la celda y la estimación del canal.
SCH - Canal De Sincronización	Canal Físico utilizado por el UE para detectar la presencia de la portadora WCDMA (SCH primario: P-SCH) y sincronizar con el límite de la trama de radio (SCH secundario: S-SCH)

2.2 Introducción a las redes LTE

La Evolución a Largo Plazo (LTE) ha sido diseñada para soportar, en primera instancia, solo los servicios de paquetes conmutados. Su objetivo es proporcionar una conectividad de Protocolo

de Internet (IP) sin interrupciones entre el equipo del usuario (UE) y la red de paquetes de datos (PDN), sin interrumpir las aplicaciones de los usuarios finales durante la movilidad.

Si bien el término “LTE” abarca la evolución del acceso por radio del Sistema de Telecomunicaciones Móviles Universales (UMTS) a través de la UTRAN Evolucionada (E-UTRAN), está acompañado por una evolución de los aspectos no relacionados con la radio bajo el término “Evolución de la Arquitectura del Sistema”. (SAE), que incluye la red Evolved Packet Core (EPC). Juntos, LTE y SAE comprenden el Sistema de paquetes evolucionados (EPS).

2.2.1 La Necesidad de LTE

Motivado por la creciente demanda de servicios de banda ancha móvil con mayores tasas de datos y Calidad de servicio (QoS), el 3GPP comenzó a trabajar en dos proyectos paralelos, Evolución a largo plazo (LTE) y Evolución de la arquitectura del sistema (SAE), que tienen la intención de definir tanto la red de acceso de radio (RAN) y el núcleo de la red del sistema, y se incluyen en 3GPP Release 8. LTE / SAE, también conocido como Evolved Packet System (EPS), representa un paso radical para la industria inalámbrica que pretende proporcionar un servicio altamente eficiente, de baja latencia, optimizado para paquetes y más seguro.

2.2.1.1 El Crecimiento de los Datos Móviles

Durante muchos años, las llamadas de voz dominaron el tráfico en las redes de telecomunicaciones móviles, por otro lado, el crecimiento de los datos móviles fue inicialmente lento, pero en los años previos a 2010 su uso comenzó a aumentar de forma importante. Para ilustrar esto, la Figura 9 muestra las medidas de Ericsson del tráfico total, en petabytes (millones de gigabytes), que manejan las redes móviles en todo el mundo por mes (Ericsson, 2011). La cifra

cubre el período comprendido entre enero de 2007 y septiembre de 2012, tiempo durante el cual la cantidad de tráfico de datos aumentó en un factor de más de 200. Desde el año 2012 los pronósticos del tráfico móvil, garantizaban la continuidad de esta tendencia de crecimiento acelerado, por ejemplo, la Figura 10 muestra los pronósticos de Análisis Mason sobre el crecimiento del tráfico móvil en el período de 2011 a 2016.

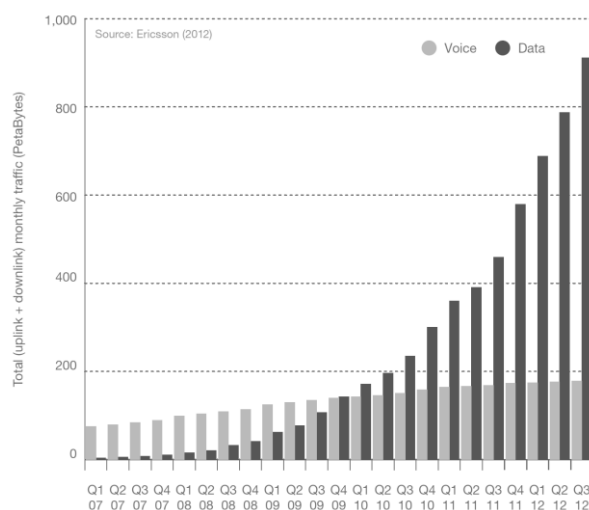


Figura 9. Mediciones de Tráfico Global en Redes Móviles, 2007-2012

Fuente: (Cox, 2012)

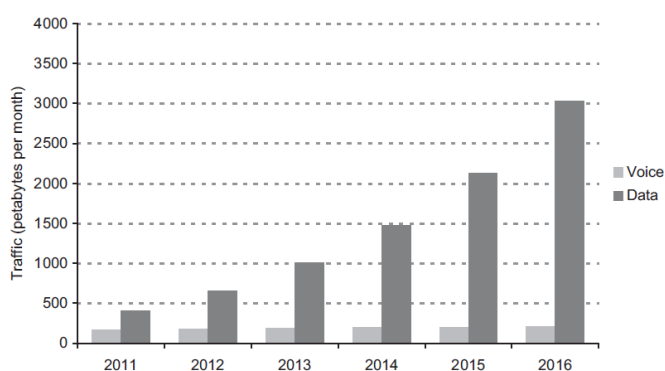


Figura 10. Previsiones de Tráfico Global en Redes Móviles, 2011-2016

Fuente: (Cox, 2012)

En parte, este crecimiento fue impulsado por la mayor disponibilidad de las tecnologías de comunicación 3.5G. Más importante, sin embargo, fue la introducción del iPhone de Apple en 2007, seguido de dispositivos basados en el sistema operativo Android de Google desde 2008. Estos teléfonos inteligentes eran más atractivos y fáciles de usar que sus predecesores y fueron diseñados para soportar la creación de aplicaciones por parte de desarrolladores externos, el resultado fue un incremento en el número y uso de aplicaciones móviles, que se refleja en las figuras anteriores.

Como factor contribuyente, los operadores de red habían intentado anteriormente estimular el crecimiento de los datos móviles mediante la introducción de esquemas de cobro de tarifa plana que permitían descargas de datos ilimitadas, eso llevó a una situación en la que ni los desarrolladores ni los usuarios estaban motivados para limitar su consumo de datos. Como resultado de esta situación, las redes 2G y 3G comenzaron a congestionarse alrededor del año 2010, lo que derivó en la necesidad de aumentar la capacidad de la red.

2.2.1.2 Capacidad de un Sistema de Telecomunicaciones Móviles

En 1948, Claude Shannon descubrió un límite teórico sobre la velocidad de datos que se puede lograr desde cualquier sistema de comunicación (Shannon, 1948). De la forma más simple este límite se representa como:

$$C = B \times \log_2(1 + SINR) \quad (1)$$

SINR es la relación señal a interferencia más ruido, es decir, la potencia en el receptor debido a la señal requerida, dividida por la potencia debida al ruido y la interferencia. **B** es el ancho de banda del sistema de comunicación en Hz, y **C** es la capacidad del canal en los bits. En teoría, es posible que un sistema de comunicación envíe datos desde un transmisor a un receptor sin ningún error,

siempre que la velocidad de datos sea inferior a la capacidad del canal. En un sistema de comunicación móvil, C es la velocidad de datos máxima que una celda puede manejar y es igual a la velocidad de datos combinada de todos los móviles en la celda.

Los resultados se muestran en la Figura 11, utilizando anchos de banda de 5, 10 y 20 MHz. El eje vertical muestra la capacidad del canal en mega bits por segundo (Mbps), mientras que el eje horizontal muestra la relación señal a interferencia más ruido en decibelios (dB):

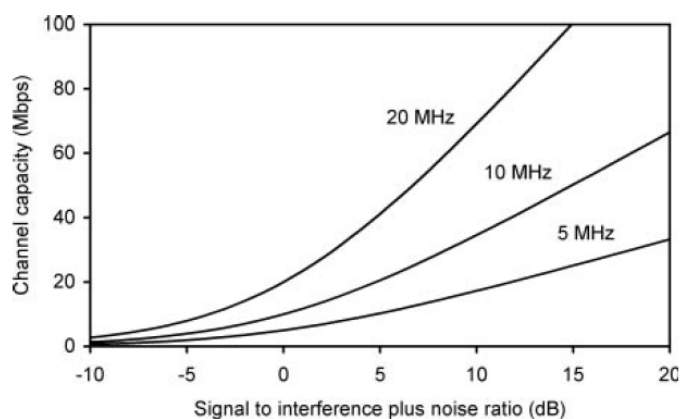


Figura 11. Capacidad de Shannon de un Sistema de Comunicación

Fuente: (Cox, 2012)

2.2.1.3 Aumento de la Capacidad del Sistema

Hay tres formas principales de aumentar la capacidad de un sistema de comunicación móvil, que podemos deducir al analizar la Ecuación de Shannon (1) y la Figura 11. La primera y más importante es el uso de celdas más pequeñas. En una red celular, la capacidad del canal es la velocidad de datos máxima que puede manejar una sola celda, al construir estaciones base adicionales y reducir el tamaño de cada celda, podemos aumentar la capacidad de la red, esencialmente utilizando la Ecuación de Shannon (1) de forma idéntica pero muchas veces.

La segunda técnica es aumentar el ancho de banda. El espectro radioeléctrico es administrado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y por los reguladores regionales y nacionales. El uso creciente de las telecomunicaciones móviles ha llevado a la asignación cada vez mayor del espectro a los sistemas 2G y 3G, sin embargo, solo hay una cantidad finita de espectro de radio disponible que también se requiere para aplicaciones tan diversas como las comunicaciones militares y la radioastronomía. Por lo tanto, hay límites de hasta dónde puede llegar esta técnica.

La tercera técnica es mejorar la tecnología de comunicación que estamos utilizando. Esto trae varios beneficios: nos permite acercarnos cada vez más a la capacidad del canal teórico, y nos permite explotar el SINR más alto y el mayor ancho de banda que están disponibles a través de la utilización de las técnicas anteriores. Esta mejora progresiva en la tecnología de la comunicación ha sido un tema constante en el desarrollo de las telecomunicaciones móviles y es la razón principal para la introducción de LTE.

2.2.1.4 Motivaciones Adicionales

Otros tres factores terminaron impulsando el desarrollo y cambio a LTE. En primer lugar, un operador 2G o 3G debe mantener dos redes centrales: el dominio de CS para servicios de voz y el dominio de PS para servicios de datos, sin embargo, siempre que la red no esté demasiado congestionada, también es posible transportar llamadas de voz a través del dominio de PS utilizando técnicas como la voz sobre IP (VoIP). Al hacer esto, los operadores pueden mover todos sus servicios al dominio de PS, y pueden reducir tanto su Capital de Inversión (CaPex) como sus Gastos Operativos (OPex).

En un tema relacionado, las redes 3G introducen retrasos del orden de 100 milisegundos para aplicaciones de datos, en la transferencia de paquetes de datos entre elementos de red y a través de la interfaz aérea. Esto es mínimamente aceptable para los servicios de voz y causa grandes dificultades para aplicaciones más exigentes, como los juegos interactivos en tiempo real. Por lo tanto, un segundo controlador es necesario para reducir el retardo de extremo a extremo, o latencia, en la red.

En tercer lugar, las especificaciones para UMTS y GSM se desarrollaron al punto de volverse cada vez más complejas a lo largo de los años, debido a la necesidad de agregar nuevas funciones a los sistemas y mantener la compatibilidad con los dispositivos anteriores. Un nuevo comienzo ayuda a la tarea de los diseñadores, al permitirles mejorar el rendimiento del sistema sin la necesidad de soportar dispositivos heredados.

2.2.1.4.1 Impacto de LTE en los Operadores de Red

Existe una tendencia dentro de los operadores de red y los proveedores de servicios para ofrecer "Triple play" y más servicios, donde se brindan múltiples servicios de comunicaciones a un cliente desde una única suscripción. LTE proporciona a los Operadores de Red dos ventajas clave para proporcionar estos nuevos servicios, en primer lugar, la integración de la gestión de la movilidad y el enrutamiento de datos significa que es más confiable y conveniente proporcionar este tipo de servicios a un cliente móvil, ya que pueden lograrlo con un solo número de teléfono y un solo dispositivo; en segundo lugar, hay un costo de OPEX más bajo a medida que se simplifica la red, y esto reduce los costos para que el operador proporcione los servicios. El operador no necesita múltiples redes ni múltiples tecnologías para proporcionar diferentes servicios que estén disponibles simultáneamente para sus clientes.

LTE con sus altas velocidades de transmisión de datos y altas capacidades de Red, permite combinar todos los servicios con la utilización de menos elementos de red y tecnologías IP de red comunes, entonces la red se vuelve más escalable y rentable, a esto se suma la ventaja de que este tipo de servicios se pueden implementar rápidamente y su cobertura puede ampliarse sin que se requieran nuevas inversiones de capital importantes.

Al implementar una red LTE, los operadores pueden simplificar la arquitectura general de la red y eliminar los equipos de telecomunicaciones antiguos que ya no ofrecen un uso competitivo y rentable de los recursos del espectro de radio

2.2.2 De UMTS a LTE

Incluso con la introducción de HSPA, la evolución de UMTS no ha llegado a su fin. Para garantizar la competitividad de UMTS durante los próximos 10 años y más, UMTS Long Term Evolution (LTE) se introdujo en 3GPP Release 8. LTE, también conocida como Evolved UTRA y Evolved UTRAN, proporciona nuevos conceptos de capa física y arquitectura de protocolo para UMTS. Los objetivos de LTE son velocidades de datos más altas, menor latencia en el plano del usuario y el plano de control y un paquete de tecnología de acceso de radio optimizada.

2.2.2.1 Arquitectura General de LTE

En 2004, la 3GPP comenzó un estudio sobre la evolución a largo plazo de UMTS. El objetivo era mantener la competitividad de los sistemas de comunicaciones móviles de 3GPP en plazos de 10 años y más, al ofrecer las altas tasas de datos y las bajas latencias que los futuros usuarios necesitarían. La Figura 12 muestra la arquitectura resultante y la forma en que esa arquitectura se desarrolló a partir de la de UMTS.

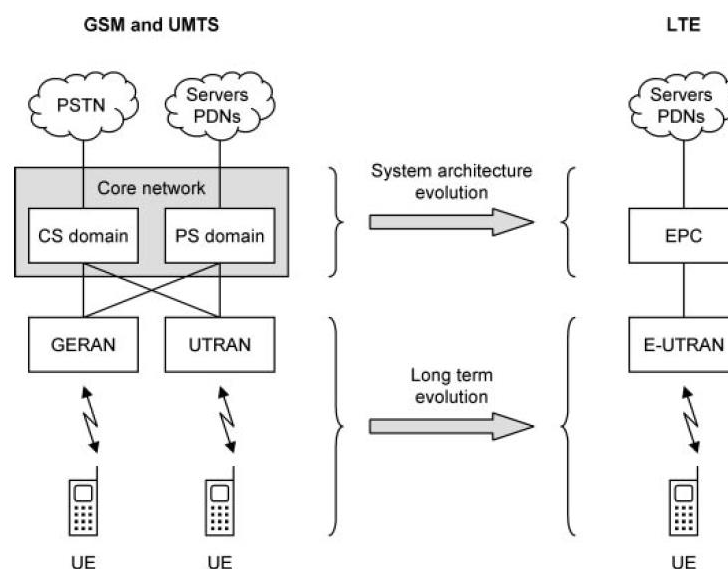


Figura 12. Evolución de la Arquitectura del Sistema de GSM y UMTS a LTE.

Fuente: (Cox, 2012)

En la nueva arquitectura, el Núcleo de Paquetes Evolucionado (EPC) es un reemplazo directo del dominio de PS de UMTS y GSM, esta entidad distribuye todo tipo de información al usuario (voz y datos) utilizando las tecnologías de conmutación de paquetes que tradicionalmente se han utilizado solo para datos. Por otro lado, para el dominio de CS no hay un equivalente, en su lugar, las llamadas de voz se transportan mediante voz sobre IP. La red de acceso evolucionada de radio terrestre UMTS (E-UTRAN) maneja las comunicaciones de radio del EPC con el UE, por lo que es un reemplazo directo de la UTRAN. El UE aún se conoce como el equipo de usuario, aunque su funcionamiento interno es muy diferente al anterior.

La nueva arquitectura se diseñó como parte de dos documentos de trabajo de la 3GPP denominados: Evolución de la Arquitectura del Sistema (SAE), que cubría la red central; y Evolución a Largo Plazo (LTE), que cubría la red de acceso de radio, interfaz aérea y UE. Oficialmente, todo el sistema se conoce como el Sistema de Paquetes Evolucionado (EPS),

mientras que el acrónimo LTE se refiere solo a la evolución de la interfaz aérea. A pesar de este uso oficial, LTE se ha convertido en el nombre representativo para todo el sistema, y es utilizado regularmente por la 3GPP de esta manera.

2.2.2.2 Evolución a Largo Plazo (LTE)

El resultado principal del estudio sobre la Evolución a Largo Plazo fue una especificación de requisitos para la interfaz aérea (3GPP, TS requirements for evolved UTRA (E-UTRA) and evolved UTRAN (E-UTRAN)), 2009), en la que los requisitos más importantes fueron los siguientes:

LTE debía entregar una velocidad de datos máxima de 100 Mbps en el enlace de Downlink y 50 Mbps en el enlace de Uplink, este requisito se superó eventualmente ya que actualmente existen sistemas que ofrecen velocidades de datos pico de 300 Mbps y 75 Mbps, respectivamente. A modo de comparación, la velocidad de datos máxima de WCDMA, en el Release 6 de las especificaciones 3GPP, es de 14 Mbps en el enlace de Downlink y de 5.7 Mbps en el enlace de Uplink. Sin embargo, no se puede enfatizar demasiado en este tema ya que estas tasas de datos máximas solo se pueden alcanzar en condiciones idealizadas y son totalmente inalcanzables en cualquier escenario realista.

En lugar de la velocidad de datos máxima del sistema, una mejor manera de medir su desempeño es la Eficiencia Espectral, que expresa la capacidad típica de una celda por unidad de ancho de banda. LTE tenía que soportar una Eficiencia Espectral tres a cuatro veces mayor que la del Release 6 de WCDMA en el enlace de Downlink y dos a tres veces mayor en el enlace de Uplink.

La latencia es otro tema importante, especialmente para aplicaciones como la voz y los juegos interactivos donde el factor tiempo es crítico. Hay dos aspectos relacionados a la latencia, en primer lugar, los requisitos establecen que el tiempo necesario para que los datos viajen entre el UE y la

red debe ser inferior a cinco milisegundos, siempre que la interfaz aérea no esté congestionada; en segundo lugar, los requisitos establecen que un teléfono debe pasar del estado de espera al estado activo, después de una intervención del usuario, en menos de 100 milisegundos. Los teléfonos móviles pueden operar en dos estados: un estado activo en el que se están comunicando con la red y un estado de espera de baja potencia.

También existen requisitos de cobertura y movilidad, LTE está optimizado para tamaños de celda de hasta 5 km, funciona con un rendimiento degradado de hasta 30 km y admite tamaños de celda de hasta 100 km. También está optimizado para velocidades móviles de hasta 15 km/h, funciona con un alto rendimiento de hasta 120 km/h y admite velocidades de hasta 350 km/h.

Finalmente, LTE está diseñado para trabajar con una variedad de diferentes anchos de banda, que van desde 1.4MHz hasta un máximo de 20 MHz.

La especificación de los requisitos condujo finalmente a un diseño detallado para la interfaz aérea LTE. Para visualizar de mejor manera la evolución hacia LTE, la Tabla 2 resume las características técnicas clave de LTE y las compara con las de UMTS.

Tabla 2

Características Clave de las Interfaces Aéreas de UMTS y LTE

Característica	UMTS	LTE
Esquema de Acceso Múltiple	WCDMA	OFDMA y SC-FDMA
Reutilización de Frecuencia	100%	Flexible
Uso de antenas MIMO	A partir del Release 7	Si
Ancho de banda	5 MHz	1.4, 3, 5, 10, 15 o 20MHz
Duración de Frame	10 ms	10 ms
Intervalo de Tiempo de Transmisión	2 a 10 ms	1 ms
Modos de Operacion	FDD y TDD	FDD y TDD
Avance Temporal de Uplink	No requerido	Necesario
Canales de Transporte	Dedicado y Compartido	Compartido
Control de Potencia de Uplink	Rápido	Lento

2.2.2.3 Evolución de la Arquitectura del Sistema (SAE)

El resultado principal del estudio sobre la Evolución de la Arquitectura del Sistema fue una especificación de requisitos para la Red de Comunicación (3GPP, 2009), en la que los requisitos más importantes fueron los siguientes:

El Núcleo del Paquete Evolucionado (EPC) enruta los paquetes usando el Protocolo de Internet (IP) y admite dispositivos que usan IPv4 e IPv6, además, el EPC proporciona a los usuarios una conectividad permanente al mundo exterior, configurando una conexión IP básica para un dispositivo cuando se enciende y manteniendo esa conexión hasta que se apaga. Esto es diferente del comportamiento de UMTS y GSM, en el que la red solo configura una conexión IP bajo pedido y corta esa conexión cuando ya no es necesaria. El EPC está diseñado como una canalización de datos que simplemente transporta información hacia y desde el usuario, no toma en cuenta el contenido de la información ni su aplicación, esto es similar al comportamiento de Internet, que transporta paquetes que se originan desde cualquier software de aplicación, pero es diferente al de un sistema de telecomunicaciones tradicional, en el que la aplicación de voz es una parte integral del sistema. Debido a esto, las aplicaciones de voz no forman parte de LTE, en su lugar, las llamadas de voz están controladas por una entidad externa, como el Subsistema Multimedia IP (IMS); el EPC simplemente transporta los paquetes de voz de la misma manera que cualquier otro flujo de datos.

A diferencia de Internet, el EPC contiene mecanismos para especificar y controlar la tasa de datos, la tasa de errores y el retraso que recibirá un flujo de datos, no hay un requisito explícito sobre el tiempo máximo requerido para que los datos viajen a través del EPC, pero la especificación relevante sugiere una latencia en el plano de usuario de 10 milisegundos para un UE que no hace

Roaming, esta latencia aumenta a 50 milisegundos en un escenario típico de Roaming (3GPP, 2011). Para calcular la latencia total del sistema, debemos agregar la cifra de latencia de la interfaz aérea, dando una demora típica de alrededor de 20 milisegundos en un escenario sin Roaming.

Otro requerimiento importante es que el EPC soporte los trasposos de sistemas entre LTE y las tecnologías de 2G y 3G, estos requerimientos cubren no solo trasposos a sistemas UMTS y GSM, sino también sistemas que no forman parte de la 3GPP como CDMA2000 y WiMAX®.

La Tabla 3 y Tabla 4 resumen las Características Clave de la Red de Acceso de Radio y el Núcleo de Paquetes Evolucionado, y las compara con las características correspondientes de UMTS.

Tabla 3

Características Clave de las RAN de UMTS y LTE

Característica	UMTS	LTE
Componentes de la RAN	Nodo B, RNC	eNodoB
Estados del Protocolo RRC	CELL_DCH, CELL_FACH, CELL_PCH, URA_PCH, RRC_IDLE	RRC_CONNECTED, RRC_IDLE
Handovers	Soft Handover y Hard Handover	Hard Handover
Listas de Celdas Vecinas	Siempre Requerido	No requerido

Tabla 4

Características Clave de las Redes de Core de UMTS y LTE

Característica	UMTS	LTE
Soporte de Versión IP	IPv4 y IPv6	IPv4 y IPv6
Soporte de Versión USIM	USIM Release 99 en adelante	USIM Release 99 en adelante
Mecanismos de Transporte	Conmutación de Circuitos y Conmutación de Paquetes	Conmutación de Paquetes
Componentes de Dominio CS	Servidor MSC, MGW	n/a
Componentes de Dominio PS	SGSN, GGSN	MME, S-GW, P-GW
Conectividad IP	Después de Registrarse	Durante el Registro
Voz y SMS	Incluido	Externo

2.2.3 Arquitectura de LTE

La arquitectura de LTE se establece en el Release 8 de la 3GPP. Presenta una estructura plana, que busca que solo existan dos elementos de red en el manejo de la comunicación del plano de usuario. La Figura 13 muestra la evolución de la arquitectura de redes móviles, desde una red WCDMA Release 6 hasta LTE Release 8.

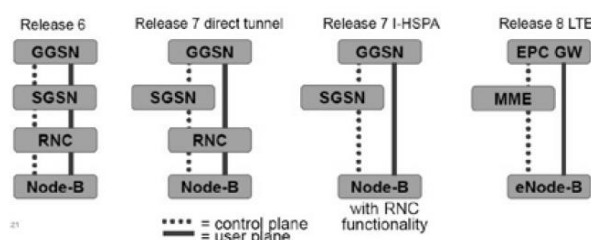


Figura 13. Evolución de arquitectura de red móvil

Fuente: (Jaramillo, 2013)

2.2.3.1 Arquitectura de Alto Nivel

La Figura 14 describe la arquitectura de alto nivel del Sistema de Paquetes Evolucionado (EPS). Hay tres componentes principales, el equipo de usuario (UE), la Red de Acceso de Radio Terrestre UMTS Evolucionada (E-UTRAN) y el Núcleo de Paquete Evolucionado (EPC). A su vez, el Núcleo de Paquetes Evolucionado se comunica con las redes de paquetes de datos en el mundo exterior, como Internet, las redes corporativas privadas o el Subsistema Multimedia IP. Las interfaces entre las diferentes partes del sistema se indican como Uu, S1 y SGi.

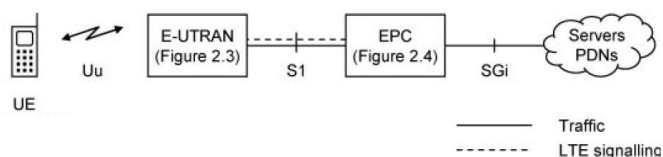


Figura 14. Arquitectura de Alto Nivel de LTE

Fuente: (Cox, 2012)

El EPS proporciona al usuario conectividad IP para acceder a Internet, así como para ejecutar servicios como Voz sobre IP (VoIP), una conexión en el EPS se asocia típicamente con una QoS, se pueden establecer múltiples conexiones para un usuario con el fin de proporcionar diferentes flujos de QoS o conectividad a diferentes redes externas. Por ejemplo, un usuario puede estar involucrado en una llamada de voz (VoIP) al mismo tiempo que realiza una navegación web o descarga de FTP. La conexión de VoIP proporcionaría la QoS necesaria para la llamada de voz, mientras que una conexión de mejor esfuerzo sería adecuada para la navegación web o la sesión FTP.

La red también debe proporcionar suficiente seguridad y privacidad para el usuario, esto se logra a través de varios elementos de red EPS que tienen diferentes roles. La Figura 15 muestra la Arquitectura General de la Red incluidos los elementos de red y las interfaces estandarizadas. En un nivel alto, la red se compone del EPC y la red de acceso E-UTRAN, mientras que el EPC consta de muchos nodos lógicos, la red de acceso está formada esencialmente por un solo nodo, el NodeB Evolucionado (eNodeB), que se conecta a los UE. La división funcional entre el EPC y la E-UTRAN se muestra en la Figura 16.

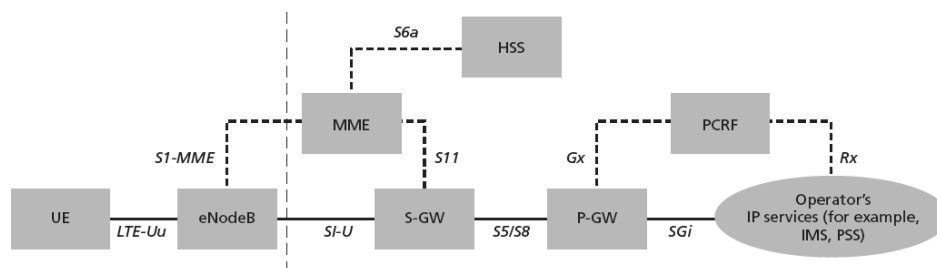


Figura 15. Elementos de Red del Sistema de Paquetes Evolucionado (EPS)

Fuente: (Alcatel-Lucent, The LTE network architecture - A comprehensive tutorial, 2009)

Cada uno de estos elementos de red está interconectado por medio de interfaces que están estandarizadas para permitir la interoperabilidad de múltiples proveedores y fabricantes, esto da a los operadores de red la posibilidad de obtener diferentes elementos de red de diferentes proveedores, de hecho, los operadores de red pueden elegir en sus implementaciones físicas dividir o fusionar estos elementos lógicos de red según las necesidades comerciales.

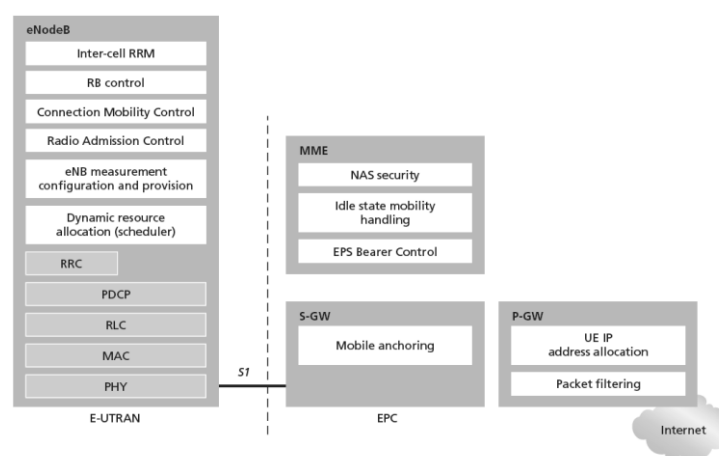


Figura 16. Separación Funcional entre la E-UTRAN y el EPC

Fuente: (Alcatel-Lucent, The LTE network architecture - A comprehensive tutorial, 2009)

2.2.3.2 Equipo de Usuario UE

La arquitectura es idéntica a la utilizada por UMTS y GSM, el dispositivo de comunicación real se conoce como el Equipo Móvil (ME), en el caso de un dispositivo móvil de voz o un teléfono inteligente, el Equipo Móvil es un único dispositivo, sin embargo, el Equipo Móvil también se puede dividir en dos componentes, la Terminación Móvil (MT), que maneja todas las funciones de comunicación, y el Equipo Terminal (TE), que termina los flujos de datos. La Terminación Móvil podría ser, por ejemplo, un módem LTE USB enchufable para una computadora portátil, en cuyo caso el Equipo Terminal sería la computadora portátil en sí.

La Tarjeta de Circuito Integrado Universal (UICC) es una tarjeta inteligente, conocida generalmente como la tarjeta SIM, ejecuta una aplicación conocida como el Módulo de Identidad de Suscriptor Universal (USIM) (3GPP, 2011), que almacena datos específicos del usuario como el número de teléfono del usuario y la identidad de la red. La USIM también realiza varios cálculos relacionados con la seguridad, utilizando claves seguras que la tarjeta inteligente almacena. LTE admite móviles que utilizan un USIM de Release 99 o posterior, pero no es compatible con el módulo de identidad de suscriptor (SIM) que fue utilizado por versiones anteriores de GSM.

Además, LTE admite móviles que utilizan IP versión 4 (IPv4) e IP versión 6 (IPv6), un móvil recibe una dirección IP por cada red de paquetes de datos con la que se está comunicando, por ejemplo, una para internet y otra para cualquier red corporativa privada. Alternativamente, el móvil puede recibir una dirección IPv4, así como una dirección IPv6, si el móvil y la red son compatibles con las dos versiones del protocolo.

Los móviles pueden tener una amplia variedad de capacidades de radio (3GPP, 2011), que cubren temas como la velocidad de datos máxima que pueden manejar, los diferentes tipos de tecnología de acceso por radio que admiten y las frecuencias portadoras en las que pueden transmitir y recibir. Los móviles pasan estas capacidades a la red de acceso de radio por medio de mensajes de señalización, para que la E-UTRAN sepa cómo controlarlos correctamente, las capacidades más importantes se agrupan en la categoría de UE. Como se muestra en la

Tabla 5, la categoría UE cubre principalmente la velocidad de datos máxima con la que el móvil puede transmitir y recibir, así como detalles técnicos complementarios.

Tabla 5
Categorías de Equipos de Usuario LTE

Release 3GPP	Categoría de UE	Máxima tasa datos downlink	Máxima tasa datos uplink	Máxima modulación downlink	Máxima modulación uplink
Rel 8	1	~ 10 Mbps	~ 5 Mbps	64 QAM	16 QAM
Rel 8	2	~ 50 Mbps	~ 25 Mbps	64 QAM	16 QAM
Rel 8	3	~ 100 Mbps	~ 50 Mbps	64 QAM	16 QAM
Rel 8	4	~ 150 Mbps	~ 50 Mbps	64 QAM	16 QAM
Rel 8	5	~ 300 Mbps	~ 75 Mbps	64 QAM	64 QAM
Rel 10	6	~ 300 Mbps	~ 50 Mbps	64 QAM	16 QAM
Rel 10	7	~ 300 Mbps	~ 100 Mbps	64 QAM	16 QAM
Rel 10	8	~ 3000 Mbps	~ 1500 Mbps	64 QAM	64 QAM
Rel 11	9	~ 450 Mbps	~ 50 Mbps	64 QAM	16 QAM
Rel 11	10	~ 450 Mbps	~ 100 Mbps	64 QAM	16 QAM
Rel 11	11	~ 600 Mbps	~ 50 Mbps	64 QAM	16 QAM
Rel 11	12	~ 600 Mbps	~ 100 Mbps	64 QAM	16 QAM

2.2.3.3 Red de Acceso de Radio Terrestre UMTS Evolucionada

La Red de Acceso de Radio Terrestre UMTS Evolucionada (E-UTRAN) (3GPP, 2011) consiste simplemente en una red de Nodos B evolucionados (eNodoB) como se ilustra en la Figura 17, es importante notar que, para el tráfico de usuario normal, en la E-UTRAN no hay un controlador centralizado, por lo tanto, se dice que la arquitectura E-UTRAN es plana.

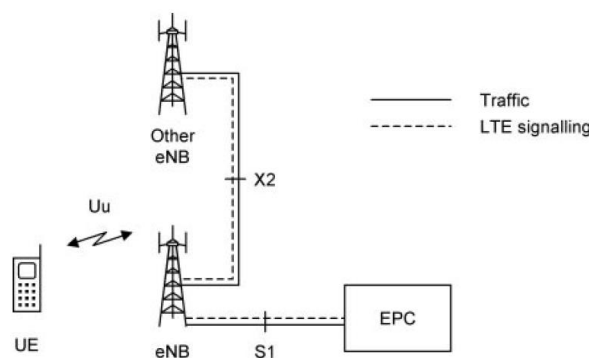


Figura 17. Arquitectura de la Red de E-UTRAN

Fuente: (Cox, 2012)

La E-UTRAN maneja las comunicaciones de radio entre el móvil y el Núcleo de Paquetes Evolucionado (EPC) y solo tiene un componente, el Nodo B evolucionado (eNodoB). Las funciones de Radio a cargo de la E-UTRAN pueden resumirse brevemente como:

- **Administración de los recursos de radio (RRM):** cubre todas las funciones relacionadas con los portadores de radio, como el control de portador de radio, el control de admisión de radio, el control de movilidad de radio, la programación y la asignación dinámica de recursos a los UE, tanto en el enlace de Uplink como en el enlace de Downlink.
- **Compresión del encabezado:** esto ayuda a garantizar un uso eficiente de la interfaz de radio mediante la compresión de los encabezados de paquetes IP, que de otro modo podrían representar una sobrecarga significativa, especialmente para paquetes pequeños como VoIP.
- **Seguridad:** todos los datos enviados a través de la interfaz de radio están encriptados.
- **Conectividad al EPC:** consiste en la señalización hacia MME y la ruta de transporte hacia el S-GW.

Todas las funciones descritas anteriormente residen en los eNodoBs. Cada eNodoB es una estación base que controla los móviles con una o más celdas. Un móvil se comunica con una sola estación base y una celda a la vez, por lo que no hay un equivalente del estado de Soft Handover de UMTS. La estación base que se está comunicando con un móvil se conoce como su eNodoB Servidor. El eNodoB tiene dos funciones principales, en primer lugar, el eNodoB envía transmisiones de radio a todos sus móviles en el enlace de Downlink y recibe las transmisiones de ellos en el enlace de Uplink, utilizando las funciones de procesamiento de señales analógicas y digitales de la interfaz aérea LTE; en segundo lugar, el eNodoB controla el funcionamiento de bajo

nivel de todos sus móviles, enviándoles mensajes de señalización, como comandos de Handover que se relacionan con esas transmisiones de radio. Al llevar a cabo estas funciones, el eNodoB combina las funciones anteriores del Nodo B y la RNC, esto permite una interacción estrecha entre las diferentes capas de protocolo de la red de acceso de radio (RAN), lo que reduce la latencia que surge cuando el móvil intercambia información con la red y mejora la eficiencia del sistema. Dicho control distribuido elimina la necesidad de un controlador de alta disponibilidad y procesamiento intensivo, que a su vez tiene el potencial de reducir los costos y evitar "puntos únicos de falla". Además, como LTE no admite el Soft Handover, no hay necesidad de una entidad centralizada que combine los datos de la red, sin embargo, una consecuencia de la falta de un nodo controlador centralizado es que, a medida que el UE se mueve, la red debe transferir toda la información relacionada con un UE, de un eNodoB a otro. Por lo tanto, se necesitan mecanismos para evitar la pérdida de datos durante el Hard Handover.

Cada estación base está conectada al EPC por medio de la interfaz S1, también se puede conectar a estaciones base cercanas mediante la interfaz X2, que se utiliza principalmente para la señalización y el reenvío de paquetes durante el Handover. La interfaz X2 es opcional, ya que la interfaz S1 también puede manejar todas las funciones de X2, aunque de manera indirecta y más lenta. Por lo general, las interfaces S1 y X2 no son conexiones físicas directas, en su lugar, la información se enruta a través de una red de transporte subyacente basada en el Protocolo de Internet IP.

Una característica importante de la interfaz S1 que vincula la E-UTRAN y al EPC se conoce como "S1-flex", este es un concepto por el cual múltiples entidades del EPC (MME/S-GW) pueden servir a un área geográfica común estando conectados al conjunto de eNodoBs presentes en esa

área, por lo tanto, un eNodeB puede ser servido por múltiples MME/S-GW, como es el caso del eNodeB # 2 en la Figura 18.

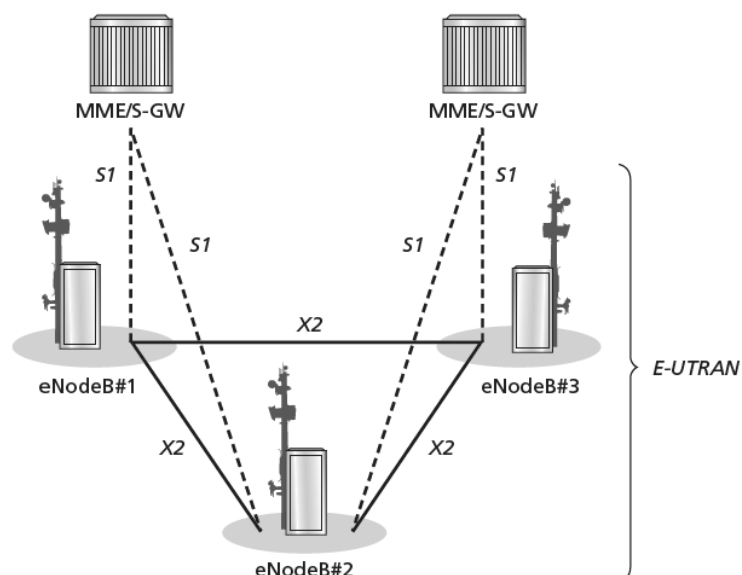


Figura 18. Arquitectura General de la E-UTRAN

Fuente: (Alcatel-Lucent, 2009)

El conjunto de nodos MME/S-GW que sirve a un área común se denomina grupo MME/S-GW, y el área cubierta por dicho grupo de MME/S-GW se denomina área de grupo. Este concepto permite que los UE en la celda o celdas controladas por un eNodeB se compartan entre múltiples nodos CN, lo que brinda la posibilidad de compartir la carga y también elimina puntos únicos de falla para los nodos del EPC.

2.2.3.4 Núcleo de Paquete Evolucionado

La Figura 19 muestra los componentes principales del Núcleo de Paquete Evolucionado (EPC) (3GPP, 2011) (3GPP, 2011). Ya conocemos un componente, el Servidor de Suscriptores de Origen (HSS), que es una base de datos central que contiene información sobre todos los suscriptores del

operador de red, este es uno de los pocos componentes de LTE que se ha transferido desde UMTS y GSM.

El EPC es responsable del control general del UE y del establecimiento de las conexiones. Los principales nodos lógicos del EPC son:

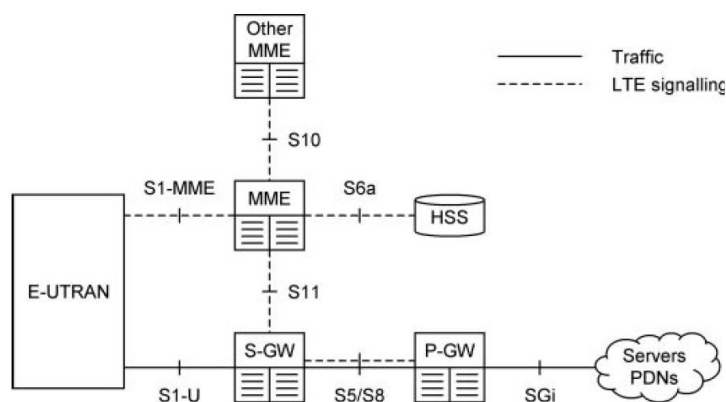


Figura 19. Conceptos Principales de EPC

Fuente: (Cox, 2012)

- **Puerta de enlace PDN (P-GW):** es responsable de la asignación de direcciones IP para el UE, así como de la aplicación de la calidad del servicio y la facturación basada en el flujo de acuerdo con las reglas de la entidad lógica PCRF. Es responsable del filtrado de los paquetes IP de usuario de enlace de Downlink en las diferentes conexiones basados en QoS, esto se realiza en base a las Plantillas de Flujo de Tráfico (TFT). También sirve como ancla de movilidad para la interoperabilidad con tecnologías que no son 3GPP, como las redes CDMA2000 y WiMAX®. En resumen, el P-GW es el punto de contacto del EPC con el mundo exterior, a través de la interfaz SGi, cada puerta de enlace de PDN intercambia datos con uno o más dispositivos externos o redes de paquetes de datos, como los servidores del operador de red, Internet o el Subsistema Multimedia IP. Cada red de paquetes de datos se

identifica mediante un Nombre de Punto de Acceso (APN) (3GPP, 2011). Un operador de red suele utilizar un puñado de APN diferentes, por ejemplo, uno para sus propios servidores y otro para Internet. Cada móvil se asigna a una puerta de enlace PDN predeterminada cuando se enciende por primera vez, para darle conectividad a una red de paquetes de datos predeterminada, como Internet. Luego, un móvil se puede asignar a una o más puertas de enlace PDN adicionales, si desea conectarse a redes de paquetes de datos adicionales, Cada puerta de enlace PDN permanece igual durante toda la vida útil de la conexión de datos.

- **La Puerta de Enlace de Servicio (S-GW):** actúa como un enrutador, y envía datos entre la estación base eNodoB y la puerta de enlace de la PDN. Una red típica puede contener un puñado de puertas de enlace de servicio, cada una de las cuales sirve a los móviles en una determinada región geográfica. Todos los paquetes IP de usuario se transfieren a través del S-GW, que sirve como ancla de movilidad para las conexiones de datos cuando el UE se mueve entre los eNodoBs, también retiene la información sobre las conexiones cuando el UE está en estado inactivo y almacena temporalmente los datos del enlace de Downlink mientras el MME inicia la búsqueda del UE para restablecer las conexiones. Además, el S-GW realiza algunas funciones administrativas en la red, como la recopilación de información para cobro, por ejemplo, el volumen de datos enviados o recibidos del usuario. También sirve como ancla de movilidad para la interoperabilidad con otras tecnologías 3GPP como GPRS y UMTS.
- **La entidad de gestión de movilidad (MME):** controla el funcionamiento de alto nivel del móvil, enviándole mensajes de señalización sobre temas como la seguridad y la gestión de

flujos de datos que no están relacionados con las comunicaciones de radio. Al igual que con la puerta de enlace de servicio, una red típica puede contener un puñado de MME, cada una de las cuales se ocupa de una determinada región geográfica. Cada móvil se asigna a una sola MME, que se conoce como su MME de servicio, pero se puede cambiar si el móvil se mueve lo suficientemente lejos. La MME también controla los otros elementos de la red, mediante mensajes de señalización que son internos en el EPC. En resumen, las principales funciones a cargo del MME son Funciones de Administración de las Conexiones, esto incluye el establecimiento, el mantenimiento y la liberación de las conexiones, y la seguridad entre la Red y el UE.

La comparación con UMTS y GSM muestra que la Puerta de Enlace PDN (P-GW) tiene la misma función que el nodo de GGSN, mientras que la Puerta de Enlace de Servicio (S-GW) y MME manejan las funciones de enrutamiento y señalización de datos al igual que el nodo SGSN. Dividir el SGSN en dos hace que sea más fácil para un operador escalar la red en respuesta a una mayor carga: el operador puede agregar más Puertas de Enlace de Servicio a medida que aumenta el tráfico, mientras que agrega más MME para manejar un aumento en el número de móviles. Para soportar esta división, la interfaz S1 tiene dos componentes: la interfaz S1-U transporta tráfico para la Puerta de Enlace de Servicio, mientras que la interfaz S1-MME transporta mensajes de señalización para el MME.

Además de estos nodos, como se muestra en la Figura 15, el EPC también incluye otros nodos lógicos y funciones como el servidor de suscriptor residencial (HSS) y la función de reglas de control de políticas y de cobro (PCRF). Dado que el EPS solo proporciona una ruta de conexión

de cierta QoS, el control de aplicaciones multimedia como VoIP lo proporciona el IP Multimedia Subsystem (IMS), que se considera que está fuera del propio EPS.

- **Función de Reglas de Control de Políticas y de Cobro (PCRF):** es responsable de la toma de decisiones de control de políticas, así como del control de las funciones de cobro basadas en el flujo en la Función de Cumplimiento de Control de Políticas (PCEF), que reside en el P-GW. El PCRF proporciona la autorización de QoS (identificador de clase de QoS [QCI] y velocidades de bits) que decide cómo se tratará un determinado flujo de datos en la PCEF y garantiza que esto se ajuste al perfil de suscripción del usuario.
- **Servidor de Suscriptores de Origen (HSS):** contiene los datos de suscripción de los usuarios, como el perfil de QoS suscrito al EPS y cualquier restricción de acceso para Roaming. También contiene información sobre las PDN a las que el usuario puede conectarse, esto podría ser en la forma de un APN o una dirección de PDN. Además, el HSS contiene información dinámica, como la identidad del MME a la que el usuario está actualmente conectado o registrado, también puede integrar el centro de autenticación (AUC), que genera los vectores para las claves de autenticación y seguridad.

2.2.3.5 Arquitectura de Roaming

Una red operada por un operador en un país se conoce como una “Red Móvil Terrestre Pública (PLMN)”. El Roaming es una característica importante para redes móviles, ya que permite a los usuarios moverse fuera del área de cobertura de sus operadores de red utilizando los recursos de dos redes diferentes. El Roaming se basa en la existencia de un acuerdo de Itinerancia (Roaming), que define cómo los operadores compartirán los ingresos resultantes. Hay dos arquitecturas posibles (3GPP, 2011), que se muestran en la Figura 20.

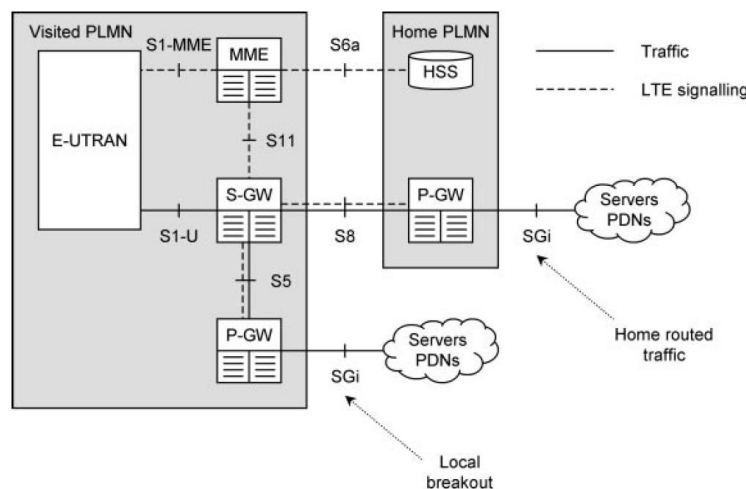


Figura 20. Arquitectura de LTE para Roaming

Fuente: (Cox, 2012)

Si un usuario está en Roaming, entonces el Servidor del Suscriptor de Origen está siempre en la Red Doméstica (Home PLMN), mientras que el móvil, la E-UTRAN, el MME y el S-GW están siempre en la Red Visitada (Visited PLMN). El P-GW, sin embargo, puede estar en dos lugares; en una situación habitual de tráfico enrutado en la Red, el P-GW se encuentra en la Red Doméstica, a través de la cual se enruta todo el tráfico del usuario. Esta arquitectura permite al operador de la Red Doméstica ver todo el tráfico y realizar el cobro directamente al usuario, pero en un escenario de Roaming esto puede ser ineficiente, aún más si el usuario está viajando al extranjero, particularmente durante una llamada de voz con otro usuario cercano. Para hacer frente a esta situación, las especificaciones también admiten la *Ruptura Local*, en la que el P-GW se encuentra en la Red Visitada, aquí el HSS indica si la Red Doméstica permitirá o no la Ruptura Local, para cada combinación de usuario y APN (3GPP, 2011).

La interfaz entre el S-GW y el P-GW se conoce como S5/S8, esto tiene dos implementaciones ligeramente diferentes, S5 si los dos dispositivos están en la misma red, y S8 si están en redes

diferentes. Para los móviles que no están en Roaming, el S-GW y el P-GW pueden ser integrados en un solo dispositivo, de modo que la interfaz S5/S8 desaparezca por completo. Esto puede ser útil debido a la reducción en la latencia.

2.2.3.6 Áreas de Red

El EPC se divide en tres tipos diferentes de área geográfica (3GPP, 2011), que se ilustran en la Figura 21. Un Área de Grupo MME es un área a través de la cual el móvil puede moverse sin un cambio de Servidor MME, cada Área de Grupo está controlada por uno o más MMEs, mientras que cada eNodoB está conectado a todos los MME del Área de Grupo mediante la interfaz S1-MME.

Las Áreas de Grupo también pueden superponerse, por lo general, un operador de red puede configurar un Área de Grupo para cubrir una gran región de la red, como una ciudad importante, y puede agregar MMEs al grupo a medida que aumenta la carga de señalización en esa ciudad.

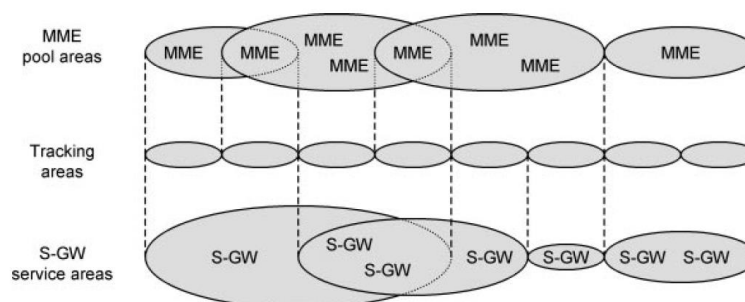


Figura 21. Relación entre Áreas de Rastreo (Áreas de Grupo MME y Áreas de Servicio S-GW)

Fuente: (Cox, 2012)

De manera similar, un Área de Servicio S-GW es un área controlada por uno o más S-GW, a través de las cuales el móvil puede moverse sin un cambio de S-GW. Cada eNodoB está conectado

a todas los S-GW del Área de Servicio mediante la interfaz S1-U. Las Áreas de Servicio S-GW no corresponden necesariamente a las Áreas de Grupo MME.

Las Áreas de Grupo MME y las Áreas de Servicio S-GW están hechas de unidades más pequeñas y no superpuestas, conocidas como Áreas de Seguimiento (TA). Estas áreas se utilizan para rastrear las ubicaciones de los móviles que están en espera y son similares a las áreas de ubicación y enrutamiento de UMTS y GSM.

2.2.3.7 Numeración, Direccionamiento e Identificación.

Los componentes de la red están asociados con varias identidades diferentes (3GPP, 2011), al igual que en sistemas anteriores, cada red está asociada con una Identidad de Red Móvil Terrestre Pública (PLMN-ID). Comprende un Código de País Móvil de tres dígitos (MCC) y un Código de Red Móvil de dos o tres dígitos (MNC). Por ejemplo, el Código de País Móvil para el Ecuador es 740, mientras que los Operadores de Red en Ecuador utilizan los Código de Red Móvil: MOVISTAR-00, CLARO-01, CNT-02.

Cada MME tiene tres identidades principales, que se muestran como las partes sombreadas de la Figura 22, el Código MME de 8 bits (MMEC) identifica de forma única el MME en todas las áreas de agrupación a las que pertenece. Al combinar esto con una Identidad de Grupo de MME de 16 bits (MMEGI), llegamos a un Identificador de MME de 24 bits (MMEI), que identifica de forma única a la MME dentro de una red particular. Al incorporar la identidad de red, llegamos al identificador de MME Único Global (GUMMEI), que identifica una MME en cualquier parte del mundo.

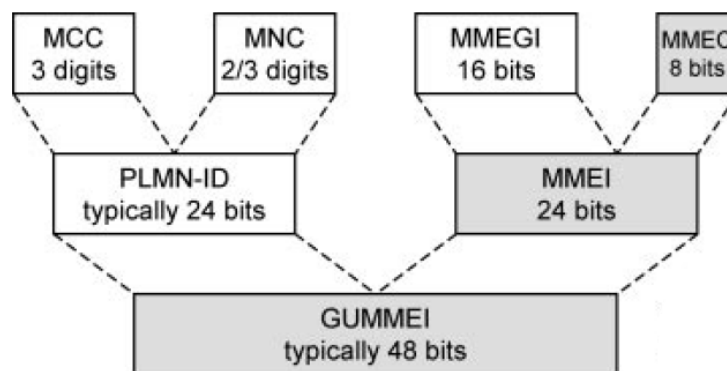


Figura 22. Identidades Utilizadas por el MME

Fuente: (Cox, 2012)

Del mismo modo, cada Área de Seguimiento tiene dos identidades principales. El código de área de seguimiento de 16 bits (TAC) identifica un Área de Seguimiento dentro de una red particular. Combinando esto con la Identidad de Red se obtiene la Identidad de Área de Seguimiento (TAI) única a nivel mundial. Las celdas tienen tres tipos de identidad, la Identidad de Celda E-UTRAN (ECI) de 28 bits identifica una celda dentro de una red particular, mientras que el Identificador Global de Celda E-UTRAN (ECGI) identifica una celda en cualquier parte del mundo. También es importante para la interfaz aérea la Identidad Física de la Celda, que es un número del 0 al 503 que distingue una celda de sus vecinos inmediatos.

Un móvil también está asociado con varias identidades diferentes. Las más importantes son la Identidad de Equipo Móvil Internacional (IMEI), que es una identidad única para el equipo móvil, y la Identidad de Abonado Móvil Internacional (IMSI), que es una identidad única para la UICC y la USIM. Debido a que el IMSI es una de las identidades que un intruso necesita para clonar un móvil, se evita su transmisión a través de la interfaz aérea siempre que sea posible, en su lugar, un Servidor MME identifica cada dispositivo móvil utilizando identidades temporales, que se actualizan a intervalos regulares.

Tres tipos de identidad temporal son importantes y se muestran como las partes sombreadadas de la Figura 23, la Identidad del Suscriptor Móvil Temporal-M de 32 bits (M-TMSI) identifica un móvil a su Servidor MME. Al agregar el código MME, se obtiene la Identidad del Suscriptor Móvil Temporal-S de 40 bits (S-TMSI), que identifica el móvil dentro de un Área de Grupo MME. Finalmente, agregar la identidad del grupo MME y la identidad PLMN, resulta la identidad más importante, la Identidad Temporal Única Global (GUTI).

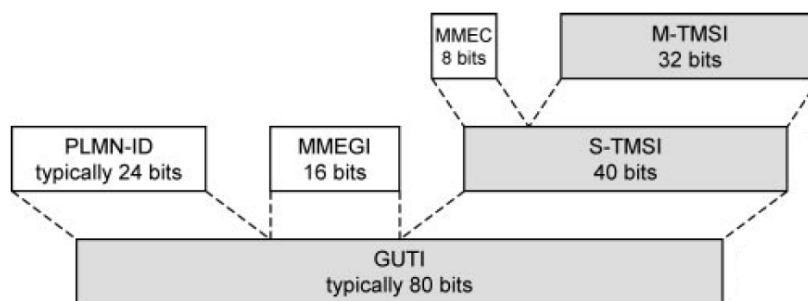


Figura 23. Identidades Temporales utilizadas por el Móvil
Fuente: (Cox, 2012)

2.2.3.8 Interoperabilidad con Otras Redes.

El EPS también admite la interoperabilidad y la movilidad (Handover) con redes que utilizan otras Tecnologías de Acceso de Radio, en particular con redes GSM, UMTS, CDMA2000 y WiMAX®. La arquitectura para la interoperabilidad con redes 2G y 3G (GPRS/UMTS) se muestra en la Figura 24. El S-GW actúa como el ancla de movilidad para la interoperabilidad con otras tecnologías 3GPP, como GSM y UMTS, mientras que el P-GW sirve como un anclaje que permite perfectamente la movilidad a redes que no sean 3GPP, como CDMA2000 o WiMAX®.

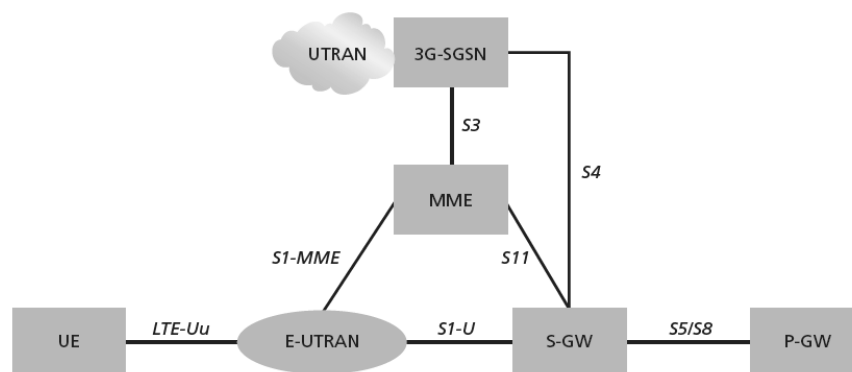


Figura 24. Arquitectura de Interoperabilidad entre LTE y UMTS

Fuente: (Alcatel-Lucent, The LTE network architecture - A comprehensive tutorial, 2009)

2.2.4 Protocolos de Comunicación.

Cada una de las interfaces del EPS está asociada con una pila de protocolos, que los elementos de la red utilizan para intercambiar datos y mensajes de señalización. La Figura 25 muestra la estructura de alto nivel de esas pilas de protocolos.

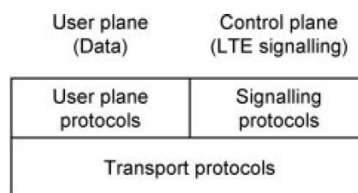


Figura 25. Arquitectura General de Protocolo para LTE

Fuente: (Cox, 2012)

La pila de protocolos tiene dos planos. Los protocolos en el plano de usuario manejan datos que son de interés para el usuario, mientras que los protocolos en el plano de control manejan mensajes de señalización que solo son de interés para los propios elementos de la red. La pila de protocolos también tiene dos capas principales, la capa superior manipula la información de una manera que es específica de LTE, mientras que la capa inferior transporta la información de un punto a otro.

En la E-UTRAN, se conocen como Capa de Red de Radio y Capa de Red de Transporte respectivamente.

Entonces hay tres tipos de protocolo, los protocolos de señalización definen un lenguaje mediante el cual dos dispositivos pueden intercambiar mensajes de señalización entre sí, los protocolos del plano de usuario manipulan los datos en el plano de usuario, con mayor frecuencia para ayudar a enrutar los datos dentro de la red, y finalmente, los protocolos de transporte transfieren datos y mensajes de señalización de un punto a otro.

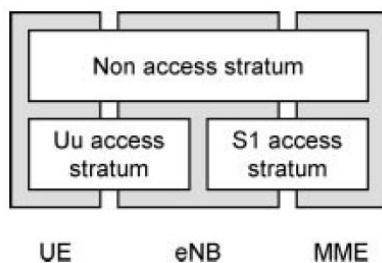


Figura 26. Relación entre el Estrato de Acceso y el Estrato de No Acceso en la Interfaz Aérea
Fuente: (Cox, 2012)

En la Interfaz Aérea, hay un nivel adicional de complejidad, que se muestra en la Figura 26 (3GPP, 2011), cómo se señaló anteriormente, el MME controla el comportamiento de alto nivel del móvil mediante el envío de mensajes de señalización, sin embargo, no hay una ruta directa entre la MME y el móvil, a través de la cual se pueden transportar esos mensajes. Para manejar esta situación, la interfaz aérea se divide en dos niveles, conocidos como el Estrato de Acceso (AS) y el Estrato de No Acceso (NAS). Los mensajes de señalización de alto nivel se encuentran en el Estrato de No Acceso y se transportan utilizando los protocolos de Estrato de Acceso de las interfaces S1 y Uu.

2.2.4.1 Protocolos de Transporte de Interfaz Aérea

La interfaz aérea, conocida oficialmente como interfaz Uu, se encuentra entre el móvil y la estación base. La Figura 27 muestra los protocolos de transporte de la interfaz aérea. Comenzando desde la parte inferior, la capa física de la interfaz aérea contiene las funciones de procesamiento de señales digitales y analógicas que el móvil y la estación base utilizan para enviar y recibir información.

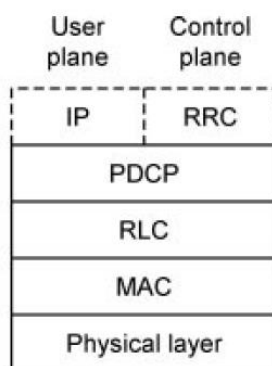


Figura 27. Protocolos de transporte de la Interfaz Aérea
Fuente: (Cox, 2012)

Los siguientes tres protocolos conforman la capa de enlace de datos, capa 2 del modelo OSI. El Protocolo de Control de Acceso al Medio (MAC) (3GPP, 2011) lleva a cabo un control de bajo nivel de la capa física, particularmente al programar transmisiones de datos entre el móvil y la estación base. El Protocolo de Control de Enlace de Radio (RLC) (3GPP, 2010) mantiene el enlace de datos entre los dos dispositivos, por ejemplo, asegurando una entrega confiable para los flujos de datos que necesitan llegar correctamente. Finalmente, el Protocolo de Convergencia de Datos en Paquetes (PDCP) (3GPP, 2011) lleva a cabo funciones de transporte de alto nivel relacionadas con la compresión y la seguridad del encabezado.

2.2.4.2 Protocolos de Transporte de Red de Core

Cada interfaz en la red fija utiliza protocolos de transporte estándar IETF, que se muestran en la Figura 28. A diferencia de la interfaz aérea, estas interfaces utilizan protocolos de las capas 1 a la capa 4 del modelo OSI tradicional. En la parte inferior de la pila de protocolos, la red de transporte puede usar cualquier protocolo adecuado para las capas 1 y 2, como Ethernet. Luego, cada elemento de red se asocia con una dirección IP, y la Red de Core utiliza el protocolo de Internet (IP) para enrutar la información de un elemento a otro a través de la red de transporte. LTE admite tanto la versión 4 (IETF, RFC 791 Internet protocol., 1981) como la versión 6 (IETF, 1998) de IP para esta tarea. En el EPC, el soporte de la versión 4 de IP es obligatorio y se recomienda el soporte de la versión 6 (3GPP, 2011), mientras que la E-UTRAN puede usar uno o ambos protocolos (3GPP, 2011) (3GPP, 2011).

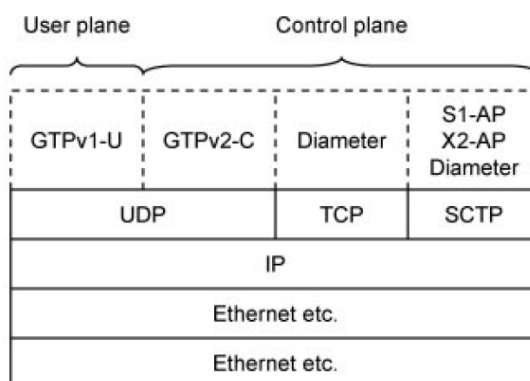


Figura 28. Protocolos de Transporte utilizados por la Red de Core.

Fuente: (Cox, 2012)

Por encima de IP, hay un protocolo de capa de transporte a través de la interfaz entre cada par individual de elementos de red. Se utilizan tres protocolos de transporte, el Protocolo de Datagramas de Usuario (UDP) (IETF, 1980) simplemente envía paquetes de datos de un elemento

de red a otro, mientras que el Protocolo de Control de Transmisión (TCP) (IETF, 1981) vuelve a transmitir paquetes si llegan de manera incorrecta.

El Protocolo de Transmisión de Control de Flujo (SCTP) (IETF, 2007) se basa en TCP, pero incluye características adicionales que lo hacen más adecuado para la entrega de mensajes de señalización. El plano de usuario siempre utiliza UDP como su protocolo de transporte, para evitar retrasar los datos. La elección del plano de control depende del protocolo de señalización superior, en la manera que se detalla en la Figura 28.

2.2.4.3 Protocolos del Plano de Usuario

Un paquete IP para un UE se encapsula en un protocolo específico de EPC y se canaliza entre la P-GW y el eNodeB para su transmisión al UE. Se utilizan diferentes protocolos de tunelización en diferentes interfaces, un protocolo de tunelización específico de 3GPP llamado Protocolo de Tunelización de GPRS (GTP) se usa sobre las interfaces de la Red de Core, S1 y S5/S8

La pila de protocolo del plano de usuario para la E-UTRAN se muestra en la región más oscura de la Figura 29, que consiste en las subcapas del Protocolo de Convergencia de Datos en Paquetes (PDCP), Protocolo de Control de Enlace de Radio (RLC) y Protocolo de Control de Acceso al Medio (MAC) que terminan en el eNodeB.

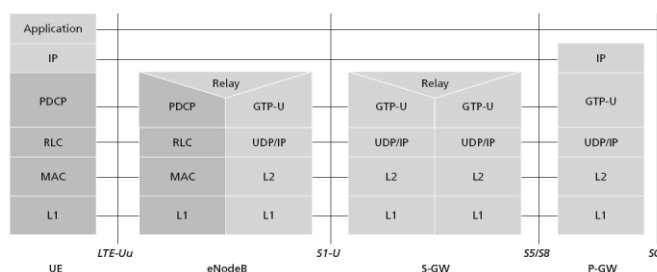


Figura 29. Pila de Protocolos E-UTRAN para el Plano de Usuario.

Fuente: (Alcatel-Lucent, 2009)

2.2.4.3.1 Manejo de los datos durante el Handover

En ausencia de un nodo controlador centralizado, el almacenamiento de datos durante el Handover debido a la movilidad del usuario en la E-UTRAN debe realizarse en el propio eNodeB. La protección de datos durante el traspaso es responsabilidad de la capa PDCP, las capas RLC y MAC se inician de nuevo en una nueva celda después del Handover.

2.2.4.4 Protocolos del Plano de Control/Señalización

La pila de protocolos para el plano de control entre el UE y el MME se muestra en la Figura 30, la región más oscura la pila indica los protocolos del Estrato de Acceso (AS). Las capas inferiores realizan las mismas funciones que para el plano de usuario, con la excepción de que no hay una función de compresión de encabezado para el plano de control.

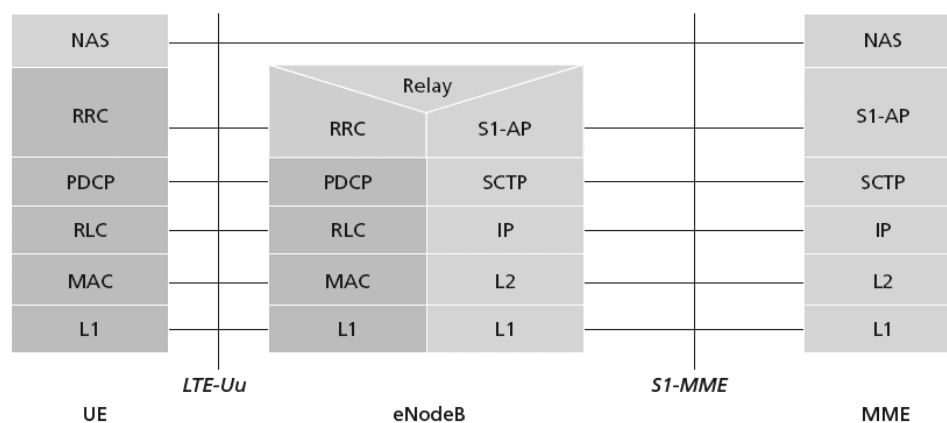


Figura 30. Pila de Protocolos E-UTRAN para el Plano de Control.

Fuente: (Alcatel-Lucent, 2009)

El Protocolo de Control de Recursos de Radio (RRC) se conoce como "Capa 3" en la pila de protocolos de Estrato de Acceso (AS). Es la función de control principal en el Estrato de Acceso

(AS), siendo responsable de establecer las conexiones de radio y de configurar todas las capas inferiores utilizando la señalización RRC entre el eNodoB y el UE.

2.2.5 Interfaces de la Red E-UTRAN

La provisión de Redes de Optimización Automática (SON) es uno de los objetivos clave de LTE. De hecho, la auto optimización de la red es una alta prioridad para los operadores de red como una herramienta para obtener el mejor rendimiento de la red de una manera rentable, especialmente en los entornos dinámicos de propagación de radio. Por lo tanto, SON se ha colocado como una piedra angular del sistema LTE desde el principio y es el concepto alrededor del cual se han diseñado todos los procedimientos S1 y X2.

2.2.5.1 Redes de Optimización Automática (SON)

Otro nuevo concepto que se introduce para las redes LTE es la Red de Auto-Optimización o Red de Auto-Organización. El propósito de esto es reducir la complejidad de la implementación de nuevos nodos en la red, esto puede ser para nuevas celdas micro o macro en áreas congestionadas, para las pico celdas instaladas en puntos de acceso locales como centros comerciales o aeropuertos, o incluso femto celdas que se instalan para cobertura dentro de un solo espacio.

Tradicionalmente, cuando se configura un nuevo nodo en la red, hay una serie de planificación y mediciones que deben ser realizadas por expertos en el campo, y luego la configuración de parámetros y el ajuste de la red se lleva a cabo utilizando otros expertos que administran la red. Todo esto tiene que ver con la configuración de los niveles de potencia de la red, las listas de celdas

vecinas para las mediciones de Handover y la configuración correcta del nodo en todas las demás bases de datos de la red.

El concepto de SON es permitir que esto ocurra automáticamente utilizando el software en el eNodoB, por lo que todas las mediciones necesarias se realizan automáticamente y se informan a la red, además, la red debe poder transferir automáticamente esta información a otros elementos de la red que usarán la información para fines de configuración/optimización. Este concepto incluye varias funciones diferentes desde la activación de eNodoB hasta la afinación de parámetros de radio. La Figura 31 muestra un marco básico para todas las funciones de autoconfiguración y optimización automática.

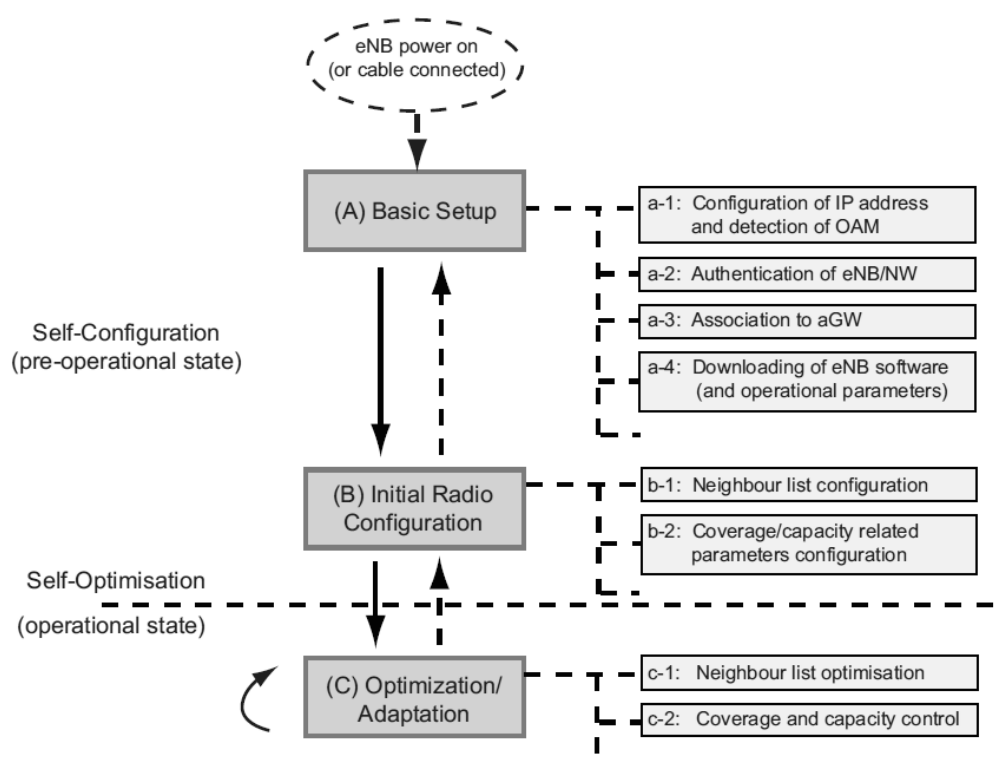


Figura 31. Funciones de Auto Configuración y Optimización Automática.

Fuente: (Cox, 2012)

El proceso de autoconfiguración se define como el proceso en el que los nodos recién implementados se configuran mediante procedimientos de instalación automática para obtener la configuración básica necesaria para la operación del sistema. Este proceso funciona en estado preoperacional, es decir, desde que se enciende el eNodoB y tiene conectividad a la Red de Core hasta que se enciende el transmisor de Radio Frecuencia RF. Las funciones típicas que se manejan en el estado preoperativo cubierto por el proceso de autoconfiguración son:

- Configuración Básica
- Configuración Inicial de Radio
- Procedimientos para Obtener la Configuración de Interfaz Requerida
- Registro Automático de Nodos en el Sistema Proporcionado por la Red

El proceso de auto optimización se define como el proceso en el que las mediciones de UE y del eNodoB y las mediciones de rendimiento se utilizan para afinar automáticamente la red. Este proceso funciona en un estado operativo en el que la interfaz de RF es encendida. Las funciones típicas que se manejan en el estado operativo cubierto por el proceso de Auto Optimización son:

- Optimización/Adaptación de Configuraciones de Red
- Distribución de Datos y Mediciones sobre interfaces de Radio
- Comunicación con Funciones/Entidades/Nodos a cargo de la adición de Datos para Fines de Optimización
- Gestión de Enlaces con Funciones e Interfaces de Operación y Mantenimiento relevantes para el proceso de Auto Optimización.

Para habilitar el SON, también es necesario que el UE admita medidas y procedimientos que puedan utilizarse para la Configuración Automática y la Optimización Automática del sistema E-UTRAN. Para reducir el impacto de SON en el UE en términos de costo, complejidad, vida útil de la batería, etc., las mediciones y los informes utilizados para el funcionamiento normal del sistema se deben utilizar como entrada para el proceso de Optimización Automática en la medida de lo posible. Para las mediciones específicas de SON requeridas por la red, la red puede configurar las mediciones y los informes para el soporte de Auto-Optimización mediante los mensajes de señalización RRC enviados al UE.

2.2.5.2 Interfaz S1

La interfaz S1 conecta el eNodoB al EPC. Se divide en dos interfaces, una para el plano de control y la otra para el plano de usuario.

2.2.5.2.1 Estructura de Protocolos sobre la Interfaz S1

La Estructura de Protocolo sobre la Interfaz S1 se basa en una pila de transporte completamente IP como se usa en redes GSM o UMTS, esta simplificación proporciona un esperado ahorro en los Gastos Operativos OPex cuando se implementan las redes LTE.

2.2.5.2.2 Interfaz S1 para el Plano de control

La Figura 32 muestra la pila de protocolos del Plano de Control para la Interfaz S1, que se basa en la pila de Protocolo de Transmisión de Control de Flujo/IP (SCTP/IP).

El protocolo SCTP es conocido por sus características avanzadas heredadas de TCP que garantizan la entrega confiable de los mensajes de señalización, además, hace posible beneficiarse

de características mejoradas, como el manejo de múltiples tramas para implementar fácilmente la redundancia en la red de transporte.

Un área de simplificación en LTE, en comparación con la interfaz UMTS Iu, es el mapeo directo del Protocolo de Aplicación S1 (S1-AP) en la parte superior del protocolo SCTP. Esto da como resultado una pila de protocolos simplificada, sin la presencia de un protocolo intermedio que se ocupe de la administración de la conexión, ya que las conexiones individuales se manejan directamente en la capa de aplicación. La multiplexación tiene lugar entre S1-AP y SCTP, por lo que cada trama SCTP se multiplexa con el tráfico de señalización de múltiples conexiones individuales.

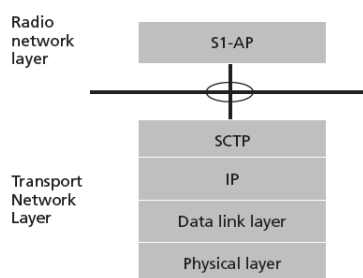


Figura 32. Pila de Protocolos del Plano de Control para la Interfaz S1
Fuente: (Alcatel-Lucent, 2009)

LTE también incorpora flexibilidad en los protocolos de las capas inferiores, lo que le brinda al operador de red alternativas respecto a la elección de la versión IP y la capa de enlace de datos, por ejemplo, esto permite al operador de red comenzar la implementación utilizando la versión 4 de IP con el enlace de datos adaptado al escenario de implementación de la red.

2.2.5.2.3 Interfaz S1 para el Plano de Usuario

La Figura 33 muestra la pila de protocolos del Plano de Usuario de la Interfaz S1, basada en la pila GTP/UDP/IP, que es utilizada en las redes UMTS. Una de las ventajas de utilizar el Protocolo de Tunelización GPRS para el Plano de Usuario (GTP-U) es su facilidad esencial para identificar túneles y facilitar la movilidad con redes GSM y UMTS. Al igual que para el Plano de Control, la versión IP y la Capa de Enlace de Datos se dejan a libre elección del operador.

El S-GW envía paquetes de enlace de Downlink de una conexión dada a la dirección IP del eNodoB, IP que es recibida en la capa S1-AP y asociada a esa conexión en particular, de igual manera, el eNodoB envía paquetes de enlace de Uplink de una conexión dada a la dirección IP del EPC, IP que igualmente es recibida en la capa S1-AP y asociada a esa conexión en particular.

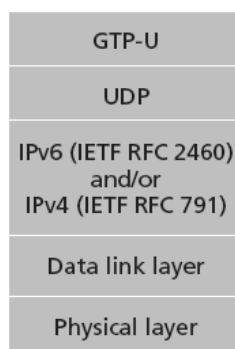


Figura 33. Pila de Protocolos del Plano de Usuario para la Interfaz S1
Fuente: (Alcatel-Lucent, 2009)

Las categorías de tráfico específicas de una aplicación; por ejemplo, el tráfico en tiempo real; se pueden mapear asignando puntos de código de Servicios Diferenciados (DiffServ); por ejemplo, reenvío acelerado; utilizando configuraciones de O&M para administrar la diferenciación de QoS entre las conexiones que llevan el tráfico específico.

2.2.5.3 Interfaz X2

La interfaz X2 se utiliza para interconectar los eNodoBs en el EPS.

2.2.5.3.1 Estructura de Protocolos sobre la Interfaz X2

Las pilas de protocolos de plano de control y plano de usuario sobre la interfaz X2, que se muestran en las Figura 34 y Figura 35 respectivamente, son las mismas que las de la interfaz S1, con la excepción de que X2-AP se sustituye por S1-AP, esto también reafirma que la elección de la versión de IP y la capa de enlace de datos se dejan a libre elección del operador.

El uso de la misma estructura de protocolo en ambas interfaces proporciona ventajas como la simplificación del reenvío de datos.

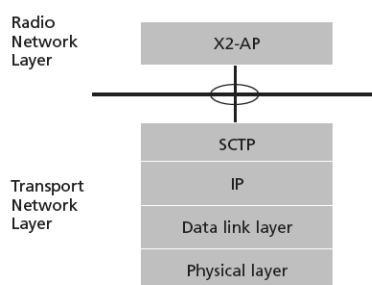


Figura 34. Pila de Protocolos del Plano de Control para la Interfaz X2

Fuente: (Alcatel-Lucent, 2009)

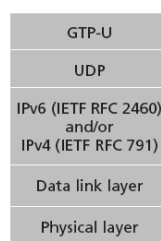


Figura 35. Pila de Protocolos del Plano de Usuario para la Interfaz X2

Fuente: (Alcatel-Lucent, 2009)

2.3 Concepto de Nodo Distribuido

El tipo más popular de despliegue de la Estación Base Inalámbrica (sitio celular) consiste en una Estación Transceptora Base (BTS) ubicada generalmente cerca de la torre de telecomunicaciones, esta BTS se conecta tanto al Mobile Switching Center (MSC), como a la antena de transmisores/receptores de radiofrecuencia (RF) ubicada en la estructura de la torre.

El Shelter/Rack en la base de la torre o en los bajos de un edificio alto se configura con los transceptores y amplificadores de RF, junto con la unidad de procesamiento de banda base, la unidad de alarmas, la alimentación de Corriente Alterna AC, los sistemas de energía de respaldo como Baterías y Generador y una unidad de transporte de backhaul, para la conexión con el MSC; todos estos elementos se instalan típicamente en un solo o un conjunto de gabinetes de rack y los amplificadores de RF conducen la señal celular, a través de los cables de guía de onda, a la antena ubicada en la parte superior de la torre.

Este despliegue típico requiere una configuración demandante en la estructura del edificio: una gran área en el sitio para infraestructura y un sistema de energía de respaldo considerable (baterías grandes y voluminosas); también está sujeto a altas pérdidas de señal y potencia en el cable de guía de onda, debido a la longitud del cable entre los amplificadores de RF y las antenas transmisoras/receptoras montadas en la parte superior de la torre. Los amplificadores montados en torre (TMA) son generalmente necesarios para aumentar esta señal de RF cuando la distancia entre la antena montada en la torre y la ubicación del BTS es demasiado grande.

A lo largo del tiempo algunos cambios en las técnicas de despliegue y en la arquitectura de la BTS han sido implementados para corregir algunos de estos inconvenientes. Las estaciones base

modernas presentan una arquitectura distribuida representada en la Figura 36, en la que la radio se divide en dos elementos principales: el controlador del equipo radio (REC) o unidad de banda base (BBU), instalado en la parte inferior de la torre, y el equipo de radio (RE) o cabezal de radio remoto (RRH), instalado en la parte superior de la torre. Estos dos elementos se comunican a través de la interfaz de radio pública común (CPRI) por enlaces de fibra.

Esta arquitectura distribuida ofrece la ventaja de poder sustituir los cables coaxiales por cables de fibra, lo que reduce significativamente los problemas de pérdida y reflexión de señal. Otros beneficios de esta arquitectura es su instalación flexible, fácil implementación en el sitio y bajo consumo de energía.

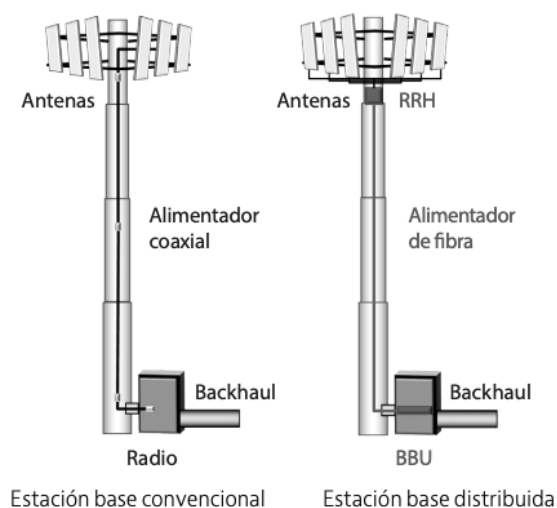


Figura 36. Arquitectura de Estación Base Tradicional vs Estación Base Distribuida

Fuente: (Inc, 2015)

Existen cinco Arquitecturas Base utilizadas hoy en día para el despliegue de una estación base.

2.3.1 Arquitectura Heredada (Legacy)

Con todos los equipos ubicados dentro del Shelter/Rack, con una conexión coaxial a la parte superior de la torre y una conexión de fibra o cobre al MSC (ilustrada en la Figura 37).

Esta arquitectura presenta varios inconvenientes como:

- El Shelter/Rack BTS debe estar físicamente cerca de la torre para evitar la necesidad de amplificadores montados en torre (TMA)
- El espacio físico requerido para la implementación del Shelter/Rack es significativo
- En una solución de terraza, se necesitan edificaciones reforzadas estructuralmente para soportar el peso del Shelter/Rack BTS.
- Limitación en opciones disponibles de espacio adecuado en zonas altamente pobladas y densas
- Molestia e incomodidad de los habitantes en los barrios locales

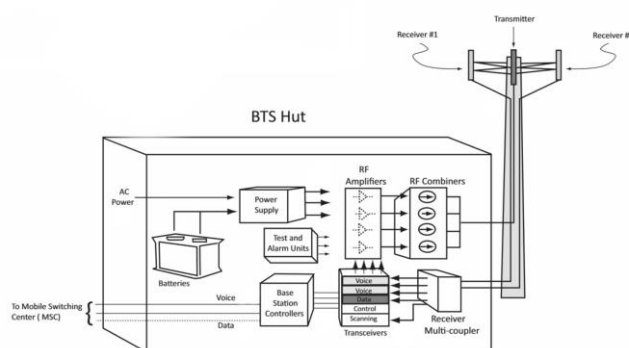


Figura 37. Configuración típica de BTS Legacy.

Fuente: (Littelfuse, 2012)

2.3.2 Diseño de Arquitectura Dividida/Distribuida (DBS)

Con la Unidad de Banda Base (BBU) ubicada en el interior del Shelter/Rack y una Unidad de Radio Remota (RRU/RRH) ubicada en la torre (ilustrada en la Figura 38).

La arquitectura de la Estación Base Distribuida coloca los transceptores de RF en la torre, esta disposición requiere una fibra óptica para conectar las señales de banda base digital dentro del Shelter/Rack BTS con la RRU montada en la torre. Esto permite hacer una conexión coaxial mucho más corta entre la RRU y las antenas transmisoras y receptoras en la parte superior de la torre, esta disposición consume mucha menos potencia de RF debido a las pérdidas reducidas que resultan del uso del cable coaxial más corto y la fibra óptica, también permite una mayor flexibilidad en la selección de la ubicación del Shelter/Rack BTS con respecto a la torre.

Las ventajas de esta arquitectura son:

- El Shelter/Rack BTS puede estar físicamente alejado del sitio de la antena; no se requieren TMA, más flexibilidad en la colocación del Shelter/Rack
- Requisitos de espacio más pequeños (requisitos de energía más bajos): no se requiere estructuras reforzadas, Impacto de Molestia e Incomodidad de habitantes reducido.
- No hay amplificadores de RF contenidos en el Shelter/Rack BTS o TMA porque la RRU realiza esta función en esta arquitectura. Sin embargo, debido a que esta función ahora se encuentra en la torre, se incrementa la exposición a sobretensiones inducidas por rayos.

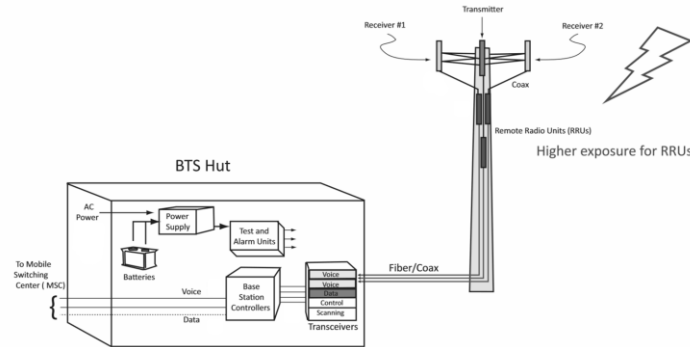


Figura 38. Torre de radio y equipo BTS utilizados en una típica ubicación de celda.

Fuente: (Littelfuse, 2012)

2.3.3 Enfoque de "Hoteling"

Que usa un único Shelter/Rack BTS, pero se conecta a múltiples torres (ilustrado en la Figura 39). El concepto anterior de estación base distribuida se puede ampliar aún más mediante el uso de un "hotel" remoto centralizado para varios sitios de torres. Este enfoque reduce drásticamente el espacio requerido, lo que permite una expansión más fácil de las nuevas estaciones base 3G y 4G en zonas densamente pobladas.

Las ventajas de esta arquitectura son:

- El Shelter/Rack centralizado puede estar físicamente alejado de varios sitios de antena
- No se requieren TMA porque las RRU sustituyen a esta función
- Más flexibilidad en la ubicación del Shelter/Rack debido al espacio más pequeño
- Menores requerimientos de potencia
- No hay requisitos especiales para techos reforzados.
- Impacto Reducido de Molestia e Incomodidad

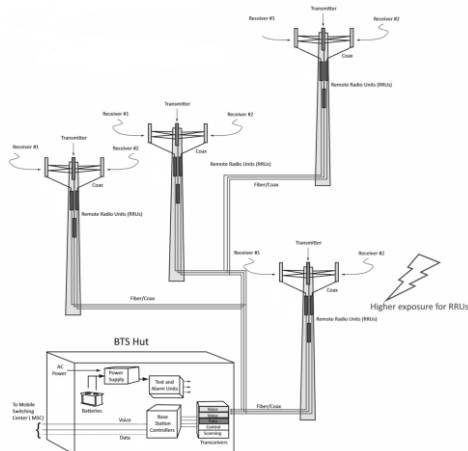


Figura 39. Arquitectura de BTS Distribuida “Hoteling”.
Fuente: (Littelfuse, 2012)

2.3.4 Arquitectura BTS Outdoor:

Con requerimientos de infraestructura en suelo cero, todos sus componentes se encuentran ubicados en la torre (esencialmente múltiples cajas en la torre que se comunican a través de una combinación de cable coaxial a las antenas y fibra/cobre al MSC, (ilustrado en la Figura 40).

La colocación de todo el hardware en la torre, hace posible un diseño de espacio físico mínimo.

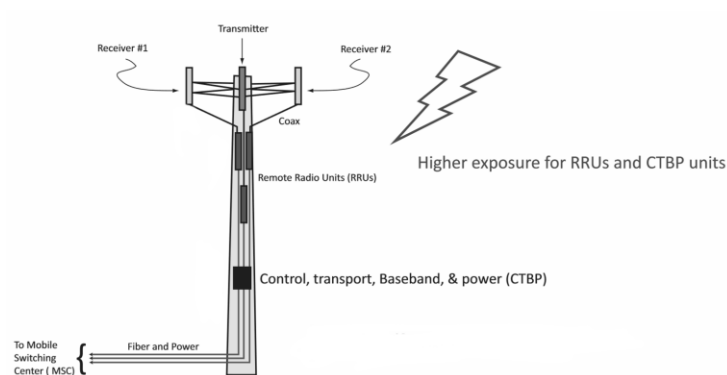


Figura 40. Arquitectura de BTS Distribuida Todo Outdoor
Fuente: (Littelfuse, 2012)

Las ventajas de esta arquitectura son:

- No se requieren TMA, presenta mayor flexibilidad
- Sin requisitos de espacio, excepto la torre
- Requisitos de energía más bajos
- No se requiere edificaciones especiales reforzadas.
- Mínimo impacto de Molestia por Apariencia

2.3.5 Sistema de Transferencia de Capacidad:

Concepto de repetidor inalámbrico BTS, mayormente conocido como remotización (ilustrado en la Figura 41).

Otra variante del concepto de BTS distribuido es el sistema de transferencia de capacidad, en el que se conecta una única BTS con una conexión digital al BSC (Controlador de estación base) a sitios de torres adicionales a través de portadoras de frecuencia de microondas para ampliar su cobertura. Las RRU ahora están ubicadas en la torre, su exposición a los rayos cercanos se incrementa considerablemente.

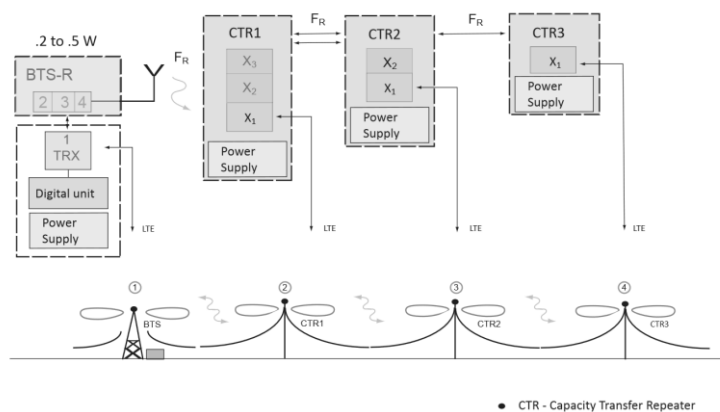


Figura 41. Concepto de BTS Remotizada
Fuente: (Littelfuse, 2012)

2.4 Estrategias de Implementación para LTE

LTE se ha convertido en la tecnología inalámbrica elegida por los operadores móviles para ofrecer servicios de datos de banda ancha, en un entorno dinámico y de creciente demanda de ancho de banda móvil. Sin embargo, antes de implementar LTE, los operadores tienen que formular una estrategia comercial y técnica que apunta a maximizar los ingresos y minimizar los costos, así como satisfacer las expectativas de los usuarios.

Los operadores móviles previo al despliegue de LTE, deben tener una visión integral de sus redes Legacy o Heredadas de múltiples tecnologías, y explotar todas las variantes para minimizar los costos y maximizar los ingresos.

2.4.1 Consideraciones al implementar LTE

Entre las primeras cosas a considerar está la diferencia en el potencial de mercado entre el despliegue de 3G y LTE. Cuando llegó el 3G, había muy pocos teléfonos 3G disponibles, pero hoy en día un gran porcentaje de los teléfonos nuevos ya están habilitados para LTE, incluso en mercados sin servicio de LTE. Esto significa que un operador puede tener un gran mercado potencial de usuarios de LTE esperando incluso antes de que comience a ofrecer el servicio de LTE. Este enfoque se complementa con estrategias comerciales que consideran la combinación de características frente a los teléfonos inteligentes y los contratos de servicio prepago frente a postpago que, en conjunto, darán una buena indicación del número de usuarios que saltarán a LTE una vez que se inicie el servicio.

Técnicamente hablando, las consideraciones a tomar en cuenta previo a la implementación de LTE tienen que ver con los siguientes aspectos:

- **Redes Legacy:** diseño de las redes y la antigüedad de los equipos.
- **Requisitos Regulatorios:** requerimientos de cobertura mínimas asociadas con las nuevas frecuencias de LTE
- **Carga de tráfico de Datos en redes Legacy:** si el tráfico de datos de los módems LTE existentes en la red 3G es significativo, probablemente sea un buen momento para implementar rápidamente LTE con el objetivo de desviar una gran parte del tráfico de datos de la red Legacy hacia la nueva red LTE y liberar capacidad para los servicios de voz.
- **Diseño de Red:** espectro disponible y capacidad de rearming. El espectro es un factor clave, para la cobertura LTE es bueno tener una banda baja, mientras que para agregar capacidad es útil tener una banda alta.

Consideraciones adicionales por capacidad en áreas de alta densidad pueden identificarse evaluando:

- Celdas Pequeñas como parte de la planificación.
- Cantidad de estaciones base en áreas de alto tráfico.
- Espacio disponible en sitios actuales para equipos adicionales de LTE.
- Tiempo de vida de equipos de las redes Legacy 2G/3G.
- Las redes Legacy pueden mantener su configuración actual para servir a los usuarios LTE o se debe cambiar su parametrización hacia los objetivos de LTE, a pesar de la disminución de la carga de tráfico.

2.4.2 Opciones básicas para el despliegue de LTE

Hay 2 opciones distintas para que los operadores consideren al implementar LTE:

- Implementación gradual con actualizaciones de sitios celulares seleccionados impulsadas por las necesidades de capacidad.
- Despliegue rápido de área amplia.

Del mismo modo, hay 2 formas distintas de instalar LTE en un sitio celular. LTE se puede agregar como una superposición (Overlay) mientras deja el equipo Legacy en su lugar, o la infraestructura de red existente puede ser reemplazada por un nuevo sistema de radio que puede transportar 2G, 3G y LTE; el enfoque de Single RAN.

La renovación de Single RAN se usa a menudo durante los enfoques de implementación gradual, mientras que el Overlay proporciona un camino más rápido para lograr una implementación rápida.

2.4.2.1 Overlay

Implica el despliegue de una red de acceso de radio (RAN) de LTE independiente junto con cualquier RAN de 2G y 3G Legacy o Heredada.

Overlay es generalmente utilizado en implementaciones rápidas de área amplia, en la que el operador busca cubrir la mayor cantidad de terreno lo más rápido posible. Con esta opción, los operadores mueven activamente tantos usuarios como pueden a LTE, lo que puede detener rápidamente la necesidad de un CAPEX continuo en las tecnologías de acceso Legacy.

En términos reales, Overlay significa dejar el equipo heredado 2G y 3G en su lugar y agregar un nuevo equipo LTE a la red, no se realiza un rediseño de las redes heredadas, más que un posible refarming para liberar el espectro disponible.

Este método de implementación, a simple vista no tiene ningún impacto negativo en las operaciones en curso, que junto con procesos de interoperabilidad bien definidos aseguran una movilidad perfecta.

Sin embargo, este método de implementación no considera las posibles limitaciones de espacio en los sitios existentes, capacidad de energía y capacidad de infraestructura; tampoco considera la necesidad de los operadores móviles en reducir los gastos de OPEX, sin mencionar las implementaciones venideras de tecnologías de 5G.

2.4.2.2 Single RAN

Implica la instalación de una unidad de estación base única que proporciona la funcionalidad de una nueva estación base LTE y también reemplaza las estaciones base 2G y 3G Legacy o Heredadas en cada sitio de radio.

Utilizando el método Single RAN, el operador implementa LTE en los sitios de las celdas donde se necesita capacidad adicional mientras continúa creciendo la red 3G.

Bajo un entendimiento lógico y general, una red Single RAN debería planificar un proceso de actualización de 2 pasos suponiendo más trabajo de lo normal:

- Reemplazo del equipo heredado 2G y 3G con un nuevo Single RAN 2G/3G
- Regresar a sitio y actualizar el hardware para que también sea compatible con LTE, esto una vez que esté estable y esté seguro de que se ha mantenido la calidad de la red heredada.

Sin embargo, el proceso de implementación de LTE con el método Single RAN se ejecuta en una sola instancia, mientras se implementa el nuevo sitio LTE se realiza la integración de las tecnologías Legacy al nuevo sitio Single RAN.

El método de implementación Single RAN conlleva una ventaja importante, dado que el operador ahora tiene implementado un equipo más moderno, esperará ver una reducción en OPEX en su servicio 2G y 3G.

2.4.3 Migración de LTE en la vida real.

Sería ideal si la infraestructura existente pudiera actualizarse por software para soportar 3G y LTE sin tener que realizar cambios importantes. En la realidad, los beneficios completos de LTE no se pueden lograr sin un cambio significativo, por un lado, los consumidores gastan dinero en teléfonos cada vez más potentes para que puedan beneficiarse de la actualización de todo el sistema, incluidos los procesadores, la pantalla y el software, esto también se aplica a LTE.

En las soluciones Single RAN, se requieren cambios significativos para garantizar que se puedan obtener todos los beneficios de LTE. Si se compara el gasto de CAPEX en el nuevo hardware requerido entre Single RAN y una red Overlay, la diferencia no es muy significativa.

Como se ilustra en la Figura 42, las actualizaciones son necesarias en toda la red para admitir LTE. En la red de acceso de radio se requieren antenas adicionales y unidades de radiofrecuencia (RF) para admitir la múltiple entrada y múltiple salida (MIMO). En algunos casos, cuando el espectro es apto para rearming, las antenas existentes y la RF se pueden reutilizar, sin embargo, en la mayoría de los casos, se utilizará un nuevo espectro para LTE, de manera que se requerirá un nuevo equipo de RF.

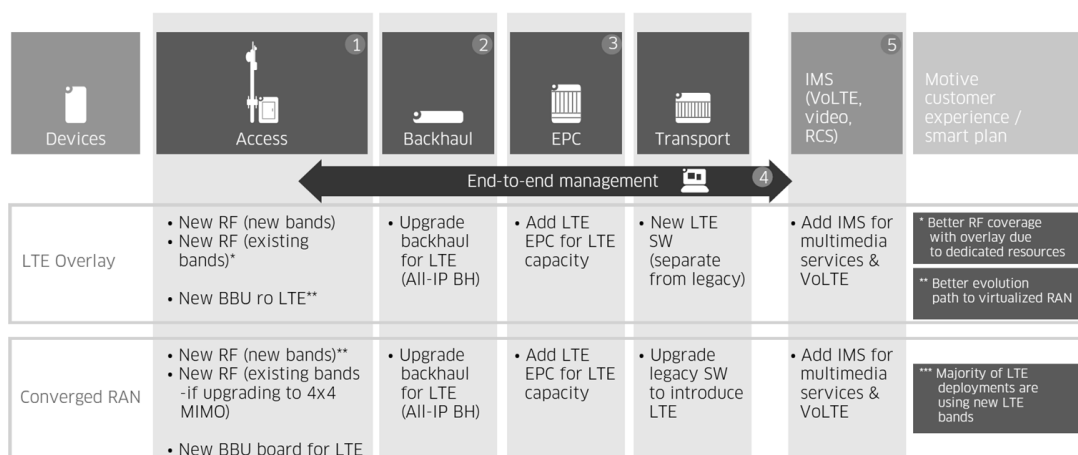


Figura 42. Requisitos de equipos de migración LTE

Fuente: (Alcatel-Lucent, 2015)

En la Red de Core, LTE presenta un nuevo elemento de control, la entidad de gestión de la movilidad (MME), y las nuevas puertas de enlace: la puerta de enlace de servicio (S-GW) y la puerta de enlace PDN (P-GW).

Los operadores móviles pueden optar por tres enfoques:

- Reutilizar hardware heredado, como el nodo de soporte de servicio GPRS (SGSN) y el nodo de soporte de Gateway GPRS (GGSN), para admitir las funciones LTE
- Desarrollar hardware y software de core (Evolved Packet Core [EPC]) dedicado y optimizado para LTE
- Desarrollar nuevo hardware de core optimizado para LTE y que sea compatible con tecnologías anteriores como 3G

2.4.4 Estrategia de Single RAN vs Overlay para LTE.

Este análisis examina las ventajas y desventajas que los operadores móviles consideran para la tiempos y pasos de sus implementaciones de LTE, basándose en una evaluación clara de los

escenarios que cada uno enfrenta en sus respectivos mercados. Una estrategia de implementación LTE bien pensada debe desarrollarse basándose en:

- Consideraciones espectrales y regulatorias.
- Edad y estado de las redes heredadas 2G y 3G (HSPA y EVDO) existentes
- Condiciones para abordar las limitaciones de capacidad/demanda de los clientes.
- Consideraciones clave competitivas y de negocios.
- Problemas de calidad de experiencia (QoE)
- Implicaciones para el manejo de nuevos servicios, incluida la madurez de voz/VoIP

Los operadores móviles deben considerar las ventajas y desventajas entre dos estrategias de implementación de LTE alternativas principales, como se muestra en la Figura 43 esto incluye una estrategia de Single RAN que involucra el despliegue de nuevas estaciones base de estándares múltiples como una plataforma común para agregar LTE mientras convergen varias generaciones de redes inalámbricas. En este enfoque, los operadores deben planear la remoción del equipo de red heredado de cada sitio, reemplazándolo con una nueva estación base Single RAN con radios multimodo para admitir de manera más eficiente los servicios 2G, 3G y 4G.

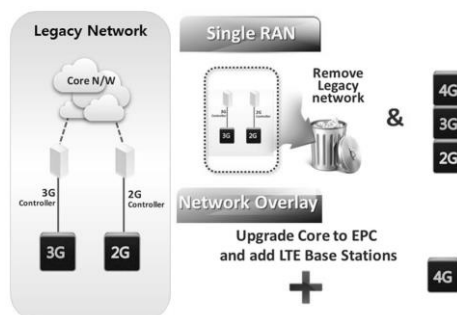


Figura 43. Estrategias de Implementación de LTE: Single RAN vs Overlay

Fuente: (Ayvazian, 2013)

La Figura 43 resume los factores principales que están influenciando a los operadores móviles para adoptar una estrategia de Single RAN para implementar de manera eficiente sus redes LTE con inversiones que los preparen para futuras tecnologías y modernizando sus redes 2G/3G que de otra manera serían obsoletas a corto plazo. Single RAN como estrategia de implementación para LTE, evita gastos adicionales futuros que se generarían al utilizar la estrategia de Overlay, ya que el Overlay de LTE no excluye una modernización e integración posterior de los sistemas heredados y LTE, esto porque la mayoría de las redes de LTE que se implementan se basan en plataformas de múltiples niveles. La Tabla 6 muestra una comparativa de las ventajas de Single RAN y las ventajas de Overlay enfocada en los escenarios de implementación de una estación base LTE.

La velocidad de comercialización y el despliegue eficiente de la red se han convertido en los principales impulsores de la estrategia de implementación para LTE, lo que resulta en una carrera hacia el despliegue de LTE en todo el país, un marketing agresivo de servicios 4G y un rápido crecimiento de suscripciones de LTE. Es por esta razón que la estrategia de Single RAN tiene su mayor efectividad si se implementa como un reemplazo acelerado, para minimizar el tiempo que coexisten la red Single RAN y las redes heredadas.

Tabla 6

Escenarios de Implementación de Single RAN y Overlay para redes LTE

Ventajas de Single RAN	Ventajas de Overlay
Converge múltiples generaciones de redes inalámbricas u operadores recién fusionados	Implementación de LTE más rápida
Implementación de equipos con proyección a nuevas tecnologías inalámbricas.	Minimiza la inversión adicional en redes 2G/3G heredadas
Capacidad para actualizar la red 2G/3G mientras se implementa una red 4G LTE. Reemplaza equipamiento obsoleto.	Evita cambios en una red 2G/3G existente, pero limita su crecimiento
Plataforma de red 2G/3G/4G común con menor OPEX	
Ahorra recursos en infraestructura, energía y espacio físico	

Si bien una transformación de red tan radical es desafiante y requiere muchos recursos operativos, Este tipo de reemplazos de red completos son cada vez más comunes y los proveedores pueden usar su experiencia de proyectos de reemplazo anteriores para mitigar los riesgos asociados a esta implementación.

En última instancia, Single RAN es la estrategia más viable para implementar LTE de la manera más efectiva, y es precisamente por esta razón que Single RAN se está convirtiendo rápidamente en la norma para implementar nuevas estaciones base LTE, llevando a los operadores móviles a ejecutar proyectos de modernización de sus estaciones base 2G y 3G Legacy o Heredadas, donde se realiza el reemplazo de los equipos Legacy por equipos SRAN, integrando todas las tecnologías sobre un mismo equipamiento.

CAPÍTULO III

SINGLE RADIO ACCESS NETWORK

3.1 Conceptos de Single RAN

El término "Single RAN" tiene varias interpretaciones, para muchos el concepto de Single RAN proporciona un plan para Redes de Acceso de Múltiples RAT (Tecnología de Acceso de Radio), en las que las celdas y servicios 2G, 3G y 4G se combinan en una solución de acceso único, con un UE libre para hacer uso del GERAN 2G (GSM EDGE Radio Access Network), conectividad 3G UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) y 4G E-UTRAN (Evolved UTRAN) según lo requiera la necesidad y la cobertura. Los servicios de Single RAN multi-RAT a menudo se implementan mediante el despliegue de estaciones base "Multi-Estándar", que son capaces de generar celdas 2G, 3G y 4G simultáneamente desde una sola estación base. Otros términos que se usan a menudo para describir este concepto son RAN Multi-Estándar, RAN Multi-Generación y RAN Combinado.

Una extensión de la versión "Multi-RAT" del concepto de Single RAN aborda la combinación de servicios de banda ancha fijos y móviles como un entorno de acceso coherente. Por lo tanto, un operador puede utilizar el concepto de Single RAN como una forma de converger sus redes de acceso de banda ancha fija y móvil heredadas para proporcionar un servicio unificado.

El término Single RAN en ocasiones se usa en asociación con algún tipo de acuerdo de Compartición de Red entre operadores. La concatenación de los conceptos 'Multi-RAT' y 'Multi-operador' en el entorno de Single RAN ocurre con mayor frecuencia cuando los operadores de red

intentan llevar a cabo un despliegue de nuevas estaciones base Multi-Estándar como parte del proceso de implementación de un acuerdo de uso compartido de red con un operador asociado.

La mayoría de los fabricantes de equipos utilizan el término Single RAN para referirse a sus productos RAN de Estándares Múltiples. Por ejemplo, Huawei tiene una gama de productos Single RAN, NSN (Nokia Siemens Networks) tiene una gama de productos llamada Single RAN Advanced y ZTE tiene una gama de productos llamada Uni RAN, todos los cuales ofrecen estaciones base Multi-Estándar (GSM, WCDMA, LTE).

3.1.1 Single RAN Multi-RAT

A medida que los servicios celulares han evolucionado, muchos operadores se han encontrado en una posición en la que tienen varias generaciones de tecnologías de redes de acceso de radio implementadas y en uso simultáneamente. Tradicionalmente, cada RAT requería su propia solución de acceso a medida, lo que conducía a que las redes a menudo desplegaran estaciones base 2G (GSM/EDGE), 3G (UMTS/HSPA) y 4G LTE por separado en los mismos sitios.

Varios desarrollos recientes han permitido a los fabricantes de equipos lanzar estaciones base Multi-Estándar, que son capaces de generar celdas 2G, 3G y 4G simultáneamente como lo muestra la Figura 44, ofreciendo a los operadores la oportunidad de reemplazar múltiples estaciones base separadas por sitio con un solo nodo combinado. Los principales avances que han llevado a esto incluyen:

- Las iniciativas de diseño de estaciones base comunes, como OBSAI (Open Base Station Architecture Initiative) y CPRI (Common Public Radio Interface), han producido un

conjunto homogéneo de bloques funcionales e interfaces internas para estaciones base, independientemente de si esos nodos admiten 2G, 3G o 4G.

- Se han desarrollado técnicas de SDR (Software Defined Radio), que distribuyen gran parte del esfuerzo de procesamiento de las señales de radio realizado por una estación base, desde unidades de hardware específicas para cada tecnología hacia chips estándar DSP (Digital Signal Processing). La diferencia entre una estación base que genera una señal GSM y una que genera WCDMA es ahora una cuestión de software y configuración en lugar de capacidades de hardware. La velocidad y las capacidades del procesador y los chips DSP empleados en las estaciones base modernas permiten que cada dispositivo realice un conjunto de tareas más amplio y complejo de lo que hubieran sido capaces los nodos tradicionales Legacy.
- Se han implementado tecnologías de backhaul basadas en paquetes, mayormente basadas en IP (Protocolo de Internet) y/o Ethernet, que son capaces de transportar tráfico para múltiples tipos de acceso de radio, esto ha reemplazado en gran medida las tecnologías de backhaul específicas (E1/T1 TDM y ATM) empleadas por las implementaciones de 2G y 3G heredadas.
- El 3GPP comenzó a especificar las características de radio de los dispositivos MSR (Radio Multi-Estándar) como las estaciones base, en una serie de 37 especificaciones que han sido publicadas a partir del Release 9.

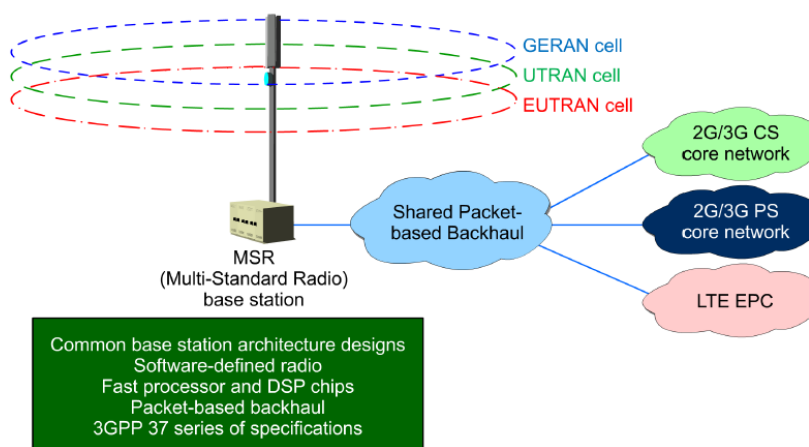


Figura 44. Arquitectura de Diseño de Estación Base Común
Fuente: (Limited, 2012)

3.1.2 Single RAN Multi Operador

La definición menos frecuente de Single RAN hace referencia a la compartición del entorno de acceso de radio entre dos o más operadores, otros términos más comunes para describir este escenario incluyen RAN Sharing y MORAN (Multi-Operator RAN).

En un entorno de múltiples operadores, la RAN y/o elementos de la red de core pueden compartirse en una variedad de métodos. Las formas más simples de compartir la RAN implican compartir ubicaciones físicas de estaciones base y posiblemente la infraestructura de las estaciones base como fuentes de alimentación, torres e incluso conexiones de backhaul. Las formas más complejas de compartir la RAN implican el uso de estaciones base combinadas, que pueden utilizarse para atender a los clientes de las redes asociadas. Las estaciones base combinadas pueden operar en *frecuencias separadas*, en la que se generan celdas separadas por operador, o en *frecuencias compartidas*, en la que los operadores asociados comparten las mismas celdas y frecuencias.

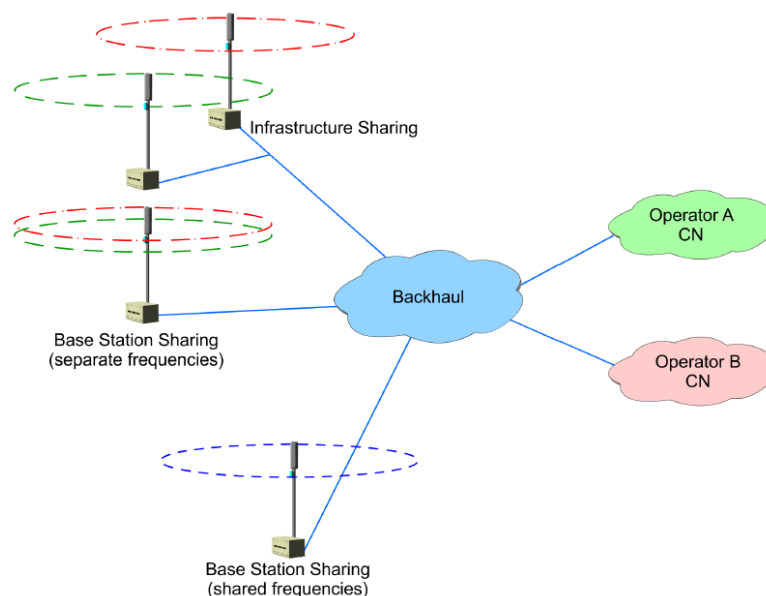


Figura 45. RAN compartida en dos Operadores de Red

Fuente: (Limited, 2012)

Los esquemas de uso compartido de los sitios celulares a menudo se describen como pasivos o activos. En un esquema de compartición pasiva, cada operador mantiene sus propios elementos de estación base (unidades de radio, amplificadores de potencia, procesadores de señal), pero comparte la infraestructura clave del sitio e incluso puede compartir los Shelter/Rack de la estación base. En un esquema de intercambio activo, los operadores comparten sitios, infraestructura y elementos clave de las estaciones base, como procesadores de señales, unidades de radio e incluso frecuencias de radio.

La Figura 45 muestra un diseño de una red combinada, considerando los diferentes métodos antes explicados.

3.1.3 Compartición de la Red de Core

El uso compartido de la RAN puede asociarse con dos tipos diferentes de uso compartido de la red de core conocidos como: MOCN (Multi-Operator Core Networks) y GWCN (Gateway Core Networks).

En las configuraciones MOCN, los nodos que comparten la RAN se implementan a nivel de BSC en la GERAN, a nivel de RNC en la UTRAN y a nivel eNB en la EUTRAN, la RAN compartida se conecta a redes de core completamente separadas para cada operador. Los UE que soportan mecanismos de control adicionales realizarán la Selección del PLMN en el proceso de Attach y la función Iu/S1-flex realizada por el nodo RAN seleccionará el MSC/SGSN/MME propios de la PLMN seleccionada para enviar las solicitudes de Attach, por otro lado los UE que no son compatibles con mecanismos de control adicionales funcionarán utilizando técnicas de Attach heredadas, pero se pueden redirigir a un elemento de la red de core diferente una vez que se hayan Conectado a la red.

En las configuraciones GWCN, los nodos que comparten la RAN se conectan a un conjunto de MSC/SGSN/MME compartidos, que a su vez se conectan a un conjunto de redes de core separadas. En este caso los UE volverán a realizar la selección de la PLMN, pero el nodo RAN es quien realizará las funciones Iu/S1-flex hacia un conjunto único y combinado de MSC/SGSN/MME. Posteriormente el nodo de la red de core seleccionado realizará para cada PLMN y de forma separada la selección de la puerta de enlace para la red de core y admitirá interfaces a un conjunto diferente de nodos HLR/HSS para cada PLMN.

La Figura 46 ilustra los arreglos de compartición de redes de core para redes LTE; También existen disposiciones similares para redes de core heredadas en el dominio de CS y el dominio de PS que permiten el uso compartido del MSC y el SGSN.

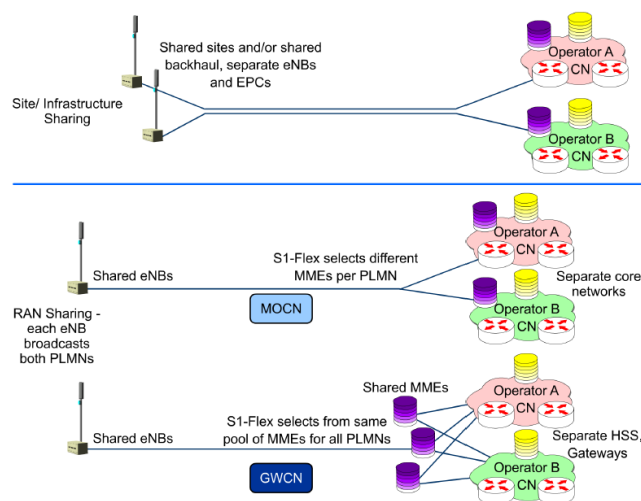


Figura 46. Red de Core y RAN Compartidas
Fuente: (Limited, 2012)

3.1.4 Beneficios potenciales de la implementación de Single RAN

Los beneficios potenciales que se pueden esperar de una implementación de Single RAN podrían incluir:

- **Simplificación:** una red Single RAN es más simple de construir y diseñar que varias RAN que conducen a ahorros de CAPEX (gastos de capital).
- **Ahorros Organizacionales:** una red compartida a menudo requiere menos recursos para su operación que redes independientes, lo que lleva a optimizaciones y ahorros de OPEX (gastos operativos).

- Ahorro de Costos: los sitios combinados son menos costosos de implementar y mantener que los sitios separados.
- Ahorro de Energía: se puede esperar que una sola estación base combinada consuma menos energía debido a la eliminación de la duplicidad en áreas como las unidades de procesamiento y las tarjetas de transmisión.
- Mejoras en la Cobertura: la combinación de recursos multi-RAT puede llevar a una mejor penetración y una cobertura de banda ancha móvil más amplia, especialmente en las áreas rurales, a medida que los canales de menor frecuencia estén disponibles para el uso de 3G y 4G.
- Mejoras de Capacidad: la combinación de recursos multi-RAT puede llevar a un aumento de la capacidad, especialmente en áreas urbanas, a medida que las tecnologías 3G y 4G estén disponibles en celdas más pequeñas.
- Agrupación del Espectro: las implementaciones de múltiples RAT pueden agrupar los recursos de espectro del operador y llevar a una mayor capacidad general.
- Evolución de la Frecuencia: los operadores pueden implementar servicios de múltiples RAT en las mismas bandas de MSR, lo que permite que las estaciones base sirvan a múltiples RAT en la misma banda de frecuencia.
- Convergencia: una solución Single RAN usualmente empleará una red de backhaul compartida basada en IP, lo que permitirá a los operadores converger todas las generaciones de RAT en una plataforma IP moderna.
- Simplificación de software: se puede esperar que una estación base Multi-Estándar se ejecute desde un paquete de software único y combinado que admita la funcionalidad de

todas las RAT, lo que reduce la carga de desarrollo, pruebas y despliegue asociada con las actualizaciones de software.

Finalmente, cada despliegue de Single RAN puede ser diferente, ya que diferentes operadores comenzarán desde sus propias arquitecturas específicas y construirán su entorno para cumplir con sus requisitos específicos, lo que significa que cada operador solo podría beneficiarse de un subconjunto de los beneficios mencionados anteriormente.

3.1.5 Peligros potenciales de la implementación de Single RAN

En la implementación de una solución Single RAN debe considerarse la posibilidad de que se presenten peligros potenciales como:

- **Introducción de Puntos Únicos de Falla:** si falla una estación base Multi-Estándar, entonces todas las celdas (y RAT) compatibles con ese sitio también fallan.
- **Dependencia del Fabricante:** en su momento, cuando los operadores adquirieron las diferentes generaciones de RAN de diferentes proveedores, pudieron lograr que los fabricantes se enfrenten entre sí para obtener las mejores ofertas y precios. Una solución Single RAN generalmente significa un solo fabricante, lo que significa que los operadores corren el riesgo de depender de un solo proveedor de equipos.
- **Complejidad del Sistema de Antena:** dependiendo de las configuraciones de cada sitio que los operadores seleccionan y despliegan, podrían descubrir que la complejidad de sus sistemas de antena de sitio celular aumenta a medida que se agregan combinadores, duplexores y/o divisores adicionales.

- **Mayor Interferencia:** la ubicación conjunta de los transmisores que sirven a diferentes RAT podría provocar un aumento de la interferencia e intermodulación de cada RAT a los demás.

Cada uno de estos riesgos potenciales puede mitigarse si se gestiona de manera efectiva. En las zonas urbanas, la superposición creada por los sitios vecinos puede anular el riesgo del punto único de falla, mientras que la gestión eficaz de los proveedores y la evaluación comparativa de precios deberían superar el problema de la "dependencia del fabricante". El riesgo de "complejidad de la antena" solo puede ser un problema si un sitio se está convirtiendo de operación de Single RAT a multi-RAT y los operadores pueden encontrar igualmente que la configuración de los sitios de RAT múltiple existentes se simplifica con el despliegue del equipo de Single RAN. Finalmente, el 3GPP TS 37.104 contiene pautas estrictas relacionadas con las cantidades totales de interferencia permitidas entre RAT, lo que conduce a que el riesgo de una calidad reducida debido a la interferencia exista dentro de límites predecibles que permiten un grado razonable de mitigación.

3.2 Sitios celulares Multi-Estándar

Los sitios celulares Multi-Estándar son configurados con más de una tecnología de radio para el mismo sitio, esta característica proporciona varias combinaciones de escenarios en donde se comparte la infraestructura del sitio, la estación base e incluso la banda de frecuencia del sitio, entre diferentes RATs.

3.2.1 Configuración típica del sitio

La configuración típica de un sitio de estación base heredado Single RAT se describe en la Figura 47.

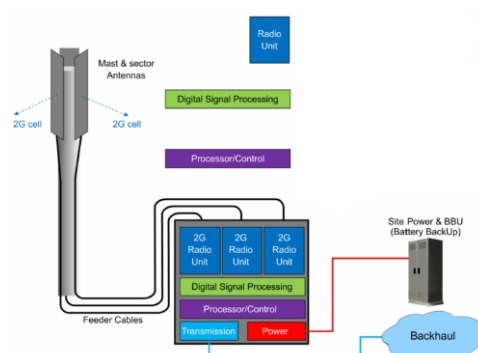


Figura 47. Configuración Típica Sitio Celular Single RAT
Fuente: (Limited, 2012)

En este modelo, cada estación base admite solo una RAT y se entiende que utiliza unidades de radio cuyo hardware y/o software está dedicado a soportar esa única tecnología de radio. El sistema se compone por:

- **Una unidad de radio:** que contiene un transceptor (para transmitir y recibir señales de radio), un amplificador de potencia para señales de transmisión y un LNA (amplificador de bajo ruido) para recibir señales
- **Una unidad DSP (Digital Signal Processor):** que crea versiones digitales de las señales de radio a ser transmitidas y recupera la información que llevan las señales de radio recibidas.
- **El procesador Central:** que entrega tramas de tráfico a los grupos de DSP y administra la señalización central y las conexiones de tráfico hacia la red de core.

3.2.2 Estaciones base MSR

El 3GPP, en TS 371.04, define una estación base MSR como una "Estación Base caracterizada por la capacidad de su receptor y transmisor para procesar dos o más portadoras simultáneamente

en componentes activos comunes de RF (Frecuencia de Radio) en un ancho de banda RF declarado, donde al menos uno de los portadores es de una RAT diferente a los otros portadores”.

Para explicar más ampliamente esta definición:

- **Componentes de RF activos comunes:** significa que las señales que pertenecen a dos o más RATs, por ejemplo, a GSM y UMTS, están siendo procesadas por los mismos elementos de radio simultáneamente, esto es a veces se describe como compartición activa.
- **Ancho de banda de RF declarado:** puede ser una banda de frecuencia específica, por ejemplo, la banda de 1800 MHz.

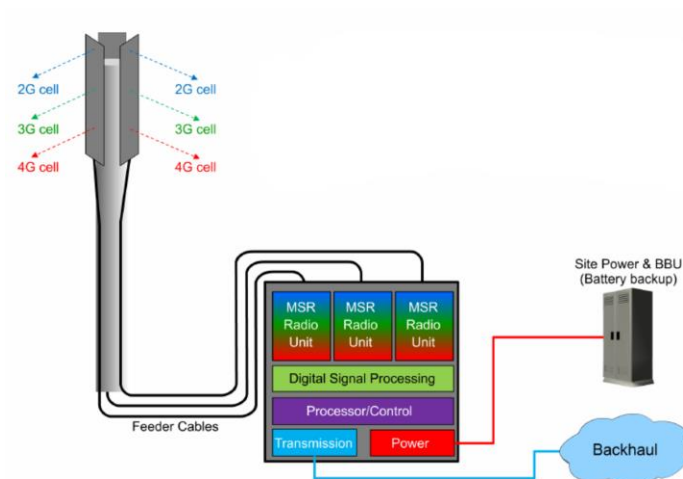


Figura 48. Estación Base Single RAN 2G/3G/4G
Fuente: (Limited, 2012)

En la Figura 48 se muestra una estación base MSR de ejemplo que administra simultáneamente las celdas 2G, 3G y 4G como parte de una implementación de Single RAN, donde:

- El tráfico para todas las RAT/celdas comparte la misma conexión de backhaul basada en paquetes y se procesa mediante una tarjeta de transmisión compartida.

- El tráfico (plano de usuario, plano de control y O&M (Operación y mantenimiento)) para todas las RAT/celdas se gestiona mediante la misma unidad de procesador/controlador compartido.
- Las versiones digitales de las señales de RF de enlace descendente que se transmiten en cada RAT/celda se crean en la misma unidad DSP compartida (incluso si el tráfico para cada RAT y celda específicos se gestiona mediante una parte lógica diferente de la matriz de DSP).
- El tráfico DSP compartido también procesa el tráfico de enlace ascendente para todas las RAT/celdas. Cuando las portadoras de múltiples RAT comparten la misma banda de frecuencia, el DSP puede en teoría, crear una única señal de múltiples portadoras que transporta el tráfico combinado de varias celdas de múltiples RAT.
- Los sitios que emplean diferentes bandas de frecuencia para cada RAT, o donde las asignaciones de ancho de banda están en la misma banda, pero no son contiguas, pueden requerir múltiples unidades de radio.
- Cada sector de radio físico generado por el sitio es atendido por una unidad de radio compartida, que convierte las versiones digitales de las portadoras de enlace descendente en señales de RF analógicas, las convierte en la banda apropiada y las amplifica antes de pasarlas a las antenas para su transmisión. Las unidades de radio también manejan la recepción, conversión descendente y muestreo de señales de enlace ascendente.

El 3GPP ha definido un rango de bandas de frecuencia que están disponibles para la operación de MSR en las que se pueden transmitir combinaciones limitadas de portadoras 2G, 3G y 4G dentro de la misma banda utilizando técnicas de MSR.

3.2.3 Radio definida por software

El avance técnico que se encuentra en el corazón del concepto de Single RAN es el surgimiento del SDR (Software Defined Radio). Los sistemas tradicionales HDR (Radio Definida por Hardware) emplearon técnicas basadas en hardware para crear señales de radio y codificar datos en ellas. Una estación base GSM, por ejemplo, habría contenido una unidad de radio separada (generalmente conocida como TRX o transceptor) para cada portadora de radio administrada por el sitio. El TRX contenía elementos de hardware que generaban una frecuencia portadora y luego realizaban las modulaciones específicas que permitían que la señal transportara datos digitales. Se habrían requerido diferentes diseños de TRX para admitir diferentes formas de señal de radio, por lo que la evolución de una estación base GSM básica en una que también sea compatible con GPRS o EDGE habría requerido que se ajustara un nuevo TRX físico a la estación base.

SDR, por el contrario, ocurre por software en un DSP (Procesador de señales digitales) y las técnicas de modulación y generación de señales requeridas para un sistema de radio en particular son controladas por un algoritmo matemático diseñado a medida, un cambio en las técnicas de radio normalmente requiere solo un cambio en el software.

El elemento SDR en una estación base celular aceptará la entrada del enlace descendente en forma de tramas de tráfico que llegan desde las capas más altas de la pila de protocolos y recibirá la entrada del enlace ascendente en forma de muestras digitales del canal de radio recibido tomado por la unidad de radio asociada. Las funciones DSP generalmente se implementan en grupos de elementos FPGA (Arreglo de puerta programable en campo) y cada FPGA administrará una instancia del algoritmo SDR requerido para una portadora determinada. El proceso SDR tomará los datos del enlace descendente y creará una representación matemática virtual de los datos a

medida que pasan por las etapas de formato, pre-codificación, modulación, transformada de Fourier y conversión que se emplean como procesos físicos en un sistema HDR.

El resultado, en el enlace descendente, es una trama de símbolos con valores complejos que se pueden pasar a un sintetizador de frecuencia de RF en una de las unidades de radio de la estación base, que creará una señal analógica física que coincida con la descripción virtual proporcionada por el DSP. La unidad de radio también contiene el amplificador de potencia, los filtros y otros elementos físicos necesarios para generar una señal de radio utilizable antes de pasarla al sistema de antena. El proceso de enlace ascendente funciona a la inversa, comenzando con muestras tomadas en la unidad de radio.

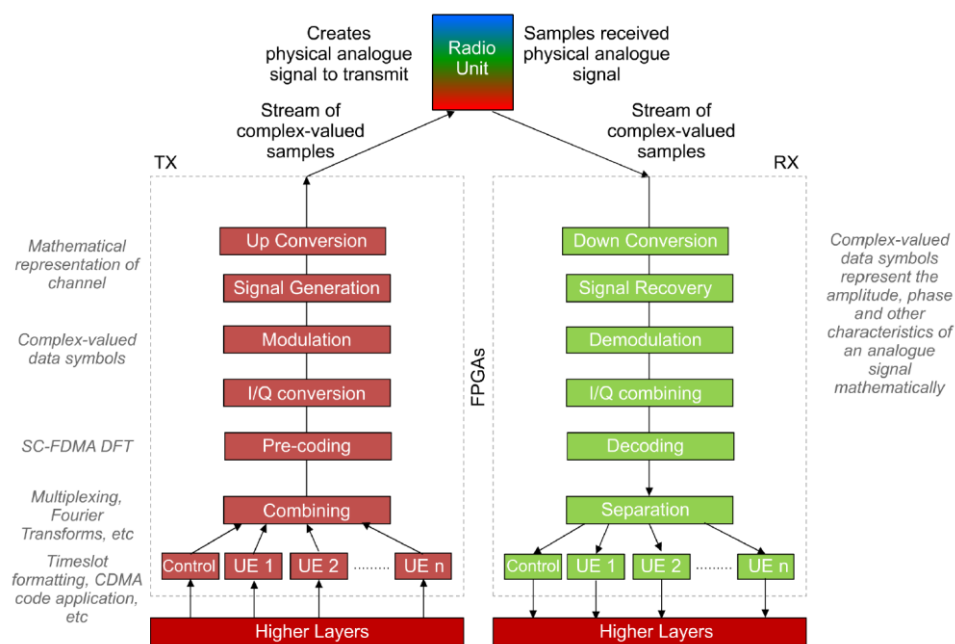


Figura 49. Procesos SDR para enlace descendente y enlace ascendente

Fuente: (Limited, 2012)

En un entorno de Single RAN, la salida de los diferentes procesos SDR que se muestran en la Figura 49, uno para cada portadora y cada RAT en uso, se puede sumar en una señal combinada

dentro del DSP antes de pasar a una unidad de radio Multi-Estándar, permitiendo así todas las portadoras en un solo Sector generado por el mismo proceso combinado.

3.2.4 Compartición de Bandas Multi-Estándar

El 3GPP ha establecido la transmisión y recepción de radio para las estaciones base MSR y Multi-Carrier/Multi-RAT en las especificaciones 37.104 y 37.900, respectivamente. Entre otra información técnica, estos documentos especifican las bandas de frecuencia que están disponibles para la operación de MSR, como se muestra en la Figura 50.

Número de Banda MSR / E-UTRA	Número de Banda UTRA	Banda Designada GSM/EDGE	Uplink (UL) UE Transmite - BS Recibe		Downlink (DL) BS Transmite - UE Recibe		Categoría de Banda
1	I	-	1920 MHz	- 1980 MHz	2110 MHz	- 2170 MHz	1
2	II	PCS 1900	1850 MHz	- 1910 MHz	1930 MHz	- 1990 MHz	2
3	III	DCS 1800	1710 MHz	- 1785 MHz	1805 MHz	- 1880 MHz	2
4	IV	-	1710 MHz	- 1755 MHz	2110 MHz	- 2155 MHz	1
5	V	GSM 850	824 MHz	- 849 MHz	869 MHz	- 894 MHz	2
6	VI	-	830 MHz	- 840 MHz	875 MHz	- 885 MHz	1
7	VII	-	2500 MHz	- 2570 MHz	2620 MHz	- 2690 MHz	1
8	VIII	E-GSM	880 MHz	- 915 MHz	925 MHz	- 960 MHz	2
9	IX	-	1749.9 MHz	- 1784.9 MHz	1844.9 MHz	- 1879.9 MHz	1
10	X	-	1710 MHz	- 1770 MHz	2110 MHz	- 2170 MHz	1
11	XI	-	1427.9 MHz	- 1447.9 MHz	1475.9 MHz	- 1495.9 MHz	1
12	XII	-	699 MHz	- 716 MHz	729 MHz	- 746 MHz	1
13	XIII	-	777 MHz	- 787 MHz	746 MHz	- 756 MHz	1
14	XIV	-	788 MHz	- 798 MHz	758 MHz	- 768 MHz	1
15	XV	-	Reservado		Reservado		-
16	XVI	-	Reservado		Reservado		-
17	-	-	704 MHz	- 716 MHz	734 MHz	- 746 MHz	1
18	-	-	815 MHz	- 830 MHz	860 MHz	- 875 MHz	1
19	XIX	-	830 MHz	- 845 MHz	875 MHz	- 890 MHz	1
20	XX	-	832 MHz	- 862 MHz	791 MHz	- 821 MHz	1
21	XXI	-	1447.9 MHz	- 1462.9 MHz	1495.9 MHz	- 1510.9 MHz	1
22	XXII	-	3410 MHz	- 3490 MHz	3510 MHz	- 3590 MHz	1
23	-	-	2000 MHz	- 2020 MHz	2180 MHz	- 2200 MHz	1
24	-	-	1626.5 MHz	- 1660.5 MHz	1525 MHz	- 1559 MHz	1
25	XXV	-	1850 MHz	- 1915 MHz	1930 MHz	- 1995 MHz	1

Categoría de Bana 1 (BC1): Bandas de Operación de LTE FDD + UMTS FDD

Categoría de Bana 2 (BC2): Bandas de Operación de LTE FDD + UMTS FDD + GSM

Figura 50. Bandas de Frecuencia para la Operación de Redes MSR

Fuente: (Limited, 2012)

El uso compartido de la banda de frecuencia MSR solo es obligatorio en ciertas combinaciones de bandas, y el nivel de uso compartido Multi-RAT que puede admitirse se clasifica en tres categorías de banda (BC).

BC1 especifica las bandas de frecuencia que están disponibles para compartir MSR (lo que significa que las combinaciones de RAT pueden ser generadas simultáneamente por la misma estación base de MSR) mediante la combinación de estaciones base 4G LTE FDD y 3G UMTS FDD.

BC2 especifica las bandas de frecuencia que están disponibles para compartir MSR mediante la combinación de estaciones base 4G LTE FDD, 3G UMTS FDD y 2G GSM/EDGE.

Una tercera categoría BC3, no detallada en la Figura 50, especifica las opciones de compartición para estaciones base combinadas LTE TDD y UMTS TDD.

Por lo tanto, una red Single RAN que combina el soporte para servicios 2G, 3G y 4G puede operar solamente en cuatro bandas (Bandas MSR 2, 3, 5 y 8), que afortunadamente coinciden con las bandas de 1900, 1800, 850 y 900 MHz en las que GSM es generalmente desplegado. Esto significa que el operador podría implementar, si sus licencias lo permitieran, una combinación de GSM1900, UMTS1900 y LTE1900 simultáneamente desde las mismas estaciones base de MSR.

3.2.5 Arquitectura de estación base MSR

Las estaciones base modernas de Single RAN generalmente emplean técnicas de SDR y siguen las pautas de MSR de 3GPP, que les permiten operar en modos Multi-Estándar y multi-RAT. En la Figura 51 se muestra una vista de alto nivel del diseño genérico de una estación base de MSR general.

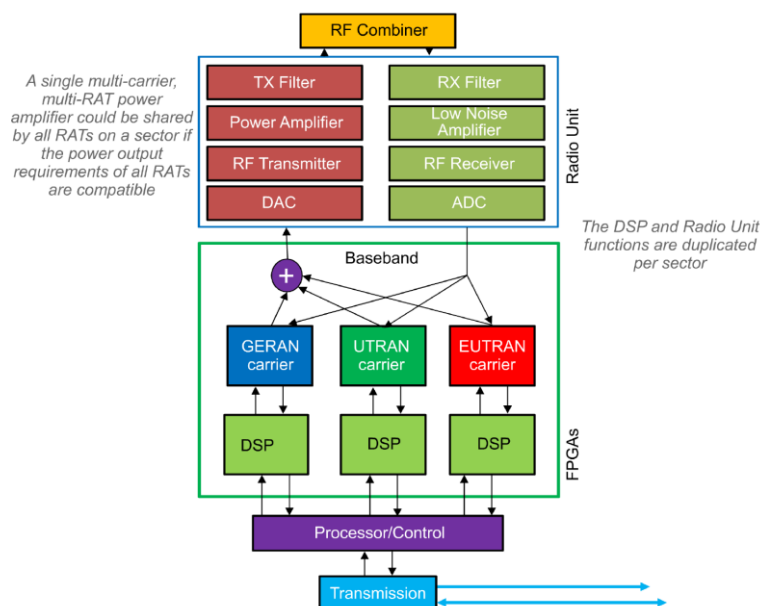


Figura 51. Arquitectura de BTS MSR

Fuente: (Limited, 2012)

El elemento de transmisión conecta la estación base a un backhaul compartido basado en paquetes, que transporta el tráfico para todas las RAT admitidas. El procesador central o elemento de control mantiene las conexiones de señalización con los controladores de acceso y las redes de core admitidos y enruta el tráfico entre los canales de backhaul y los conjuntos de DSP.

En esta arquitectura ejemplo, se asignó una instancia de DSP separada del grupo de DSP de banda base para manejar cada RAT transmitida en cada sector, por lo que cada sector tiene un DSP dedicado al manejo de cada tecnología, un DSP para una celda GSM, otro para una celda UMTS y un tercero para una celda LTE. Cada DSP realizará las funciones SDR requeridas para tomar el tráfico y la señalización del usuario recibido y convertirlo en una señal de enlace descendente transmitida. El conjunto de señales de enlace descendente creado para una unidad de radio determinada puede sumarse. También tomarán las señales recibidas en el enlace ascendente y

extraerán de ellos el tráfico y la señalización del usuario para pasar al controlador de acceso apropiado o a la red de core.

Los enlaces entre las unidades de banda base y radio transportan el tráfico digital. Consiste en muestras de valor complejo que representan las portadoras a transmitir en el lado de TX y tramas de muestra de alta velocidad que describen la señal de RF recibida en el lado de enlace ascendente.

Cada sector, en la arquitectura ejemplo, requiere su propia unidad de radio para administrar las funciones físicas de transmisión de RF y RX. En el lado de transmisión, la unidad de radio realiza DAC (Conversión de Digital a Analógica) y convierte la trama de símbolos de banda base compuestos por datos de valor complejo y generados por los DSP, en una señal de RF analógica física con las mismas características. Un LPA (Amplificador de Potencia Lineal) aumenta la señal de RF a la potencia de salida requerida. Para esta arquitectura ejemplo, se emplea un único LPA de múltiples portadoras y múltiples RAT para amplificar todas las RAT simultáneamente antes de que la señal pase a través de un filtro de TX para eliminar cualquier componente fuera de banda.

En el lado de RX, la señal recibida se pasa a través de un filtro de paso de banda de RX para limitarlo al ancho de banda requerido y luego se pasa a través de un LNA (Amplificador de Bajo Ruido) que aumenta la señal, en parte para superar la pérdida experimentada en su viaje desde la antena. El receptor de RF y el ADC (Convertidor Analógico a Digital) reciben y muestrean la señal de RF entrante a una velocidad muy alta para pasar a la banda base.

3.2.6 OBSAI y CPRI

Una característica clave de las arquitecturas basadas en SDR es que el enlace entre la banda base y las unidades de radio generalmente se realiza mediante una interfaz digital, a diferencia de la

interfaz RF analógica que se utilizaban en una estación base heredada. A principios del año 2000, se lanzaron dos iniciativas que especificaban una arquitectura de estándares abiertos para esta nueva interfaz digital, de similares características pero que competían entre sí, conocidas como OBSAI y CPRI.

OBSAI (Iniciativa de Arquitectura de Estación Base Abierta), fue una iniciativa patrocinada por la industria que buscaba definir un diseño estandarizado para estaciones base celulares, con un conjunto de módulos de componentes comunes conectados por interfaces abiertas. Una estación base OBSAI consta de cuatro módulos principales (Transporte, Control y Sincronismo, Banda base y RF) unidos por un conjunto de interfaces internas RP (Punto de referencia), con interfaces externas que se conectan a los UE en un lado y los controladores de red en el otro. El objetivo principal de OBSAI era promover un plan de diseño para estaciones base que proporcionara elementos comunes entre diferentes módulos de proveedores, permitiendo a los proveedores actuar más como integradores al ensamblar estaciones base a partir de módulos compatibles proporcionados por una variedad de terceros.

Los partidarios de la CPRI (Interfaz de Radio Pública Común) presentan un modelo arquitectónico más modesto que define una interfaz común entre un REC (Controlador de Equipo de Radio) y el RE (Equipo de radio). La REC equivale a las secciones de transporte/controlador/banda base de una estación base y la RE es la unidad de RF.

Desde el punto de vista de la implementación, la característica más útil de OBSAI y CPRI es la interfaz digital que existe entre la banda base y la unidad de radio. Las conexiones analógicas heredadas que servían para esta interfaz imponían límites al diseño de las estaciones base, en el sentido de que, debido a las pérdidas asociadas con la transmisión analógica, las unidades de RF

siempre tenían que estar ubicadas a pocos metros de la unidad de banda base. Un enlace Banda Base-RF digital puede, en teoría, ser de cualquier longitud siempre que la información digital se transmita a través de un medio como la fibra óptica. Las estaciones base con interfaces de Banda Base-RF digitales pueden diseñarse de manera "distribuida" que permite que las unidades RRH (Cabeza de Radio Remota) se conecten a una unidad de banda de base o control centralizada a través de distancias de hasta unos pocos kilómetros.

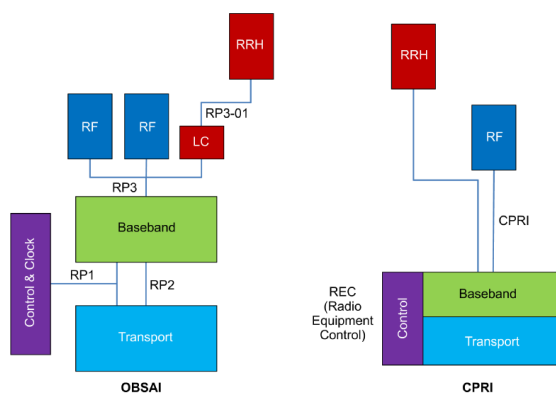


Figura 52. Arquitectura de Iniciativas OBSAI y CPRI
Fuente: (Limited, 2012)

La Figura 52 muestra las arquitecturas de CPRI y OBSAI, donde podemos identificar las diferencias de estas dos iniciativas

3.2.7 Sitios celulares localizados frente a distribuidos

Las estaciones base que siguen los modelos OBSAI/CPRI, o que emplean una solución similar de un fabricante específico, ofrecen a los planificadores de red dos opciones principales de diseño de sitio que pueden describirse como localizadas y distribuidas.

Un diseño localizado emplea conectividad de antena tradicional en forma de cables de alimentación analógicos. Las configuraciones típicas emplean amplificadores de enlace

descendente comúnmente conocidos como MHA (Amplificadores de Cabeza de Mástil), TMA (Amplificadores Montados en Torre) o algún otro acrónimo específico del fabricante. Estas unidades amplificadoras se utilizan para aumentar la intensidad de las señales de enlace descendente con el objetivo de compensar algunas de las pérdidas que las señales pueden experimentar mientras viajan por el alimentador. La pérdida asociada con los alimentadores analógicos generalmente limita la distancia máxima entre las unidades de RF y las antenas a algo menos de 120 m, incluso con MHA.

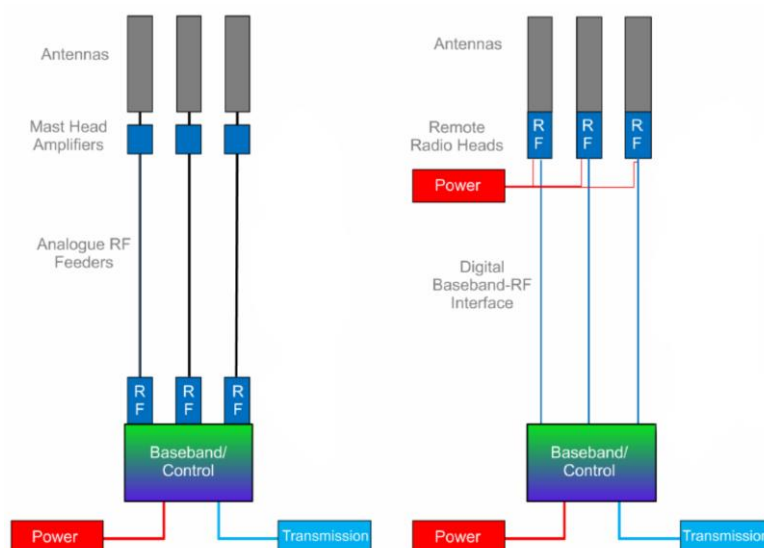


Figura 53. Sitio Celular Localizado vs Distribuido
Fuente: (Limited, 2012)

Un diseño distribuido utiliza técnicas RRH y puede extender mucho la distancia máxima entre la estación base y la antena. Si la interfaz de Banda Base-RF digital es transportada por cables de fibra óptica, la distancia máxima típica que pueden tener las antenas desde la estación base asciende a algo del orden de 20 km.

Los principales desafíos asociados con un modelo distribuido se relacionan con la necesidad de proporcionar una alimentación de energía para las unidades RRH en el sitio mismo de la antenna.

La Figura 53 muestra el esquema general de una estación base localizada y una distribuida

3.2.7.1 Ejemplos de sitios celulares distribuidos

En la Figura 54 se muestran ejemplos de algunos de los modelos de sitios celulares distribuidos que son posibles gracias al uso de unidades RRH.

El primer ejemplo muestra una estación base central conectada a un conjunto de unidades de RRH que sirven a un centro de la ciudad o un distrito de negocios. Cada sitio de antenna, en esta configuración, típicamente ocuparía menos espacio y requeriría menos infraestructura de lo que lo haría un sitio de estación base tradicional, por lo que los beneficios asociados con el uso de un modelo distribuido incluirían menores costos de alquiler y energía.

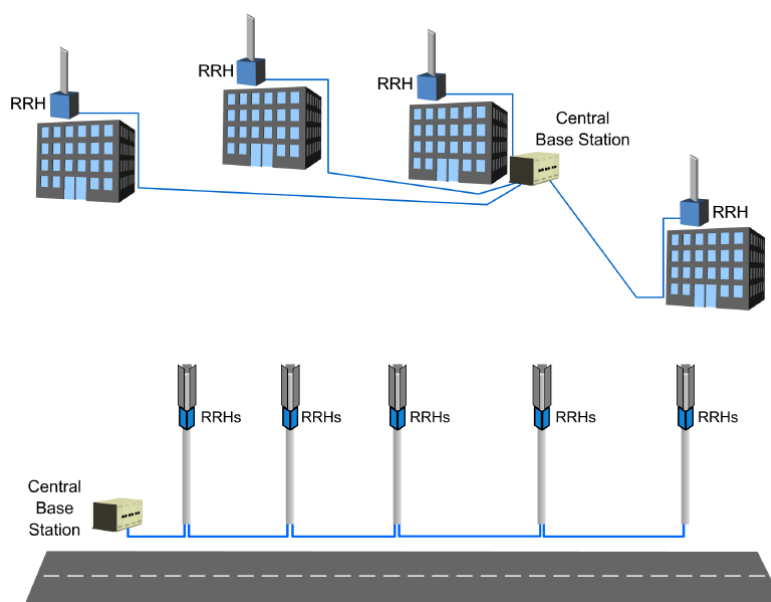


Figura 54. Modelos de implementación de BTS Distribuidas

Fuente: (Limited, 2012)

El segundo ejemplo muestra una estación base central y un conjunto de RRH que dan servicio a una sección de la autopista. Cada mástil a lo largo de la ruta crea un sitio tradicional de tres sectores, pero utiliza unidades RRH para lograr esto, lo que significa que cada sitio no requiere un despliegue completo de la estación base.

3.2.8 RRH (Cabeza de Radio Remoto)

Diferentes fabricantes han adoptado una variedad de diseños para sus unidades RRH, que pueden incorporar una gama de diferentes elementos.

La mayoría de los diseños de RRH incluyen al menos los elementos DAC/ADC que permiten que la interfaz de Banda Base-RF digital se conecte a los componentes de RF analógicos y todos en conjunto formen un transceptor de RF. Algunos tipos de RRH incluyen elementos de conversión de radio ascendente/descendente que colocan esa señal de radio en la parte correcta del espectro, aunque otros diseños manejan esta funcionalidad en SDR en la banda base.

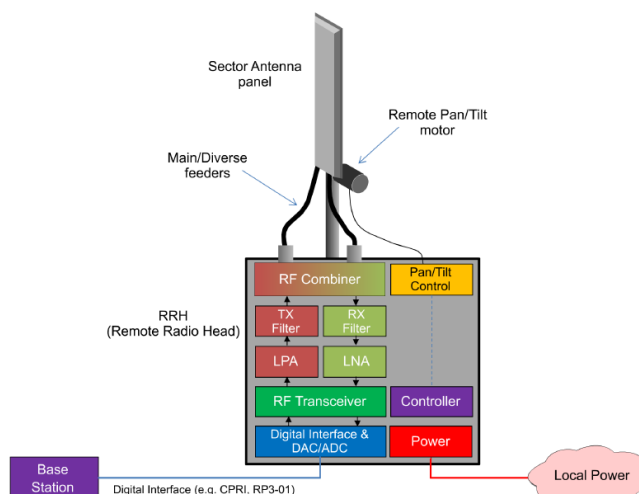


Figura 55. Arquitectura general de la Unidad RRH
Fuente: (Limited, 2012)

El lado transmisor de la RRH incluye el filtro LPA y TX, mientras que el lado receptor incluye el filtro RX y el LNA. Por lo general, ambos lados están conectados a un combinador/diplexor de RF como se muestra en la Figura 56, que permite que la RRH sea compatible con cables de alimentación de TX/RX principales y de diversidad, utilizados en la mayoría de las antenas con polarización cruzada.

Muchas antenas celulares tienen algún tipo de control remoto de inclinación instalado, ya sea un control manual de tilt eléctrico o un motor que permite que la antena se mueva o incline de forma remota. Esto permite al operador optimizar o ajustar la orientación de la antena sin enviar personal técnico al sitio.

El RRH normalmente deberá estar conectado a una fuente de alimentación local.

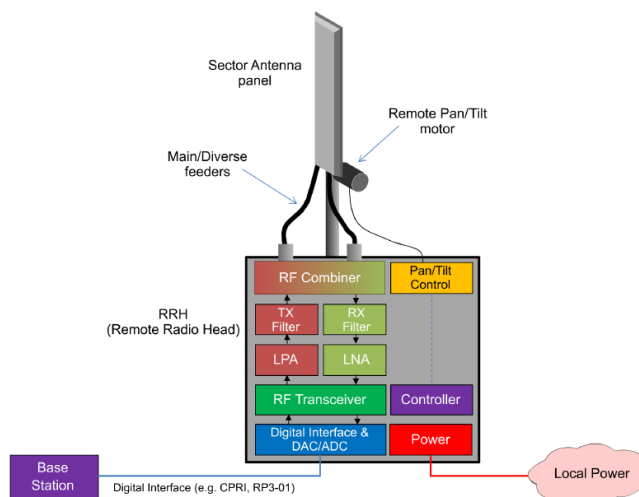


Figura 56. Arquitectura general de la Unidad RRH
Fuente: (Limited, 2012)

3.2.9 Opciones de implementación Multi-RAT

La operación Multi-RAT puede ser soportada de diferentes maneras. En lo que podría denominarse el modelo de implementación "tradicional", un operador puede implementar diferentes RAT en el mismo sitio o en sitios diferentes de una manera que comparte poca o ninguna infraestructura del sitio celular entre las distintas estaciones base: el modelo que se muestra en la parte izquierda de la Figura 57, donde las estaciones base en un sitio tienen incluso su propio mástil separado, pueden verse como un ejemplo exagerado de este concepto.

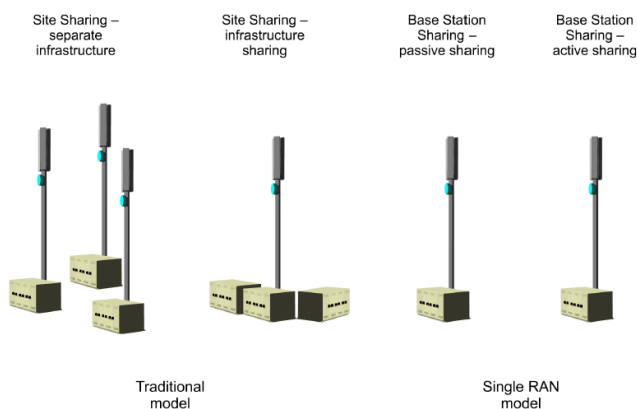


Figura 57. Modelos de Implementación Single RAN

Fuente: (Limited, 2012)

Se puede ver un ejemplo más realista de la implementación de RAN por separado en la opción "Sitio Compartido – Infraestructura Compartida ". En este modelo, un operador desplegaría diferentes RAT en un mismo sitio y en estaciones base separadas, pero compartiría los recursos de infraestructura del sitio, como energía y transmisión, y también compartiría un solo mástil/torre entre los diferentes servicios. El intercambio de infraestructura de este tipo puede extenderse o no al intercambio de sistemas de antena; en algunos modelos, cada RAT tendría su propio conjunto

de antenas, en otros, se usaría un sistema de duplexores y divisores para compartir antenas entre RAT.

A medida que las implementaciones de múltiples RAT comenzaron a evolucionar hacia el modelo de Single RAN, los operadores comenzaron a compartir no solo los recursos del sitio entre RAT sino también estaciones base completas. El uso compartido de la estación base a menudo se clasifica en dos opciones: Pasivo y activo.

Al compartir de forma pasiva, un único chasis de la estación base podría albergar equipos dedicados a servir a diferentes RAT. Los elementos comunes, como las fuentes de alimentación, podrían compartirse, pero los elementos de radio y de banda base se mantendrían separados. Los métodos de compartición activa permiten que los componentes clave, como los enlaces de transmisión, los procesadores de banda base e incluso las unidades de radio, se compartan entre las RAT y es este modelo de implementación, en gran medida el posible, gracias a la adopción de técnicas OBSAI/CPRI respaldadas por el uso de unidades SDR, RRH y arquitecturas de sitio distribuidas

3.2.9.1 Infraestructura Compartida

La Figura 58 muestra un ejemplo de Compartición Pasiva de la Infraestructura del Sitio Celular.

Las estaciones base 2G y 3G independientes se han colocado conjuntamente en un sitio y algunos recursos se comparten, como la alimentación de energía y la transmisión del sitio. El mástil/torre y las antenas también se comparten, lo que supone que las estaciones base están compartiendo la misma banda de frecuencias o que las antenas pueden funcionar en varias bandas.

Para reducir el número de cables de alimentación que se deben instalar en la torre, la configuración del sitio emplea duplexores y/o diplexores en la parte superior e inferior de los alimentadores de RF. Los duplexores/diplexores combinan (en un extremo) y separan (en el otro) las señales de RF que pertenecen a las dos RAT diferentes y permiten que un solo alimentador sea compartido por ambas RAT por sector. Los duplexores se usan para combinar/dividir señales de la misma banda de frecuencia y los diplexores se usan para combinar/dividir señales de diferentes bandas de frecuencia.

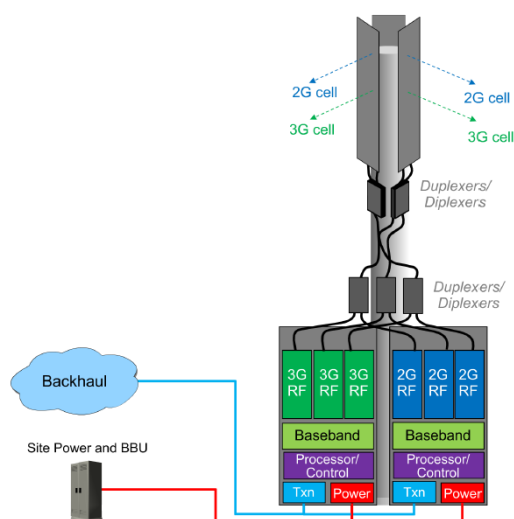


Figura 58. Ejemplo de Modelo de Implementación Infraestructura Compartida

Fuente: (Limited, 2012)

3.2.9.2 Estación Base Compartida

La Figura 59 muestra un ejemplo de Estación Base Compartida, en la que una estación base física se ha configurado para admitir dos RAT diferentes.

El nivel de integración empleado en este ejemplo es bastante bajo, ya que solo algunos de los elementos de la estación base son compartidos activamente por los diferentes RAT, la alimentación

de energía, transmisión, control y banda base se comparten, pero cada RAT aún tiene su propia unidad de RF por separado para cada sector.

Cada RAT, en este ejemplo, se ha implementado en una banda de frecuencia diferente, lo que significa que este podría ser un ejemplo de una misma estación base que admita las operaciones separadas de GSM850 y UMTS1900.

Los diplexores aún son necesarios para admitir la compartición de antenas entre las RAT.

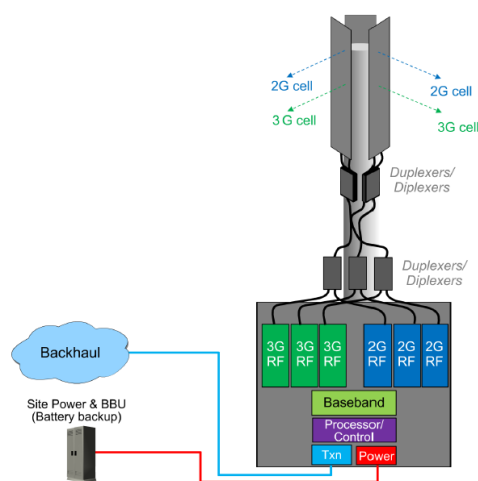


Figura 59. Ejemplo de Modelo de Implementación Estación Base Compartida
Fuente: (Limited, 2012)

3.2.9.3 Estación Base MSR Compartida

La Figura 60 muestra un ejemplo adicional del uso compartido de una estación base, pero esta vez uno en el que una estación base física se ha configurado para admitir tres RAT diferentes utilizando una combinación de RAT separadas y unidades de Radio MSR.

Este ejemplo se basa en la suposición de que el operador ha implementado LTE en la misma banda que su servicio GSM existente, para el operador Movistar por ejemplo que utiliza GSM1900

y LTE1900. Por lo tanto, las celdas 2G y 4G pueden compartir unidades de radio MSR, mientras que las celdas 3G (basadas en este ejemplo en UMTS850) usan una unidad de radio de una sola RAT.

Los diplexores aún son necesarios para admitir la compartición de antenas entre las señales 2G/4G y 3G.

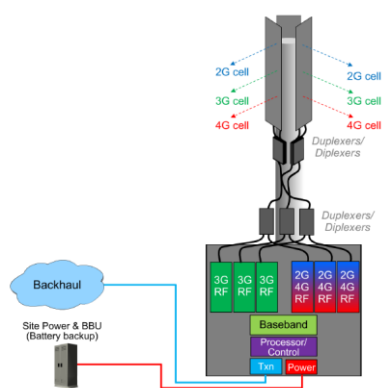


Figura 60. Ejemplo de Modelo de Implementación Estación Base MSR Compartida
Fuente: (Limited, 2012)

3.2.9.4 Banda de Frecuencia Compartida

En este ejemplo de implementación que muestra la Figura 61, el operador ha optado por desplegar celdas 2G, 3G y 4G en la misma banda de frecuencia, por lo que puede aprovechar toda la gama de técnicas de MSR.

Un único grupo de banda base de recursos DSP sirve a las tres RAT y las señales transmitidas para cada sector se generan en una sola unidad de radio compartida por sector.

Esta configuración y las configuraciones del mundo real se encuentran en el corazón de las soluciones Single RAN que están implementando los operadores de todo el mundo.

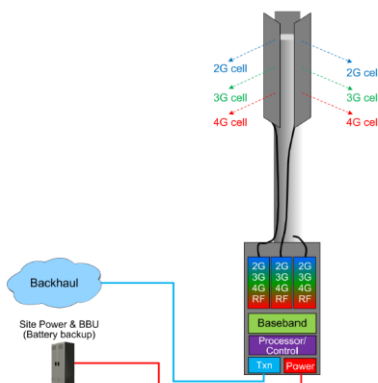


Figura 61. Ejemplo de Modelo de Implementación MSR Frecuencia Compartida
Fuente: (Limited, 2012)

3.2.10 Problemas potenciales de RF

Las implementaciones de múltiples RAT, ya sea que sigan los modelos tradicionales de co-ubicación o los modelos más recientes de Single RAN, todos enfrentan un conjunto similar de problemas potenciales relacionados con RF. Todos estos problemas se relacionan con el hecho de que un despliegue de múltiples RAT implica necesariamente generar señales de radio que pertenecen a diferentes servicios en el mismo sitio o incluso dentro de la misma estación base.

El conjunto de problemas típicos de RF que pueden ser causados por la co-ubicación y el uso compartido de estaciones base incluyen:

- **Interferencia causada por emisiones no esenciales:** una emisión no esencial es cualquier componente de señal no deseado generado por un transmisor y puede incluir el ruido introducido por el transmisor, el amplificador o el sistema de antenas, los armónicos de las señales que se transmiten y los productos de intermodulación.

- **Los armónicos:** que son un subproducto inevitable del proceso de transmisión y modulación de la portadora y hacen que aparezcan picos de ruido a intervalos predecibles por encima y por debajo de la frecuencia de la portadora.
- **La intermodulación:** que ocurre cuando se combinan señales de diferentes frecuencias, por ejemplo, en un amplificador o duplexor/diplexor. Los productos de intermodulación hacen que aparezca ruido en las frecuencias por encima y por debajo de las portadoras transmitidas, como los armónicos, pero a diferencia de los armónicos, los productos de intermodulación son menos predecibles y, por lo tanto, son más difíciles de planificar.

La mayoría de las formas de interferencia relacionada con la co-ubicación pueden mitigarse empleando filtros de transmisión y/o recepción apropiados en las unidades efectuadas.

3.2.11 Arquitecturas Single RAN

Las estaciones base MSR o Single RAN admitirán lógicamente las funciones de las estaciones base heredadas que han reemplazado, por lo que cada una podría realizar las funciones asociadas con una BTS GSM, un Nodo B UMTS y/o un eNB LTE. Estos dispositivos de estación base combinados se implementan dentro de un entorno de red de acceso combinado más amplio.

Una de las ventajas del enfoque MSR/Single RAN es que todas las RAT servidas por una estación base pueden compartir la misma conectividad de backhaul basada en paquetes, esto generalmente equivale a conexiones de backhaul que transportan tráfico IP a través de un portador Ethernet. La conexión de backhaul compartida generalmente se terminará en un SeGW (Security Gateway) que distribuirá el tráfico de la interfaz lógica de las RAT separadas a los nodos de core apropiados. El tráfico de la interfaz A-bis de GSM se pasará del SeGW a un BSC y el tráfico de la

interfaz Iub del UMTS se pasará a un RNC. Las estaciones base LTE admiten dos interfaces que normalmente se transportan a través de enlaces de backhaul; El tráfico de la interfaz S1 se enrutará desde el SeGW a la red EPC, mientras que cualquier interfaz X2 se enrutará a las conexiones de backhaul que conducen a los eNB de destino.

De acuerdo con la naturaleza combinada de la estación base Single RAN, muchos fabricantes producen plataformas combinadas de "controlador RAT múltiple" que realizan las funciones lógicas separadas de los nodos BSC y RNC dentro del mismo dispositivo físico. Los beneficios asociados con el uso de nodos de controlador multi-RAT incluyen requisitos de espacio reducido (ya que un solo nodo puede reemplazar múltiples nodos separados), consumo de energía reducido, reducciones en la cantidad de cables de transmisión requeridos y otros.

3.3 Backhaul en Single RAN

Una solución Single RAN no solamente permite la compartición de los elementos de banda base y elementos de radio de una estación base, sino también permite la compartición de la red de transporte backhaul, utilizando solamente una interfaz física de conexión entre el nodo BTS y el nodo agregador.

3.3.1 Redes de Backhaul

El servicio de backhaul proporcionado a los nodos de acceso remoto de la red se puede dividir genéricamente en varias áreas básicas:

El nodo de acceso en sí mismo generalmente será una estación base celular (BTS, Nodo B, eNodoB), el enlace de backhaul suministrado al nodo de acceso se denomina conexión de última milla y forma parte de la red de transporte de acceso.

A menos que un enlace de backhaul funcione en modo punto a punto puro, en cuyo caso se conectará directamente a uno de los nodos de la red de core del operador, el enlace de acceso se conectará a un punto de agregación. En las redes que emplean enlaces de acceso de microondas, el primer nodo de agregación actúa como un hub para los enlaces de microondas que emanan de los demás sitios de las estaciones base. Los primeros puntos de agregación generalmente agregan el tráfico de múltiples enlaces de acceso de baja capacidad a un número menor de conexiones de fibra o microondas de alta capacidad que conducen a la red del operador. Algunos diseños de red incorporan niveles adicionales de agregación en la red de acceso, lo que lleva a conexiones de un segundo punto de agregación o segunda milla.

En las redes de acceso de radio 2G y 3G heredadas, los enlaces de backhaul a menudo se conectan a los sitios remotos BSC o RNC como se muestra en la Figura 62, que sirven como nodos de administración de los recursos de radio para un área de la red de acceso. Además de las funciones de señalización y administración, estos sitios proporcionaron un punto de agregación adicional para el tráfico de acceso, ya que todas las conexiones de acceso para los nodos en un área determinada se enrutarán al nodo controlador. En diseños de redes más modernas, el controlador de la red de acceso se ha movido hacia atrás a un nodo de la red de core, o en algunos casos, ha sido eliminado, a pesar de esto es común encontrarse con redes que han mantenido los sitios remotos operativos para continuar actuando como puntos de agregación de tráfico, con conexiones de alta capacidad hacia la red de core.

Las conexiones de alta capacidad establecidas entre el primer/segundo punto de agregación y el sitio del controlador de red a menudo se denominan Red de Transporte Metro. Las conexiones

entre los sitios de los controladores de red remotos y la red de core también pueden ser transportados por la red de metro.

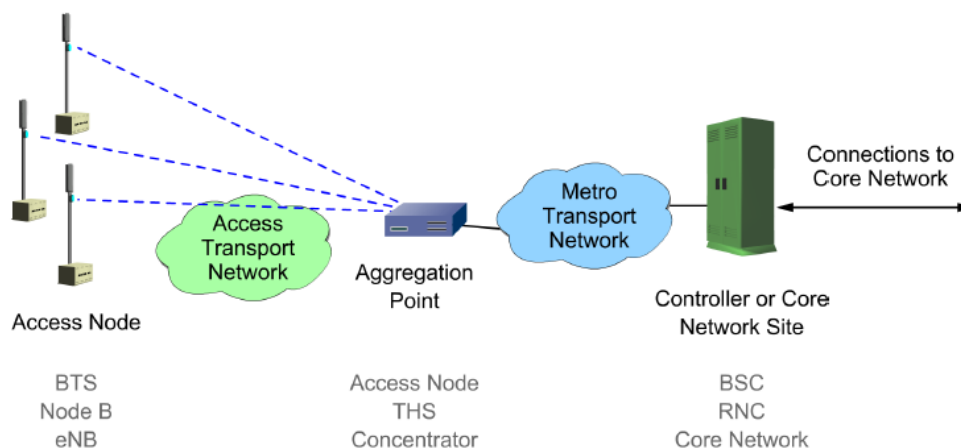


Figura 62. Diagrama general de red de acceso y red de backhaul de una red 2G/3G
Fuente: (Limited, 2012)

3.3.2 Arquitecturas de Backhaul

Los enlaces de transmisión de backhaul pueden configurarse de muchas maneras, algunos métodos ofrecen un menor costo de implementación, pero poca redundancia, mientras que otros sacrifican la capacidad a costa de una baja vulnerabilidad. La elección de qué método utilizar generalmente viene determinada por el tipo de red que se está construyendo, por la importancia de los nodos a ser conectados y por las políticas del operador.

En la Figura 63 se muestra una selección de los tipos de arquitectura de backhaul más comunes, al igual que una indicación del compromiso entre capacidad, resistencia y costo inherente en cada opción.

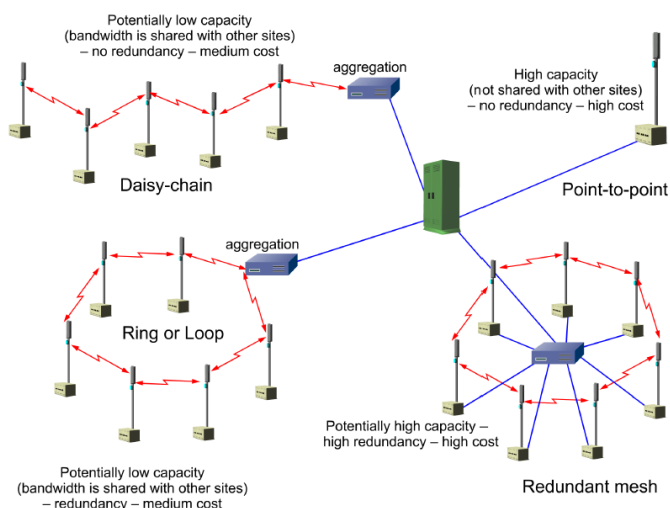


Figura 63. Tipos de Arquitecturas de Backhaul
Fuente: (Limited, 2012)

3.3.3 Última Milla de Backhaul Compartida

La arquitectura de Backhaul empleada por un operador al implementar una red Single RAN puede variar ampliamente, especialmente cuando se trata de decidir dónde debe detenerse la compartición de las RAT.

La Figura 64, a modo de ejemplo, muestra un escenario en el que un operador ha elegido compartir la conexión de acceso inicial o entre las RAT implementadas en cada sitio.

Una misma conexión Ethernet de Backhaul transporta el tráfico de todas las RAT a un nodo de agregación (que también puede actuar como un SeGW), desde donde se envían flujos de tráfico 2G, 3G y 4G por las rutas apropiadas. El tráfico 2G se reenvía a través de la BSC a la red de core 2G, el tráfico 3G se reenvía a través de la RNC a las redes de core 3G y el tráfico 4G se reenvía directamente al EPC. Todas las interfaces de red principales que se muestran aquí comparten la misma red de agregación, pero se transportan como flujos de tráfico separados.

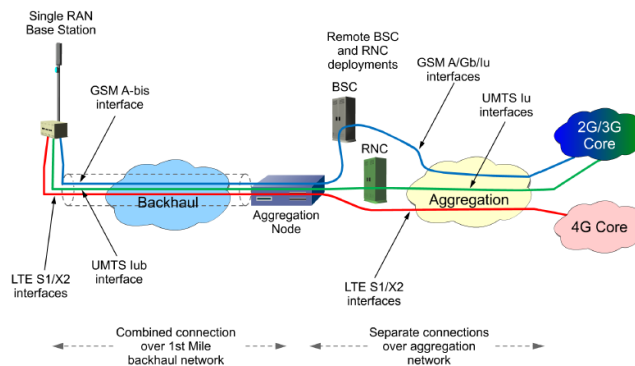


Figura 64. Diagrama de Última Milla de Backhaul Compartida

Fuente: (Limited, 2012)

Este enfoque puede ser particularmente útil en redes que previamente han decidido implementar nodos BSC/RNC remotos. El nodo de agregación/SeGW en estos casos podría estar ubicado junto con los controladores de acceso y podría aprovechar la configuración de la red de backhaul existente.

3.3.4 Red de Agregación Compartida

Cuando la Red de Agregación es compartida, el operador elige mantener el tráfico para todas las RAT en un solo nodo que forma parte de la misma conexión de backhaul hasta la red central como se muestra en la Figura 65. Por lo tanto, el tráfico Single RAN compartirá conexiones lógicas a través de las redes de acceso y de agregación.

Las conexiones lógicas empleadas para este propósito podrían consistir, por ejemplo, en una línea virtual privada de Portadora Ethernet o una VPN de MPLS (red privada virtual de conmutación de etiquetas multiprotocolo).

Esta configuración sería atractiva en escenarios en los que el operador haya decidido previamente implementar nodos BSC/RNC en los sitios de la red de core.

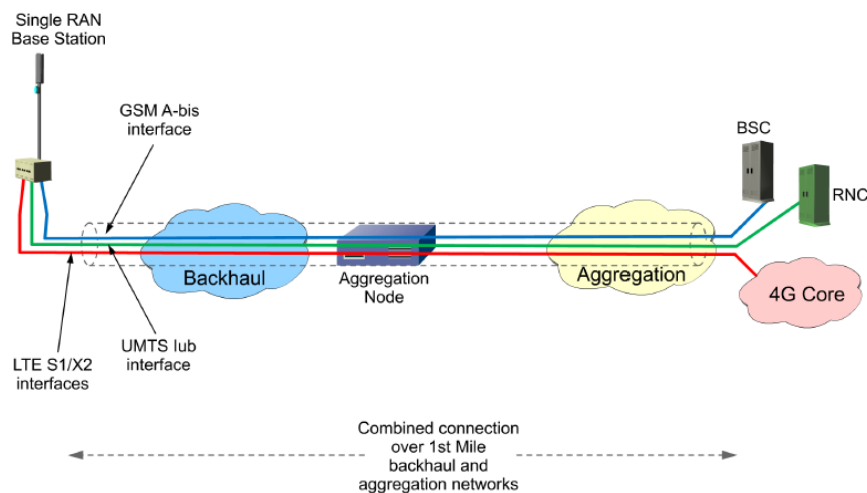


Figura 65. Diagrama de Backhaul compartido
Fuente: (Limited, 2012)

3.3.5 Implementación del SeGW (Security Gateway)

El SeGW es un nodo genérico que podría implementarse como parte de la red de backhaul para administrar las funciones de seguridad en la conexión.

El SeGW es el principal responsable de la creación y administración de las relaciones de IPsec SA (Asociación de seguridad) con los nodos de acceso o estaciones base. Los enlaces del backhaul celular basados en paquetes generalmente se protegen utilizando el modo IPsec ESP (Encapsulating Security Payload) con una autenticación mutua habilitada.

Por lo general, se crea un solo túnel IPsec de backhaul por estación base, que lleva todo el tráfico de backhaul al SeGW. Cualquier interfaz de nodo de acceso a nodo de acceso, como la interfaz X2 en redes LTE y las interfaces Iur/Iurh/Iur-g configuradas opcionalmente en redes UTRAN y GERAN, pueden enrutarse a través de SeGW, como se muestra en la Figura 66.

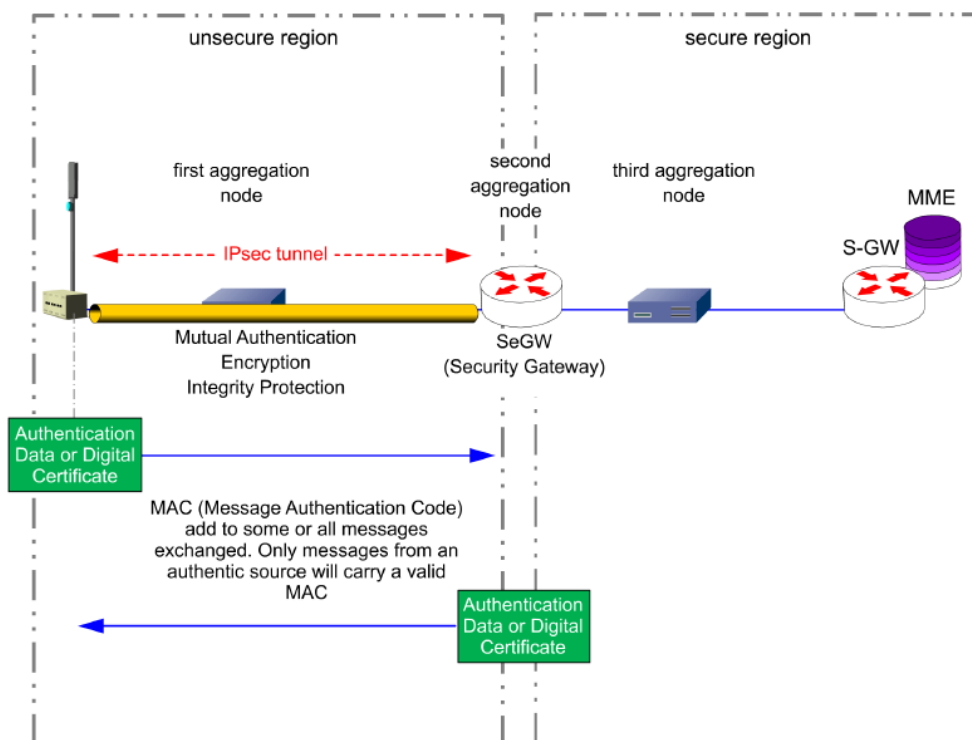


Figura 66. Diagrama de Enrutamiento del SeGW

Fuente: (Limited, 2012)

El principal beneficio que se deriva del uso del SeGW es la seguridad mejorada para las conexiones de backhaul en una red, por otro lado, las desventajas asociadas al uso de la SeGW generalmente se relacionan con el posible cuello de botella de tráfico en el que cada SeGW podría convertirse y la latencia de la red de acceso adicional que atraviesan los protocolos de seguridad podría establecer las conexiones.

3.3.6 Tecnologías de transmisión para el backhaul

Las soluciones de transmisión de backhaul empleadas en las primeras redes móviles generalmente usaban sistemas basados en tasas de datos PDH (Jerarquía Digital Plesiócrona). El (2 Mbit/s) es el tipo de interfaz PDH de tasa primaria en Europa y en muchas otras regiones,

mientras que T1/JT1 (1,5 Mbit/s) es el estándar base empleado en los EE. UU., Japón y varios otros países. La transmisión de orden superior se implementó como múltiplos de la tasa primaria, ya sea como múltiplos directos (2xE1, 4xE1, 8xE1, etc.) o en los pasos dictados por los estándares PDH en uso. En Europa, habrían sido E1 (2 Mbit/s), E2 (8 Mbit/s), E3 (34 Mbit/s) y E4 (140 Mbit/s) y en los Estados Unidos habrían sido T1 (1,5 Mbit/s), T2 (6 Mbit/s), T3 (45 Mbit/s), T4 (275 Mbit/s).

Las soluciones de transmisión heredadas basadas en cobre y microondas de TDM se ajustaron para adaptarse a las restricciones de los estándares PDH, aunque los sistemas más modernos se diseñaron para utilizar velocidades de datos más altas, los servicios de multiplexación más eficientes y las capacidades mejoradas de intercomunicación de SDH (Jerarquía Digital Sincrónica), que se conoce como SONET (Synchronous Optical Network) en los Estados Unidos. SDH ofrece capacidades de transmisión calculadas en unidades conocidas como STM (Módulos de transporte síncrono); STM-1 opera a 155 Mbit/s y es capaz de multiplexar hasta 63 tributarios E1 o una cantidad similar de datos estructurados en algún otro formato. Las opciones de multiplexación de orden superior son STM-4 (622 Mbit/s), STM-16 (2.5 Gbit/s) STM-64 (10 Gbit/s) y STM-256 (40 Gbit/s). Las versiones de multiplexación de orden superior de SDH solo están disponibles a través de conexiones de fibra, sin embargo, los sistemas de microondas SDH ofrecían STM-1 o STM-4 y los sistemas SDH basados en cobre generalmente no superaban un STM-1.

Hay sistemas de transmisión de fibra óptica disponibles que operan en una variedad de bandas de frecuencia/longitud de onda, pero generalmente se ajustan a uno de los dos tipos de fibra física: fibras multimodo que tienen un área de sección transversal comparativamente grande de alrededor de 50 μm a 60 μm y son aplicables a comunicaciones de corta distancia (de hasta unos pocos cientos

de metros) cuyo costo es relativamente económico; Fibras monomodo que son más delgadas, alrededor de 10 μm , pero que pueden operar en distancias mucho más largas pero con un costo mayor. Las velocidades de datos de 100 Gbit/s o más son posibles con la transmisión de fibra óptica, especialmente cuando se emplean técnicas de WDM (multiplexación por división de longitud de onda).

La Figura 67 diagrama proporciona un resumen de la popularidad de las tres opciones básicas de la capa física de backhaul antes del comienzo de los despliegues de LTE a gran escala.

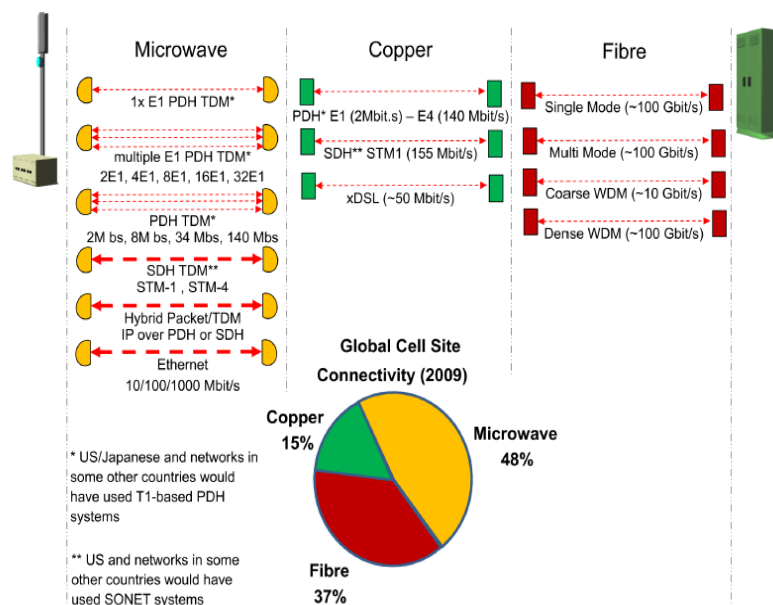


Figura 67. Opciones de Capa Física de Backhaul
Fuente: (Limited, 2012)

3.3.7 Carrier Ethernet

"Carrier Ethernet" es el término usado para describir una de las opciones que existen para utilizar Ethernet, que inicialmente fue diseñado para admitir los servicios de LAN (red de área local) en una tecnología que puede emplearse para admitir la funcionalidad de WAN (red de área amplia).

Ethernet proporciona un protocolo de transmisión relativamente económico, simple y bien comprendido que es lo suficientemente flexible como para transportar casi cualquier forma de tráfico digital. Esto lo hace ideal para su uso como portador en una red de backhaul combinada que sirve para una implementación de Single RAN.

La funcionalidad de Carrier Ethernet hace uso de las técnicas de VLAN (LAN virtual) en las que las tramas de Ethernet están "etiquetadas" para indicar la VLAN a la que pertenecen, los valores de las etiquetas afectan las decisiones de conmutación tomadas por los nodos de Ethernet cuando intentan entregar esas tramas. Las redes de clientes de origen y destino asignan a las tramas etiquetas VLAN de *etiqueta-C*, para fines de conmutación local, mientras que los proveedores de Ethernet del operador asignan *etiquetas-S* a las tramas para permitir que se cambien al nodo o red de destino correspondiente.

En este ejemplo, un operador de red móvil ha contratado a un proveedor de Carrier Ethernet para recibir servicios de agregación de backhaul. La red Ethernet del proveedor ofrece conectividad entre los sitios de red centrales del operador y sus sitios de agregación remota. La conectividad hacia adelante desde el sitio de agregación a cada estación base se realiza mediante una transmisión de backhaul basada en Ethernet propiedad del operador, como GigE Microwave.

La Figura 68 muestra un ejemplo de Carrier Ethernet donde la estación base se ha configurado para que pertenezca a la VLAN 3 del operador, por lo que el tráfico destinado a ese sitio será etiquetado por los conmutadores Ethernet de la red central con el ID de VLAN 3.

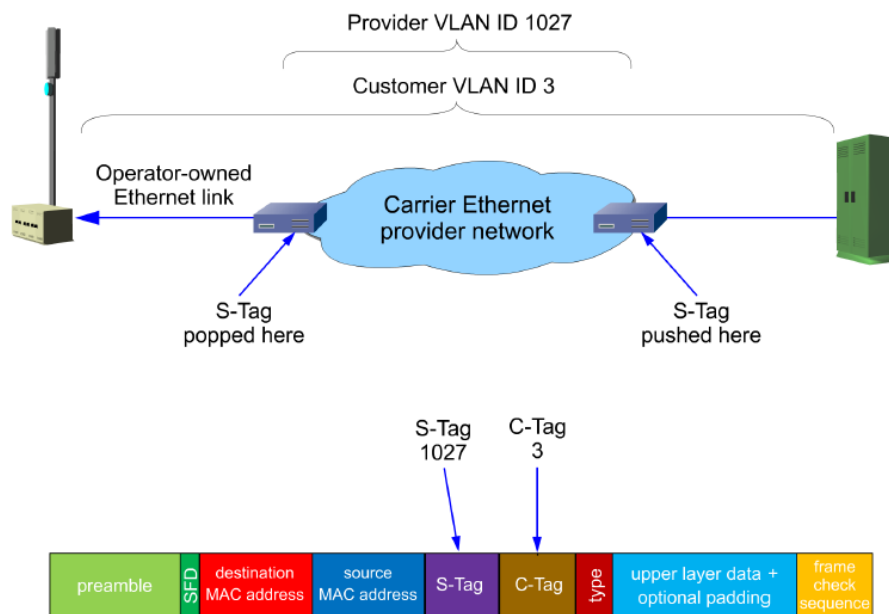


Figura 68. Ejemplo de Carrier Ethernet para la Red de Acceso
Fuente: (Limited, 2012)

Cuando las tramas Ethernet salientes pasan a través del Gateway del proveedor de servicios Carrier Ethernet, se les proporciona una etiqueta adicional. La etiqueta existente ahora se convierte en la *etiqueta-C* y la nueva etiqueta añadida en el Gateway se convierte en la *etiqueta-S*. El proveedor del servicio ha asignado la ID de VLAN 1027 a esta conexión virtual del cliente, que es el valor que se transporta en la *etiqueta-S*.

La *etiqueta-S* permite que la trama se cambie a través de la red del proveedor al sitio celular apropiado o al portal de agregación, donde la *etiqueta-S* se extrae de la trama, dejando disponible la trama original con una sola etiqueta para su envío al sitio celular de destino.

3.3.8 MPLS

MPLS es anterior a Carrier Ethernet y ofrece una forma alternativa de configurar servicios de Capa 2, como Ethernet, para que actúe como portador de servicios WAN.

Mientras que Carrier Ethernet inserta las etiquetas VLAN en las tramas de Ethernet para identificar los flujos de servicio a los que pertenecen las tramas en particular, MPLS inserta uno o más encabezados *shim* entre el encabezado de la trama de Ethernet y la carga útil de la trama, que generalmente es un paquete IP. El encabezado *shim* lleva una etiqueta que identifica la ruta a través de la cual se debe enrutar la trama, lo que se conoce como un LSP (Label Switched Path). Los encabezados *shim* pueden estar apilados en una trama, lo que permite que se realicen múltiples capas de conmutación y agregación de rutas otorgando a una red MPLS una capacidad escalable según sea necesario. Los LSP se configuran y eliminan utilizando técnicas de distribución de etiquetas que tienen un efecto similar a los protocolos de señalización empleados en las redes de conmutación de circuitos heredadas.

MPLS introduce una nueva terminología para el enrutamiento de Capa 2.

- Un LSR (Label Switched Router) es un conmutador MPLS Capa 2, que también tiene las funciones apropiadas del plano de control para participar en la configuración y eliminación de los LSP.
- Un LSP es una conexión virtual MPLS de extremo a extremo entre un par de LSR de borde y a través de una red de LSR. Esto es similar a los circuitos virtuales ATM y rutas virtuales.

- Un LSR de borde es un LSR especial que origina o termina los LSP, y puede clasificar el tráfico IP para reenviarlo a través del LSP más apropiado al colocar el paquete en una FEC (Forward error correction).
- Un FEC es una colección de paquetes diferentes que son tratados de manera idéntica por la red MPLS. Entonces, por ejemplo, en una Internet con el mejor esfuerzo, todos los paquetes con el mismo prefijo de red agregado estarán típicamente dentro de la misma FEC.

La Figura 69 muestra un ejemplo del diagrama de Carrier Ethernet con sus nodos de enrutamiento.

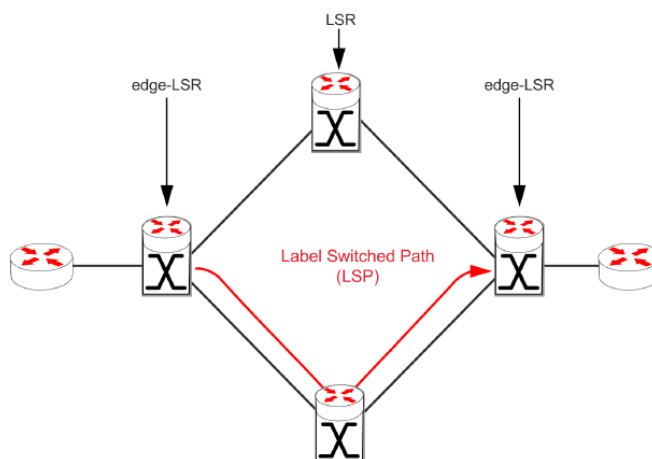


Figura 69. Ejemplo de Carrier Ethernet para la Red de Acceso
Fuente: (Limited, 2012)

3.3.9 Requerimientos de Backhaul IP RAN

Las redes celulares se diseñaron originalmente para hacer uso de las tecnologías tradicionales de transmisión de backhaul, como los enlaces E1/T1, que brindaban un conjunto predeterminado de servicios y características.

La migración a tecnologías de backhaul basadas en IP ha significado que esos servicios y características ahora deben ser proporcionados por IP, por una tecnología portadora de Capa 2 o por algunos protocolos adicionales.

Como parte de las funciones principales que deben proporcionarse para IP RAN, además del backhauling físico del tráfico RAN, se incluyen las siguientes:

- Sincronización
- Seguridad
- Escalabilidad
- Gestión de calidad de servicio (QoS)
- Redundancia y protección

Existen múltiples opciones de protocolo que permiten configurar cada uno de estos servicios en un entorno basado en IP.

3.3.10 Sincronismo en Single RAN

Como muestra la Figura 70, existen tres métodos genéricos disponibles para que los operadores proporcionen señales de sincronización a las estaciones base: Sincronización por backhaul TDM, sincronización por satélite y sincronización por red de paquetes.

El método predeterminado para proporcionar servicios de backhaul a estaciones base heredadas era a través de una conexión por cable o de microondas basada en TDM (E1, T1, PDH, SDH).

Las señales de sincronismo transmitidas por la navegación GPS generalmente se derivan de relojes atómicos compatibles con G.811 transportados por los satélites y, por lo tanto, son de un

orden de precisión que pueden ser utilizados como fuente de sincronización por los equipos de telecomunicaciones.

Si un servicio de sincronización heredado no está disponible o si un operador ha optado por emplear técnicas de última generación, entonces puede decidir emplear una solución de sincronismo basada en paquetes de red. Hay muchos protocolos de sincronismo de red de paquetes disponibles (NTPv3/v4, IEEE 1588v2/PTP, Sync-E y muchos otros) que brindan servicios de sincronismo de varias maneras.

Sync-E (Synchronous Ethernet) proporciona una sincronización muy similar a la forma en que las señales de sincronización se entregaron a través de los circuitos de cobre E1s. Una señal de sincronismo se transmite de nodo a nodo embebido en la señal eléctrica que opera a través de cables de interconexión. La mayoría de las otras formas de sincronismo de red de paquetes llevan mensajes de sincronismo en paquetes de datos. Algunos, como NTPv4 (Network Timing Protocol versión 4), llevan información precisa de la marca de tiempo a los nodos del cliente, lo que les permite ajustar sus relojes locales, mientras que otros, como IEEE 1588v2/PTP (Precision Timing Protocol), transmiten un flujo regular de paquetes de sincronización a los dispositivos cliente para proporcionar una señal de sincronismo.

Todos los distintos tipos de sincronismo basado en red de paquetes comparten algunas características comunes. En primer lugar, todos ellos en algún momento se refieren a una fuente de sincronización central, preferiblemente un PRC G.811. En segundo lugar, todos ellos pueden reutilizar elementos de las redes de sincronismo tradicionales, si es necesario, permitiendo que los servidores de temporización se sincronicen a través de las entradas de temporización de GPS, E1 o SDH, así como mediante métodos basados en paquetes.

En los tres métodos disponibles para distribuir la sincronización, se supone que cada nodo de red incorpora un reloj interno propio, razonablemente preciso, que puede establecer una relación PLL (Phase Lock Loop) con la señal de sincronismo recuperada que luego puede ajustarse mediante entradas de sincronización posteriores. Cuanto más preciso sea el reloj local de PLL, menos frecuentemente será necesario actualizarlo.

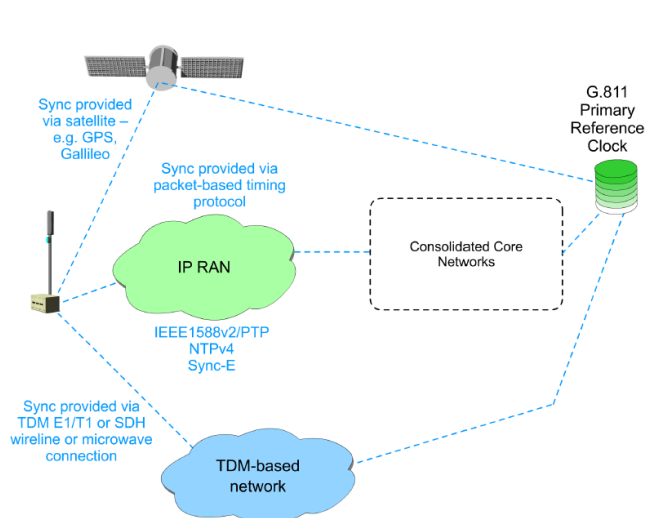


Figura 70. Tipos de Sincronismo para IP RAN
Fuente: (Limited, 2012)

3.3.11 Redundancia y Protección

Los sistemas de transmisión backhaul heredados, como E1/T1 y SDH/SONET, se proporcionaron con múltiples formas de redundancia del enlace para garantizar que las fallas de la red pudieran superarse. En conjunto, estas tecnologías proporcionaron lo que se conoce como APS (Conmutación Automática de Protección).

Los sistemas E1/T1 tienen acceso a nodos de duplicación que podrían crear una copia de cada trama y enrutarla por una ruta redundante independiente, mientras que las redes SDH/SONET recibieron un sofisticado conjunto de opciones de redundancia de enlace, anillo y malla.

Si las tecnologías de transmisión heredadas no son consideradas para ser empleadas en una red de un operador de última generación, es posible que se requieran otras formas de APS. Dado que Ethernet de una forma u otra es el protocolo de capa de enlace de datos más probable que se implementará en estas redes, a continuación, se examinan algunos de los protocolos de protección y redundancia disponibles para ese entorno:

- STP (el protocolo de árbol de expansión) funciona al examinar la estructura de una red en una base de enlace a enlace. Encuentra todos los enlaces redundantes entre pares de conmutadores y designa un enlace para reenviar el tráfico; mientras que los otros quedan bloqueados. Si el enlace de reenvío designado falla, entonces uno de los enlaces bloqueados se reactiva y asume los deberes de reenvío del tráfico.
- El RSTP (Rapid Spanning Tree Protocol) es otro protocolo IEEE (estandarizado como 802.1w) que aborda el problema de la convergencia lenta experimentado con el STP original y está diseñado para funcionar en entornos de conmutación de múltiples proveedores; Su principal beneficio es un tiempo de convergencia mejorado de alrededor de 30 segundos.
- El STP Múltiple (MSTP) se estandarizó originalmente como 802.1s y extiende el RSTP para que funcione en una base por VLAN. Mientras que el STP original permitía que solo una instancia del protocolo se ejecutara en un dominio, MSTP permite que haya instancias separadas de STP ejecutándose para cada VLAN que esté operativa en un dominio.

Otras opciones comúnmente empleadas incluyen la conmutación de protección lineal Ethernet G.8031 (ELPS) y la conmutación de protección de anillo Ethernet G.8032 (ERPS) que proporcionan conmutación de protección, de las conexiones Ethernet, por debajo de 50 ms. ELPS

se utiliza para proteger los enlaces punto a punto, mientras que ERPS protege las redes en anillo., ambos utilizan las funciones estándar de aprendizaje, reenvío y filtrado de Ethernet. La mensajería APS es transmitida por Ethernet OAM utilizando formatos de mensaje R-APS (Conmutación Automática de Protección en Anillo), que existe como una función OAM (Operación, Administración y Mantenimiento) que reside en un conmutador Ethernet.

3.3.12 RAN QoS Requirements

La QoS, o al menos la QoS configurable, no era un tema que llamara la atención en las redes que empleaban un backhaul basado en TDM, ya que los portadores empleados en esas redes aplicaban la misma QoS a todo el tráfico. Los datos del usuario se asignaban a un intervalo de tiempo y se llevaban a través de un circuito conmutado a una velocidad estándar; no había posibilidad de permitir que un poco de tráfico "saltara la cola", ya que no había oportunidad de poner en cola el tráfico.

Las redes de backhaul basadas en IP tienen una gran flexibilidad en términos de QoS, que se puede configurar y aplicar a los flujos de tráfico, lo que puede considerarse como una ventaja (ya que permite a los operadores priorizar ciertos tipos de tráfico sobre otros) y como una desventaja (ya que aumenta la complejidad de la configuración de la red).

La calidad de servicio en una RAN basada en IP se puede aplicar en la Capa 2 o en la Capa 3 (o incluso en ambas capas, en el caso de conexiones que atraviesan dominios de red configurados de manera diferente).

La QoS a nivel de IP (Capa 3) generalmente es administrada por DiffServe (Servicios Diferenciados), que proporciona un mecanismo muy simple pero altamente efectivo para marcar

las prioridades relativas de diferentes paquetes en los buffers de egreso de un enrutador. Funciona al aplicar un marcador, conocido como DCSP (Punto de Código DiffServe) a cada paquete IP creado o que pasa a través de una red.

Los DSCP se definen dentro de una jerarquía que abarca los servicios de prioridad alta, media y baja y aquellos que recibirán un servicio de *mejor esfuerzo*. El punto de código apropiado está marcado en un paquete al codificarlo en el campo DSCP. Un operador de red puede configurar la aplicación DiffServe en sus enrutadores para crear diferentes colas de egreso para cada clase de tráfico de soporte y, durante períodos ocupados, para reenviar el tráfico de estas colas de manera que agilice el tráfico de mayor prioridad.

La QoS basada en IP también se puede aplicar en la Capa 2. Tanto Carrier Ethernet como MPLS admiten métodos que permiten que el CoS (Clase de servicio) sea transportado por una trama a ser marcada y para que las tramas reciban un servicio priorizado alineado con esas marcas. Carrier Ethernet aplica las marcas de CoS al campo PCP (Punto de Código de Prioridad) de una etiqueta Dot-1q, mientras que MPLS admite varios métodos de reutilización de DiffServe.

La Figura 71 muestra el esquema general de QoS aplicado para redes TDM y redes IP, en donde se puede observar que QoS en la red TDM no es posible de configurar debido a que todo el tráfico se trata de manera idéntica.

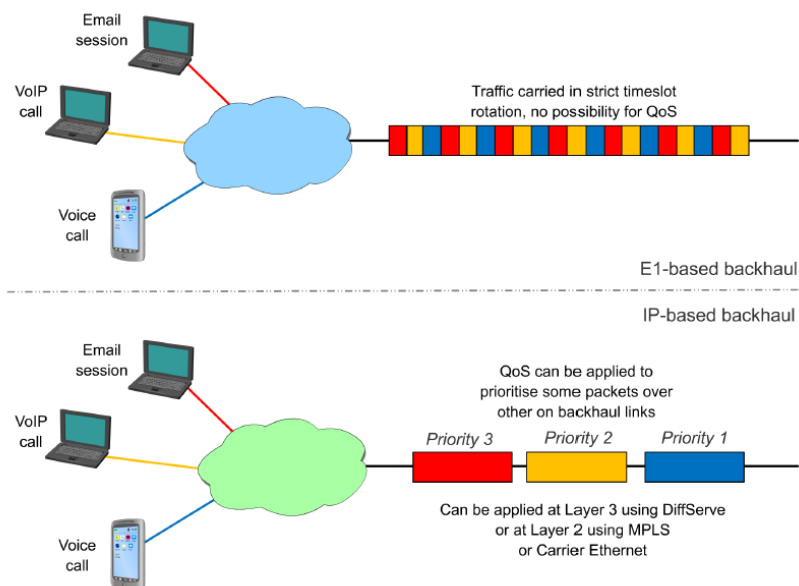


Figura 71. QoS en Backhaul Basado en E1 vs Backhaul Basado en IP

Fuente: (Limited, 2012)

3.3.13 Pila de Protocolos del Backhaul

Cada generación de red celular tiene sus propias interfaces de backhaul específicas y definidas, cada una con su propio conjunto de pilas de protocolos como se muestra en la Figura 72.

Tradicionalmente, la interfaz de backhaul GSM A-bis empleaba una pila de protocolos que consistía en formatos de señalización y tráfico basados en tramas que se transportaban a través de enlaces de transmisión TDM, típicamente utilizando estándares de transmisión E1/T1/JT1. Las redes GSM acumularon enormes redes de transmisión TDM que normalmente suministraban uno o más enlaces E1/T1/JT1 a cada sitio celular.

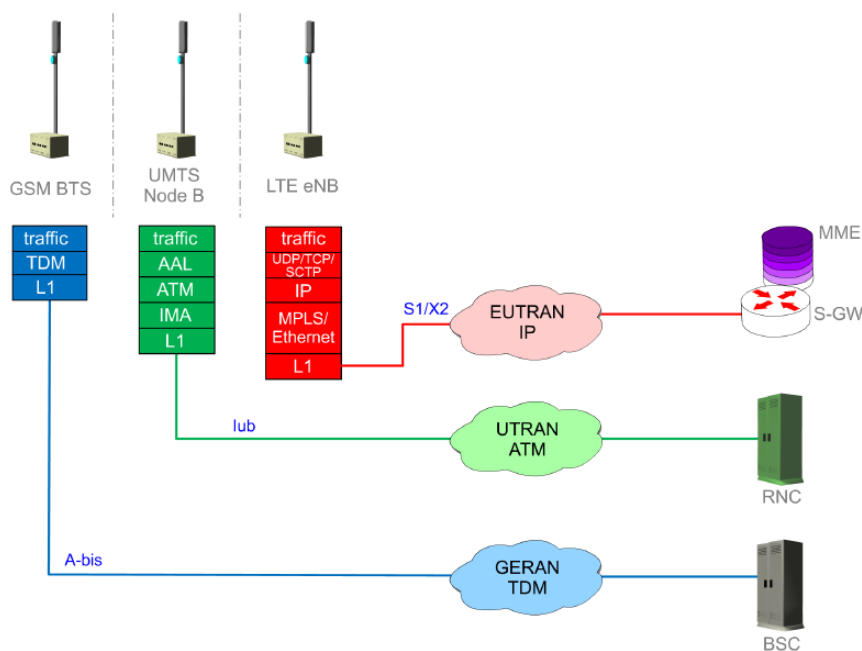


Figura 72. Ejemplos de Pila de Protocolos para Backhaul heredado 2G/3G/4G
Fuente: (Limited, 2012)

Las interfaces de backhaul Iub de UMTS fueron diseñadas para ser transportadas a través de enlaces ATM y, por lo tanto, consistían en canales de tráfico y señalización que se ubicaban en la parte superior de una AAL (Capa de Adaptación ATM), que manipulaba sus datos para que los mensajes pudieran ser transportados en un flujo de celdas ATM. Las redes UMTS R99 generalmente construyeron su entorno de backhaul sobre sus redes basadas en GSM TDM existentes y, a medida que los sitios incrementaron su carga de datos y requerían más ancho de banda, se vieron obligados a emplear técnicas adicionales como IMA (Multiplexación Inversa de ATM) para satisfacer la demanda. Muchas redes tomaron la decisión de proporcionar conexiones SDH de alta capacidad a sitios más saturados, evitando así la necesidad de emplear TDM o IMA.

LTE opera en un entorno totalmente IP en el que todo el tráfico (señalización, plano de usuario, O&M) es transportado por IP, los operadores generalmente emplean redes de backhaul basadas en

paquetes que usan tecnologías como Carrier Ethernet o MPLS para proporcionar conectividad a los sitios celulares.

3.3.14 Single RAN Protocol Stacks

El tráfico backhaul de Single RAN puede ser transportado por una variedad de tecnologías de Capa 2 y Capa 1.

El tráfico 2G puede continuar asignándose a las tramas TDM (E1/T1) para el tránsito a través de la RAN, pero esas tramas se asignarán, a través del protocolo de estructura CES (Servicio de Emulación de Circuitos), a una conexión basada en IP. El tráfico del plano de usuario normalmente se asignará a un portador de UDP/IP (Protocolo de Datagramas de Usuario), mientras que el tráfico de señalización y OAM podría asignarse a un portador de TCP (Protocolo de Control de Transmisión) o SCTP (Protocolo de Transmisión de Control de Flujo).

Funciones similares se pueden realizar para el tráfico basado en ATM que conecta a los Nodos B UMTS R99. El tráfico de la interfaz aérea continuaría siendo mapeado, a través del protocolo Iu Frame y AAL2, a las celdas ATM. Esos flujos de celdas pueden asignarse a través de IMA a un conjunto de funciones de trama TDM (E1/T1) que luego se asignarían a UDP/IP o el flujo de células ATM se podría asignar directamente a UDP/IP. El tráfico del plano de control continuaría asignándose a SAAL5 (Señalización AAL5) y a las celdas ATM seguirían la misma ruta que el tráfico del plano de usuario.

Los Nodos B UMTS y los eNB de LTE que funcionan con el Release 7 o superior, pueden conectarse directamente a portadores de IP nativos sin necesidad de servicios de tramas o emulación.

Debajo de la capa de IP, las redes convergentes suelen emplear MPLS a través de Ethernet o Carrier Ethernet para transportar el tráfico de IP en la Capa 2 y pueden emplear una variedad de técnicas de transmisión de Capa 1 para proporcionar portadores físicos para ese tráfico.

La Figura 73 muestra la pila de protocolos utilizados con Single RAN y aplicados a cada tecnología de radio, toda la comunicación de backhaul en Single RAN es IP por lo cual los protocolos TDM y ATM deben ser encapsulados en tramas IP para su transporte a través de la red de backhaul.

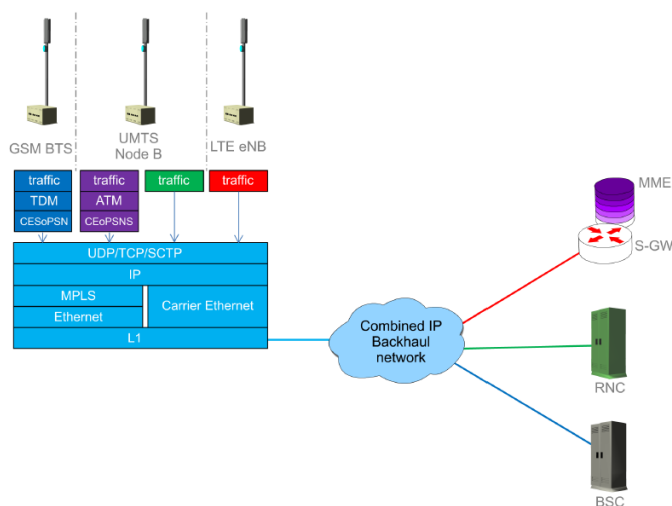


Figura 73. Pila de Protocolos del Backhaul Single RAN

Fuente: (Limited, 2012)

3.3.15 VLANs y Dot-1q

Ethernet fue diseñado originalmente para proporcionar servicios de redes de área local a nodos conectados al mismo medio físico local o a dispositivos conectados al mismo concentrador o conmutador. Esto se vio como una limitación a la manera en que las organizaciones creaban sus grupos de trabajo y en su capacidad de establecer redes entre dispositivos asociados que se

encontraban físicamente en localidades remotas. Las iteraciones posteriores de Ethernet, por lo tanto, agregaron la capacidad de crear LAN virtuales o VLANs.

Una VLAN funciona de la misma manera que una LAN física; proporciona un medio de transmisión totalmente informada que vincula un conjunto de dispositivos con el beneficio adicional de que los miembros de una VLAN no necesitan estar conectados al mismo medio físico, la funcionalidad de una VLAN es administrada por switches Ethernet. Cuando se va a incluir un nodo en una VLAN, el conmutador Ethernet que lo sirve se configura con la ID de VLAN adecuada en el puerto que se conecta al nodo. Todas las tramas transmitidas por el nodo son copiadas automáticamente por el switch a los puertos configurados con la misma ID de VLAN. Cuando las tramas transmitidas por un miembro de la VLAN se reenvían desde el conmutador de origen a otros conmutadores, se agrega una "etiqueta" de VLAN a la trama para indicar la VLAN a la que pertenece. Los interruptores de recepción reenviarán la trama recibida a través de los puertos locales configurados como miembros de esa VLAN.

La capacidad de agregar y eliminar las etiquetas VLAN y la inteligencia de señalización que permite a los conmutadores anunciar detalles de las VLAN a las que pertenecen sus nodos locales conectados, son proporcionados por los protocolos de troncalización de VLAN. Hay dos protocolos principales de enlaces troncales que son usados comúnmente; VTP (VLAN Trunking Protocol) es un protocolo patentado de Cisco y 802.1q (comúnmente conocido como *Dot-1q*) es un protocolo IEEE de estándares abiertos.

802.1q agrega etiquetas a las tramas de VLAN cuando viajan entre conmutadores, las etiquetas Dot-1q se insertan entre la Dirección MAC de origen y los campos EtherType; y se eliminan antes de que las tramas se envíen a los dispositivos del usuario final. Una etiqueta de Dot-1q tiene una

longitud de 4 bytes y consta de un TPID (ID de Protocolo de Etiqueta), que por lo general tiene un valor predeterminado de 8100 en hexadecimal. Otros dos campos que conforman la etiqueta, PCI (Indicación de Código de Prioridad) y CFI (Indicador de Formato Canónico), generalmente no son utilizados y se configuran en valores predeterminados dejando el campo ID de VLAN como la única parte sustancial de la etiqueta. El campo ID de VLAN tiene una longitud de 12 bits, lo que permite que una red (o un segmento de red) defina hasta 4096 VLAN independientes.

La Figura 74 muestra los componentes de la trama ethernet con y sin la utilización de VLANs

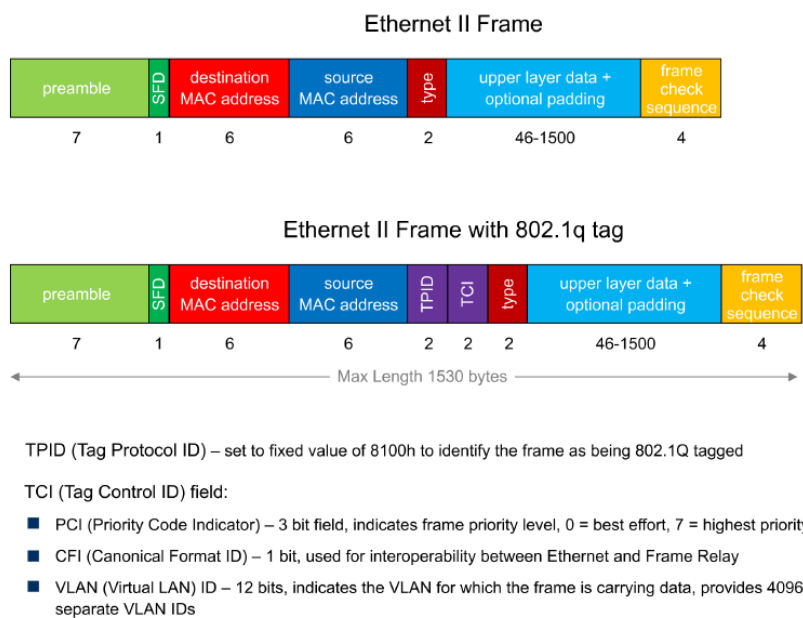


Figura 74. Tramas Ethernet II con y sin etiqueta de VLAN

Fuente: (Limited, 2012)

3.3.16 VLANs en el Backhaul

Las VLAN se pueden emplear y se emplean para admitir implementaciones de backhaul basadas en paquetes.

En un entorno general de backhaul Ethernet, la administración de VLANs puede ser manejada por conmutadores de Ethernet implementados en varios puntos. En el ejemplo que muestra la Figura 75, la interfaz entre la red de core del operador y la red de acceso/backhaul es administrada por un enrutador IP que actúa como CNG (Core Network Gateway); este nodo también puede actuar como SeGW. Las estaciones base en cada región están conectados a través de enlaces de backhaul a nodos de agregación en los que los conmutadores Ethernet ANG (Access Network Gateway) proporcionan el reenvío de la VLAN local. La conectividad entre el CNG y cada ANG, en este ejemplo, es proporcionada por un servicio de apilamiento de VLAN Q-in-Q de un proveedor Carrier Ethernet (CEth).

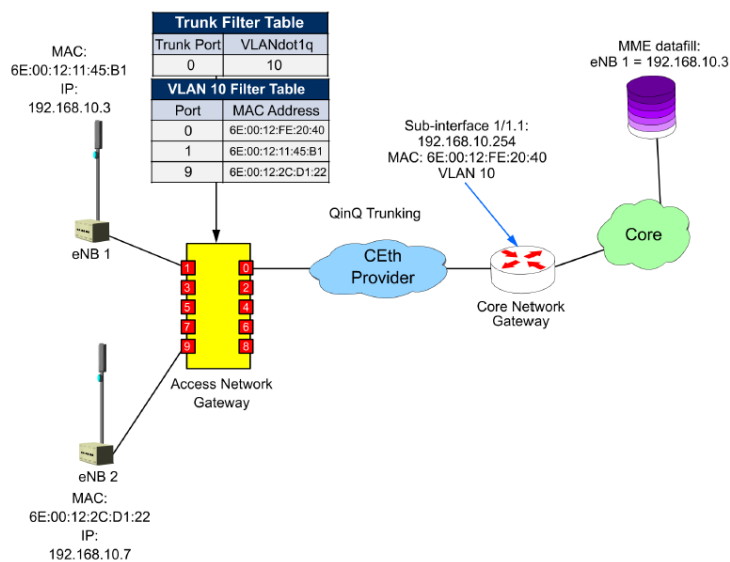


Figura 75. Backhaul Single RAN utilizando VLANs

Fuente: (Limited, 2012)

Los conjuntos de estaciones base se configuran con VLAN, cada VLAN podría definirse para admitir el conjunto de sitios en una región geográfica particular o un clúster específico.

Alternativamente, se pueden definir diferentes VLAN para servir a las estaciones base que pertenecen a una RAT particular (GERAN, UTRAN o EUTRAN) en un clúster.

3.3.16.1 Operación de VLANs en el Backhaul

Una VLAN crea un dominio de difusión distribuido en el que todos los hosts conectados a la VLAN son miembros de la misma subred IP. Los conmutadores Ethernet que admiten el funcionamiento de VLAN consisten en puertos de conmutación que se configuran de manera diferente como puertos de acceso (que se conectan a dispositivos de usuario final) y puertos troncales (que se conectan a otros conmutadores). El protocolo de enlace troncal VLAN 802.1q (Dot-1q) se emplea para administrar las operaciones VLAN.

Un conmutador compatible con Dot-1q mantiene datos de estado que indican con qué VLAN está configurado cada puerto de acceso, también gestiona el reenvío de tramas VLAN a través de puertos troncales que se han marcado como conectados a otros conmutadores. La mensajería Dot-1q se intercambia entre los conmutadores para gestionar la función de reenvío, todas las tramas que se reenvían a través de un puerto troncal tienen una etiqueta Dot-1q insertada para anunciar la VLAN a la que pertenece. Los puertos Ethernet Dot-1q realizan el aprendizaje de direcciones MAC y los conmutadores compilan los detalles de las direcciones MAC disponibles por VLAN a través de cada puerto de acceso y puerto troncal.

Los miembros de la VLAN no son solo hosts, también pueden ser interfaces de enrutador, ya sea interfaces completas (que por lo tanto pueden servir solo para una VLAN) o subinterfaces de una interfaz física (cada una de las cuales podría servir para una VLAN diferente), esto se conoce como Configuración de 'Router On a Stick'.

En el ejemplo de la Figura 76, un paquete IP destinado a una estación base particular se ha enrutado a través de la red de core del operador en función de su dirección de IP de destino. La subinterfaz CNG mapea el paquete IP en una trama MAC y consulta su caché ARP (Protocolo de resolución de direcciones). La memoria caché ha almacenado los detalles de la dirección MAC que actualmente está vinculada a la dirección IP de destino y se utiliza para tratar la trama MAC. La subinterfaz del enrutador se ha configurado para ser miembro de la VLAN 10 y, por lo tanto, inserta una etiqueta Dot-1q en la trama y la reenvía.

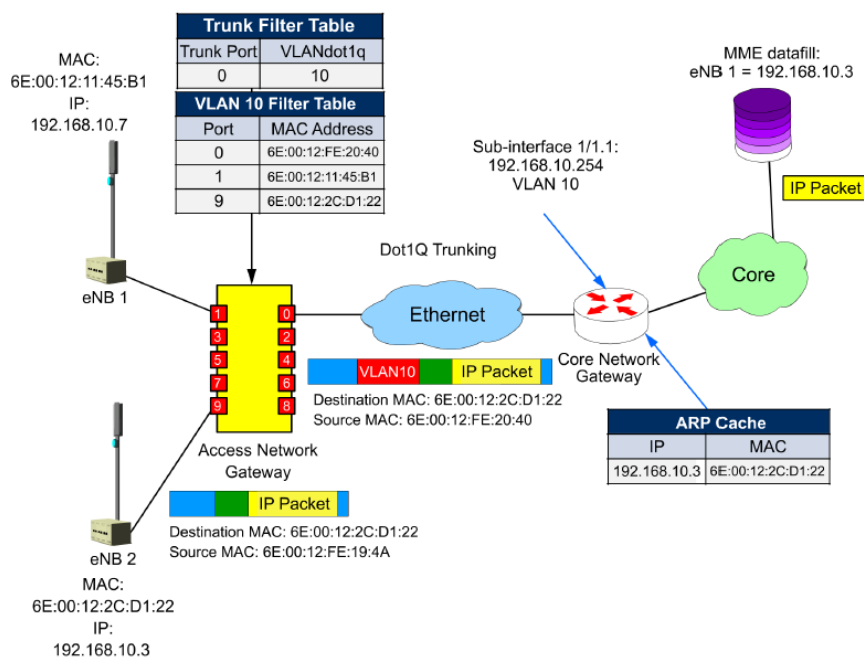


Figura 76. Ejemplo de Enrutamiento de VLAN

Fuente: (Limited, 2012)

El conmutador ANG Ethernet recibe la trama etiquetada y aprende la dirección MAC de origen, esto se escribe en sus tablas de filtro. El ANG ya conoce la dirección MAC de destino, pues se la ha aprendido previamente en el puerto 9, por lo que la etiqueta Dot-1q se extrae y la trama original se reenvía a través del puerto 9 y el paquete IP original finalmente llega a su destino. Si la dirección

MAC de destino no se hubiera aprendido previamente, el conmutador ANG habría difundido la trama a través de todos los puertos locales que pertenecen a la VLAN 10 y también habría reenviado la trama a través de los puertos troncales que están activos para la VLAN 10, excluyendo el puerto troncal a través del cual se recibió la trama.

3.3.16.2 Escenarios para uso de VLANs en el Backhaul

A continuación, se analizarán algunos ejemplos de los posibles usos de las VLAN en un entorno de red de acceso celular.

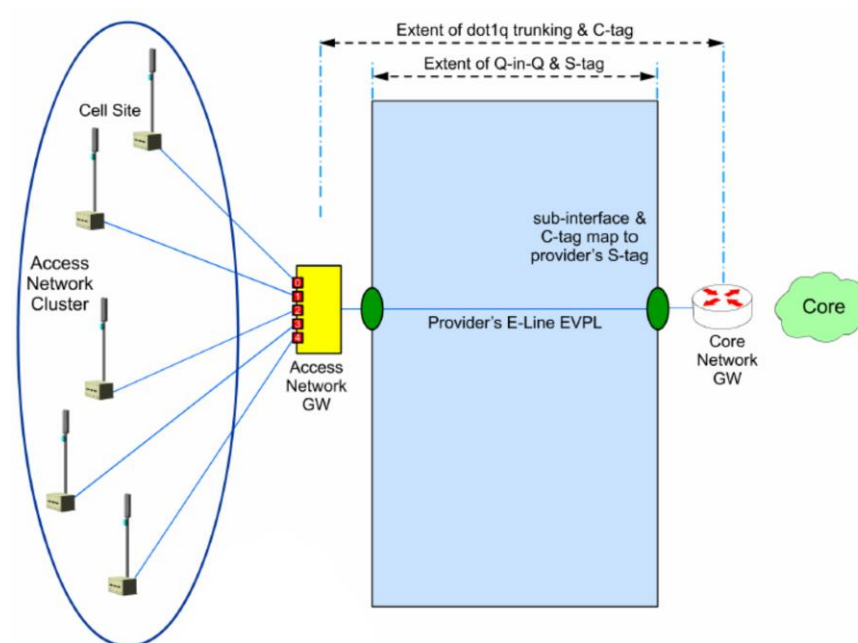


Figura 77. Ejemplo de Configuración de Red del Operador
Fuente: (Limited, 2012)

La Figura 77 describe la configuración base considerada para los ejemplos a ser analizados más adelante, donde todos los sitios se encuentran en la misma red de acceso, comparten la misma VLAN y son parte de la misma Subred IP.

- La red de core del operador se conecta al entorno de backhaul a través de un CNG, que asigna subinterfaces de enrutamiento específicas para conectarse a cada VLAN. Las *etiquetas-C* se añaden/extraen a/de las tramas en la subinterfaz de CNG.
- El operador utiliza un proveedor de Carrier Ethernet para transportar el tráfico desde el CNG a los ANG remotos, ubicados en los sitios de agregación de backhaul. Las *etiquetas-S* se añaden/extraen en los nodos de borde del proveedor de CEth.
- El ANG puede añadir/extraer las *etiquetas-C* para el tráfico relacionado con sitios básicos que no emplean el CSG. El ANG simplemente proporciona enlaces troncales Dot-1q para el tráfico relacionado con sitios más complejos que emplean CSG.
- Los sitios celulares, en este ejemplo, se han agrupado en diferentes grupos. Cada grupo comparte una ID de VLAN y forma una subred IP independiente.

3.3.16.2.1 Escenario VLAN para Single RAT

La Figura 78 muestra una configuración de *clúster* muy simple para una sola red de acceso RAT, en este escenario todos los sitios dentro de la red de acceso se conectan a través del mismo nodo de agregación.

Todas las celdas en el mismo *clúster* comparten una ID de VLAN y una subred IP. La subinterfaz del enrutador es la puerta de enlace predeterminada para la subred. El enrutador CNG y el conmutador ANG han aprendido las direcciones MAC de todos los sitios. El enlace CNG-ANG se troncaliza usando Dot-1q y los enlaces a cada sitio desde el ANG son puertos de acceso normales.

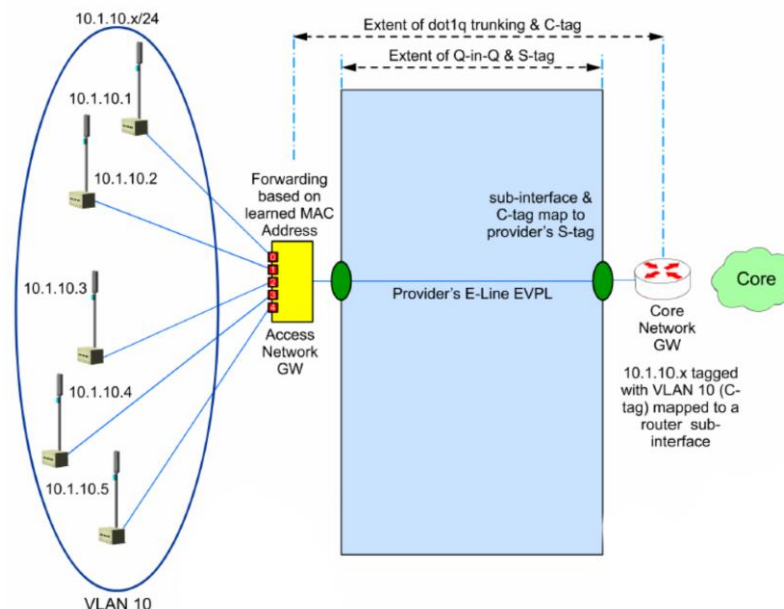


Figura 78. Escenario VLAN para Single RAT
Fuente: (Limited, 2012)

3.3.16.2.2 Escenario de VLAN para Multi-RAT y Multi-RAN

La Figura 79 muestra un ejemplo práctico de implementación de dos generaciones de RAT (3G UTRAN y 4G EUTRAN) en los mismos sitios pero en nodos independientes, cada RAT tiene su propia ID de VLAN y subred IP por grupo.

Normalmente, el CNG necesitaría dos subinterfaces definidas o tendría que asignar dos direcciones IP e ID de VLAN (una de cada por subred RAT) a la misma subinterfaz. El conmutador Ethernet ANG utilizado en este ejemplo admite puertos de acceso que solo se pueden etiquetar con una ID de VLAN (aunque algunos fabricantes producen conmutadores de puertos de acceso de VLAN múltiples), lo que significa que los enlaces de backhaul del nodo de agregación a las estaciones base no podrían ser configurados como enlaces de acceso y, en su lugar, tendría que

funcionar como enlaces troncales. En este caso Dot-1q tendría que usarse en los enlaces desde el ANG a cualquier tipo de conmutador CSG (Cell Site Gateway) compatible con VLAN.

El ANG reenvía el tráfico al nodo apropiado en función de las direcciones MAC aprendidas por el puerto troncal. El CSG en cada estación base extraerá la *etiqueta-C* y reenviaría el tráfico al nodo RAT apropiado en función de la dirección MAC aprendida

Si el conmutador Ethernet en el ANG es compatible con el modo multi-VLAN (en el que se puede configurar un puerto de acceso para que sea compatible con múltiples VLAN), no se requerirán los enlaces CSG ni la red de enlace troncal de última milla, cada puerto de acceso al ANG solo se configurará para servir las múltiples VLAN y la discriminación de nodos serán determinadas por la dirección MAC aprendida utilizando un conmutador Ethernet básico ubicado en la estación base.

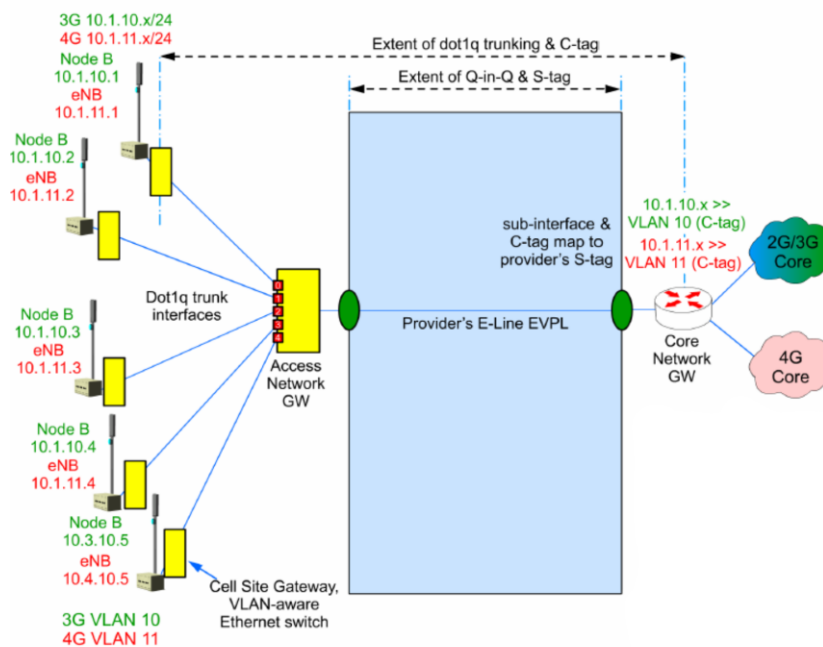


Figura 79. Escenario VLAN para Multi-RAT y Multi-RAN
Fuente: (Limited, 2012)

3.3.16.2.3 Escenario VLAN para Multi-RAT y Single-RAN

La Figura 80 muestra un ejemplo práctico de implementación de tres generaciones de RAT (2G GERAN, 3G UTRAN y 4G EUTRAN) en los mismos sitios en nodos Single RAN, cada RAT tiene su propia ID de VLAN y subred IP por grupo.

El CNG normalmente necesitaría tres subinterfaces definidas (una por cada VLAN) o necesitaría asignar tres direcciones IP e ID de VLAN (una por cada subred de RAT) a la misma subinterfaz.

El conmutador ANG Ethernet utilizado en este ejemplo se conecta a los sitios finales utilizando puertos de acceso y, por lo tanto, extrae la *etiqueta-C*. Como las tres VLAN terminan en el mismo nodo físico, no hay necesidad de un CSG.

El ANG reenvía el tráfico al sitio apropiado en función de las direcciones MAC aprendidas. Cada estación base Single RAN tendrá tres direcciones IP asignadas (una por RAT/VLAN), que a su vez estarán asociadas con la dirección MAC de la interfaz Ethernet de la estación base.

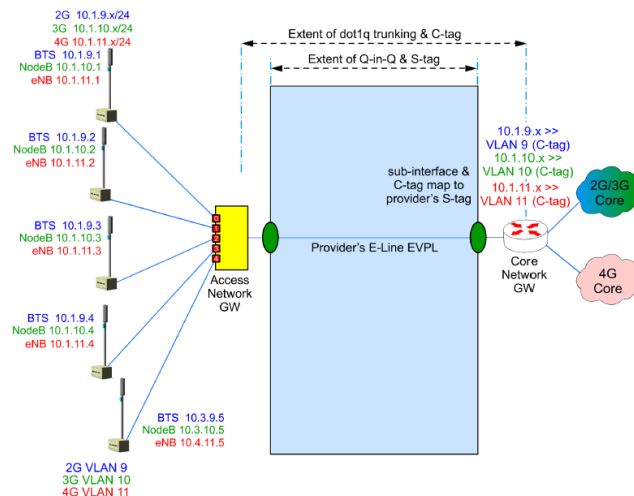


Figura 80. Escenario VLAN para Multi-RAT y Single-RAN
Fuente: (Limited, 2012)

3.4 Implementación de Single RAN

La implementación de Single RAN conlleva un determinado proceso previo al despliegue de las estaciones base, este proceso incluye la preparación de la red actual del operador y las reconfiguraciones de los elementos que componen las redes heredadas. En los siguientes puntos se analizará a detalle el proceso de la implementación de Single RAN.

3.4.1 Arquitectura Multi RAN

La alternativa a una arquitectura de Single RAN es que los operadores empleen un diseño de RAN múltiple, en el que cada RAT (2G, 3G o 4G) tiene su propia estructura y entorno de entrega de servicios separados como se muestra en la Figura 81.

Incluso en una implementación Multi RAN, algunos servicios, como la infraestructura del sitio celular y la conectividad de backhaul, pueden compartirse, pero cada RAT empleará sus propias estaciones base o elementos pasivos de estaciones base.

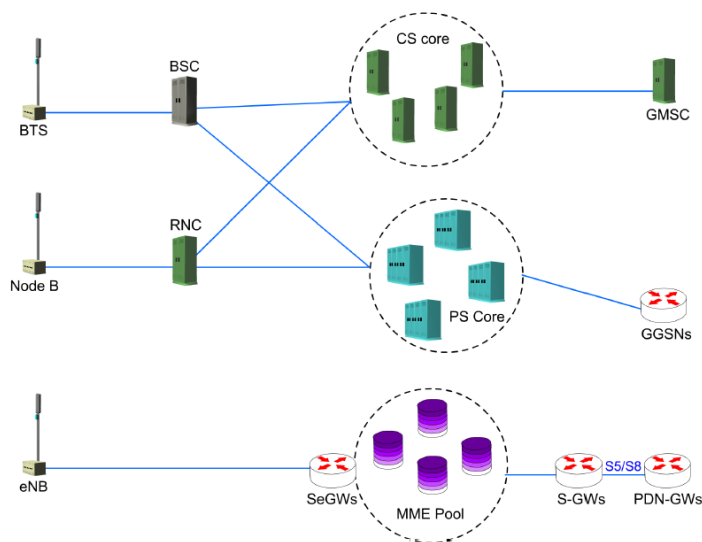


Figura 81. Arquitectura General de Red Multi RAN

Fuente: (Limited, 2012)

3.4.2 Arquitectura Single RAN

La Figura 82 muestra una arquitectura típica de Single RAN, donde todos los servicios e instalaciones se comparten entre las RAT que colaboran. Un sitio Single RAN empleará una estación base MSR única y combinada en la que los elementos y servicios se comparten activamente entre las RAT.

Para muchos operadores, el despliegue de soluciones de RAN único es sinónimo de un cambio a una arquitectura Todo-IP, por lo que se puede esperar que un sitio Single RAN emplee tecnologías de backhaul basadas en paquetes (Ethernet y/o MPLS).

Las implementaciones de RAN individuales también pueden incorporar plataformas de controlador múltiple combinado (BSC/RNC) y técnicas de agrupación de redes de core en el dominio de PS y CS.

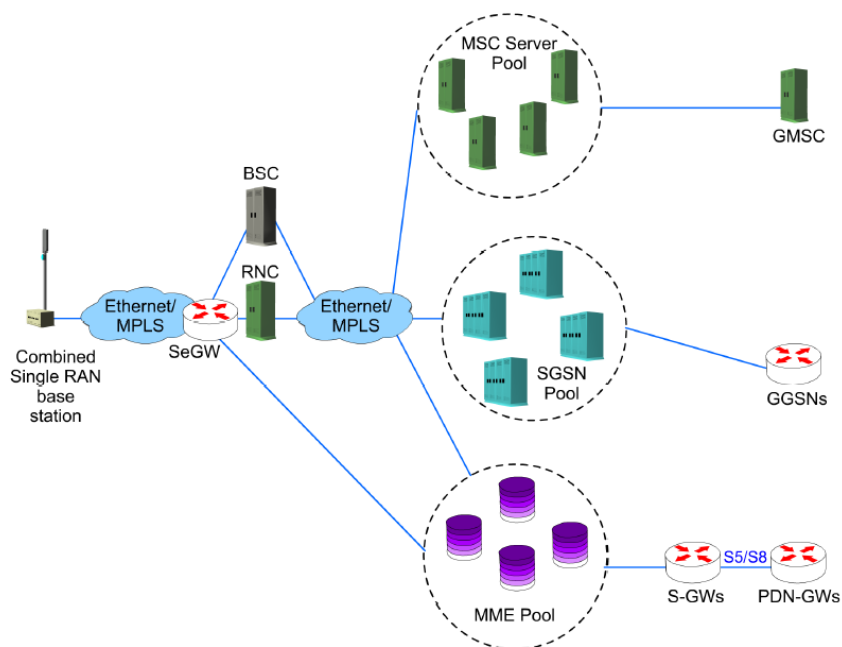


Figura 82. Arquitectura General de Red Single RAN

Fuente: (Limited, 2012)

3.4.3 Ejemplo de Implementación de Single RAN

El esquema de un posible plan de implementación para el despliegue de una solución Single RAN se muestra en la Figura 83. Las etapas de esta implementación de Single RAN genérico e hipotético son las siguientes:

- **Preparación:** el operador de red, de manera opcional, puede considerar actualizar sus redes de core heredadas a la funcionalidad R4 e implementar la agrupación de redes de core antes de embarcarse en una actualización de Single RAN
- **Implementación del EPC:** muchos operadores realizan una implementación de Single RAN como parte de una evolución a LTE, por lo que la implementación de un EPC 4G sería un paso preparatorio en este proceso
- **Evolución de la transmisión:** una red de backhaul y agregación basada en paquetes se considera un elemento clave en una implementación de Single RAN, por lo que la consolidación de tecnologías Independientes de transmisión heredadas, en una base compartida de Ethernet/MPLS es un paso vital en el proceso.
- **Reubicación de GERAN UTRAN:** es posible que los elementos existentes de la red de acceso heredada deban reubicarse en las Áreas de Ubicación (LA) y Áreas de Enrutamiento (RA) que correspondan con las nuevas Áreas de Rastreo (TA) de la red LTE y, además, las estaciones base heredadas deban ser reintegradas en nuevas plataformas controladoras (BSC/RNC)
- **Implementación de Single RAN MSR:** las nuevas estaciones base MSR deberán implementarse para reemplazar algunos o todos los elementos BTS/Nodo B heredados del operador y también introducir la nueva funcionalidad eNB de LTE

- **Optimización de Single RAN:** el nuevo entorno de Single RAN deberá probarse y optimizarse rigurosamente para garantizar que la adyacencia, el Handover y la interoperabilidad entre todas las RAT funcionen correctamente
- **Racionalización de la Red Heredada:** una vez que el nuevo entorno de Single RAN funcione de manera óptima, el operador de la red puede comenzar a cosechar los beneficios de su implementación Single RAN al eliminar el hardware de los nodos y sitios heredados innecesarios, para su reutilización o desecho, y la racionalización de la fuerza laboral que los administra, opera y mantiene.

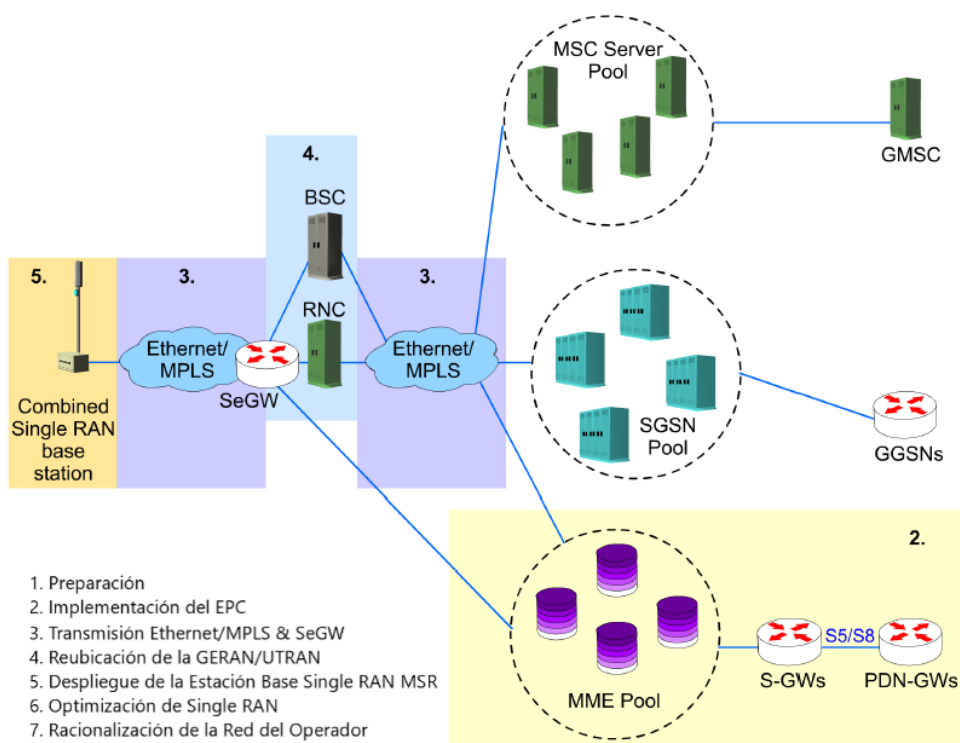


Figura 83. Plan de implementación Single RAN

Fuente: (Limited, 2012)

3.4.3.1 Etapa 1 – Preparación

El nivel de actividad realizado en esta fase está determinado en parte por el estado evolutivo de los entornos de red heredados existentes del operador.

La Figura 84 muestra los cambios previos a Single RAN que se deberán realizar en el caso de los operadores que han mantenido una arquitectura anterior al Release 4 para sus redes de core de en el dominio de CS y el dominio de PS, que consisten en MSC heredados y SGSN no agrupados, un primer paso clave será actualizar esos entornos heredados para admitir servidores, MSC/MGW para el dominio de CS y SGSN para el dominio de PS, posteriores a Release 4.

Además, los operadores de red que aún no han implementado funcionalidades de Release 5 como la agrupación de redes de core o la conexión Intra Dominio desde los Nodos RAN a los Nodos de Core, también pueden considerar la implementación de estos cambios antes de iniciar una actualización de single RAN.

Otro trabajo de preparación también incluiría la planificación de Single RAN, que debe identificar los sitios celulares que son adecuados para la actualización y aquellos que se asignarían para una posterior intervención.

La planificación tanto de los cambios necesarios en red de backhaul y transmisión, como de los cambios de reasignación de las Áreas de Ubicación (LA) y Áreas de Enrutamiento (RA) de las redes heredadas también se realizará en esta etapa.

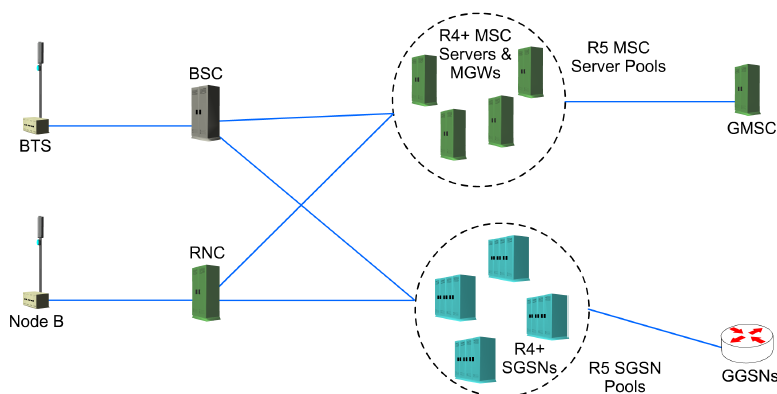


Figura 84. Cambios Preliminares de Core de CS y Core de PS a Release 5
Fuente: (Limited, 2012)

3.4.3.2 Etapa 2 – Implementación del EPC LTE

Antes de que una red de acceso E-UTRAN LTE pueda implementarse, el operador debe implementar una red de core para atenderla. Por lo tanto, es probable que la implementación e integración de un EPC 4G se realice antes de cualquier modificación de la red de acceso.

El entorno LTE EPC consta de un conjunto de elementos del plano de usuario (S-GW y PDN-GW) supervisados por los dispositivos del plano de control (MME, HSS y PCRF que es opcional). Algunos de estos dispositivos admiten interfaces para entornos heredados y otros entornos externos que deberán implementarse e integrarse.

Los MME son compatibles con las interfaces SV/SG hacia los servidores MSC heredados, que admiten las funciones SRVCC y CS Fallback respectivamente. Los MME también admiten la interfaz S3 de SGSN heredados para admitir la transferencia de PS y los servicios ISR.

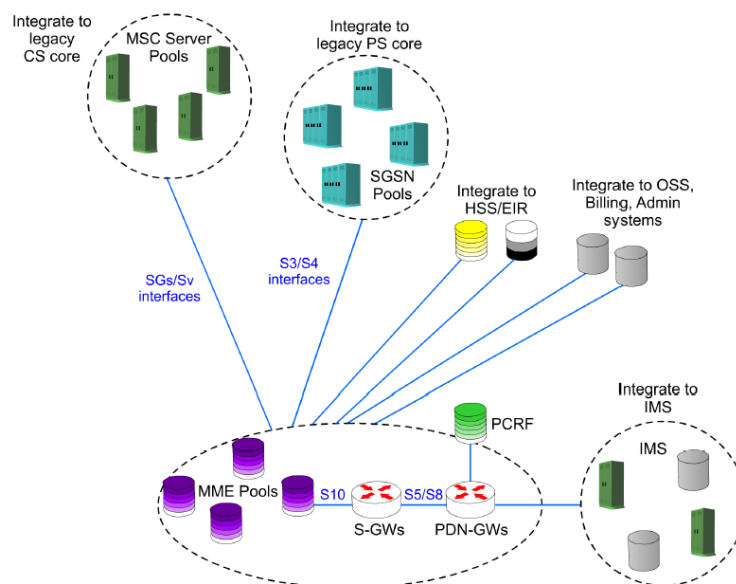


Figura 85. Esquema de Integración del EPC LTE a los nodos de Core heredados
Fuente: (Limited, 2012)

Es posible que deba proporcionarse conectividad a la PDN-GW con el IMS del operador, y también a la función de reglas de carga y políticas (PCRF) de la red, esto en caso que el diseño lo considere.

El EPC en general también deberá integrarse con los sistemas HLR/HSS y EIR (Registro de Identidad del Equipo) del operador y con elementos administrativos como el sistema de facturación y cobro, el OSS y cualquier otro sistema de administración de servicios que se emplee. La Figura 85 muestra un esquema general de la integración del EPC con los nodos de core de las redes heredadas.

3.4.3.3 Etapa 3 – Implementación del SeGW y Nodos de Agregación.

Se puede suponer que en muchos casos y para muchos operadores, la implementación de un diseño Single RAN se combina con una modernización a una arquitectura de red enteramente IP.

La conectividad de red de core basada en IP se ha convertido en una característica básica de toda red celular, en parte como resultado de la evolución de las redes a arquitecturas de PS y CS basadas en el Release 4, sin embargo, la evolución a redes IP para el backhaul de acceso y agregación ha sido más lenta de desarrollar, pero los requisitos del concepto de Single RAN ha impulsado a muchos operadores a realizar este cambio final hacia redes enteramente IP.

Los entornos heredados de acceso y agregación a la red emplean una variedad de tecnologías de transmisión, con tecnologías de velocidad primaria (E1/T1/ JT1) que dominan la conectividad de última milla y tecnologías de orden superior, como SDH/SONET, que se emplean detrás del primer punto de agregación. Las crecientes demandas de ancho de banda de UMTS/HSPA han llevado a muchos operadores a ofrecer servicios SDH de alta capacidad directamente a las estaciones base, a menudo a través de cable de fibra óptica, mientras que los sitios con menores requisitos de ancho de banda a menudo logran conectarse de manera efectiva utilizando soluciones tradicionales de microondas PDH.

Las opciones de conectividad empleadas por las soluciones de backhaul basadas en paquetes, incluyen microondas PDH de alta velocidad Ethernet (con velocidades de 10, 100 o 1000 Mbit/s) y redes de fibra óptica (con servicios de 1 y 10 Gbit/s). La red PDH generalmente es propiedad del operador mientras que la red de fibra óptica, en algunos casos, son propiedad de un proveedor de servicios externo. La Figura 86 muestra un esquema general de los componentes de la red backhaul para Single RAN,

Además de implementar soluciones de backhaul basadas en paquetes, los operadores de red que migran a un entorno enteramente IP RAN también deben tomar decisiones sobre la mejor manera de implementar la seguridad de la red (generalmente implementando un SeGW), cómo distribuir

las señales de sincronización a los sitios de estaciones base (NTPv4, PTP y Sync-E) y cómo garantizar que las conexiones de red sean sólidas y resistentes (MSTP y G.8031/8032).

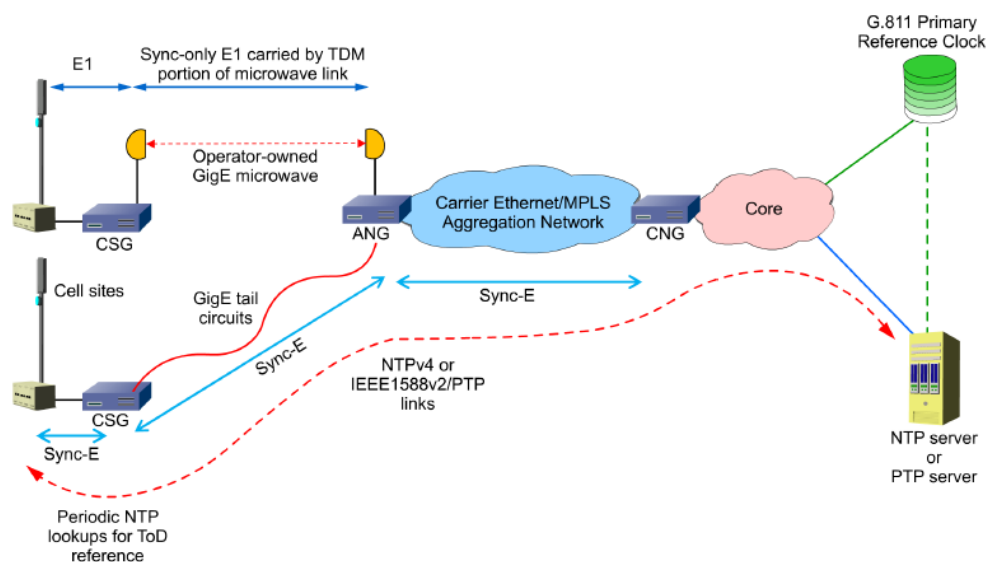


Figura 86. Esquema general de la red backhaul necesaria para Single RAN
Fuente: (Limited, 2012)

3.4.3.4 Etapa 4 – Reconfiguración de GERAN/UTRAN

Un operador que está considerando la implementación de un esquema Single RAN es a menudo uno que tiene redes heredadas existentes que deberían ser rediseñadas para adaptarse a los requisitos de un entorno de red de acceso compartido.

El diseño de las Áreas de Ubicación (LA) y Áreas de Enrutamiento (RA) en redes existentes generalmente se ha desarrollado para garantizar que cada área mantenga un equilibrio adecuado de la carga de tráfico de control y usuario soportado por las celdas.

En un entorno Single RAN, especialmente en redes que desean hacer uso de servicios como CS-Fallback para facilitar la prestación de servicios de voz a los suscriptores de LTE, se puede

considerar beneficioso alinear los LA/RA heredados con los nuevos TA de LTE como se muestra en la Figura 87. Las áreas de red alineadas facilitan procesos más simples de selección de dispositivos, por ejemplo, cuando se requiere una MME para seleccionar un SGSN durante un traspaso de PS, al permitir que la red cree una matriz simple que enumera la correspondencia entre cada TA nuevo y el RA al que se asignan. Las áreas de la red de acceso alineadas también pueden permitir funciones de transferencia y re-selección más rápidas y también pueden mejorar en gran medida la percepción que el usuario tiene de servicios como el CS Fallback.

En las redes de acceso heredadas, los grupos de estaciones base se asocian a los nodos del controlador (BSC o RNC) que a su vez están asociados con los nodos de la red de core que sirven áreas particulares de LA o RA. La adopción de un nuevo diseño de LA/RA que se adapta a un nuevo diseño de TA requerirá la realineación de las estaciones base a los controladores y los controladores a los nodos de redes de core, también se requerirá una reorganización de estaciones base - nodos controladores.

Por lo general, la reorganización implica la desactivación de clústeres de estaciones base, la redirección de los flujos de tráfico de backhaul hacia el nuevo controlador y la reconfiguración del nuevo datafill para asociar las estaciones base con un nuevo LA/RA. Cuando los clústeres reconfigurados vuelven al aire nuevamente, el operador normalmente debe tener ingenieros en campo listos para hacer llamadas de prueba y verificar el funcionamiento correcto de los nodos reconfigurados. Por lo tanto, un ejercicio de reorganización suele ser costoso y requiere mucho tiempo.

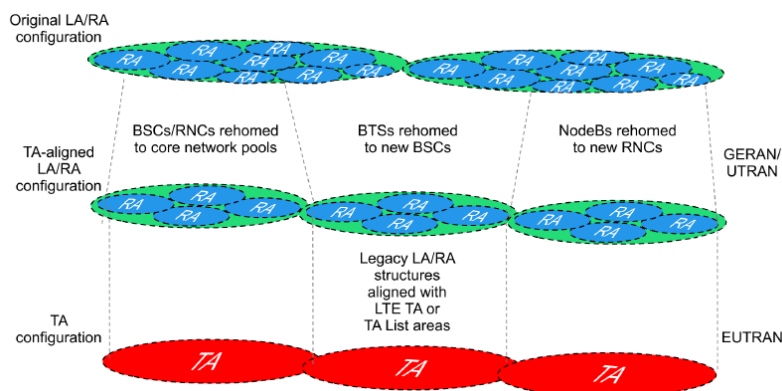


Figura 87. Esquema de Reorganización de TA/RA
Fuente: (Limited, 2012)

3.4.3.5 Epata 5 – Implementación de Estaciones Base Single RAN MSR

Una vez que el operador haya implementado el EPC 4G, haya implementado una red de transmisión compartida basada en paquetes y haya preparado la red de acceso heredada para la operación combinada, será el momento de implementar la nueva red de acceso.

Como se puede suponer, una implementación de Single RAN se basa total o ampliamente en el uso de estaciones base MSR, que pueden generar celdas 2G, 3G y 4G desde el mismo elemento de red, el despliegue de las capacidades de celdas 4G generalmente también implicará el despliegue de nuevas celdas 2G y/o 3G. Como se muestra en la Figura 88, los operadores pueden optar por consolidar las estaciones base 2G y 3G heredadas en sitios compartidos existentes reemplazándolos con una estación base MSR combinada, o pueden elegir implementar estaciones base MSR en sitios nuevos, incluso si hay sitios heredados existentes en la misma ubicación.

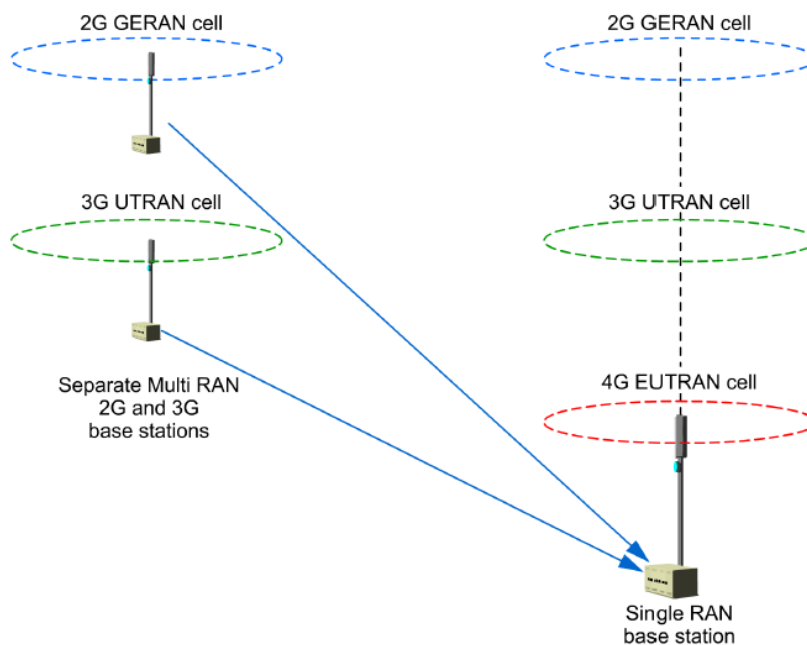


Figura 88. Diagrama de Implementación de Estación Base Single RAN MSR

Fuente: (Limited, 2012)

La ubicación de los recursos de Single RAN será dictada por los requisitos de cobertura combinada de las RAT involucradas según lo predice la planificación celular del operador. Por ejemplo, el proceso de planificación para celdas 2G y 3G puede haber indicado que la ubicación A era un lugar ideal para una estación base, mientras que los diferentes requisitos de la interfaz aérea LTE pueden indicar que un sitio diferente en la misma zona proporcionaría una mejor ubicación para servicios 4G. En esta situación, el operador se enfrentará con la opción de implementar un sitio combinado que no satisfaga completamente las necesidades de todas las RAT o implementar sitios separados para diferentes RAT.

En muchos casos, los operadores pueden encontrar que los nuevos sitios de Single RAN una cobertura que se superpone significativamente con los sitios heredados existentes. Por lo tanto,

esos sitios heredados se convertirán en los principales candidatos para la racionalización de la red, una vez que el servicio de Single RAN en el área, entre en funcionamiento.

3.4.3.6 Etapa 6 – Optimización de Single RAN

Una vez que se hayan desplegado las estaciones de Single RAN, el operador de red deberá probar y optimizar el servicio que proporciona cada sitio. Las actividades de optimización se realizarán tanto por RAT como entre RAT como se muestra en la Figura 89.

La optimización por RAT buscará asegurar que las diversas celdas que brindan servicio en una capa RAT (por ejemplo, un conjunto de celdas GSM) ofrezcan una cobertura superpuesta de alta calidad, en la que las adyacencias creadas en los BSC brinden un Handover rápido y efectivo y con esto el servicio ofrecido en cada clúster sea lo más libre posible de interferencia e intermodulación de otros servicios. Las actividades adicionales por RAT que podrían llevarse a cabo para las celdas EUTRAN podrían incluir la planificación y creación de interfaces X2 entre eNB adyacentes, aunque la función ANR (Relación de Vecindades Automatizada) compatible con EUTRAN puede permitir que los eNB vecinos se descubran entre sí y creen enlaces X2 sin participación del administrador de la red.

La optimización Inter-RAT buscará garantizar que la reelección del modo inactivo entre sistemas y los parámetros y activadores de transferencia del modo conectado estén configurados correctamente, para permitir que se lleve a cabo una operación rápida y robusta entre sistemas. En las redes que han optado por utilizar CS Fallback como medio para proporcionar servicios de voz a los usuarios de LTE, la red utilizará el proceso de optimización para probar y mejorar los tiempos de Fallback logrados por las estaciones base al mover un UE de una RAT a otra.

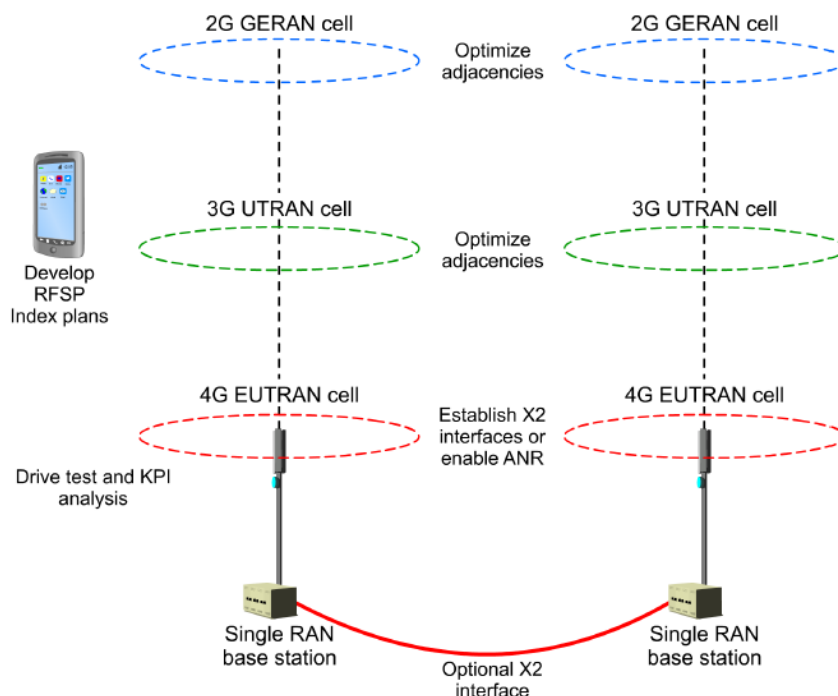


Figura 89. Optimización de Single RAN

Fuente: (Limited, 2012)

Las redes que desean controlar el comportamiento de traspaso y reelección de los UE pueden elegir definir los valores del índice RFSP para los cada UE o para cada usuario o para una agrupación demográfica de clientes. Los índices RFSP se pueden usar para influir en la forma en que los UE y las estaciones base priorizan, clasifican y seleccionan las celdas locales tanto en modo conectado como inactivo. Las redes pueden usar esta capacidad para garantizar que, por ejemplo, los UE que están configurados para usar CS Fallback intenten permanecer en las celdas GERAN o UTRAN cuando están inactivos para reducir los tiempos de Call Setup al eliminar la necesidad del Fallback.

3.4.3.7 Etapa 7 – Racionalización de Redes Heredadas

Al final del proceso de implementación de Single RAN, los operadores de red pueden encontrar que tienen un margen para reducir los costos al eliminar los nodos de la red y el personal de operaciones que ya no es necesario. La Figura 90 muestra un ejemplo de racionalización de redes heredadas una vez que las estaciones base Single RAN han sido desplegadas y puestas en funcionamiento.

Gran parte del ahorro potencial que se puede lograr generalmente será en forma de estaciones base de un solo RAT y sitios que ya no son necesarios. El desmantelamiento de sitios y equipos no deseados implicará un gasto inicial, pero parte de eso podría recuperarse con su utilización como repuestos y eventualmente este gasto inicial se compensaría con la reducción de OPEX.

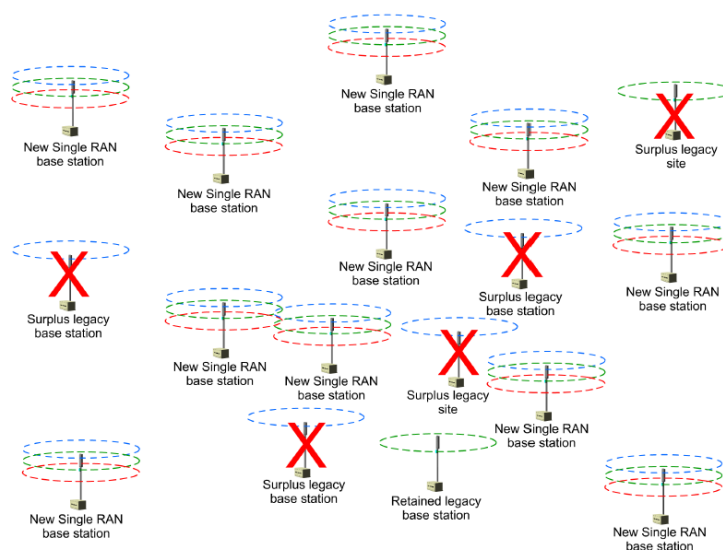


Figura 90. Racionalización de las Redes Heredadas
Fuente: (Limited, 2012)

CAPÍTULO IV

SOLUCIONES SINGLE RAN Y PRODUCTOS DE FABRICANTES

A pesar de su adopción generalizada, Single RAN desafía una definición común ya que no está estandarizada por un organismo de la industria de las telecomunicaciones, y los fabricantes de equipos ofrecen diferentes características y funcionalidades bajo el nombre de Single RAN, algunas basadas en estándares 3GPP, mientras que otras son propietarias.

Por lo general, los operadores esperan que Single RAN ofrezca una variedad de beneficios, que incluyen:

- Uso eficiente del espectro y refarming.
- Uso compartido eficiente de hardware.
- Evolución Sutil de GSM, HSPA y LTE.
- Arquitectura de red simplificada.
- Reducción del consumo energético.
- Planificación convergente, operaciones y gestión.
- Transporte simplificado, totalmente basado en IP.
- Seguridad automatizada compatible con 3GPP.
- Menores costos y crecimiento en la línea superior.

Todos estos beneficios son posibles gracias al refarming, la compartición de recursos, la modernización y la evolución, permitiendo a los operadores simplificar sus redes, reducir costos, hacer crecer su negocio y equilibrar sus inversiones de una manera mejor más fácil.

4.1 Principios de las Soluciones Single RAN

Todas las soluciones Single RAN de los fabricantes de equipos para redes celulares, se basan en estaciones base que adoptan un diseño modular para múltiples sistemas de redes de radio, estas estaciones base admiten la coexistencia de dispositivos que funcionan en diferentes configuraciones en el mismo sitio, haciendo uso compartido de los recursos de la estación base y con la operación y el mantenimiento unificados. Estas características hacen posible cumplir con los requisitos que enfrentan los operadores móviles al momento de evolucionar sus redes hacia estaciones base Multi-Estándar. A continuación, revisaremos la arquitectura de red y la estructura lógica típica de las soluciones Single RAN.

4.1.1 Arquitectura de red Single RAN

La red de acceso de radio (RAN) consta de la capa física RAN y la capa lógica RAN.

- **La capa física de la RAN:** consta de dispositivos físicos en una estación base y un controlador de estación base. Los dispositivos de estación base se comunican con los dispositivos controladores de estación base a través de la red de transporte.
- **La capa lógica de la RAN:** consta de funciones lógicas implementadas en una estación base y un controlador de estación base. Las funciones lógicas de la estación base se comunican con las funciones lógicas del controlador de estación base a través de protocolos de interfaz.

4.1.1.1 BTS en la capa física de la RAN

La capa física RAN consta de nodos BTS, nodos BSC y la red de transporte que conecta los nodos BTS y BSC. La Figura 91 muestra la posición de los nodos BTS en la capa física RAN.

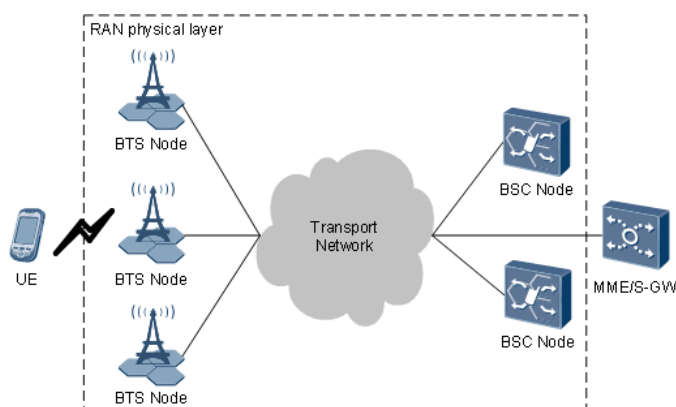


Figura 91. Nodos BTS en la capa física RAN

Fuente: (Huawei Technologies CO., 2016)

- **Nodo BTS:** proporciona la infraestructura y la plataforma de aplicaciones para una estación base para implementar el Servicio GBTS, el Servicio NodeB y el Servicio eNodeB. Los nodos BTS se clasifican en estaciones base monomodo y multimodo en función de los tipos y la cantidad de servicios desplegados.
- **Nodo BSC:** proporciona el servicio GBSC o servicio RNC.
- **Red de transporte:** reenvía datos entre nodos BTS y nodos BSC, entre nodos BTS y el centro de operación y mantenimiento (OMC). Múltiples modos pueden compartir una red de transporte o usar una red de transporte independiente. El esquema de transmisión soportado por cada modo es el siguiente:
 - **GSM:** TDM y transmisión IP.
 - **UMTS:** ATM y transmisión IP.
 - **LTE:** transmisión IP

4.1.1.2 BTS en la capa lógica de la RAN

La capa lógica de la RAN se clasifica en GERAN, UTRAN y E-UTRAN según los protocolos utilizados por cada red. La capa lógica de la RAN consta de funciones lógicas implementadas en estaciones base y controladores de estación base. Las funciones lógicas de las estaciones base incluyen el servicio GBTS, el servicio NodeB y el servicio eNodeB, mientras que las funciones lógicas de los controladores de estación base incluyen el Servicio GBSC y el Servicio RNC.

- **Servicio GBTS en la red lógica GBSS**

La red lógica de GBSS consiste en el servicio GBTS y el servicio GBSC. La Figura 92 muestra la posición del Servicio GBTS en la red lógica GBSS.

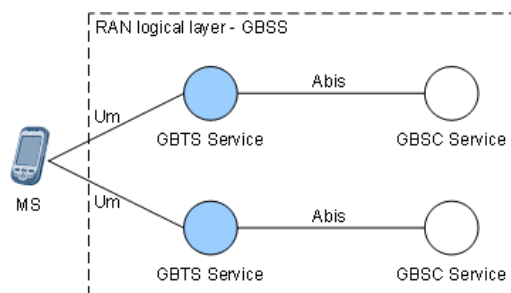


Figura 92. Servicio GBTS en la red lógica GBSS

Fuente: (Huawei Technologies CO., 2016)

Servicio GBTS: realiza funciones lógicas de las estaciones base GSM y es controlado por el Servicio GBSC. Estas funciones son la gestión de canales de radio, el procesamiento de protocolos de capa física y el procesamiento de procedimientos de señalización. El Servicio GBTS se comunica con el Servicio GBSC a través de la interfaz Abis y se comunica con la MS a través de la interfaz Um.

Servicio GBSC: proporciona funciones lógicas de los controladores de la estación base GSM. Estas funciones son administración de recursos de radio, administración de estaciones base, administración de movilidad y control de acceso.

- **Servicio NodeB en la red lógica UTRAN**

La red lógica UTRAN consiste en el servicio NodeB y el servicio RNC. La Figura 93 muestra la posición del Servicio NodeB en la red lógica UTRAN.

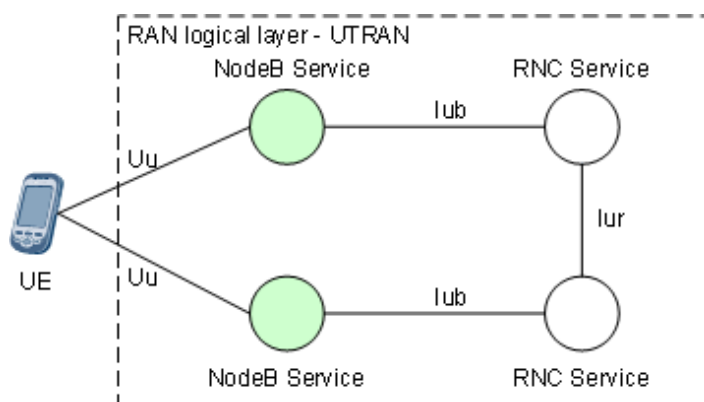


Figura 93. Servicio NodeB en la red lógica UTRAN
Fuente: (Huawei Technologies CO., 2016)

Servicio NodeB: realiza funciones lógicas de las estaciones base WCDMA y es controlado por el Servicio RNC. Estas funciones son la gestión de canales de radio, el procesamiento de protocolos de capa física y el procesamiento de procedimientos de señalización. El servicio NodeB se comunica con el servicio RNC a través de la interfaz Iub y se comunica con el UE a través de la interfaz Uu.

Servicio RNC: realiza funciones lógicas de los controladores de las estaciones base WCDMA. Estas funciones son administración de recursos de radio, administración de estaciones base, administración de movilidad y control de acceso. El Servicio RNC se comunica entre sí a través de la interfaz Iur.

- **Servicio eNodeB en la red lógica E-UTRAN**

La red lógica E-UTRAN consiste en el servicio eNodeB. La Figura 94 muestra la posición del servicio eNodeB en la red lógica E-UTRAN.

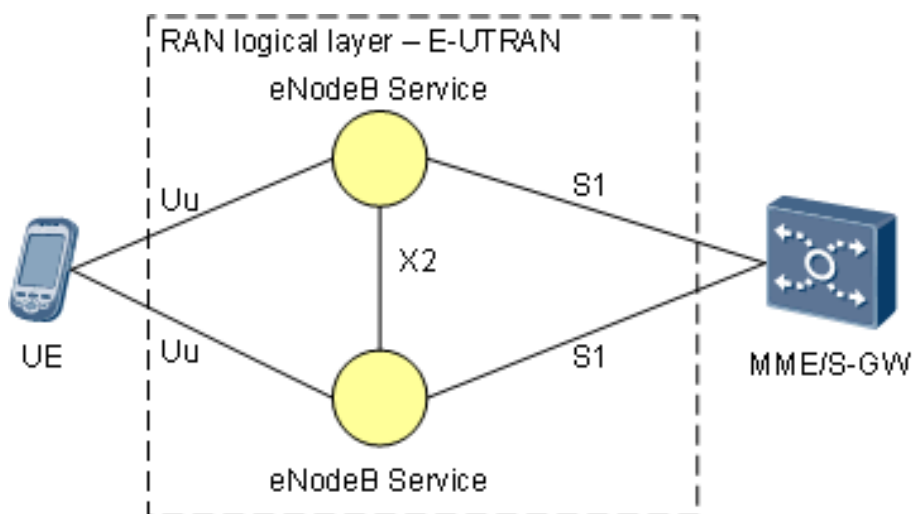


Figura 94. Servicio eNodeB en la red lógica E-UTRAN

Fuente: (Huawei Technologies CO., 2016)

Servicio eNodeB: realiza funciones lógicas de las estaciones base LTE. Estas funciones son administración de recursos de radio, administración de canales de radio, administración de movilidad, procesamiento de protocolos de capa física, procesamiento de procedimientos de señalización y control de acceso. El servicio eNodeB admite tanto LTE FDD como LTE TDD y se comunica con el MME/S-GW a través de la interfaz S1, con otro servicio eNodeB a través de la interfaz X2 y con el UE a través de la interfaz Uu.

4.1.1.3 Mapeo de una BTS en la capa física de la RAN y la capa lógica de la RAN

Las funciones lógicas de una estación base se implementan en dispositivos físicos. Un dispositivo físico se puede implementarse con una o varias funciones lógicas. La Figura 95 muestra el mapeo de un BTS en la capa física de la RAN y la capa lógica de la RAN.

Las líneas roja, verde y azul en la figura anterior indican el despliegue de servicios para cada estación base en cada nodo BTS.

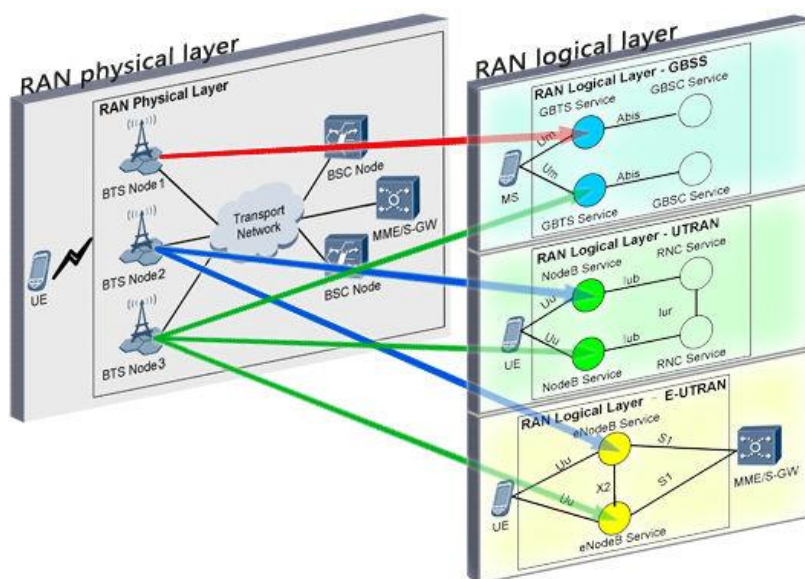


Figura 95. Mapeo de una BTS en la capa física de la RAN y la capa lógica de la RAN

Fuente: (Huawei Technologies CO., 2016)

Los nodos BTS se clasifican en estaciones base monomodo y multimodo según los tipos y la cantidad de servicios desplegados.

- **Nodo BTS 1:** se implementa solo con servicios GBTS. Por lo tanto, es una estación base GSM solamente.

- **Nodo BTS 2:** se implementa con los servicios NodeB y eNodeB. Por lo tanto, es una estación base de modo dual UMTS + LTE (UL).
- **Nodo BTS 3:** se implementa con los servicios GBTS, NodeB y eNodeB. Por lo tanto, es una estación base de modo triple GSM + UMTS + LTE (GUL).

4.1.2 Estructura lógica Single RAN

La estructura lógica de las estaciones base Huawei de la serie 3900 se puede clasificar en términos de subsistemas y estructura funcional.

4.1.2.1 Subsistema de la BTS

Los subsistemas de la BTS se muestran en la Figura 96 e incluyen el subsistema de control, el subsistema de transporte, el subsistema de banda base, el subsistema de radiofrecuencia (RF), el subsistema de reloj y el subsistema de monitoreo de energía y entorno.

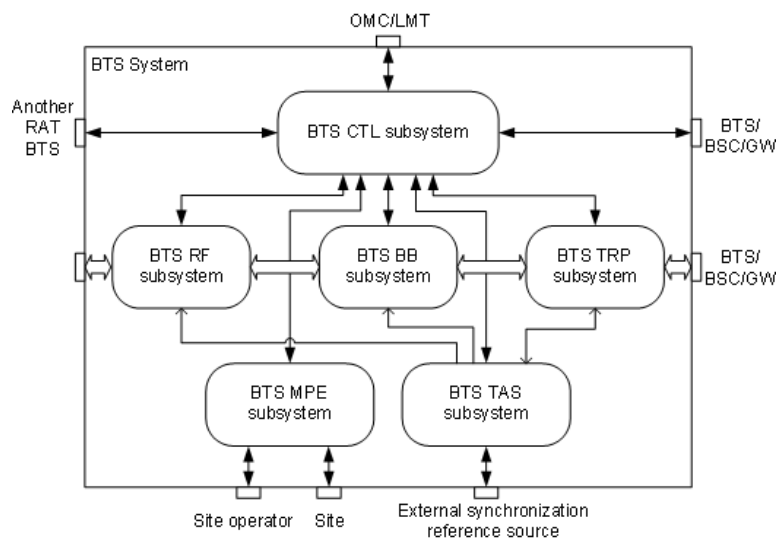


Figura 96. Subsistemas típicos de una BTS Single RAN

Fuente: (Huawei Technologies CO., 2016)

- **Subsistema de Control (BTS CTL):** controla y administra los recursos en una estación base. Este subsistema proporciona la interfaz del plano de gestión entre la estación base y el OMC, la interfaz del plano de control entre la estación base y otros NE, y la interfaz para controlar y negociar dispositivos comunes en una estación base multimodo.
- **Subsistema de Transporte (BTS TRP):** envía datos entre la red de transporte y la estación base. Este subsistema proporciona puertos físicos entre la estación base y la red de transporte, proporciona además la interfaz del plano de usuario entre la estación base y otros NE.
- **Subsistema de Banda Base (BTS BB):** procesa datos de banda base de enlace ascendente y de enlace descendente. El modo UMTS soporta un grupo de recursos de banda base.
- **Subsistema de Radio Frecuencia (BTS RF):** recibe y transmite señales de radio. Este subsistema proporciona puertos para conectar la estación base y el sistema de antena. El subsistema de banda base está conectado al subsistema de RF a través de los puertos CPRI. Los enlaces CPRI son compatibles con las topologías de estrella, cadena, anillo.
- **Subsistema de Sincronismo (BTS TAS):** sincroniza el reloj de la estación base con las fuentes de reloj externas. Este subsistema proporciona puertos para conectar el reloj de la estación base a las fuentes de reloj externas. Múltiples modos pueden compartir un reloj o usar un reloj independiente.
- **Subsistema de Energía y Monitoreo Ambiental (BTS MPE):** proporciona alimentación, disipa el calor y controla el entorno de la estación base. Este subsistema proporciona puertos para conectar la estación base y los dispositivos externos del sitio.

4.1.2.2 Estructura Funcional de la BTS

La estructura funcional de la BTS consta de los nodos BTS, servicio GBTS, servicio NodeB y servicio eNodeB. La Figura 97 muestra la estructura funcional de un BTS.

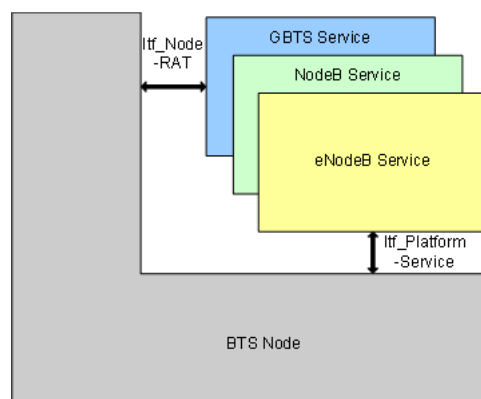


Figura 97. Estructura Funcional de la BTS
Fuente: (Huawei Technologies CO., 2016)

Los nodos BTS utilizan recursos abstractos y un diseño de interfaz unificado. En este caso, las diferencias de software y hardware están protegidas y cada Servicio se puede implementar de manera flexible en cada tipo de recursos. Como resultado, los recursos pueden compartirse y asignarse de manera flexible entre cada tipo de Servicio.

- **Itf_Platform-Service:** interfaz de control de servicio proporcionada por los nodos BTS, incluida la interfaz de implementación del servicio, la interfaz de actualización de la versión, la interfaz de inicio y reinicio, y la interfaz de monitoreo de estado.
- **Itf_Node-RAT:** interfaz proporcionada por los nodos BTS para controlar los recursos comunes en una estación base, incluidas las interfaces de aplicación, liberación, activación y reconfiguración de recursos. Los recursos comunes en una estación base incluyen

recursos de transmisión, recursos de portadora y recursos universales tales como enlaces SCTP, canales de RF TX y RX, y procesamiento de la CPU.

4.2 Fabricantes Posicionados en Operadores Celulares del Ecuador.

En el Ecuador existen 3 operadoras móviles, CONECEL S.A. con su marca CLARO, OTECEL S.A. con su marca MOVISTAR y la Corporación Nacional de Telecomunicaciones con su marca CNT. Las 3 operadoras conforman sus redes de acceso RAN con los productos de fabricantes que se han posicionado a lo largo de la evolución de las redes móviles en el país.

En el caso de CLARO y CNT, el fabricante HUAWEI ha ido posicionando, progresivamente, sus productos para la red de acceso RAN, dejando de lado a equipos SIEMENS y NOKIA SIEMENS en CLARO y equipos ALCATEL y ERICSSON en CNT. Por otro lado, en el caso de MOVISTAR los fabricantes NOKIA y ZTE son los únicos en conformar la red de acceso móvil, con una distribución geográfica definida NOKIA tiene su presencia en la zona norte del Ecuador, mientras que la zona sur del país es manejada con equipos ZTE.

Por lo tanto, en el Ecuador los fabricantes con mayor presencia son HUAWEI, ZTE y NOKIA. Realizaremos una breve descripción de las soluciones Single RAN de esos tres fabricantes para luego compararlas técnicamente y objetivamente, logrando así determinar la solución que brinde funcionalidades técnicas que proporcionen valor a los operadores.

4.3 Solución y Productos Single RAN HUAWEI

Las estaciones base multimodo de la serie 3900 de Huawei ofrecen una solución de red orientada al futuro que integra recursos de radio y múltiples tecnologías. El diseño de las estaciones base multimodo de la serie 3900 se basa en la originalidad que abarca el diseño de chips más reciente,

la arquitectura del sistema, la tecnología de amplificador de potencia (PA) y la administración del consumo de energía.

Con un diseño innovador y las combinaciones flexibles de los módulos funcionales y dispositivos auxiliares alientan a Huawei a diversificar los productos de estaciones base multimodo. Además, los operadores pueden instalar módulos de diferentes modos en un gabinete para formar múltiples productos de estaciones base que se adaptan a diferentes escenarios. Esto acelera la introducción de nuevas bandas de frecuencia y tecnologías de radio y aborda de manera efectiva los requisitos para una red móvil multimodo.

Las estaciones base multimodo de la serie 3900, basadas en tecnologías de conmutación IP y multiportadora, admiten un ancho de banda de más de 100 Mbps en los puertos de transmisión. Esto garantiza la compatibilidad con los crecientes servicios de datos móviles y asegura tasas de transmisión de datos más altas para los usuarios.

El hardware optimizado y la arquitectura del sistema de las estaciones base multimodo de la serie 3900, además de las tecnologías innovadoras para el PA y la gestión del consumo de energía, permiten a los operadores implementar el ahorro de energía y la reducción de emisiones y construir una red de telecomunicaciones más verde a través del control de temperatura.

4.3.1 Escenarios de Aplicación

Las combinaciones flexibles de los componentes básicos y los dispositivos auxiliares de las estaciones base de la serie 3900 de Huawei, pueden proporcionar soluciones integrales que son aplicables a escenarios específicos, como la instalación centralizada en exteriores e interiores, la

instalación distribuida para exteriores o la ubicación conjunta o co-ubicación de estaciones base en diferentes modos.

- Estación base macro
 - Modelo de interior: BTS3900, BTS3900L.
 - Modelo exterior: BTS3900A
- Estación base distribuida: DBS3900

Para propósitos de este estudio y, considerando que uno de las principales bases de Single RAN es una Estación Base Distribuida, a continuación, analizaremos la solución DBS3900 de Huawei.

4.3.2 DBS 3900

La estación base distribuida, DBS3900, desarrollada por Huawei presenta una alta integración, una fácil instalación y bajos requisitos ambientales. Todas estas características pueden facilitar la adquisición de un nuevo sitio celular y/o la ubicación conjunta o co-ubicación 2G/3G, facilitar la planificación y optimización de la red y reducir el tiempo de construcción de la red.

Por lo tanto, la DBS3900 permite a los operadores implementar de manera eficiente una red GSM/UMTS/LTE de alto rendimiento con un bajo Costo Total de Propiedad (TCO) al minimizar los costos en electricidad, espacio y mano de obra.

La DBS3900 consiste en el BBU3900 y el RRU3908. Como se muestra en Figura 98 la BBU3900 se puede instalar en un espacio confinado de 19 pulgadas de ancho y 2U de alto como en una pared o en un gabinete exterior de una red existente. El RRU3908 tiene una amplia variedad de opciones de instalación, como la instalación en un poste, una pared o un soporte.

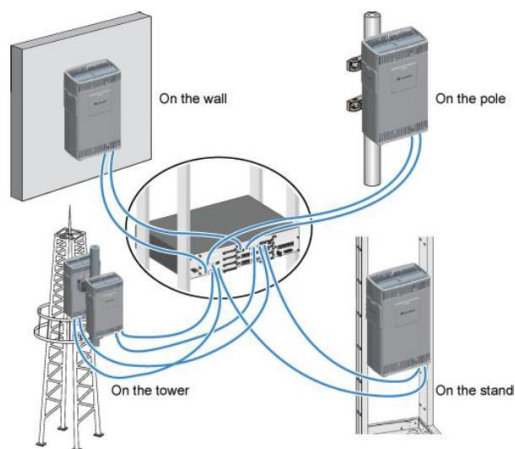


Figura 98. Escenarios de Instalación Típicos de la DBS3900
Fuente: (Huawei Technologies CO., 2008)

Debido a características como la instalación flexible, la disipación natural del calor, el modo de funcionamiento silencioso y la rápida construcción de la red, la DBS3900 es aplicable a varios escenarios que se muestran en la Figura 99, los cuales incluyen cobertura urbana, cobertura rural, cobertura dentro de los edificios y cobertura a lo largo de las carreteras.

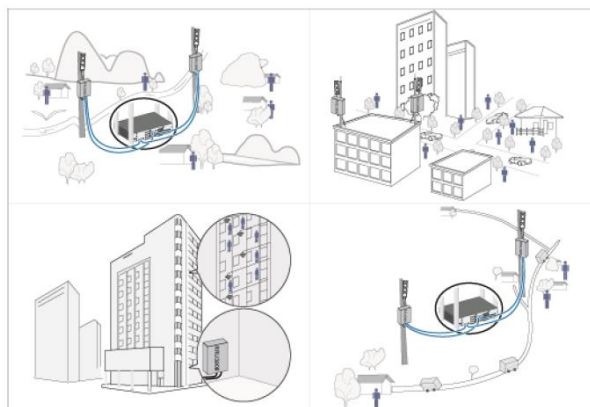


Figura 99. Escenarios de Aplicación Típicos de la DBS3900
Fuente: (Huawei Technologies CO., 2008)

4.3.2.1 BBU3900

La BBU (Base Band Unit) es una unidad de procesamiento de banda base que administra centralmente la estación base completa y proporciona las siguientes funciones:

- Administra todo el sistema de la estación base en términos de operación, mantenimiento, procesamiento de señalización y reloj del sistema.
- Procesa datos de enlace ascendente y de enlace descendente, y proporciona interfaces de radio públicas comunes (CPRI) para la comunicación entre los módulos BBU y RF.
- Proporciona puertos físicos para el intercambio de información entre la estación base y la red de transporte.
- Proporciona un canal O&M entre la estación base y el centro de operación y mantenimiento (OMC).
- Proporciona puertos para recibir y transmitir señales desde dispositivos de monitoreo de ambiente.

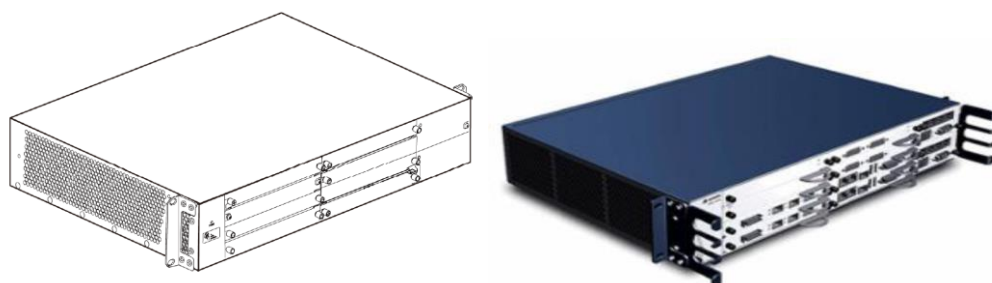


Figura 100. BBU3900

Fuente: (Huawei Technologies CO., 2011)

Las BBU cuenta con un chasis de estructura modular con múltiples ranuras como se muestra en la Figura 100, que pueden alojar diferentes tipos de tarjetas y módulos. Se puede instalar dentro de

un gabinete de protección para espacios interiores o exteriores de 19 pulgadas de ancho y 2U de altura.

A continuación, revisaremos las especificaciones de hardware de la BBU3900 configurada para operar en modo Multi-Estándar (Single RAN), incluyendo las especificaciones de banda base, control y transmisión.

4.3.2.1.1 Tarjetas de la BBU3900

El hardware que compone una BBU3900 incluye lo descrito en la Tabla 7.

Tabla 7

Hardware que compone una BBU3900

Nombre De La Tarjeta	Tipo de tarjeta			
	Auxiliar	Transmisión	Controladora	Banda base
UBFA - FAN		UTRP	GTMU	WBBP
UPEU - POWER		UELP	WMPT	LBBP
		UFLP	LMPT	UCIU
			UMPT	

4.3.2.1.2 Ranuras o Slots de la BBU3900

Como se mencionó anteriormente la BBU3900 cuenta con un chasis de estructura modular con múltiples ranuras o slots. Las ranuras disponibles en el chasis de la BBU se muestran a continuación, en la Figura 101 muestra la distribución de las ranuras de la BBU3900 y la Figura 102 muestra las tarjetas que componen una configuración típica de la BBU3900 y las ranuras que ocupan.

FAN	Slot 0	Slot 4	PWR1
	Slot 1	Slot 5	
	Slot 2	Slot 6	PWR2
	Slot 3	Slot 7	

Figura 101. Chasis de la BBU3900 con sus Ranuras

Fuente: (Rocky, 2010)

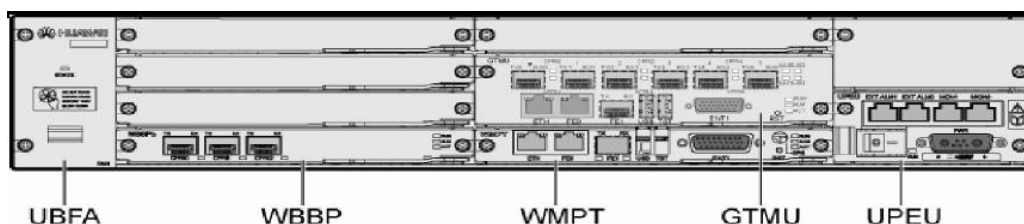


Figura 102. Configuración típica de la BBU3900

Fuente: (Rocky, 2010)

4.3.2.1.3 Principio de Configuraciones para las ranuras de la BU3900

En la Tabla 8 se describe, con el tipo de tecnología de radio, los tipos de configuraciones para las ranuras o slots de una BBU3900.

Tabla 8

Configuraciones de Slots BBU3900

Tecnología	Tipo de Tarjeta	Nombre de la Tarjeta	Obligatoria / Opcional	Número Máximo de Tarjetas	Ranura o Slot	Limitaciones de la configuración
3G/4G	Controladora	WMPT/LMPT	Obligatoria	1	Slot 7	Insertada preferentemente en el Slot 7
Todas	Controladora	UMPT	Obligatoria	1	Slot 7	Insertada preferentemente en el Slot 7
2G	Controladora	GTMU	Obligatoria	1	Slot 5 y Slot 6	Insertada solamente en los Slots 5 y 6

CONTINÚA

Todas	Banda Base	WBBP/LBBP	Obligatoria	4	Slot 0 - Slot 3	Insertada solamente en Slots 2 y Slot 3 en caso que la WBBP transmita señales CPRI
Todas	Banda Base	UCIU	Opcional	1	Slot 4	La UCIU debe ser insertada en BBU que aloja la GTMU para soluciones Multi-Estándar. La UCIU solamente debe estar interconectada con la UMPT
Todas	Auxiliar	UBFA	Obligatoria	1	FAN	Insertada solamente en Slot FAN
Todas	Auxiliar	UPEU	Obligatoria	1	PWR1 o PWR2	Insertada preferentemente en Slot PWR2, en caso de una sola tarjeta UPEU.
Todas	Transmisión	UTRP	Opcional	4	Slot 0 - Slot 4	----- -----
Todas	Transmisión	UELP	Opcional	2	Slot 0 o Slot 4	En caso de 1 a 4 E1s la UELP debe insertarse en el Slot 4. En caso de 5 a 8 E1s dos tarjetas UELP son requeridas y se deben insertar en el Slot 0 y el Slot 4
Todas	Transmisión	UFLP	Opcional	2	Slot 0 o Slot 4	Insertada preferentemente en el Slot 4

4.3.2.2 Configuración de Hardware de la BBU3900 para Single RAN

La solución DBS3900 de Huawei se puede configurar tanto en modo Multi-Estándar como en modo dedicado. La solución Multi-Estándar presenta una configuración específica de la BBU3900 con la utilización de tarjetas que permiten la compartición de los recursos. Esta configuración será analizada en los siguientes puntos.

4.3.2.2.1 Hardware de Controladora

- **GTMU (GSM Transmission, Timing, and Management Unit)**

La Figura 103 muestra el panel de la Unidad de Transmisión, Sincronismo y Administración de GSM (GTMU) controla y administra la BTS completa en el modo GSM. Proporciona interfaces relacionadas con el reloj de referencia, la supervisión de la alimentación, el O&M y la recopilación de alarmas externas.

La GTMU realiza las siguientes funciones:

- Controlar, mantener y operar el BTS.
- Proporcionar gestión de fallos, gestión de configuración, gestión de rendimiento y gestión de seguridad.
- Monitoreo del módulo del ventilador y del módulo de alimentación.
- Proporcionar cuatro rutas de transmisión E1.
- Proporcionar puertos CPRI para la comunicación con los módulos RF.
- Distribución y gestión de señales de reloj BTS.
- Proporcionar el puerto Ethernet para el mantenimiento local.

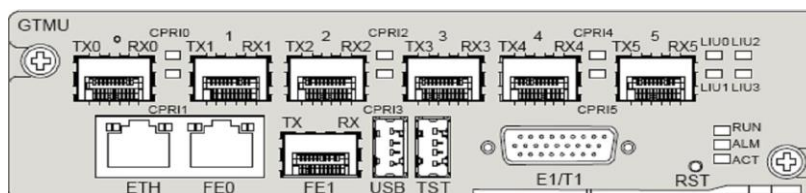


Figura 103. Panel de la GTMU

Fuente: (Rocky, 2010)

- **UMPT (Universal Main Processing & Transmission Board)**

UMPT es la abreviatura de Unidad Principal Universal de Procesamiento y Transmisión, es la encargada de la administración y control de la BTS tanto en UMTS como en LTE, de allí la palabra universal. La Figura 104 muestra el panel de la UMPT con todas sus interfaces.

La UMPT realiza las siguientes funciones:

- Realiza funciones de O&M, incluida la gestión de la configuración, la gestión del equipo, la supervisión del rendimiento, el procesamiento de la señalización y la conmutación activa/en espera.
- Proporciona referencia de reloj, puertos de transmisión y el enlace de mantenimiento que se conecta al OMC.
- Proporciona el canal IDX1 a través del cual los datos del panel de usuario de baja velocidad y las señales de control o mantenimiento de cada tarjeta de se transmiten al puerto de destino.

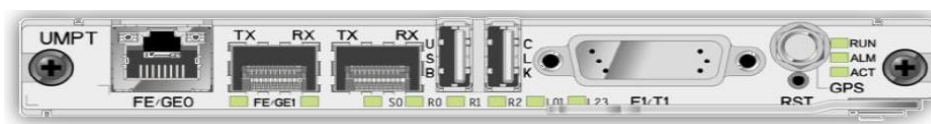


Figura 104. Panel de la UMPT
Fuente: (Huawei Technologies CO., 2011)

La UMPT se presenta en 3 modelos que se adaptan para cada posible solución de Single RAN, la Tabla 9 presenta las características de cada modelo y sus capacidades en términos de señalización y transmisión.

Tabla 9
Capacidades de Modelos de UMPT

Modelo de tarjeta	Soporte de RATs	Capacidad de señalización	Transmisión
UMPTa1	Solo para UMTS, puede soportar Multi Modo G+U+L añadiendo una GTMU y una UMPTa2.	1500 CNBPA/s	1.5G bps (UL+DL)
UMPTa2	Solo para LTE puede soportar Multi Modo G+U+L añadiendo una GTMU y una UMPTa1.	120 CAPS	1.5G bps (UL+DL)
UMPTb1	Soporta G+U+L, añadiendo una UMPTb1 individual para cada RAT.	Solo GSM: 72 TRX Solo UMTS: 1500 CNBAPs Solo LTE: 120 CAPS	1.5G bps (UL+DL)

4.3.2.2.2 Hardware de Banda Base

- **WBBP (WCDMA Baseband Process Unit)**

La WBBP es la abreviatura de Unidad de proceso de banda base de WCDMA. Es una tarjeta obligatoria en la BBU3900 encargada de procesar las señales de banda base y se presenta en tres modelos según la cantidad de celdas soportadas y la capacidad de Channel Elements soportado: WBBPa, WBBPb, y WBBPf.

La WBBP tiene las siguientes funciones:

- Proporciona los puertos CPRI para la comunicación entre la BBU y el módulo de RF.
- Procesa las señales de banda base del enlace ascendente y el enlace descendente.

La Figura 105, la Figura 106 y la Figura 107 muestran los paneles e interfaces de los 3 tipos de tarjetas WBBP disponibles para la BBU3900.

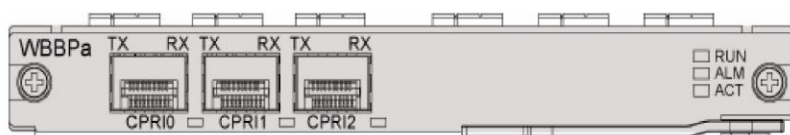


Figura 105. Panel de la WBBPa

Fuente: (Rocky, 2010)



Figura 106. Panel de la WBBPb

Fuente: (Rocky, 2010)



Figura 107. Panel de la WBBPf
Fuente: (Huawei Technologies CO., 2011)

El resumen de las capacidades de cada modelo de WWBP se describe en la Tabla 10

Tabla 10
Capacidades de Modelos de WBBP

Tarjeta	Número de Celdas	Número de CEs en UL	Número de CEs en DL	Número de códigos HSDPA	Usuarios HSDPA	Usuarios HSUPA
WBBPa	3	128	256	3x15	96	60
WBBPb1	3	64	64	3x15	64	64
WBBPb2	3	128	128	3x15	128	96
WBBPb3	6	256	256	6x15	144	96
WBBPb4	6	384	384	6x15	144	96
WBBPd1	6	192	192	6x15	128	96
WBBPd2	6	384	384	6x15	144	144
WBBPd3	6	256	256	6x15	144	96
WBBPf1	6	192	256	6x15	144	144
WBBPf2	6	256	384	6x15	192	192
WBBPf3	6	384	512	6x15	256	256
WBBPf4	6	512	768	6x15	384	384

- **LBBP (LTE Baseband Processing Unit)**

LBBP es la abreviatura de unidad de procesamiento de banda base de LTE. Al igual que la WBBP es una tarjeta obligatoria en la BBU3900 encargada de procesar las señales de banda base y se presenta en dos modelos: LBBPd1 y LBBPd2. La Figura 108 muestra el panel de la tarjeta LBBPd y sus interfaces.

Una LBBP realiza las siguientes funciones:

- Proporciona puertos CPRI para la comunicación con módulos de RF.

- Procesa las señales de banda base del enlace ascendente y el enlace descendente.



Figura 108. Panel de la LBBPd
Fuente: (Huawei Technologies CO., 2013)

El resumen de las capacidades de cada modelo de LBBP se describe en la Tabla 11

Tabla 11

Capacidades de Modelos de LBBP

Tarjeta	Configuración de Celdas	DL/UL Throughput (Mbps)	Usuarios RRC-CONNECTED
LBBPd1	3x20M 2T2R	450/225	3600
LBBPd2	3x20M 4T4R	600/225	3600

4.3.2.2.3 Hardware de Transmisión

- **UTRP (Universal Transmission Processing Unit)**

UTRP es la abreviatura de Unidad de Procesamiento de Transmisión Universal. Proporciona cuatro puertos eléctricos FE/GE y dos puertos ópticos FE/GE. El modelo de tarjeta utilizado es la UTRPc, cuyo panel e interfaces se muestran en la Figura 109.

La UTRPc realiza las siguientes funciones:

- Proporciona la transmisión para las redes GSM, UMTS y LTE y permite que estas redes compartan el mismo túnel IPsec.
- Admite la transmisión conjunta a través de las redes GSM, UMTS y LTE, sin que la transmisión de una afecte a la de otra.

- Mejora la capacidad de procesamiento de señalización de la red UMTS.

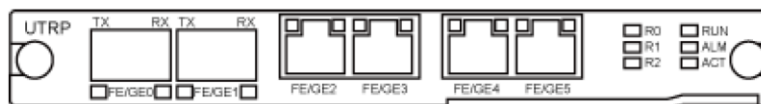


Figura 109. Panel de la UTRPc
Fuente: (Huawei Technologies CO., 2013)

4.4 Solución y Productos Single RAN ZTE

Con la aparición de soluciones multimodo, ZTE, que se suma a la tendencia de proporcionar soluciones de red integrales y brindar una red de calidad orientada al futuro para los operadores, desarrolló una plataforma unificada de SDR con la característica esencial de soportar un acceso de radio multimodo y multibanda; y la capacidad de construir una plataforma de acceso unida.

Sobre la base de esta plataforma SDR, ZTE promueve el producto de la serie Uni-RAN para satisfacer diferentes requisitos de escenarios, incluyendo BTS Macro, BTS Distribuidas, BTS Micro y BTS Mini con un sistema de gestión unificado. La Uni-RAN de ZTE basado en SDR, permite a los operadores personalizar sus redes con la convergencia 2G/3G y la evolución a LTE a través de la actualización del software.

El producto de la serie Uni-RAN, como se muestra en la Figura 110, tiene como objetivo diseñar una red unificada que pueda brindar la experiencia perfecta a los operadores adoptando una solución Single RAN que, en GSM, UMTS y LTE o modo mixto, permita los operadores obtener ahorros significativos de CAPEX y OPEX debido a que solo necesitan implementar una red de acceso de radio única, en comparación con los costos involucrados con las redes independientes de GSM, UMTS y LTE.

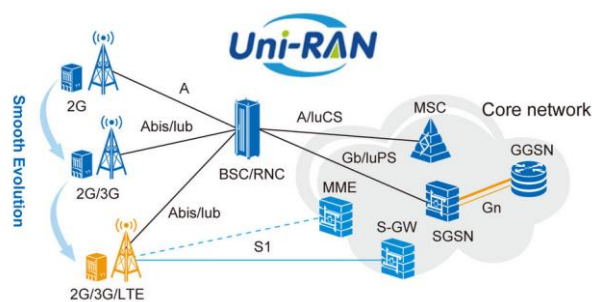


Figura 110. Solución Uni-RAN
Fuente: (Jun, 2009)

4.4.1 Escenarios de Aplicación

La solución Uni-RAN de ZTE está representada por los productos de la familia ZXSDR, que ofrecen soluciones integrales con equipos para escenarios específicos de BTS Macro para exteriores e interiores, BTS Distribuidas, BTS Micro para exteriores y BTS Mini.

- Estación base macro
 - Para interiores: ZXSDR BS8800
 - Para exteriores: ZXSDR BS8900A
- Estación base micro para exteriores: ZXSDR BS8906/ ZXSDR BS8906E
- Estación base mini para exteriores: ZXSDR BS8908
- Estación base distribuida: ZXSDR BS8700

Estos productos y soluciones proporcionan a los operadores valor agregado como: Redes flexibles de sutil evolución a nuevas tecnologías, BBU multimodo, grandes capacidades, fácil expansión, despliegue y configuración flexible, bajo consumo de energía, ahorro de espacio, amplia cobertura, fácil y rápida instalación.

Para propósitos de este estudio y, considerando que uno de las principales bases de Single RAN es una Estación Base Distribuida, a continuación, analizaremos la solución ZXSDR BS8700 de ZTE.

4.4.2 ZXSDR BS8700

ZXSDR BS8700 es la estación base distribuida de nueva generación, encargada de implementar la transmisión de radio en su área de cobertura, controlar los canales de radio, comunicarse con el controlador en la red de core y realizar el procesamiento de canales. Con una arquitectura todo IP la BS8700 cumple con los requisitos de una red flexible rápida y una sutil convergencia de red hacia LTE. Como parte de sus funcionalidades se tiene:

- Amplia cobertura
 - Admite conexión de RRU en cascada de hasta 4 niveles, máximo 100 km para cobertura UMTS
 - La RRU se puede instalar cerca de la antena con menos pérdida de alimentación y mejor cobertura
 - Multi-RRU para una misma celda lógica utilizada para cobertura de carreteras de alta velocidad
- Instalación rápida
 - Diseño compacto de RRU, Ligero y pequeño
 - Soporta la instalación en pared/poste y en torre
 - Nivel de protección IP65 para soportar condiciones difíciles en el entorno.
- Red de transmisión flexible
 - Soporta pilas de protocolo dual ATM/IP

- Soporta varias interfaces E1/T1 STM-1/GE/SDH/Híbrido/Satelital
- Ahorro de energía
 - 50% de alta eficiencia PA para reducir el consumo de energía
 - Diseño de ventilación y refrigeración natural, 0dB de ruido
- Sutil evolución a nuevas tecnologías
 - Arquitectura basada en μ TCA, recursos de control y transmisión totalmente compartidos
 - Portadora definida por software, con tecnología MCPA
 - Módulo 2T4R para soportar MIMO y celda dual
 - Evolución sutil a HSPA+ y LTE

La estación base distribuida ZXSDR BS8700 está conformada por la BBU (B8200) y la RRU (R8860) como se muestra en la Figura 111. La BBU 8200 es un producto de banda base multimodo para interiores y la RRU R8860 es una unidad de radio remota de multimodo para exteriores. Estos dos elementos B8200 y R8600 trabajan en conjunto para implementar las funciones de la estación base. Si bien la BS8700 es compatible con GSM, UMTS y LTE, también se puede configurar independientemente como una estación base de macro GSM, UMTS o LTE.

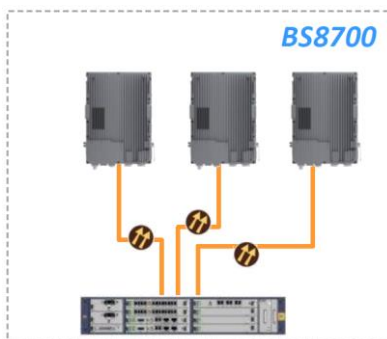


Figura 111. Diagrama de la ZXSDR BS8700
Fuente: (Corporation, ZXSDR eNodeB hardware structure, 2009)

4.4.2.1 BBU B8200

La ZXSDR B8200 es una BBU multimodo, que se basa en una plataforma SDR. Puede ser compatible con GSM/UMTS/LTE de modo único o multimodo mediante la actualización del software, que se adapta a la estrategia rentable de Single RAN para los operadores. La BBU B8200 presenta las siguientes ventajas:

- Rendimiento maduro y estable

LA solución ZXSDR B8200 adopta la plataforma unificada de Software Defined Ratio (SDR) de ZTE, que se ha aplicado en redes a gran escala de CDMA, GSM, UMTS y LTE. El excelente desempeño ha demostrado su madurez y estabilidad y que puede satisfacer completamente los requisitos de operadores con múltiples estándares y múltiples frecuencias con un bajo costo de propiedad (TCO).

- Unidad de banda de base multimodo

La BBU B8200 es compatible con todo tipo de tecnologías de acceso inalámbrico de forma simultánea, incluidos GSM, UMTS, CDMA, WiMAX® y LTE, que comparten la función de control y la transmisión agilizando la administración de la red por parte de los operadores. Satisface completamente las necesidades de los operadores con el mínimo cambio de hardware de las placas dedicadas de procesamiento de banda base.

- Agrupación de banda base

La BBU B8200 admite la función de agrupación de recursos de banda base. Una combinación de tarjetas FS y BPL permiten al operador asignar de manera flexible los recursos de banda base

para una tecnología en particular en incluso para una celda en particular, según los requerimientos de cada estación base.

- Gran capacidad

De acuerdo con el escenario de aplicación, una BBU B8200 puede admitir multimodo GSM/UMTS/ LTE con las respectivas tarjetas de procesamiento de banda base para cada sistema y de grandes capacidades. Una BBU B8200 admite hasta 120 GSM TRX, 48 portadoras UMTS, o 900Mbps DL / 450Mbps UL para el sistema LTE. La capacidad del sistema B8200 se puede aumentar aún más con la función de agrupación de banda base.

- Implementación conveniente y versátil con Diseño de plug-in.

Con un diseño plug-in, peso ligero y un ancho estándar de 19 pulgadas, la BBU B8200 se puede montar cómodamente contra la pared, en el suelo o en el bastidor de 19 pulgadas, etc.

- Redes flexibles de Arquitectura todo-IP

La BBU B8200 proporciona interfaces GE/FE/E1 externas, y el mecanismo de IP sobre E1 se ajustará a cualquier escenario de transmisión y networking IP.

También admite conexiones con las RRU en diferentes modos de red, como redes en estrella y en cadena para satisfacer los requisitos de los operadores en diferentes entornos y bajo diferentes condiciones de transmisión.

- Diseño compacto y de fácil implementación

La solución ZXSDR B8200 adopta un diseño de solo 2U de alto, 19 pulgadas de ancho y 197 mm de profundidad; este diseño compacto facilita los requisitos de espacio reducido y fácil

implementación. Se puede instalar fácilmente en un bastidor estándar de 19 pulgadas, o en una pared con un requisito de espacio mínimo para mejorar la posibilidad de ubicación conjunta con equipos 2G y 3G.

Todas las interfaces, incluida la fuente de alimentación, se colocan en el panel frontal de las tarjetas, lo que permite una operación simple y también admite la instalación contra la pared. La Figura 112 muestra el panel de la BBU B8200 con sus ranuras modulares.



Figura 112. ZXSDR B8200

Fuente: (Corporation, ZXSDR B8200 Product Description, 2014)

4.4.2.1.1 Tarjetas de la BBU B8200

La unidad de banda base B8200 consta de una tarjeta de control y reloj, una tarjeta de conmutación de puertos CPRI, una tarjeta de procesamiento de banda base, una tarjeta para gestión de alarmas externas de la estación base, un módulo de alimentación de energía y un módulo de ventilación.

El hardware que compone una BBU B8200 incluye lo descrito en la

Tabla 12.

Tabla 12

Hardware que compone una BBU B8200

Nombre De La Tarjeta	Tipo De Tarjeta			
	Auxiliar	Transmisión	Controladora	Banda base
	FAM - FAN	UES	CC	UBPG/UBPG2/UBPG3
	PM - POWER		FS	BPK_e/BPK_e1/BPK_d
SA/SE - ALARMS			BPL/BPL1	

4.4.2.1.2 Ranuras o Slots de la BBU B8200

Al igual que la BBU3900 de HUAWEI, la BBU B8200 de ZTE cuenta con un chasis de estructura modular con múltiples ranuras o slots. Las ranuras disponibles en el chasis de la BBU B8200 se muestran en la Figura 113. La Figura 114 por otro lado, muestra una vista frontal de la BBU B8200 con una configuración típica de tarjetas y sus posiciones en las ranuras.

Slot 15	Slot 4	Slot 8	Slot 16
Slot 14	Slot 3	Slot 7	
Slot 13	Slot 2	Slot 6	
	Slot 1	Slot 5	

Figura 113. Chasis de la BBU B8200 con sus Ranuras

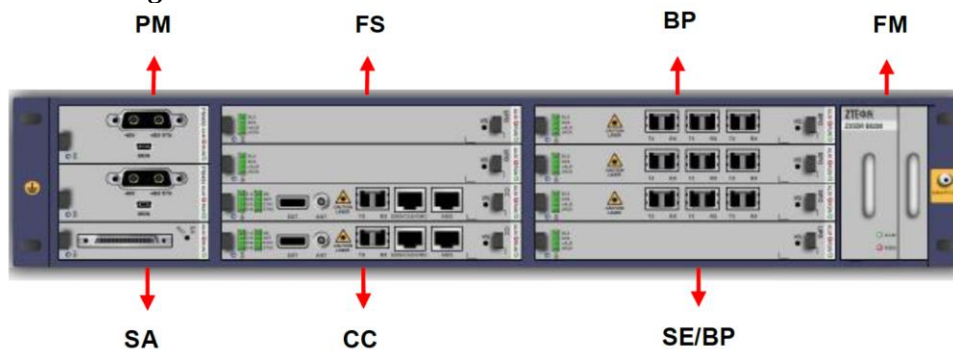


Figura 114. Configuración típica de la BBU B8200
Fuente: (Corporation, ZXSDR B8200 Product Description, 2014)

La Tabla 13 muestra las tarjetas que se pueden instalar en una BBU B8200 y su descripción.

Tabla 13*Listado de Tarjetas de la BBU B8200*

Tarjeta	Descripción
CC	Tarjeta de control y Sincronismo (Control & Clock board)
FS	Tarjeta de Conmutación (Fabric Switch)
BP	Tarjeta de Procesamiento de Banda Base (Baseband Processing)
SA	Tarjeta de Alarmas del Sitio (Site Alarm)
SE	Tarjeta de Extensión para Alarmas del Sitio (Site alarm Extension)
UES	Tarjeta Universal de conmutación Ethernet (Universal Ethernet Switch)
PM	Módulo de Energía (Power Module)
FAM	Módulo de Ventilación (Fan Module)

4.4.2.1.3 Principio de Configuraciones para las ranuras de la BBU B8200

En la Tabla 14 se describe los principios de configuración para las ranuras o slots de una BBU B8200.

Tabla 14*Configuraciones de Slots BBU B8200*

Tipo de Tarjeta	Nombre de la Tarjeta	Obligatoria / Opcional	Número Máximo de Tarjetas	Ranura o Slot	Principio de Configuración
Controladora	CC	Obligatoria	2	Slot 1 - Slot 2	Una tarjeta es obligatoria. Se requieren dos CC para la configuración activa/stand by.
Controladora	FS	Obligatoria	2	Slot 3 - Slot 4	Una tarjeta es obligatoria. Cada tarjeta FS admite como máximo seis interfaces ópticas. La tarjeta FS es necesaria para la configuración multimodo.
Banda Base	BPL1 BNP2	Obligatoria	5	Slot 3 - Slot 8	Las tarjetas de procesamiento de banda base se configuran de acuerdo con la capacidad de procesamiento requerida.

CONTINÚA

Auxiliar	SA	Obligatoria	1	Slot 13	-----
Auxiliar	SE	Opcional	1	Slot 5	Se requiere una SE para la configuración de dos interfaces RS232/RS485 y 16 contactos secos.
Auxiliar	PM	Obligatoria	2	Slot 14 - Slot 15	Un módulo es obligatorio. Cuando se configuran dos tarjetas, deben compartir la carga o el modo activo/stand by. Se requieren dos PM cuando se configuran más de una tarjeta de procesamiento de banda base. Se requieren dos PM cuando dos fuentes de alimentación funcionan en modo activo / stand by.
Auxiliar	FAM	Obligatoria	1	Slot 16	-----
Transmisión	UES	Opcional	1	Slot 2 o Slot 5 Slot 1 - Slot 8	Las tarjetas UES son configuradas de acuerdo con el requisito puntual de Ethernet. • Con soporte de la funcionalidad SyncE: Slot 2 y Slot 5 • Sin soporte de la funcionalidad SyncE: Slot 1 a Slot 8
Transmisión	UCI	Opcional	1	Slot 3 - Slot 8	Las tarjetas UCI están configuradas de acuerdo con la configuración del reloj.

4.4.2.2 Configuración de Hardware de la BBU B8200 para Single RAN

La BBU B8200 opera en modo Single RAN con la utilización de tarjetas de control, banda base y ampliación de capacidad específicas.

4.4.2.2.1 Hardware de Controladora

- **CC (Control and clock board)**

Una BBU B8200 se puede configurar con un máximo de 2 tarjetas CC para redundancia 1 + 1.

La tarjeta de Control y Sincronismo CC tiene tres módulos funcionales principales: un módulo de conmutación, un módulo de GPS y reloj, y un módulo de transmisión. La Figura 115 muestra el panel de la tarjeta CC con sus interfaces.

El módulo de conmutación está pensado como una red de conmutación entre la tarjeta CC y la placa de procesamiento de banda base. Las señales de datos de usuario, datos de control y

mantenimiento entre la placa CC y la placa de procesamiento de banda base se transmiten a través de este módulo.

El módulo de transmisión realiza las siguientes funciones:

- Conmutación de paquetes para datos de usuario y control dentro del sistema.
- Procesamiento del protocolo de las interfaces de comunicación externa.
- Compatibilidad con las tarjetas primarias y secundarias de redundancia.
- Proporcionar interfaces físicas GE/FE.

El módulo de GPS y Reloj realiza las siguientes funciones:

- Sincronización con varios relojes de referencia externos, incluido el reloj GPS y el reloj proporcionado por Building Integrated Timing Supply (BITS).
- Generar y entregar la señal de reloj a otros módulos y tarjetas.
- Proporcionar la interfaz del receptor GPS y gestionar el receptor GPS.
- Proporcionar una sincronización en tiempo real para la operación y mantenimiento del sistema.

Otras funciones:

- Administrar versiones de software de otras tarjetas y componentes programables, y admitir actualizaciones de software locales y remotas.
- Supervisar, controlar y mantener el sistema de la estación base, y proporcionar la interfaz del terminal de mantenimiento local (LMT).
- Supervisar el estado de funcionamiento de cada tarjeta dentro del sistema.
- Gestión de inventario.

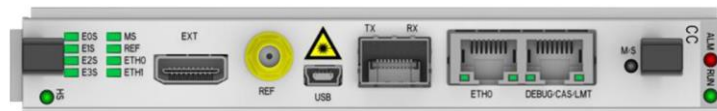


Figura 115. Panel de la CC
Fuente: (Corporation, 2009)

- **FS (Fiber switch board)**

La Tarjeta de Conmutación (FS) proporciona una interfaz óptica de banda base entre la BBU y el módulo de RF, procesa la señal de radio y realiza la conmutación de los datos logrando el intercambio de los recursos de procesamiento de banda base dentro del sistema. Esta tarjeta es opcional para una solución de una sola tecnología, sin embargo, es obligatoria para una solución Multimodo. La Figura 116 muestra el panel frontal de la tarjeta FS con sus interfaces.

La FS realiza las siguientes funciones:

- Proporcionar seis interfaces ópticas para la comunicación entre la BBU y el módulo de Radio.
- Multiplexar los datos recibidos y recuperar la señal modulada.
- Mapear la señal modulada en el enlace descendente y multiplexar esta señal en señales digitales ópticas.
- Recibir la señal modulada en el enlace ascendente y realizar su demultiplexación y mapeo.
- Transmitir la señal multiplexada a tarjeta de procesamiento de banda base.
- Intercambiar la señalización de la CPU con el módulo de radio a través de la interfaz HDLC.



Figura 116. Panel de la FS
Fuente: (Corporation, 2009)

4.4.2.2 Hardware de Banda Base

Una BBU B8200 se puede configurar con 1 hasta 3 tarjetas BP. Una BP puede manejar desde 3 hasta 6 celdas permitiendo al operador una configuración adaptativa según sus requerimientos.

Las principales funciones de la tarjeta BP:

- Procesamiento del protocolo de capa física
- Proporcionar una señal modulada de enlace ascendente/descendente
- Procesamiento del protocolo MAC, RLC y PDCP

Existen dos tipos de tarjetas BP:

- **BPL1**

La Figura 117 muestra el panel frontal de la tarjeta BPL1, que tiene las siguientes funciones:

- Comunicar la BBU con el módulo de radio a través de una Interfaz óptica CPRI
- Proporcionar 3 interfaces ópticas para la comunicación CPRI
- Procesamiento del protocolo del plano de usuario, incluye PDCP, RLC, MAC
- Procesamiento del protocolo de capa física (PHY)
- Proporcionar la interfaz de gestión de IPMI



Figura 117. Panel de la BPL1

Fuente: (Corporation, 2009)

- **BNP2**

La Figura 118 muestra el panel frontal de la tarjeta BPL1, que tiene las siguientes funciones:

- Comunicar la BBU con el módulo de radio a través de una Interfaz óptica CPRI
- Proporcionar 6 interfaces ópticas para la comunicación CPRI
- Procesamiento del protocolo del plano de usuario, incluye PDCP, RLC, MAC
- Procesamiento del protocolo de capa física (PHY)
- Proporcionar la interfaz de gestión de IPMI
- Obtener de la señal 1PPS + TOD del módulo de RF con receptor GPS incorporado



Figura 118. Panel de la BPN2

Fuente: (Corporation, 2009)

4.5 Solución y Productos Single RAN NOKIA

La actual generación de estaciones base de Nokia está compuesto por las estaciones base Flexi Multiradio 10, las cuales se basan en la plataforma FLEXI. Esta nueva estación base Flexi Multiradio 10 es una estación base Multiradio y Multiportadora definida completamente por software que puede ser utilizado, de forma dedicada, tanto para tecnologías GSM, así como para

UMTS y LTE. Con su funcionalidad de modo convergente, bajo la denominada versión de Software Single RAN (SRAN), puede incluir varias tecnologías de acceso de radio y sus combinaciones, por ejemplo, GSM-LTE, GSM-WCDMA, WCDMA-LTE, GSM-WCDMA-LTE.

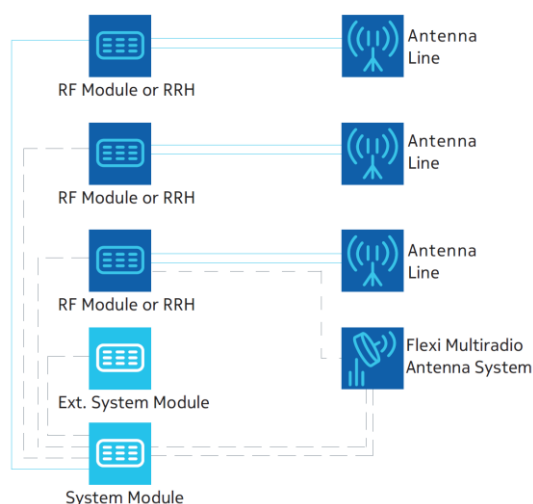


Figura 119. Arquitectura general de la BTS Flexi Multiradio 10

Fuente: (Networks, 2017)

La Figura 119 muestra la arquitectura general de la BTS Flexi Multiradio 10, compuesta por sus módulos de banda base, módulos de RF y antenas.

La estación base Flexi Multiradio 10 está optimizada para aplicaciones de alta capacidad y amplia cobertura. Asegura rangos de cobertura de celda que cumplen con los requisitos de las aplicaciones de cobertura, por lo tanto, se minimiza el número de sitios necesarios para construir una buena cobertura.

La estación base Flexi Multiradio 10 se ha desarrollado para aplicaciones de cobertura y ofrece:

- Amplia variedad de módulos de RF para diferentes aplicaciones y casos de uso, por ejemplo, alta potencia de enlace descendente con el Módulo RF Flexi de 3 sectores a 240W.
- Rendimiento óptimo del enlace ascendente y sensibilidad del receptor.

- Módulos para exteriores que pueden ubicarse cerca de las antenas, lo que reduce las pérdidas del alimentador de antena.
- Rendimiento optimizado del sistema de antena

Los módulos estándar de la estación base Flexi Multiradio 10 son compatibles con la aplicación del sitio BTS sin feeders, donde se instala un módulo de RF o toda la BTS Flexi cerca de las antenas. Para un sitio sin feeders, el rendimiento de RF del sitio BTS se optimiza tanto en el enlace ascendente como en el enlace descendente. Los beneficios de los sitios de feederless son:

- Mejor rendimiento de RF porque no hay pérdidas en el enlace descendente y en el feeder de enlace ascendente.
- Instalación más sencilla debido a la reducción del cableado a la torre.
- No hay feeder de antena largos (normalmente seis para un sitio de tres sectores).
- No hay amplificadores de cabecera o amplificadores montados en torre.
- Menor peso y carga total del viento en la torre
- Reducción del consumo total de energía.

El módulo RF puede activarse por software y configurarse para admitir uno, dos o tres sectores, con diversas configuraciones de diversidad.

4.5.1 Escenarios de Aplicación

Existen dos variantes de Flexi Multiradio 10 BTS: para exteriores e interiores y Solamente para interiores.

4.5.1.1 Variante para exteriores e interiores

La variante exterior/interior de la Flexi Multiradio 10 BTS está clasificada con una protección IP65. Una BTS típicamente consiste de los siguientes elementos de banda base:

- Un Módulo de Sistema o System Module (FSMF) con una interfaz integrada de transporte Gigabit Ethernet (GE).
- Un Submódulo opcional de Transmisión opcional (FTIF).
- Uno o dos Submódulos opcionales de Ampliación de Capacidad (FBBA o FBBC).
- Un Submódulo opcional de Distribución de Energía (PPFD).
- Un Módulo opcional de Energía (FPMA) apto para su uso en exteriores, que puede albergar Submódulos convertidores de AC a DC (FPAA) y Submódulos de batería (FPBB).

4.5.1.2 Variante solamente para interiores

La variante para interiores de la Flexi Multiradio 10 BTS está clasificada con una protección IP20. Una BTS típicamente consiste en los siguientes elementos de banda base:

- Un Módulo de Sistema o System Module (FSIH)) con interfaces de transporte Gigabit Ethernet (GE) integradas.
- Uno o dos Submódulos opcionales de Ampliación de Capacidad (FBIH).
- Un Módulo opcional de Energía (FPMA) apto para su uso en exteriores, que puede albergar Submódulos convertidores de AC a DC (FPAA) y Submódulos de batería (FPBB).

4.5.2 BTS Flexi Multiradio 10

La estación base Flexi Multiradio 10 consiste de dos módulos fundamentales, un System Module y un Módulo Multiradio/Multicarrier, con estos dos módulos en diferentes cantidades es posible construir cualquier tipo de configuración.

Puede ser instalada en gabinetes, mástiles en suelo o polos en torre y también considera el módulo de radio con una instalación de forma remota, reduciendo las pérdidas de los feeders en los sistemas radiantes. Los módulos Flexi Multiradio 10 BTS constan de las siguientes partes principales:

- **Núcleo del módulo:** Es el hardware principal que contiene juntas de goma instaladas en todos los conectores, que protegen el núcleo del módulo contra objetos extraños, y lo hacen resistente a la intemperie.
- **Carcasa del Módulo:** Esto proporciona a los módulos, puntos de fijación al herraje de sujeción permitiendo así la instalación apilada de los módulos. La carcasa permite el reemplazo del núcleo del módulo incluso si el módulo se encuentra en la parte inferior de la pila de módulos.
- **Ventilador:** Esto proporciona aire fresco para enfriar el módulo. Cada módulo controla sus propios ventiladores de acuerdo con la información de temperatura, y dos ventiladores redundantes permiten el funcionamiento del módulo a temperaturas normales, incluso con un solo ventilador. Los ventiladores son modulares lo que permite el reemplazo de un submódulo de ventilación de un módulo en funcionamiento.

Con la estación base Flexi Multiradio 10, se puede usar el mismo equipo para crear cobertura y capacidad. Una alta capacidad celular y una amplia cobertura por sitio significa menos sitios, lo que hace que la creación de una red sea más rentable. Como parte de los beneficios de la BTS Flexi Multiradio 10 se tienen:

- **Bajos costos de alquiler del sitio**

La estación base Flexi Multiradio 10 reduce los costos de alquiler del sitio BTS porque ya no se necesita un gabinete específico para la BTS o espacio adicional en el piso. Esto debido a que los gabinetes y sistemas de soporte del sitio existente se pueden usar para albergar los nuevos módulos, o a su vez los módulos se pueden instalar en una pared.

- **Bajo consumo total de energía del sitio**

Debido a la alta integración de la BTS Flexi Multiradio 10 y los amplificadores de potencia avanzados, el consumo general de energía disminuye. En configuraciones típicas, el ahorro de energía puede ser de hasta el 60% en comparación con la primera generación de BTS Nokia. Los beneficios adicionales en cuanto a energía son:

- Menor capacidad de la batería para el mismo tiempo de respaldo.
- Menos rectificadores AC-DC.
- Fusibles más pequeños y cables de alimentación más delgados.
- Aire acondicionado para espacios interiores solo se necesita en casos especiales.
- No se requiere de aire acondicionado para sitios de exteriores.
- No es necesario un gabinete dedicado para el sistema de energía y equipos auxiliares.

- **Fácil instalación**

Un módulo de estación base Flexi Multiradio 10 puede ser levantado, transportado y colocado por una sola persona. El tiempo promedio de instalación del módulo se reduce, en comparación con las BTS de gabinetes tradicionales.

La estación base Flexi Multiradio 10 se puede instalar, además de los sistemas tradicionales, en una pared o un piso. También se ajusta a infraestructura existente del sitio, por lo tanto, las ubicaciones de instalación para una estación base Flexi Multiradio 10 pueden ser más pequeñas que las reservadas para BTS tradicionales.

- **BTS definido por el SW**

La estación base Flexi Multiradio 10 puede configurarse por SW según los requisitos de una tecnología de radio determinada: GSM/EDGE, WCDMA/HSPA+, o LTE (TD/FDD). Además, el software puede activar muchas funciones definibles por software. Por ejemplo:

- Activación del sector (uno, dos o tres sectores activos de un módulo RF de 3 sectores).
- Modo de potencia de RF para el sector activo (8, 20, 40, 60 u 80 W).
- Ancho de banda de la celda LTE (1.4, 3, 5, 10, 15 o 20 MHz).
- Soporte y control de MHA y de Antena Tilt.
- Soporte de banda dual y multibanda.
- Modo de diversidad de enlace ascendente de cuatro vías.
- Modo de enlace descendente MIMO 4TX.
- Interfaz de transporte.

- Método de sincronización (por ejemplo, GPS, temporización sobre paquete).

- **Ruido acústico bajo**

El ruido acústico producido por el sitio de una estación base Flexi Multiradio 10 es bajo debido a un menor consumo de energía y un mayor nivel de integración de la unidad. La aceptación del sitio es más fácil, especialmente en sitios urbanos al aire libre. Las velocidades del ventilador y el ruido acústico se adaptan a la carga de tráfico de la BTS y a la temperatura ambiente.

- **Fácil puesta en servicio**

La función de autodetección de la estación base Flexi Multiradio 10 hace que la puesta en marcha y la integración sean rápidas y fáciles. El asistente de puesta en marcha guía al usuario paso a paso a través de todo el proceso de puesta en marcha. Al final del proceso, el asistente de puesta en marcha genera un informe de puesta en servicio de la BTS.

- **Operación confiable**

La simplicidad y la rapidez de mantenimiento mejoran la fiabilidad operativa. El mantenimiento se mejora mediante la integración del módulo y los procedimientos automáticos de detección de fallas.

- **Apagado inteligente**

La función de apagado inteligente optimiza la inversión en un sistema de respaldo de batería en un BTS de alta capacidad, especialmente en sitios que operan como nodos centrales de transmisión importantes. Con el apagado inteligente, los sistemas de respaldo separados para BTS y la transmisión son innecesarios.

El sistema Flexi Multiradio 10 BTS con batería de respaldo es compatible con un procedimiento inteligente de apagado de energía del sitio BTS en caso de una falla de alimentación de AC. Durante la puesta en servicio de cada sitio, el operador puede definir diferentes temporizadores de cierre y prioridades para los sectores y operadores de BTS. El apagado inteligente se activa desde los sistemas de energía al activar una línea de alarma externa (EAC) a la Flexi BTS.

Cuando Flexi BTS detecta un problema con el suministro de energía, que genera el cambio de la fuente de alimentación a las baterías, se activa una alarma y la BTS reduce automáticamente el consumo de energía requerido. Como resultado, la Flexi BTS entra en un modo de operación de servicio reducido, una vez que se restaura la alimentación de AC, la Flexi BTS nuevamente ofrece un servicio completo.

La reducción de la potencia se realiza mediante el apagado gradual de servicios que son definidos por el operador, el apagado es activado por los temporizadores que son configurables por cada BTS. Se pueden configurar diferentes escenarios de apagado para la BTS configurando estos temporizadores.

4.5.2.1 BTS Flexi Multiradio 10

El Módulo de Sistema o System Module es una parte integral de BTS Flexi Multiradio 10. Es compatible con los siguientes modos de funcionamiento por software:

- GSM/EDGE
- WCDMA
- HSPA, HSPA Evolution
- LTE en FDD y TDD

El System Module soporta un modo de operación dedicado o convergente (Single RAN) que puede incluir varias tecnologías de acceso de radio y sus combinaciones. Con una BTS Flexi Multiradio 10 BTS, el operador puede construir un sitio de una manera flexible, que se ajuste a las necesidades:

- El System Module puede actuar como un Módulo de Extensión de Sistema ampliando la capacidad de banda base de un sistema existente. Es se logra ya que la arquitectura de la BTS Flexi Multiradio 10 admite el encadenamiento de hasta nueve System Modules, de este modo, permite la construcción de sitios de muy alta capacidad y diferentes soluciones de redundancia.
- Compatibilidad multibanda: los módulos RF para diferentes bandas de frecuencia se pueden conectar al mismo módulo del sistema.
- Operación conjunta con la BTS Flexi Multiradio existente y compartiendo la misma interfaz de red de transmisión, sincronismo y unidades de distribución de energía.

Las tareas del System Module son:

- Control de los servicios de telecomunicaciones
- Operación y mantenimiento del sistema
- Procesamiento de banda base
- Control de transmisión
- Control de sincronismo
- Distribución de energía a través de un submódulo opcional.

Como parte de los productos de la BTS Flexi Multiradio 10, dos versiones de System Module se encuentran disponibles:

- System Module Flexi Multiradio para exteriores e interiores FSMF (472181A)
- System Module Flexi Multiradio para interiores FSIH (472567A)

Para propósitos de este estudio, a continuación, analizaremos el System Module FSMF.

4.5.2.2 System Module FSMF

La arquitectura de Flexi Multiradio permite al System Module FSMF la utilización de algunas variantes de System Module y submódulos. El System Module Flexi Multiradio 10 para exteriores FSMF consta de:

- Carcasa de la altura de tres unidades de rack estándar
- Módulo Central resistente a la intemperie
- Ventiladores



Figura 120. FSMF

Fuente: (Networks, 2012)

La Figura 120 muestra el exterior de un módulo FSMF. El módulo del ventilador del FSMF está conectado con un cable al módulo central, todos estos y otros componentes forman parte de un solo

elemento. El módulo principal tiene la funcionalidad de control y procesamiento de banda base de la BTS, también contiene hasta dos interfaces de transporte Gigabit Ethernet integradas para la comunicación de backhaul. La Figura 121 muestra todos los componentes del System Module FSMF.

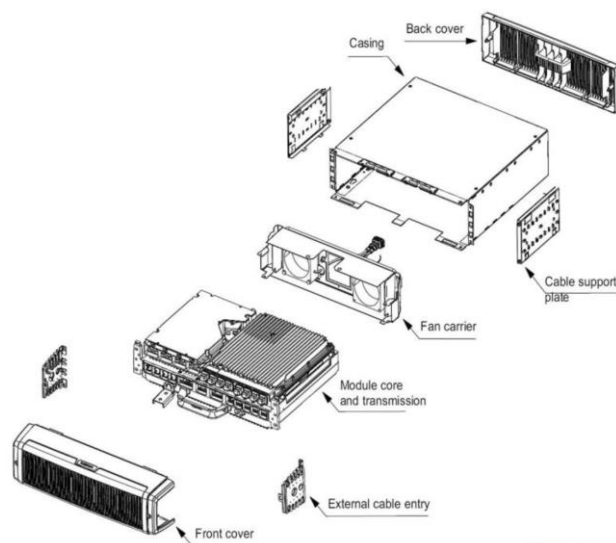


Figura 121. Estructura Física del FSMF

Fuente: (Networks, 2012)

Como elementos adicionales que son opcionales y que se puede instalar en la carcasa del módulo del sistema tenemos:

- Hasta dos submódulos de extensión de capacidad (FBBA/FBBC)
- Un submódulo de transporte (FTIF)
- Un submódulo de distribución de energía (FPFD)

La Figura 122 muestra estos elementos adicionales instalados dentro de la carcasa del FSMF.

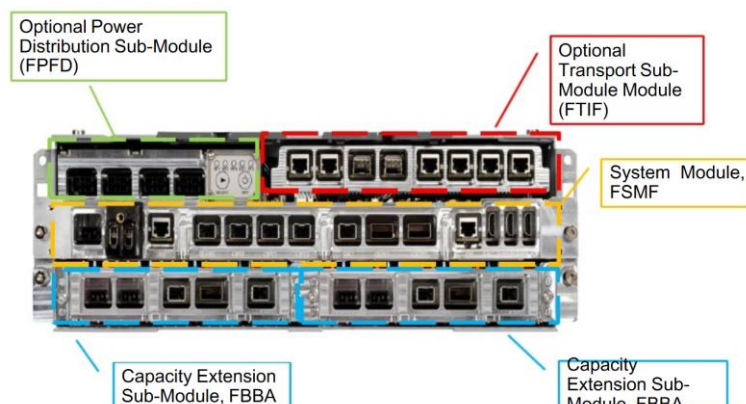


Figura 122. System Module FSMF con los submódulos adicionales
Fuente: (Networks, 2012)

Los submódulos de ampliación de capacidad están conectados con cables al módulo central, y su instalación dentro del System Module es solamente física, sin embargo, los submódulos de transporte y distribución de energía tienen conexiones internas con el módulo central.

El System Module no tiene placa posterior, por lo que todos los módulos son aptos para exteriores con clasificación de protección IP65. La Figura 123 muestra todas las interfaces disponibles en el FSMF.

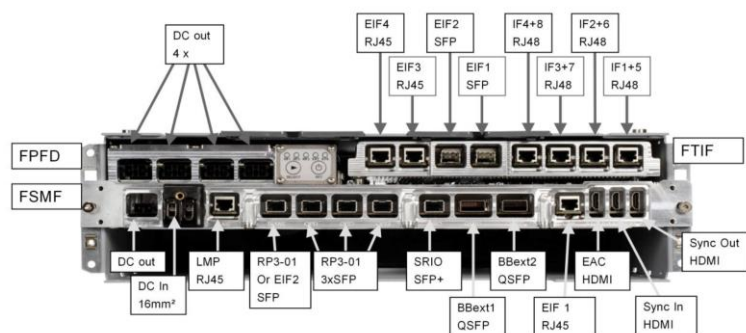


Figura 123. Interfaces del FSMF, la FTIF y la FPFD
Fuente: (Networks, 2012)

La Tabla 15 muestra el rendimiento total de la interfaz de aire de un System Module Flexi Multiradio 10, que puede variar según la combinación de los módulos utilizados, es importante notar que la funcionalidad de MIMO es compatible con HSPA y LTE.

Tabla 15
Capacidad máxima de la interfaz de aire del System Module

Tecnología	Capacidad	Unidad
GSM/EDGE	72	TRX
WCDMA	528	Channel Elements (CEs)
HSDPA	756	Mbps
HSUPA	115	Mbps
LTE DL	450	Mbps
LTE UL	150	Mbps
LTE BW/cell	20	MHz
LTE cells	3	Cantidad de Celdas
MIMO	SI (HSPA/LTE)	-----

Internamente, un System Module FSMF se encuentra conformado por varios bloques funcionales que se muestran en la Figura 124.

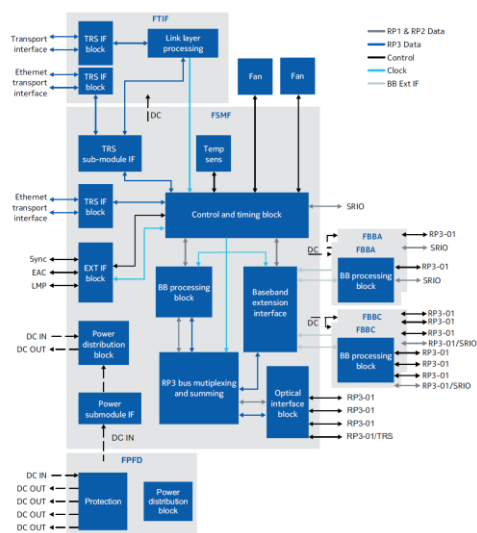


Figura 124. Bloques funcionales del FSMF con FTIF, FBBA/FBBC y FPFD

Fuente: (Networks, 2015)

4.5.2.3 Submódulo de extensión de capacidad (FBBA/FBBC)

El submódulo de ampliación de capacidad permite aumentar la capacidad de la BTS, puede insertarse en la carcasa del System Module, lo que proporciona una potencia de procesamiento de señal adicional al sistema. Agregar los submódulos de capacidad con la BTS operativa no afecta el tráfico en curso.

Los siguientes submódulos de extensión de capacidad están disponibles:

- FBBA para FSMF (472182A)
- FBBC para FSMF (472797A)

Una FBBA/FBBC tiene una altura de una unidad de rack estándar y está protegida con clasificación IP65. Es un submódulo opcional para el System Module que proporciona una capacidad de banda base de hardware para hasta tres celdas LTE de 20 MHz con 2x2 MIMO. La Figura 125 muestra los paneles frontales de los submódulos de ampliación de capacidad y sus interfaces.

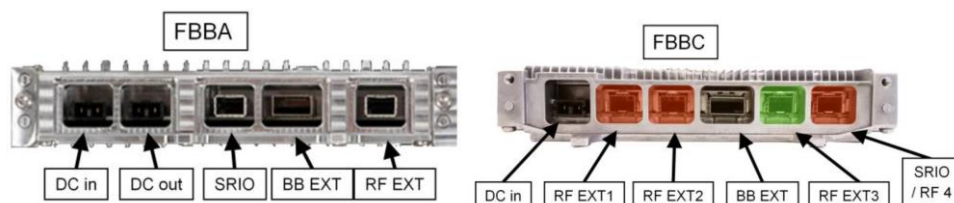


Figura 125. Interfaces de la FBBA y la FBBC

Fuente: (Networks, 2015)

El primer submódulo FBBA es energizado por el módulo central del FSMF, el 1 segundo submódulo está energizado por el primero. Para los submódulos FBBC, ambos submódulos son energizados directamente por el módulo central del FSMF a través de un cable Y.

Por otro lado, cada submódulo de extensión FBBA y FBBC está conectado al módulo central a través del conector QSFP para el intercambio de datos.

4.5.2.3.1 Concepto de extensión de Banda Base del FSMF

La ampliación de la capacidad de banda base, puede lograrse con las siguientes variantes de configuración física del FSMF.

- FSMF + FBBA/C
- FSMF + FBBA + FBBA
- FSMF + FBBC + FBBC
- FSMF + FBBA + FBBC

La Tabla 16 muestra la comparación de la capacidad máxima de la interfaz de aire del FSMF con la de un solo submódulo FBBA/FBBC. La capacidad total del sistema puede que puede variar según la combinación de los módulos utilizados.

Tabla 16

Capacidad máxima de la interfaz de aire del FSMF y la FBBA/FBBC

Tecnología	Capacidad FSMF	Capacidad FBBA/FBBC	Unidad
GSM/EDGE	72	-----	TRX
WCDMA	528	576	Channel Elements (CEs)
HSDPA	756	756	Mbps
HSUPA	115	157	Mbps
LTE DL	450	450	Mbps
LTE UL	150	150	Mbps
LTE BW/cell	20	20	MHz
LTE cells	3	3	Cantidad de Celdas
MIMO	SI (HSPA/LTE)	SI (HSPA/LTE)	-----

La ampliación de capacidad dada los submódulos FBBA/FBBC no solo impactan en la capacidad de procesamiento de banda base, sino también permiten ampliar el número de celdas y sectores soportados por el sistema según las configuraciones de cada celda:

Un FSMF configurado con una FBBA/FBBC adicional puede soportar:

- Hasta seis celdas con 15 o 20 MHz de ancho de banda, 2TX MIMO y diversidad de 2RX:
 - Configuración de 6 sectores con una misma banda de RF
 - Dos configuraciones de 3 sectores, utilizando dos bandas de RF diferentes
- Hasta seis celdas con 5 o 10 MHz de ancho de banda, 4x2 MIMO y/o diversidad de 4RX
- Hasta tres celdas con 15 o 20 MHz de ancho de banda, 4x2 MIMO y/o diversidad de 4RX
- Hasta 12 celdas con 5 o 10 MHz de ancho de banda, 2TX MIMO y diversidad de 2RX

Por otro lado, el System Module FSMF por si solo puede soportar:

- Hasta tres celdas con una misma banda de RF, con 5 o 10 MHz de ancho de banda, 4x2 MIMO y/o diversidad de 4RX
- Seis celdas con dos bandas de RF diferentes, con 5 o 10 MHz de ancho de banda, 2TX MIMO y diversidad de 2RX

4.5.2.4 Submódulo de transporte (FTIF)

A pesar de que el System Module FSMF está optimizado para el transporte Ethernet y equipado con dos interfaces de transporte que proporcionan una interfaz física a la red de backhaul:

- La interfaz EIF1: con un puerto Gigabit Ethernet eléctrico.

- La Interfaz EIF2: con un puerto Gigabit Ethernet óptico, configurable por software para fines de transporte.

Para todas las tecnologías (GSM, WCDMA, LTE) es posible instalar un submódulo de transmisión opcional (FTIF), para ampliar las capacidades de transporte de la BTS. La Figura 126 muestra las interfaces de transporte del System Modulo FSMF con la adición de un submódulo de transporte FTIF.

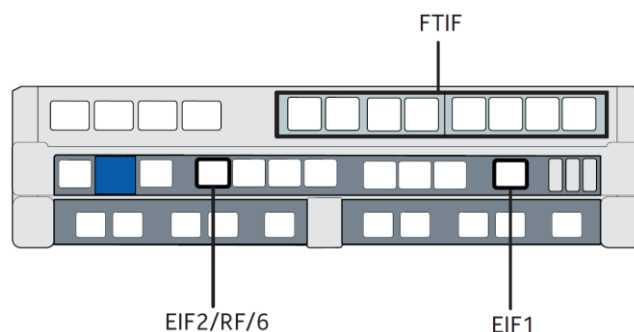


Figura 126. Interfaces de Transporte del FSMF
Fuente: (Networks, 2018)

El submódulo de transporte FTIF, es un submódulo opcional para el System Module FSMF, que proporciona las modalidades de transporte ATM e UP y conectividad a través de:

- Hasta 8 interfaces E1/T1/JT1 en 4 x puertos "estilo RJ48C" para interconectarse con redes de transporte o equipos en el sitio basadas en TDM
- Hasta dos puertos Gigabit Ethernet adicionales, que operan en combo a través de puertos ópticos/eléctricos

El submódulo de transmisión FTIF se requiere para los siguientes propósitos:

- Paquetes Abis sobre TDM o sincronización PDH

- Uso de puertos ópticos en el FSMF
- Necesidad de múltiples puertos Ethernet

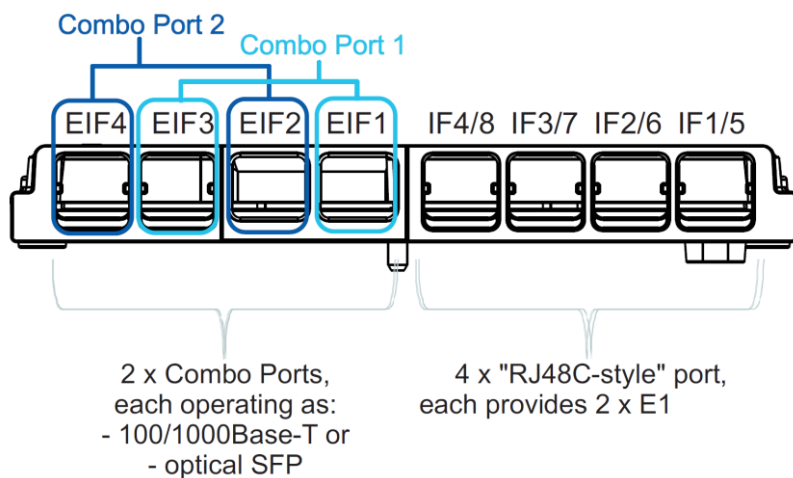


Figura 127. Panel de la FTIF con sus interfaces físicas
Fuente: (Networks, 2018)

La Figura 127 muestra el funcionamiento de las interfaces del submódulo de transmisión FTIF, mientras que la Figura 128 muestra el funcionamiento de todas las interfaces de transporte disponibles en el System Module. Es importante tomar en cuenta que la funcionalidad de cada interfaz depende de la configuración del FSMF.

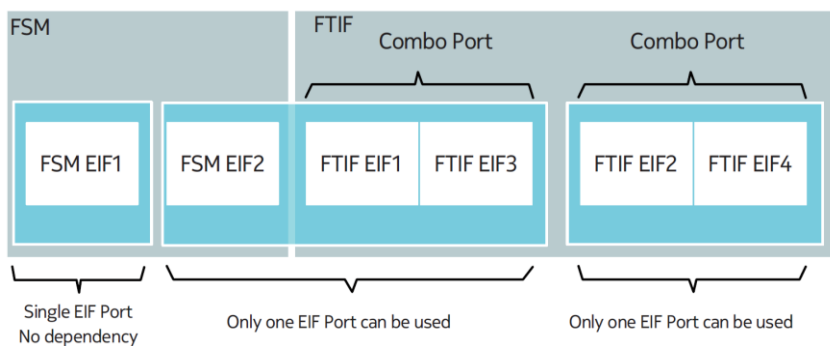


Figura 128. Diagrama de las interfaces lógicas de la FTIF
Fuente: (Networks, 2018)

Las interfaces EIF1/EIF3 y EIF2/EIF4 están emparejados como un puerto combo utilizados para instalación en cadena o co-ubicación.

- El uso de los puertos EIF1 y EIF3, así como de los puertos EIF2 y EIF4 se excluyen mutuamente, es decir solamente un puerto puede ser usado.
- El uso de los puertos EIF1/EIF3 en la FTIF y el puerto EIF2 en el FSMF EIF4 se excluyen mutuamente, es decir solamente un puerto puede ser usado.

La Tabla 17 muestra las capacidades y tipo de conector de cada interfaz del FSMF y FTIF.

Tabla 17

Interfaces de la FTIF y sus capacidades

Interfaces	Capacidad	Tipo de Conector
2 x Puertos Combo que pueden funcionar como - 2 x 100/1000Base-T electrical GE - 2 x 1000Base-BX/LX/SX/ZX optical GE - 1 x 100/1000Base-T electrical GE + 1 x 1000Base-BX/LX/SX/ZX optical GE.	2 x 100/1000 Mbit/s 2 x 1000 Mbit/s 1 x 100/1000 Mbit/s + 1 x 1000 Mbit/s	2 x RJ45 2 x SFP RJ45 + SFP
8 x E1/T1/JT1 (100/110/120 ohm)	8 x 2 Mbit/s (E1) 8 x 1.5 Mbit/s (T1)	4 x RJ48C

4.6 Comparativa de Soluciones Single RAN

La comparación objetiva de las soluciones Single RAN de cada fabricante se enfocará 3 de los aspectos más importantes de los productos anteriormente analizados, estos aspectos son: el concepto de la solución, el aspecto físico de los productos desde el punto de vista de espacio requerido para su despliegue y finalmente las capacidades técnicas de la banda base.

Es importante tomar en cuenta que esta comparativa solamente se enfoca en los elementos de Banda Base de la solución Single RAN de cada fabricante, esto se debe a que todas las soluciones presentan un diseño distribuido en el cual el módulo de RF será instalado cerca de la antena y generalmente alejado del módulo de banda base. Adicionalmente los fabricantes HUAWEI, ZTE

y NOKIA disponen de una amplia gama de módulos de RF que se adaptan a cualquier configuración y necesidad de los operadores, dejando su elemento diferenciador en el módulo de banda base.

4.6.1 Concepto de la solución Single RAN

Como se mencionó anteriormente Single RAN no está estandarizado por lo cual deja libre el concepto a ser utilizado por cada fabricante para su solución. Las soluciones estudiadas anteriormente coinciden en características de nodo distribuido y diseño modular, sin embargo, de los tres fabricantes estudiados, no todos aplican el concepto de Equipamiento definido por Software. La

Tabla 18 resume el concepto de Single RAN adoptado por los fabricantes estudiados anteriormente.

Tabla 18
Concepto Single RAN HUAWEI vs ZTE vs NOKIA

Fabricante	Producto	Hardware	Tipo de solución	Manejo de cada RAT
HUAWEI	DBS3900	Chasis con Ranuras o Slots y Tarjetas Insertables	Distribuida y Modular	Software y Hardware
ZTE	ZXSDR - B8700	Chasis con Ranuras o Slots y Tarjetas Insertables	Distribuida y Modular	Software y Hardware
NOKIA	FLEXI MULTIRADIO 10	Módulo principal compacto complementado con Submódulos para Ampliación de Capacidad y Transmisión	Distribuida y Modular	Software

Los Fabricantes HUAWEI y ZTE presentan una solución similar en la que la compartición de tecnologías de radio se da una parte por el software utilizado y otra parte por el hardware que hace

parte de la configuración de la BTS. Es así como las soluciones de estos dos fabricantes contemplan un chasis de banda base modular, en el cual se insertan tarjetas que desempeñan las funciones de control, procesamiento de banda base y transmisión de manera independiente. La tarjeta de control es la que distribuye el software a las demás tarjetas y módulos que conforman el sistema. Este software puede manejar las diferentes tecnologías GSM/UMTS/LTE de manera dedicada o de manera convergente con Single RAN. Sin embargo, las tarjetas de procesamiento de la banda base son Single RAT, lo que significa que para en un escenario Single RAN UMTS+LTE se deben considerar una sola tarjeta de control, pero una tarjeta de procesamiento de banda base para cada tecnología utilizada. La Tabla 19 detalla el hardware necesario, para cada fabricante, de una configuración UMTS + LTE

Tabla 19

BTS HUAWEI vs ZTE vs NOKIA para un escenario UMTS + LTE

Fabricante	Producto	Hardware
HUAWEI	BBU3900	UMPT + UBBP (UMTS) + LBBP (LTE)
ZTE	ZXSDR - B8700	CC16B + BPL1 (UMTS) + BPN2 (LTE)
NOKIA	FLEXI MULTIRADIO 10	FSMF + FBBA/FBBC (UMTS/LTE)

Por otro lado, la solución Single RAN de NOKIA presenta un concepto de equipamiento definido totalmente por software, debido a que sus módulos y submódulos soportan todas las tecnologías GSM/UMTS/LTE, ya sea configurados para trabajar en modo dedicado o modo Single RAN. En este caso es el software quien define la configuración con la que operan el System Module y los submódulos de ampliación de capacidad y transmisión.

Este concepto de Equipamiento Definido por Software hace de la solución Nokia la más versátil en cuanto a la reutilización y reconfiguración del hardware, ya que solamente con un cambio en el

software una misma BTS puede converger en Single RAN o realizar una actualización de la tecnología de radio.

4.6.2 Descripción de Hardware Single RAN

Una de las ventajas que propone la adopción de Single RAN para los operadores, es la reducción significativa del espacio necesario para implementar las nuevas tecnologías de radio, por esta razón se ha planteado una comparación del espacio requerido para la implementación de una nueva BTS junto con el tipo de instalación que ofrece el hardware de cada fabricante.

Es importante notar que se ha considerado el espacio total necesario para la implementación del sistema en banda base, es decir que para el caso de los productos HUAWEI y ZTE, se ha considerado el espacio requerido por los gabinetes para exteriores, dentro de los cuales se instalan las BBU.

La Tabla 20 muestra la comparación de los fabricantes HUAWEI, ZTE y NOKIA, en términos de espacio, volumen y tipo de instalación del equipamiento de banda base. Como resultado el System Module FSMF de NOKIA es el de menor espacio requerido, además de presentar varias alternativas para el tipo y lugar de instalación del equipo. Esto se debe en gran parte a que la solución de NOKIA está pensada para un entorno de exteriores principalmente. El System Module FSMF presenta un diseño compacto y con clasificación de protección IP65 que le permite al módulo ser instalado dentro de un gabinete para exteriores como en una pared/piso/mástil con la ayuda de herrajes para cada tipo de instalación.

Por otro lado, la solución Single RAN HUAWEI y ZTE presentan una Unidad de Banda Base BBU pensada solamente para un entorno de interiores, por lo tanto, su aplicación en un entorno de

exteriores requiere obligatoriamente de un gabinete para exteriores, que le brinde la protección necesaria contra el ambiente.

Tabla 20

Espacio requerido para una BTS Single RAN HUAWEI vs ZTE vs NOKIA

Fabricante	Producto	Hardware	Escenario de aplicación	Espacio requerido (mm)	Volumen m3	Tipo de instalación
HUAWEI	DBS3900	BBU3900	Interiores Exteriores	Ancho: 600 Profundidad: 480 Altura: 900	0.259	Dentro de Gabinete APM30H
ZTE	ZXSDR B8700	B8200	Interiores Exteriores	Ancho: 600 Profundidad: 600 Altura: 800	0.288	Dentro de Gabinete BC8910
NOKIA	Flexi Multiradio	FSMF	Interiores Exteriores	Ancho: 447 Profundidad: 420 Altura: 133	0.025	Dentro de Gabinete 19" estándar En Pared En Piso En Mástil al suelo En Mástil en Torre

4.6.3 Capacidades Técnicas del Hardware Single RAN

El tercer y más importante factor a ser tomando en cuenta en la comparativa de las soluciones Single RAN de HUAWEI, ZTE y NOKIA, son las capacidades del hardware que integra la solución en cuanto a la capacidad de procesamiento de la banda base y su capacidad de transmisión.

Esta comparación determinará, técnicamente, cuál es la solución que proporciona la mayor capacidad de red en un entorno en el cual convergen las tres tecnologías GSM, UMTS y LTE.

La Tabla 21 detalla las capacidades máximas de la Unidad de Banda Base de cada fabricante. Para la red GSM la capacidad se mide en TRX, que es la cantidad de recursos de radio disponibles para las celdas 2G. De forma similar para la red UMTS se miden los recursos de radio disponibles para los usuarios, estos son denominados Elementos de Canal o Channel Elements en inglés.

Finalmente, una red LTE solamente se puede medir en términos de la Tasa de Transmisión de Datos (Mbps) que es capaz de proporcionar el sistema.

Tabla 21

Capacidad de Banda Base de 2G/3G/4G HUAWEI vs ZTE vs NOKIA

RAT	Fabricante	Hardware	Capacidad máxima	Unidad	Observaciones
2G	HUAWEI	UMPTb1	72	TRX	HUAWEI y NOKIA tienen la mayor capacidad con 72 TRX en multimodo
	ZTE	CC16B	60	TRX	
	NOKIA	FSMF	72	TRX	
3G	HUAWEI	2 x WBBP4	1024	CEs	NOKIA presenta la mayor capacidad con 1680 CEs
	ZTE	5 x BPN2	1280	CEs	
	NOKIA	FSMF + 2 x FBBC	1680	CEs	
4G DOWNLINK	HUAWEI	2 x LBBPd2	1200	Mbps	NOKIA presenta la mayor capacidad de LTE para el enlace descendente con 1350 Mbps
	ZTE	5 x BPN2	600	Mbps	
	NOKIA	FSMF + 2 x FBBC	1350	Mbps	
4G UPLINK	HUAWEI	2 x LBBPd2	450	Mbps	NOKIA y HUAWEI presentan la mayor capacidad de LTE para el enlace ascendente con 300 Mbps
	ZTE	5 x BPN2	300	Mbps	
	NOKIA	FSMF + 2 x FBBC	450	Mbps	

Es importante tener en cuenta que las capacidades máximas de procesamiento de la banda base, vienen dadas por la mayor combinación de módulos, submódulos o tarjetas que admite cada solución. Por ejemplo, para una solución HUAWEI, las tarjetas de procesamiento de Banda Base solamente pueden ser 4 en un mismo sistema, las cuales en un entorno en donde convergen las tres tecnologías solamente podrán ser 2 para UMTS y 2 para LTE. Por otro lado, la solución ZTE admite hasta un total de 5 tarjetas de procesamiento de banda base.

En cuanto a la solución NOKIA, que es la que proporciona mayor capacidad para cada tecnología de radio, la capacidad de procesamiento de banda base es determinada por la sumatoria de la capacidad propia del System Module FSMF y la capacidad conjunta de dos submódulos de procesamiento FBBA/FBBC, esto debido a que el sistema admite hasta 2 submódulos de procesamiento de banda base adicionales.

La Tabla 22 describe las interfaces de transmisión de las soluciones Single RAN de HUAWEI, ZTE y NOKIA. La capacidad de la interfaz y el tipo de interfaz proporcionado por cada fabricante es determinante ya que: la capacidad de transmisión puede limitar la capacidad total del sistema y el tipo de interfaz puede limitar la interoperabilidad de la BTS con redes existentes como una red PDH con comunicación TDM.

Tabla 22

Interfaces de Transmisión en Single RAN HUAWEI vs ZTE vs NOKIA

Fabricante	Hardware	Interfaces	Tipo de interfaz	Capacidad de la interfaz	Observaciones
HUAWEI	UMPT	6 x FE/GE	2 interfaces Eléctricas 4 Interfaces Eléctricas/Ópticas	1000/10000 Mbps	Las interfaces Eléctricas/Ópticas se utilizan con módulos ópticos SFP
		ATM/IP over E1/T1	4 canales de E1/T1	1.544/2.048 Mbps	-----
ZTE	CC16B	2 x FE/GE	1 interfaz Eléctrica 1 Interfaz Eléctrica/Óptica	1000/10000 Mbps	Las interfaces Eléctricas/Ópticas se utilizan con módulos ópticos SFP
NOKIA	FSMF+FTIF	6 x FE/GE	6 interfaces Eléctricas/Ópticas	1000/10000 Mbps	Las interfaces Eléctricas/Ópticas se utilizan con módulos ópticos SFP
		ATM/IP over E1/T1	4 canales de E1/T1	1.544/2.048 Mbps	Utiliza conectores RJ48C

Nuevamente el System Module NOKIA presenta la mejor solución en la Transmisión Single RAN ya que todas sus interfaces son Gigabit Ethernet y debido a que utilizan módulos SFP pueden adaptarse a una conexión eléctrica con conectores RJ45, o una conexión óptica con cualquier tipo de conector óptico. Adicionalmente el System Module de NOKIA proporciona 4 canales de transmisión ATM/IP por E1/T1, permitiendo su integración con redes de backhaul PDH/TDM.

En base a la comparación realizada entre las soluciones Single RAN HUAWEI, ZTE y NOKIA, identificamos en la solución NOKIA funcionalidades que proporcionan valor a los operadores.

Además de que NOKIA, técnicamente, tiene la solución de mayor capacidad en el entorno Single RAN, su producto Flexi Multiradio 10 presenta un hardware compacto y de fácil instalación que reduce el espacio requerido en sitio para su despliegue, junto con la característica de equipamiento definido por software que habilita a los módulos a operar en cualquiera de las tecnologías de radio sin mayores cambios en la configuración del hardware. Esta funcionalidad de equipamiento definido por software integra una ventaja sumamente importante, ya que habilita al mismo hardware a operar con tecnologías evolucionadas y/o nuevas tecnologías, esto implica que el operador no deberá incurrir en gastos de nuevo equipamiento para la implementación de LTE Advance o tecnologías de radio de 5ta generación, solamente deberá distribuir a su equipamiento existente el nuevo software y realizar las reconfiguraciones necesarias para la actualización.

CAPÍTULO V

SINGLE RAN NOKIA

Single RAN juega un papel clave para ayudar a los operadores a cumplir con el aumento progresivo del tráfico de datos al proporcionar un camino claro para agregar capacidades macro.

Normalmente, los operadores tienen estaciones base de GSM y HSPA heredadas y planean desplegar, o ya están implementando, estaciones base LTE. Una de las ventajas de Single RAN es que los equipos de estación base heredados pueden reutilizarse, por ejemplo, un módulo RF GSM existente puede reutilizarse en el refarming mediante el uso compartido del módulo RF para GSM y LTE, lo que permite a los operadores evitar la adición de nuevos módulos RF para LTE.

Gran parte de la nueva red LTE se centrará inicialmente en proporcionar cobertura y en una configuración típica simplificada comprenderá sitios con tres sectores simétricos, por otro lado, los sitios enfocados en la capacidad suelen utilizar tres sectores asimétricos, y algunos sectores ofrecen mayor capacidad que otros.

Tradicionalmente, la capacidad de agregar a todas las tecnologías de RF se logra al agregar módulos de RF, módulos de banda base, módulos de controlador y capacidad de transporte específicos de la tecnología de radio, según sea necesario. Con los productos Single RAN NOKIA, las capacidades adicionales también pueden implementarse mediante módulos comunes y compartidos, posteriormente, se pueden obtener mayores beneficios de capacidad mediante la implementación de funciones avanzadas de software de *Nokia Liquid Radio GSM, HSPA y LTE Software Suites*.

Este camino hacia una mayor capacidad utilizando el concepto de Single RAN les permite a los operadores maximizar sus inversiones en la red de radio a nivel macro, para posteriormente y solo cuando la solución macro se haya implementado, desplegar sitios de celdas pequeñas.

El objetivo de NOKIA con su solución Single RAN es simplificar la creciente complejidad de las redes de radio. La evolución constante de las capacidades de Single RAN continuará esta simplificación, por lo cual NOKIA garantiza que todo el hardware implementado seguirá siendo utilizable en el futuro para proteger las inversiones de los operadores.

El producto SRAN de NOKIA presenta soluciones de operabilidad común y transporte común para todas las RAT (FDD-LTE, WCDMA y GSM) en un único nodo SBTS lógico.

SRAN comprende la entidad SBTS (basada en Flexi Multiradio 10 BTS), los controladores Nokia GSM y WCDMA existentes y la OMS WCDMA. El SBTS, junto con los BTS GSM y WCDMA tradicionales comparten los mismos controladores (BSC y RNC).

Single RAN y SBTS ofrecen los siguientes beneficios para el operador:

- SRAN le permite al operador evolucionar y reconfigurar su red de manera flexible y eficiente de acuerdo con el cambio de la demanda del usuario de 2G y 3G a LTE
- Arquitectura de red simplificada
- Uso del espectro de RF flexible y eficiente
- Refarming de la red basado en la demanda de los usuarios de 2G y 3G a LTE
- Uso eficiente del hardware compartido
- Reducción del consumo de energía y del tamaño del sitio debido a la compartición de recursos de hardware de la BTS

- Transporte común y operabilidad para todas las RAT
- Visualización del sitio SRAN gestionada como un elemento de red en el gestor NOKIA NetAct
- Un administrador de elementos SBTS basado en Web, con administración de sitios que cubre todas las RAT
- Planificación convergente
- Operación y mantenimiento simplificado.
- System Module y RF Module Compartidos

5.1 Arquitectura de red Single RAN

La solución de NOKIA es una evolución completamente flexible a Single RAN (SRAN). El refarming, el uso compartido de RF, el uso compartido de la red, la modernización y la evolución de Single RAN permiten a los operadores simplificar sus redes, reducir costos, hacer crecer su negocio y equilibrar las inversiones de manera más eficiente.

Single RAN trae evolución a la red, administración y estructura de operaciones. Single RAN BTS (SBTS) de NOKIA, ofrece tres funcionalidades clave: transporte común, operabilidad común, System Module y RF Module compartidos. Adicionalmente, SBTS puede coexistir con las BTS de RAT dedicados dentro de la misma red.

Single RAN admite una multitud de opciones de uso compartido: banda base, RF, transporte de backhaul y fronthaul, red, espectro; con la ventaja de seguridad de extremo a extremo y una funcionalidad común de Operaciones y Mantenimiento (O&M) integrada en la solución.

En Single RAN, todas las tecnologías de radio están configuradas en el mismo sitio de BTS, lo que garantiza la eficiencia de costos, además, introduce la funcionalidad de Operación y Mantenimiento (O&M) común, con un sistema de administración global. Todos los elementos de red relacionados con el sitio Single RAN están integrados en el Sistema de gestión de elementos NetAct.

La Figura 129 muestra una descripción general de la arquitectura de red Single RAN.

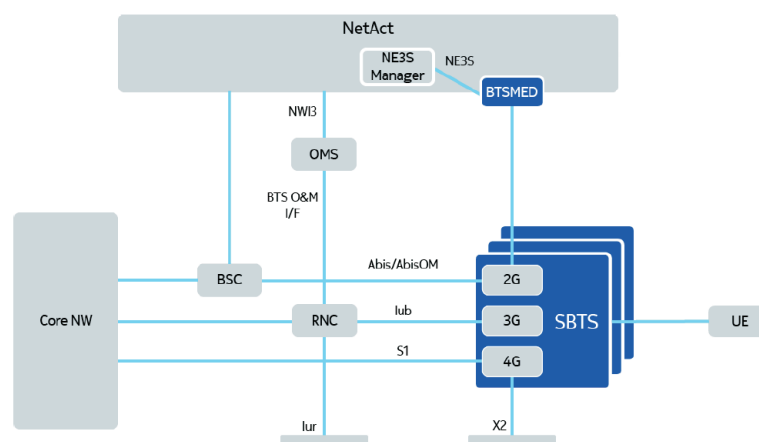


Figura 129. Arquitectura de Sistema SRAN

Fuente: (Networks, 2018)

5.1.1 Productos de la Solución Single RAN NOKIA

El producto Nokia Single RAN, con su nueva arquitectura de software de estación base, permite la creación de una entidad de Estación Base Single RAN (SBTS) que cubre las tecnologías de acceso de radio GSM, WCDMA, LTE. Las funcionalidades clave de Single RAN son transporte común, operabilidad, paridad con las últimas versiones de RAT, Web Element Manager, componentes de RAT y un mediador de BTS compartido. SBTS ofrece la capacidad de ejecutar la

banda base de las tres RAT en una sola BTS Flexi Multiradio 10 BTS. La Figura 130 muestra los componentes de Single RAN Nokia. La solución SRAN consiste en:

- SBTS (Flexi Multiradio 10 System Module), radios, racks, cables y antenas.
- Mediador de BTS, para la mediación del plano de Administración
- Los controladores 2G/3G y OMS, que son comunes para las soluciones Single RAT y Single RAN.
- NetAct, que es el sistema de gestión de elementos para SRAN.

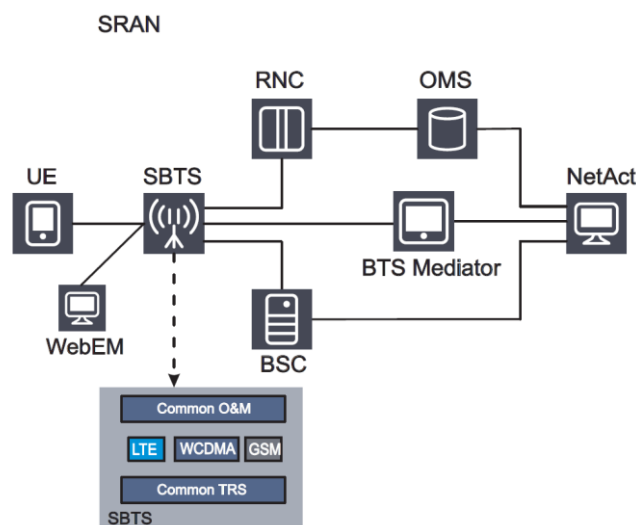


Figura 130. Componentes de Single SRAN Nokia

Fuente: (Networks, 2018)

5.1.1.1 Estación Base Single RAN (SBTS)

La estación base Single RAN de Nokia está conformada por los módulos y submódulos de banda base y módulos de radio de la familia Flexi Multiradio 10.

5.1.1.1.1 Estación Base Flexi Multiradio 10

La estación base Flexi Multiradio 10 soporta poderosamente la solución Nokia Single RAN. Es la estación base más pequeña de los productos NOKIA, de alta capacidad, definida por software y con múltiples tecnologías. La arquitectura del software SBTS requiere solo un System Module para las tecnologías de acceso por radio GSM, WCDMA y LTE.

5.1.1.1.2 Módulos de RF Flexi Multiradio

Las radios de la BTS Flexi Multiradio comprenden el Módulo de Radiofrecuencia (Módulo RF o RFM) y el Cabezal de Radio Remoto (RRH). Los módulos de RF en la BTS Flexi Multiradio 10 son compatibles con el software de aplicación para compartir RF.

El RFM es un módulo de transceptor de radio Multi-Estándar de tres sectores, que consiste en derivaciones independientes, capaces de transmitir y recibir señales de múltiples tecnologías de radio. El RRH es un módulo de transceptor de radio Multi-Estándar de un solo sector, cada rama de la RRH consiste en una cadena de transmisor y receptor, está diseñado para montaje en el exterior y está optimizado para aplicaciones de conexión solamente con jumpers de RF.

5.1.1.1.3 Mediador BTS

El mediador BTS es un nuevo elemento de red (NE) en el producto SRAN. Realiza la función de mediación entre el plano de administración de la BTS y el EMS de destino (Sistema de gestión de elementos). La funcionalidad de mediación comprende la recopilación, armonización, conversión y la distribución de los datos.

La tarea principal del Mediator BTS es proporcionar la conversión del modelo de información externo al modelo de información interno de la BTS, y mediar las operaciones de gestión de red entre NetAct y las BTS.

5.1.1.1.4 Administrador WEB de elementos de red

SRAN introduce una herramienta común y uniforme de Administrador de Elementos para la Gestión de Elementos BTS SRAN. Las principales áreas funcionales del SBTS Element Manager son la puesta en marcha, la resolución de problemas, el software y las actualizaciones de configuración.

La funcionalidad de WebEM también se puede usar cuando el enlace de O&M a NetAct no está disponible.

5.1.2 Despliegue Single RAN

El despliegue de SRAN se puede realizar en fases de acuerdo con las necesidades del operador. Las redes de radio GSM, WCDMA y/o LTE existentes pueden transportar tráfico, mientras que los SBTS nuevos se utilizan dentro de la misma área de red. También es posible migrar las tecnologías existentes (WCDMA/LTE) a SRAN y agregar RAT adicionales más adelante.

La instalación y puesta en servicio de una SBTS siguen los mismos principios que los RAT BTS dedicados:

- Instalación del nuevo software SBTS, la configuración del sitio común y la actualización del plan de red de radio para la nuevo SBTS se puede realizar de forma remota si no hay cambios de hardware.
- Reutilización del System Module Flexi Multiradio 10 existente en la configuración de SRAN se puede realizar localmente en el sitio BTS.
- Comisionamiento local de la nueva SBTS utilizando SBTS Element Manager, se requiere un SCF (Script Configuration File) para comisionar SBTS localmente.

5.1.2.1 Reutilización de hardware y Modernización de sitio existente a Single RAN

La modernización de un sitio implica la implementación de un nuevo sitio Single RAN tomando como base y reutilizando del hardware de una BTS existente que se está utilizando en modo dedicado.

Una BTS existente en modo dedicado se puede modernizar a SBTS, los cambios de BTS existentes al modo Single RAN y las nuevas RAT se pueden agregar al SBTS mediante el Asistente de puesta en servicio de NOKIA.

En el proceso de modernización, el O&M que se encuentra separado en BTS de RAT específicas se reemplaza por un O&M común en la SBTS.

La Figura 131 ejemplifica la modernización de una BTS hacia la SBTS Single RAN.

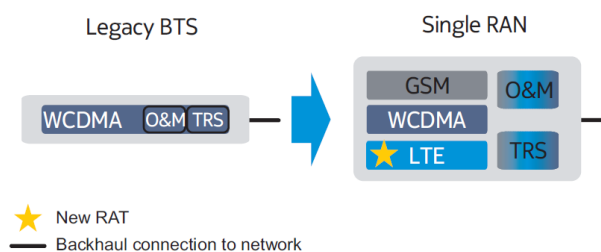


Figura 131. BTS Legacy mejorada con Single RAN y nueva RAT de LTE

Fuente: (Networks, 2018)

Las prácticas de despliegue de Single RAN único ofrecen a los operadores los siguientes beneficios:

- Hasta tres tecnologías de radio: WCDMA, FDD-LTE y GSM en una BTS en un mismo sitio

- Una configuración de sitio común para la SBTS, en lugar de diferentes configuraciones de compartición de RF, lo que implica menos parámetros a configurar y menor complejidad
- Una configuración de transporte común para el sitio SBTS
- Un paquete de software para la SBTS que incluye los componentes de software necesarios para todas las tecnologías incluidas
- Un proceso de descarga y activación de software para la SBTS, en lugar de procesos de descarga de software específicos para cada RAT evitando posibles problemas de compatibilidad de software.

5.2 Operación y Mantenimiento de Single RAN

La administración y operación de las estaciones base Single RAN requieren una plataforma unificada que permita administrar las capacidades y las funcionalidades de todas las tecnologías de radio. Por esta razón Nokia presenta una nueva propuesta para la operación de Single RAN.

5.2.1 Arquitectura de O&M de Single RAN

La solución Single RAN de Nokia presenta un nuevo modelo de información armonizado y una arquitectura común de Operación y Mantenimiento (O&M) con el Mediador BTS como la interfaz O&M entre la SBTS y NetAct. La SBTS proporciona las mismas funcionalidades y capacidades en diferentes tecnologías de radio para operaciones y mantenimiento.

Las principales funcionalidades incluyen:

- El Mediador BTS, que proporciona las operaciones de administración de red entre NetAct y las BTS.
- Software común y gestión de la configuración del sitio

- Soporte para mantenimiento y recuperación de niveles de RAT Flexibles.
- Administrador de elementos SBTS basado en web

La arquitectura de alto nivel de O&M comprende el NetAct y el BTSMED, con el BTSMED como interfaz O&M entre la SBTS y el NetAct. En el nivel de BTS, el O&M de la SBTS está completamente desacoplado de las aplicaciones RAT, este O&M verdaderamente armonizado es uno de los habilitadores claves para admitir la funcionalidad de compartición de los System Modules. La Figura 132 muestra una descripción general de la arquitectura de O&M para Single RAN.

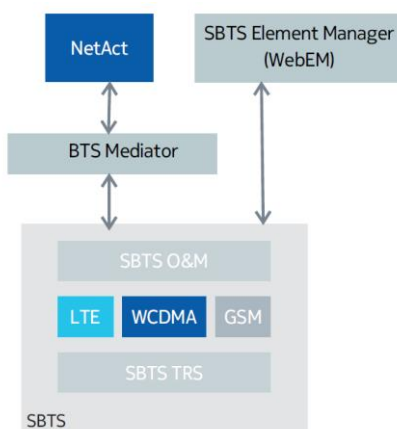


Figura 132. Arquitectura O&M de una SBTS
Fuente: (Networks, 2018)

5.2.2 Administrador de elementos basado en web (WebEM)

En Single RAN los administradores de sitios BTS independientes para cada RAT se reemplazan con una sola interfaz de usuario. SBTS Element Manager es una aplicación web que se carga directamente desde la BTS. Se puede usar tanto local como remotamente, sin la necesidad de

instalar ningún software adicional en el lado del operador o el usuario. Además, no requiere actualizaciones por cada actualización de la versión de software de la BTS.

WebEM funciona con los navegadores Google Chrome y Mozilla Firefox, los usuarios se autentican utilizando una base de datos de usuarios centralizada de NetAct o de las credenciales configuradas en la BTS para los usuarios locales. El SBTS Element Manager es una nueva herramienta con un conjunto dedicado de características y funcionalidades:

- Configuración de la SBTS
- Gestión de software de la SBTS
- Verificación del estado del hardware/software de la SBTS:
 - Estado del software e información de la versión
 - Vista de equipos configurados
 - Propiedades del sitio
 - Estado de sincronización
 - Los procedimientos de prueba locales verifican la funcionalidad del hardware.
- Vista de estado de falla/alarma
- Creación y carga de Respaldos de Configuración
- Ejecución de pruebas off-line con su respectivo reporte de resultados
- Plataforma multisesión con un máximo de 10 sesiones
- Autenticación de usuarios mediante la base de datos de usuarios centralizada (CNUM) de NetAct o de las credenciales de los usuarios locales. La compatibilidad con el inicio de sesión único de NetAct se utiliza para conectar WebEM al entorno NetAct.

La Figura 133 muestra la interfaz gráfica del WebEM y sus componentes.

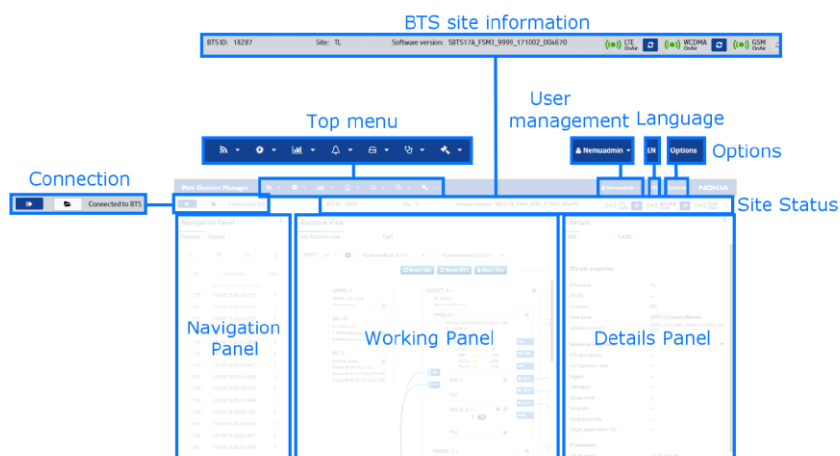


Figura 133. Diseño de la interfaz de usuario del Web Element Manager
Fuente: (Networks, 2018)

5.3 System Modules de la SBTS

El System Module que compone una SBTS es el FSMF, de la familia de la BTS Flexi Multiradio 10. El FSMF proporciona una solución SRAN simplificada con posibilidad de compartir módulos de banda base, módulos de RF y sus fibras de conexión, convirtiéndose en una plataforma multiradio para GSM, WCDMA y LTE.

El System Module FSMF puede utilizarse en dos configuraciones:

- System Module (FSMF)

En una configuración de un solo System Module se muestra en la Figura 134, la capacidad de banda base puede compartirse entre GSM y LTE, o GSM y WCDMA; sin embargo, entre LTE y WCDMA no se permite la compartición de la capacidad de banda base, por lo cual se requiere obligatoriamente dos submódulos de expansión de banda base FBBA/C, donde cada submódulo será destinado para una sola RAT.

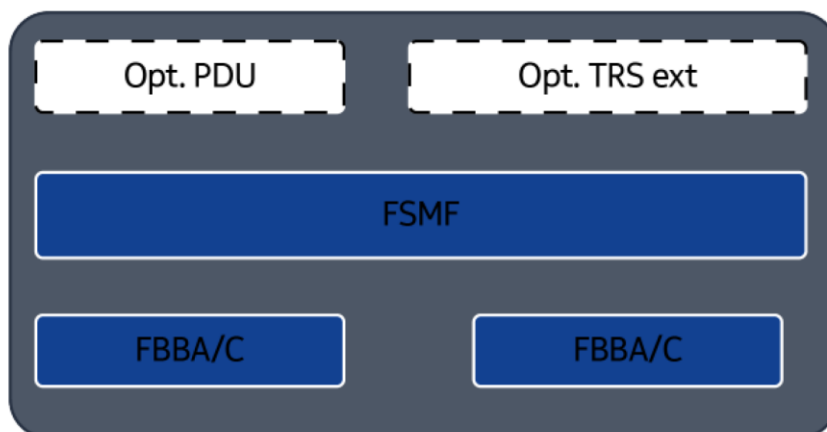


Figura 134. System Module de la BTS Flexi Multiradio 10
Fuente: (Networks, 2018)

- System Module Dual (FSMF + FSMF)

El soporte de dos System Modules FSMF, esquematizados en la Figura 135, permite el uso de una BTS lógica de alta capacidad, en la cual se pueden implementar hasta tres RAT (GSM, WCDMA, LTE) dentro de dos FSMF interconectados para lograr una BTS lógica de SRAN.

La capacidad de la SBTS se puede ampliar utilizando dos System Module, la configuración obtenida de esta combinación es una solución SBTS potente y escalable.

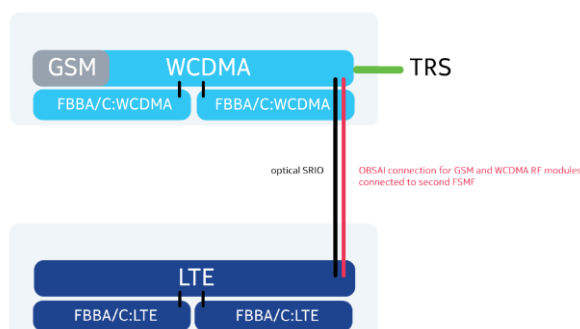


Figura 135. Configuración de dos System Module (FSMF + FSMF)
Fuente: (Networks, 2018)

5.3.1 Compartición de System Modules

El diseño de una Banda Base multipropósito o System Module de NOKIA, permite utilizar el mismo hardware de banda base para múltiples tecnologías de RF como se muestra en la Figura 136, con una plataforma de software a la vez, lo que simplifica su instalación, operación y mantenimiento.

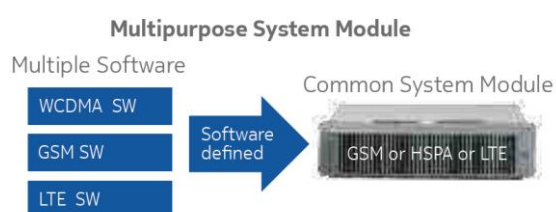


Figura 136. Banda Base Multipropósito

Fuente: (Networks, 2014)

El diseño modular de la banda base permite a un operador comenzar con pequeñas configuraciones de cobertura y escalar a medida que la red y el mercado crecen proporcionando mejoras de capacidad graduales. La capacidad de procesamiento de banda base se puede ampliar mediante actualizaciones de software remotas, agregando submódulos de capacidad y añadiendo módulos adicionales en cascada. Por ejemplo, conectar uno o dos submódulos del sistema permite aumentar la capacidad dos o tres veces sin la necesidad de un nuevo módulo de banda base. La Figura 137 muestra la reducción de la cantidad de System Modules necesarios para una misma aplicación, con la instalación de los submódulos de ampliación de capacidad.

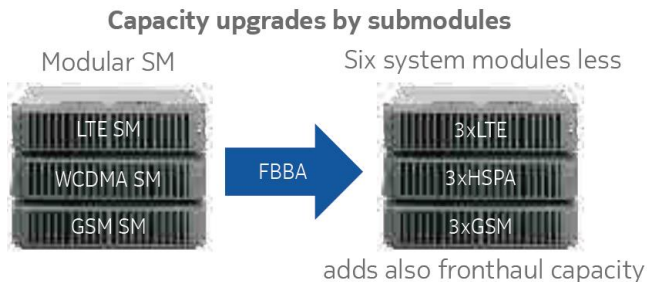


Figura 137. Ampliaciones de capacidad con el System Module

Fuente: (Networks, 2014)

La solución NOKIA propone además una miniaturización de banda base que permite el uso compartido de módulos de banda base para reducir aún más la cantidad de equipamiento necesario en una estación base y así simplificar aún más las redes como se muestra en la Figura 138.

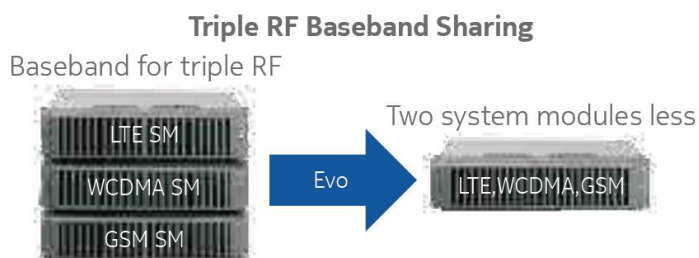


Figura 138. Ampliaciones de capacidad con el System Module

Fuente: (Networks, 2014)

Single RAN ofrece la capacidad de ejecutar la banda base de las tres RAT individuales en un único System Module. El uso compartido del System Module permite la implementación de GSM, WCDMA y LTE en un mismo módulo FSMF con submódulos de extensión de banda base FBBA/C opcional. Una SBTS admite configuraciones de RAT único, 2-RAT y 3-RAT como se muestra en la Figura 139.

La configuración mínima en un escenario de 2-RAT está conformada por el núcleo del FSMF sin ningún submódulo de extensión. Dicha configuración tiene una capacidad limitada, pero, la

adición de submódulos de ampliación aumenta la capacidad de banda base y permite agregar una tercera RAT.

En el modo de compartición del System Module, GSM se asigna en el núcleo del FSMF (no en la tarjeta FBBA/C), ya que los recursos adicionales de banda base para WCDMA y LTE serán asignados a los submódulos de extensión FBBA/C.

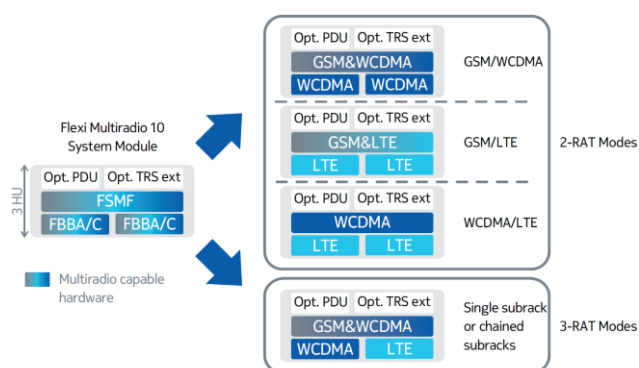


Figura 139. Modos de compartición del System Module en 2-RAT y 3-RAT
Fuente: (Networks, 2018)

5.3.2 Refarming

El refarming es un método de mejora del espectro que permite reutilizar el espectro existente para el despliegue de nuevas RAT. A medida que disminuye el tráfico GSM, el espectro se puede reubicar en UMTS y LTE, por lo tanto, la capacidad de UMTS o LTE puede aumentarse mediante el refarming de las portadoras de GSM e incluso de portadoras de UMTS o LTE.

Refarming de algunas frecuencias GSM existentes con LTE y HSPA ofrece al operador un método rentable para optimizar la capacidad, cobertura y las tasas de datos de LTE y UMTS, además de grandes ahorros y mayores oportunidades de negocios. El despliegue real de la red es mucho más simple con Single RAN, en particular, la implementación de sitios Single RAN

haciendo uso del refarming puede reducir el número de sitios de estaciones base hasta en un 70%, esto se traduce en una reducción en el gasto de capital de las estaciones base (CAPEX) y el gasto operativo (OPEX). La Figura 140 muestra el área de cobertura para cada banda de frecuencia donde se puede observar que el despliegue LTE en 1900 MHz incrementa la cobertura de la celda hasta 2 veces en comparación con el despliegue de LTE en 2100 MHz.

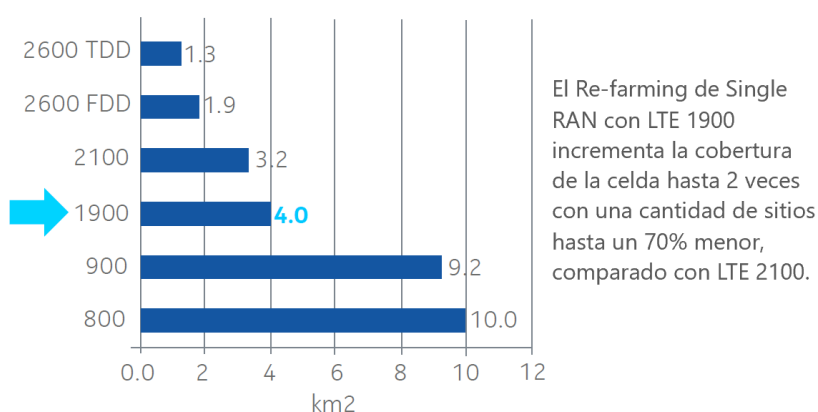


Figura 140. Banda de Frecuencia vs área de cobertura de la celda
Fuente: (Networks, 2014)

Refarming en una banda estrecha de frecuencia GSM puede representar un problema porque la forma tradicional de introducir una mayor capacidad después de alcanzar el límite del espectro es dividir los sitios de la estación base GSM mediante la creación de una micro capa. Por lo general, esto significa una gran cantidad de sitios de estaciones base adicionales con un largo despliegue y una menor calidad de la red GSM. Con el software *Nokia Liquid Radio GSM*, los operadores pueden realizar un refarming en la capa macro, que es mucho más fácil y rápido de hacer. La solución de Nokia también utiliza menos espectro GSM que otras soluciones y mantiene una alta calidad de red GSM, en la actualidad, los paquetes de software *Nokia Liquid Radio* permiten que los servicios GSM ejecuten una capacidad equivalente a 4 + 4 + 4 Módulos de RF GSM en un

ancho de banda de 3.8 MHz, liberando un 35% de la capacidad de espectro para el refarming a HSPA y LTE.

5.4 Compartición de Módulos de RF de la SBTS

La compartición de RF está habilitada por el hardware de la SBTS, en la práctica se cambia de Amplificadores de potencia de portadora única (SCPA) en GSM a Amplificadores de potencia de portadora múltiple (MCPA) como se usa en redes LTE y HSPA. Esto abre la puerta para el refarming porque con una simple actualización de software, la estación base RF existente ahora puede usarse simultáneamente para GSM y LTE, o GSM y HSPA, dependiendo de la banda de frecuencia. La compartición de RF de HSPA y LTE está disponible en todos los módulos RF de Nokia sin requerir la actualización del software. La Figura 141 muestra las combinaciones de compartición de RF entre las tecnologías de radio.

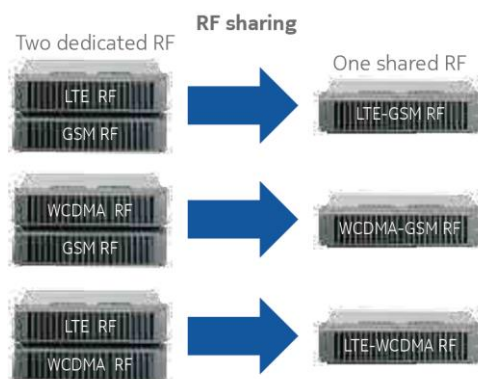


Figura 141. Ejemplos de Compartición de RF

Fuente: (Networks, 2014)

La compartición del System Module trae cambios a la compartición de módulos de RF, debido a que una SBTS requiere que solo una fibra se enrute al System Module, a diferencia de una compartición de RF tradicional donde dos fibras se enrutan desde cada System Modules con RATs

independiente hacia los elementos de radio. La Figura 142 muestra los dos escenarios de compartición de RF, con y sin la compartición del System Module.

En este caso de compartición de System y RF Modules que utiliza una sola fibra, todas las tecnologías de radio se multiplexan en la misma conexión. Una solución de fibra compartida mejora la conectividad y simplifica la estructura del sitio, ya que se utilizan menos fibras.

La solución Single RAN de Nokia tiene un conjunto de configuraciones compatibles para la compartición de módulos RF, donde cada modelo de equipo define una configuración específica.

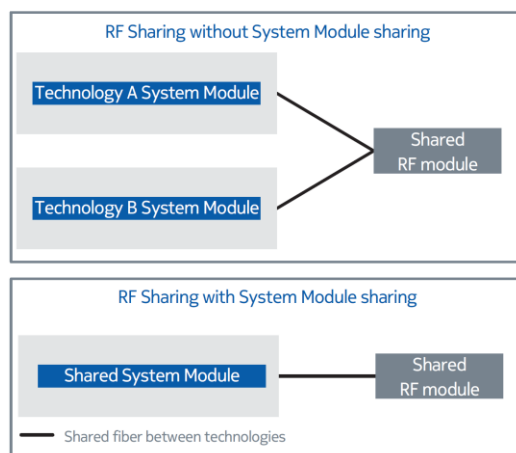


Figura 142. Compartición de RF con y sin compartición de System Module
Fuente: (Networks, 2018)

5.4.1 Conexión en cascada del RF Module OBSAI

La conexión en cascada del módulo RF OBSAI, conecta dos radios en una sola cadena como se muestra en la Figura 143, sin embargo, la cantidad de cadenas está limitada por el número de puertos ópticos disponibles en el System Module. En RF Modules conectados en cascada, el Operador puede configurar LTE, WCDMA, GSM, por separado o combinados, considerando que los RF Modules aun en la conexión en cascada se pueden utilizar en modo compartición de RF.

La conexión en cascada permite implementar sitios que requieren menos enlaces ópticos, especialmente en sitios distribuidos donde el System Module y los RF Modules están separados por largas distancias. Adicionalmente este tipo de conexión en cascada permite la conexión de una mayor cantidad de RF Modules sin la limitante de la cantidad de puertos ópticos OBSAI disponibles en el System Module.

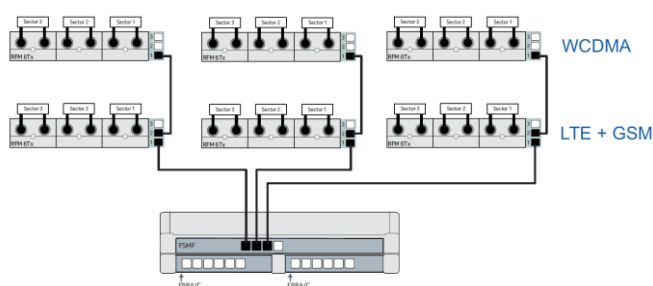


Figura 143. Conexión en cascada del RF Module OBSAI
Fuente: (Networks, 2018)

5.5 Transporte de Backhaul de la SBTS

En un despliegue tradicional, cada tecnología de Radio tiene su propia red de transporte; TDM para GSM y ATM o IP/Ethernet para HSPA. La solución de transporte Single RAN de NOKIA consiste en una red de backhaul IP/Ethernet segura y de alta capacidad para GSM, HSPA y LTE, compatible con las Estaciones Base Nokia Flexi. Esta solución compartida e integral evita la necesidad de gabinetes separados o múltiples aplicaciones de O&M para la supervisión del transporte de backhaul.

La compartición de los enlaces de transporte de Backhaul, como se muestra en la Figura 144 apunta a simplificar la red migrándola a un transporte IP/Ethernet compartido que pueda soportar

GSM, HSPA y LTE, eliminando así la necesidad de enlaces de transporte TDM para enlaces de transporte GSM y ATM para HSPA.

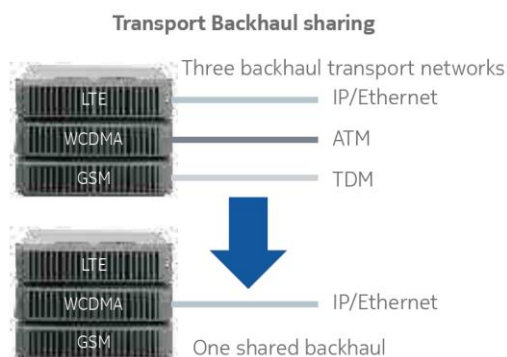


Figura 144. Compartición de Transporte en Backhaul
 Fuente: (Networks, 2014)

El transporte común es una de las funcionalidades clave introducidas en Single RAN, en lugar de tener un transporte para cada una de las RAT, solo hay una entidad de transporte compartida en la SBTS. El transporte común se puede conectar a las aplicaciones de banda base de una sola RAT o de las tres RAT, a pesar de esto la SBTS en la capa de transporte se la visualiza como un único host IP.

La Figura 145 muestra una comparación de una solución de transporte de BTS heredada y el Transporte común en una solución Single RAN.

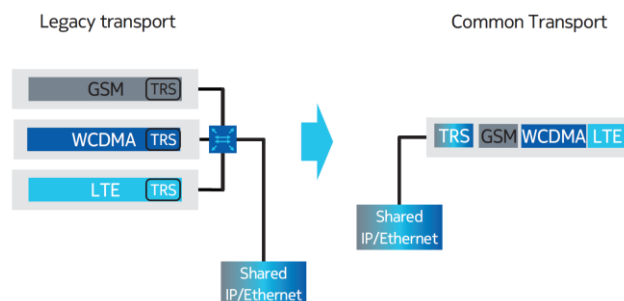


Figura 145. Conexión en cascada del RF Module OBSAI
 Fuente: (Networks, 2018)

El transporte común proporciona los siguientes beneficios:

- Una sola dirección IP física para la SBTS
- Un enfoque en los modos de transporte basados en IP/Ethernet
- Un único conjunto de características de transporte de la SBTS que cubre todas las RAT
- Calidad de servicio (QoS) totalmente flexible con programadores de primer y segundo nivel diseñados para el escenario multiradio
- Un único túnel IPsec que incluye todo el tráfico de todas las aplicaciones de radio
- Operación de transporte unificado.
- Alto rendimiento

Los modos de transporte soportados por Single RAN se muestran en la Tabla 23.

Tabla 23

Modos de Transporte Soportados por Single RAN

Tecnología de acceso de radio	Modo de transporte
LTE	S1/X2 sobre IP/Ethernet
WCDMA	IP Iub sobre Ethernet o TDM
GSM	Packet Abis sobre Ethernet o TDM

5.5.1 Direccionamiento IP de la SBTS

Las interfaces de transporte de la SBTS admiten la pila dual IPv4/IPv6, en Single RAN es posible asignar aplicaciones a direcciones IP con alta flexibilidad.

La SBTS tiene un punto de terminación para todas las conexiones IP y para todas las RAT, se pueden usar direcciones IP virtuales o direcciones IP de alias para las diferentes aplicaciones. Estas direcciones IP pueden ser compartidas o dedicadas entre las RAT y/o planos de aplicación.

La SBTS tiene exactamente una dirección IP para el plano M (Plano de Administración), que puede ser compartida o dedicada con otras aplicaciones.

La Figura 146 muestra ejemplos de direccionamiento IP en SRAN, donde:

- Se utiliza una sola dirección IP física para la SBTS.
- El direccionamiento del plano M está separado de los planos U/C/S (Usuario/Control/S2).
- Se utiliza una dirección IP lógica para cada plano U/C para cada RAT, una dirección IP lógica dedicada para el plano S y una dirección IP lógica dedicada para el plano M.

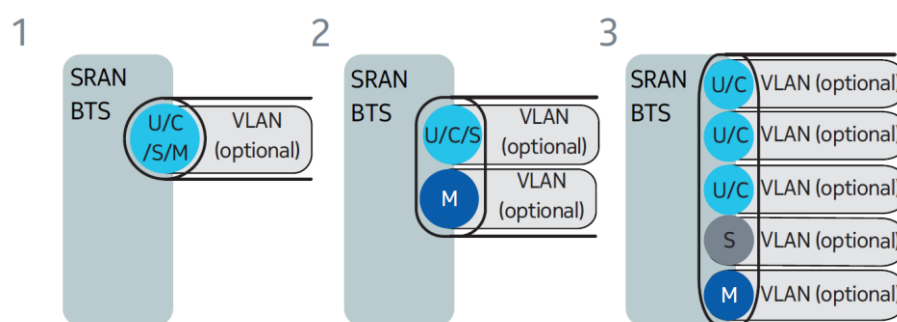


Figura 146. Ejemplos de direccionamiento IP para Single RAN

Fuente: (Networks, 2018)

5.5.2 Seguridad IP de la SBTS

Single RAN proporciona seguridad de transporte basada en IPsec, de acuerdo con las especificaciones 3GPP TS 33.210. Ofrece confidencialidad de datos y protección de integridad, autenticación de origen de datos y protección contra repetición utilizando el protocolo ESP (RFC4303). Toda SBTS establece conexiones seguras, a través de un túnel IPsec, con uno o varios Security Gateways remotos. La Figura 147 muestra un esquema general de IPsec de extremo a extremo del transporte backhaul.

El mapeo de IPsec Security Association (SA) proporciona completa flexibilidad en términos de flujo de tráfico, por ejemplo:

- IPsec SAs dedicadas exclusivamente para el tráfico de una determinada RAT
- IPsec SAs dedicadas exclusivamente para determinado plano de una determinada RAT
- IPsec SAs compartidas para todo tráfico, utilizando un solo Túnel IPsec

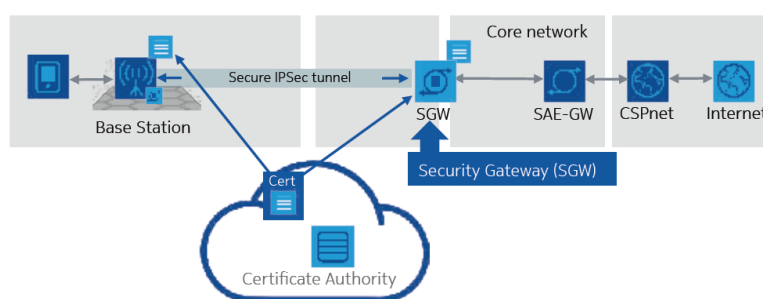


Figura 147. Descripción general de la solución de extremo a extremo IPsec de Nokia
Fuente: (Networks, 2014)

5.5.3 Calidad de Servicio del Transporte de la SBTS

Los flujos de tráfico se pueden asignar libremente a los planificadores de primer nivel, los cuales multiplexan en conjunto los flujos de tráfico que provienen de diferentes RAT con ciertas clases de QoS. Los planificadores de primer nivel permiten priorizar, conformar y limitar flujos o combinaciones de flujos de acuerdo a las preferencias del operador, un gran número de programadores de primer nivel ayuda a configurar un gran número de flujos de tráfico independientes de forma independiente.

El programador de segundo nivel se asegura de que los flujos de tráfico salientes (para la interfaz Ethernet o el grupo PPP) encajen en el canal de salida.

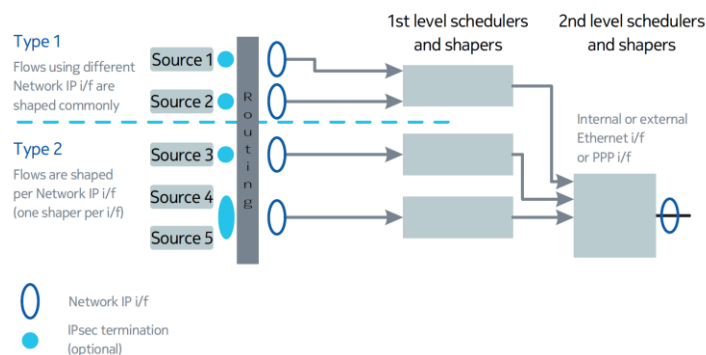


Figura 148. Ejemplos de QoS con programadores de nivel 1 y 2
Fuente: (Networks, 2018)

La Figura 148 ejemplifica las comunicaciones de backhaul con el empleo de QoS y programadores de primer y segundo nivel. La solución de transporte común admite una tabla de mapeo común para las diferentes prioridades, la misma QoS o prioridad se puede aplicar a los flujos de tráfico que provienen de diferentes RAT, con la ventaja de que en Single RAN debe hacerse solo una vez, en lugar de administrarlo de forma independiente para cada RAT y/o plano.

5.6 Configuración de la SBTS Single RAN

La introducción de una arquitectura única de BTS para todas las RAT proporciona un nuevo modelo de objeto armonizado para SRAN con un nuevo enfoque de configuración, que separa el hardware configurado del hardware detectado y clasifica los parámetros según su uso.

La configuración de la SBTS se realiza mediante la implementación de un solo archivo de configuración (SCF) para toda la SBTS, el alcance de la configuración de la BTS incluye hardware, transporte y configuración de red de radio para LTE, ya que la configuración de radio para GSM y WCDMA es administrada por los controladores BSC/RNC.

5.6.1 Configuración por Modelo de Objetos

La arquitectura Single RAN se refleja en el modelo de objeto del elemento de red, un nuevo objeto SBTS se introduce para representar la configuración de la estación base Single RAN. Este nuevo objeto SBTS se encuentra directamente debajo de la PLMN, y por lo tanto requiere un ID de instancia único dentro de la PLMN. En Single RAT WCDMA y GSM, la configuración del sitio de la estación base (MRBTS, BTSSCC, BTSSCU, BTSSCG) se modela según los objetos RNC/WBTS y BSC/BCF.

El objeto SBTS representa el sitio y la configuración de transporte de una estación base de Single RAN que puede configurarse para múltiples tecnologías, la asociación entre la configuración de la red de radio en RNC/WBTS y/o en BSC/BCF con un SBTS se define por atributos de relación.

Un SBTS comisionado informa su ID hacia RNC y BSC utilizando el ID SBTS, NetAct construye una relación entre el SBTS y la configuración de red de radio respectiva en el controlador. La configuración de la red de radio LTE se modela directamente bajo el árbol de contención SBTS.

La Figura 149 ilustra el modelo de objeto de Single RAN, la línea continua representa la relación padre-hijo y la línea de puntos representa la relación mediante el atributo *SBTSId*. Es importante tener en cuenta que la imagen no incluye todas las clases de objetos disponibles en la configuración de la SBTS.

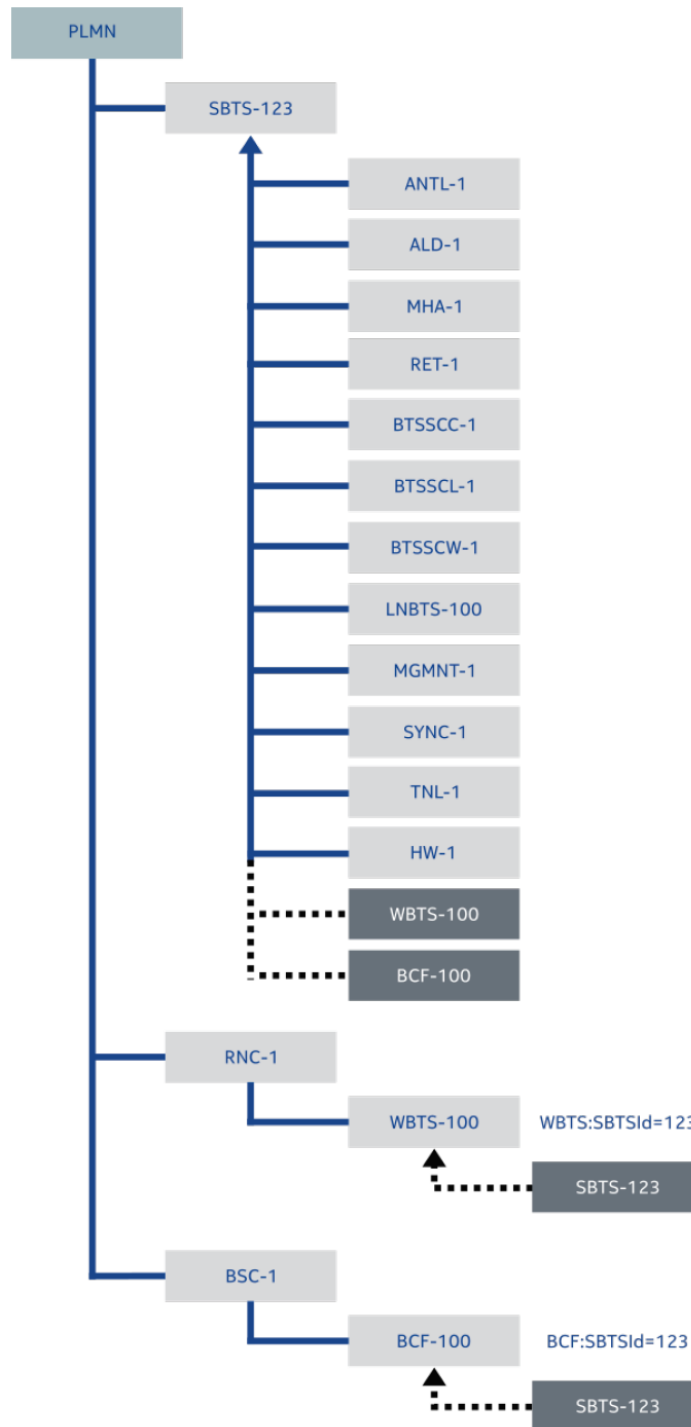


Figura 149. Modelo de Objeto de Single RAN
 Fuente: (Networks, 2017)

El árbol de configuración de la SBTS incluye el modelado de objetos para:

- Recursos comunes de RAT independientes, por ejemplo, dispositivos de línea de antena (ALD), administración (MGMNT), sincronización (SYNC), transporte (TNL) e inventario de hardware (HW).
- Recursos de red que no son de radio para RAT específicas, como configuraciones de celdas locales (BTSSCC, BTSSCL, BTSSCW). Los parámetros heredados de GSM, WCDMA y LTE han tenido que ser adaptados al contexto de la SBTS, por lo tanto, las definiciones de parámetros entre las estaciones base Single RAT y SBTS son ligeramente diferentes.

El modelo de objeto de configuración de radio en RNC/WBTS, BSC/BCF y LTE/LNBTS es el mismo en Single RAT y Single RAN, esto implica que son válidas las mismas jerarquías y versiones de objetos de red de radio tanto para Single RAT como para Single RAN.

A continuación, se describe información más detallada sobre los objetos en la *Figura 150* del modelo de objeto para Single RAN:

- SBTS
 - Identificadores
 - Perfiles
 - Estados
- ANTL, ALD, MHA, RET
- Líneas de antena y dispositivos de línea de antena.
- BTSSCC - GSM, BTSSCL - LTE, BTSSCW - WCDMA
 - Configuración de sitio de RAT específica

- Celdas locales, grupos de celdas locales
 - Control y plano de usuario.
 - Plano de gestión hacia la BSC.
 - Parámetros de la función de radio
- LNBTS
- Configuración de radio para LTE
- MGMNT
 - Gestión de la SBTS
 - Plano de gestión
 - Gestión de cuentas de usuario
 - Gestión de certificados
 - DNS
 - Capacidad de configuración y limitación.
 - Alarmas externas, control de dispositivos externos y climatización.
 - Gestión del rendimiento
 - Administración de seguridad
 - Solución de problemas
- SYNC
 - Sincronismo
 - Modo de sincronismo
 - Fuentes de sincronismo
 - Lista de prioridades de sincronismo
 - Sincronización de tiempo

- Salidas de reloj de sincronismo
- TNL
 - Capa de la red de transporte.
 - Capa física
 - Ethernet
 - PPP
 - Interfaces IP
 - Enrutamiento IP
 - Seguridad del transporte
 - Calidad de servicio QoS
 - Operación y mantenimiento de redes de transporte.
 - Protección
- HW
- Inventario de hardware
- WBTS
- Configuración de radio WCDMA
- BCF
- Configuración de radio GSM

5.6.2 Configuración del sitio SBTS

La SBTS es compatible con las operaciones de configuración básica: aprovisionamiento de la configuración que incluye la descarga, validación y activación; carga; notificaciones de cambio de configuración siguiendo los mismos principios básicos que las estaciones base Single RAT.

La SBTS se comisiona con un archivo de configuración de sitio SCF basado en XML, para la elaboración del SCF se pueden usar plantillas específicas de objetos que ayudan a construir la configuración con las aplicaciones NetAct.

La SBTS introduce un nuevo concepto, el perfil de BTS, para la gestión de la configuración. Los perfiles BTS proporcionados por Nokia representan las configuraciones de hardware de la SBTS admitidas y predefinidas. Un perfil BTS forma parte del paquete de software SBTS y es un archivo de extensión .json que proporciona una configuración de hardware detallada para la estación base, cada perfil incluye documentación de instalación para el ingeniero de campo, que describe qué componentes de hardware están incluidos y cómo están conectados físicamente en el sitio.

Basado en el perfil de SCF y BTS, SBTS genera automáticamente su configuración interna. El ID de perfil de BTS es un parámetro obligatorio en el archivo de configuración del sitio SBTS. Al configurar un SBTS, se selecciona el perfil BTS que mejor se adapte a la evolución de hardware esperada del sitio. El perfil seleccionado define la configuración de hardware máxima del sitio SBTS, incluida la posible expansión futura, no necesariamente la configuración de hardware exacta del sitio SBTS actual.

CAPÍTULO VI

MODELO DE COSTOS SINGLE RAN

La motivación para el modelado de costos de Single RAN es analizar los beneficios comerciales en cuanto a la rentabilidad y la eficiencia de la solución Single RAN presentada anteriormente. El objetivo es reconocer las estructuras de costo de las diferentes estrategias de despliegue de una BTS según un mismo escenario. El análisis del TCO (Costo total de Propiedad) de las estrategias Overlay y Single RAN es esencial en términos de la viabilidad del Single RAN. Se espera que Single RAN proporcione una mejor escalabilidad para el creciente tráfico móvil y reduzca los costos en la RAN.

El dimensionamiento del sitio BTS modelo se basa en especificaciones reales de las soluciones de RAN marca Nokia, para ofrecer una visión más realista de la viabilidad de Single RAN en términos de costos. El modelado de costos de Single RAN se explica con más detalle en el siguiente punto.

6.1 Modelo de Costos TCO Single RAN

El modelo TCO para Single RAN evalúa la estructura del costo de las estrategias de despliegue Overlay y Single RAN para determinar la opción de implementación de una BTS técnicamente más viable y más económica. El modelo se basa en el dimensionamiento de la BTS para cada escenario, la cuantificación de recursos, el modelo matemático y los cálculos de costos.

El dimensionamiento de la BTS para cada escenario se utiliza para calcular el número de equipos necesarios para la implementación de la estación base, las características del sitio en cuanto a la

transmisión de backhaul, así como su configuración de la BTS. El modelo matemático se utiliza para estimar el espacio requerido para la implementación del sitio y determinar los costos de alquiler del sitio, adicionalmente se utiliza para estimar el número de visitas al sitio requeridas para las tareas de mantenimiento del sitio, junto con la duración de cada visita. La parte de cálculos de costos calcula el CAPEX y el OPEX a partir de los resultados del dimensionamiento de la red.

Para este modelo de costos se establecen los siguientes supuestos:

- Se define un modelo de BTS WCDMA + LTE, que será dimensionado para las dos estrategias de despliegue: Overlay y Single RAN.
- Se definen dos sitios existentes que cumplen la configuración de la BTS modelo, cada uno con una estrategia de implementación diferente.
- Se supone que la infraestructura del sitio es la misma para los dos escenarios de modelado.
- Se supone que la estrategia de despliegue Overlay es la estrategia actualmente utilizada por los operadores para el despliegue de sus BTS UMTS y LTE.
- Los cálculos de CAPEX no incluyen materiales de cableado de fibras y alimentadores de guía de onda para RF, ya que se supone que la BTS modelo requiere los mismos materiales para las dos soluciones.
- El modelo no incluye el costo de construcción del sitio.
- El modelo no incluye costos de la red de transporte para backhaul, ni tampoco los costos de servicios especializados de RF para el afinamiento de los parámetros de radio del sitio (Initial Tuning).

- En la práctica, los sitios pueden tener diferentes configuraciones de celdas, pero en el modelo se establece la cantidad de celdas del sitio, manteniendo la homogeneidad de los dos escenarios.

El modelo sigue el diagrama de flujo de la Figura 150 y se puede dividir en tres partes, que son los datos de entrada del modelo, el dimensionamiento del sitio y los cálculos de costos.

La primera parte del modelo son los datos de entrada del modelo, que consisten en los datos que definen el sitio a ser implementado y que permitirán realizar el dimensionamiento del sitio y los cálculos de costos. Esto incluye los datos técnicos del sitio como cantidad de celdas, los datos de configuración del sitio como cantidad de sectores, los datos del hardware disponible para la implementación del sitio y los datos financieros.

La segunda parte del modelo es el dimensionamiento del sitio, que consiste en el dimensionamiento de los módulos de banda base (System Module) y módulos de RF (RF Modules) necesarios para la configuración del sitio. La tercera parte son los cálculos de costos, donde el CAPEX y OPEX se calculan para cada estrategia de implementación.

La parte final del modelo son los cálculos de costos que permitirán determinar los Costos Totales de Propiedad (TCO), para este cálculo se tomará en consideración la implementación del sitio adoptando la estrategia Overlay y la estrategia Single RAN.

En el siguiente punto se describirá el modelo creado para Single RAN, explicando primero los diferentes conjuntos de datos de entrada y luego se procederá a explicar el dimensionamiento del sitio y los cálculos de costo para determinar las cifras de TCO para cada uno de los escenarios evaluados.

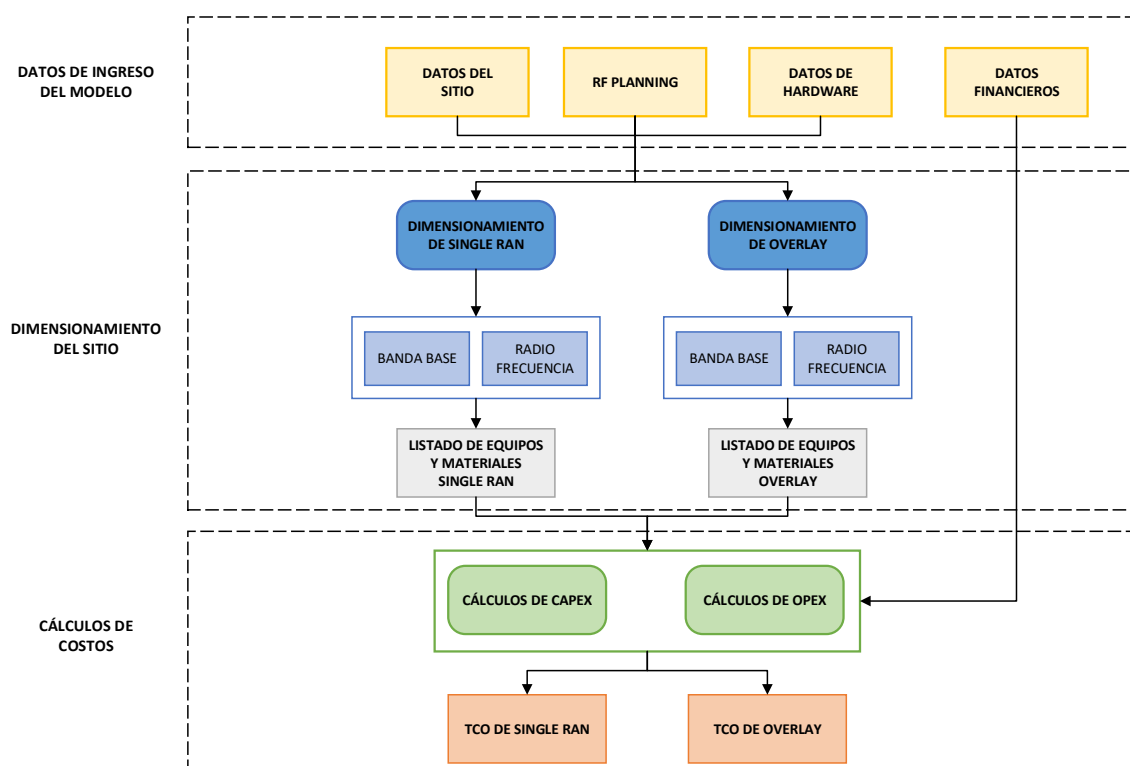


Figura 150. Estructura del Modelo de Costos Single RAN

6.1.1 Datos de Ingreso del Modelo

Se requieren cuatro conjuntos de datos diferentes como entradas para los cálculos del modelo TCO para Single RAN. Los conjuntos de datos son datos del sitio celular, RF planning, datos de Hardware y datos financieros.

6.1.1.1 Datos del sitio celular

Este modelo utiliza algunos datos de entrada de la configuración del sitio celular que se detallan en la Tabla 24, los datos se recopilan del operador y se ingresan como una entrada al modelo. Los datos del sitio celular especifican tanto los parámetros como la configuración de celdas del sitio.

Tabla 24
Datos del sitio Celular

Nombre	Parámetros de entrada	Información
Tipo de Sitio	Tipo de sitio a construir para la BTS - Greenfield (Suelo) - Fast Site (Rápido Despliegue) - Rooftop (Terraza) - Cositing (Co-ubicación) - Up grade (Modernización) - Low Cost Sencillo (Poste) - IBS (Indoor Base Station)	Utilizado para definir los parámetros de búsqueda de los sitios candidatos, junto con los tiempos de construcción del sitio.
Tipo de Estructura	Tipo de estructura a implementar para la BTS - Torre - Monopolo - Torreata - Mástiles	Determinado generalmente por los objetivos de cobertura requeridos, y la altura necesaria para las antenas celulares.
Tecnologías de Acceso	Configuración de las tecnologías de acceso del sitio - 2G - 3G - 4G y sus combinaciones	Utilizado para definir la configuración de hardware del sitio.
Tipo de Transmisión	Tecnología de transmisión proporcionada para el sitio - Satelital - Microonda - Fibra Óptica	Utilizado para determinar los requerimientos complementarios en el sitio como: Línea de vista, ruta de ingreso de fibra óptica e idoneidad satelital.

6.1.1.2 RF Planning

Los datos de RF Planning especifican la estructura general de radio del sitio, determinan la cantidad de sectores y celdas que tiene el sitio por cada tecnología de radio. Los datos de RF Planning se detallan en la Tabla 25 y permiten dimensionar y cuantificar el hardware de FR necesario para proporcionar la cantidad d sectores y celdas planificados. Estos datos se recopilan del operador y se ingresan como entrada al modelo.

Tabla 25
RF Planning

Nombre	Parámetros de entrada	Información
Nombre del Sitio	Nombre del Sitio	Parámetro identificador
Tipo de Transmisión	- IP - ATM	Utilizado para determinar el tipo de interfaces de transmisión necesarias para el sitio
Número de Sectores	Cantidad de sectores del sitio	Utilizado para determinar los módulos de RF necesarios para configurar el sitio
Número de Celdas	Cantidad de celdas del sitio	Utilizado para determinar los módulos de RF necesarios para configurar el sitio
Banda de Frecuencia	- 850 MHz - 1900 MHz	Parámetro identificador

6.1.1.3 Datos de Hardware

Los datos de Hardware se detallan en la Tabla 26 y consisten en datos secundarios sobre el hardware a ser utilizado para el sitio, especificaciones, capacidades.

Tabla 26
Datos de Hardware

Nombre	Parámetros de entrada	Información
Tipo de Hardware	- Outdoor (Exteriores) - Indoor (Interiores)	Utilizado para definir el lugar de instalación de los equipos
Fabricante	- Nokia - ZTE	Utilizado para identificar el fabricante de los equipos a utilizar
Producto	- Nokia Flexi Multiradio 10 - ZTE ZXSDR B8700	Utilizado para determinar la familia del hardware a proporcionar
Configuración de Hardware	Configuración de hardware a utilizar, detallando los módulos y submódulos con sus cantidades.	Utilizado para definir el perfil de configuración a utilizar para el sitio
Capacidad de Banda Base	- Numero de TRX para 2G - Número de Channel Elements para 3G - Capacidad de LTE en Mbps	Utilizado para definir la capacidad de banda base requerida para el sitio y para cada tecnología de radio
Interfaces y Capacidad de Transmisión	- Numero y tipo de interfaces - Capacidades de las interfaces	Utilizado para definir la cantidad y capacidad de las interfaces requeridas para la transmisión del sitio

6.1.1.4 Datos Financieros

Los datos financieros como se detalla en la Tabla 27, incluyen los precios del hardware utilizado en el sitio para calcular el CAPEX y los costos de operación de la red para calcular el OPEX. Los datos a utilizar en este modelo se basan en datos internos y externos con valores referenciales.

Tabla 27

Datos Financieros

Nombre	Parámetros de entrada	Información
Ítems de CAPEX	- Hardware para el sitio - Servicios de implementación del sitio	Requeridos para calcular el CAPEX del sitio
Ítems de OPEX	- Costos de Renta del Sitio - Costos del O&M del Sitio	Requeridos para calcular el OPEX del sitio

6.1.2 Dimensionamiento del Sitio

El dimensionamiento del sitio se puede dividir en cuatro categorías, que son analizadas individualmente para determinar los recursos necesarios para la implementación del sitio. El dimensionamiento del sitio consiste en el dimensionamiento de los equipos tanto para banda base como para RF y la definición de los requerimientos de infraestructura y transmisión.

La salida del dimensionamiento del sitio es una lista de materiales y equipos para la implementación del sitio.

6.1.2.1 Dimensionamiento de Banda Base

La primera parte del dimensionamiento de la red es calcular el hardware de banda base requerido para cada escenario. Para el escenario Overlay el hardware de banda base deberá ser dimensionado de forma independiente para cada tecnología de radio, por otro lado, para el escenario Single RAN el dimensionamiento de banda base deberá ser realizado de modo integral para las dos tecnologías

de radio. Se supone que el hardware de banda base consiste en dos unidades diferentes, que son el módulo central de banda base, y los submódulos de extensión de banda base las unidades banda base se describen con más detalle en la Tabla 28.

Los módulos de banda base pueden configurarse con las tres tecnologías: GSM, WCDMA y LTE. El dimensionamiento de banda base GSM se basa en el número de TRX compatibles, el dimensionamiento de banda base de WCDMA implica traducir el número de subunidades de capacidad a configuraciones específicas y finalmente el dimensionamiento de banda base LTE se define por el número de conjuntos de celdas. Un conjunto de celdas está formado por un conjunto de BB y uno o varios conjuntos de RF.

Tabla 28

Funciones de los módulos de Banda Base

Módulo de banda base	Función
Modulo Central - FSFM	Es el encargado de la administración y control de la BTS. Cumple las siguientes funciones: - Realiza funciones de O&M, incluida la gestión de la configuración, gestión del equipo, la supervisión del rendimiento y el procesamiento de la señalización. - Proporciona referencia de reloj y puertos de transmisión. - Proporciona los puertos OBSAI para la comunicación entre el módulo de banda base y el módulo de RF. - Procesa las señales de banda base del enlace ascendente y el enlace descendente.
Submódulo de Extension - FBBA/C	Permite aumentar la capacidad de la BTS, lo que proporciona una potencia de procesamiento de señal adicional al sistema.

6.1.2.2 Capacidad de Banda Base

La capacidad de banda de base está representada por subunidades (SU). Una subunidad en el módulo de banda base FSMF tiene una capacidad de 96 Channel Elements.

Un módulo de banda base FSMF tiene 5.5 subunidades si es utilizado solamente para WCDMA, en caso de que sea compartido entre otras tecnologías, el número de subunidades disponibles es 3.5.

Las subunidades se utilizan para el procesamiento de:

- Canal de control
- Tráfico de voz
- Celdas HSDPA, usuarios y rendimiento
- Usuarios de HSUPA y rendimiento.

La capacidad del módulo de banda base FSMF puede ampliarse con hasta dos submódulos de extensión de capacidad (FBBA/C), que son opcionales. Estos módulos de extensión de capacidad tienen 6 subunidades. La Tabla 29 muestra el número de subunidades disponibles para el módulo de banda base y los submódulos de extensión.

Tabla 29

Número de Subunidades disponibles para FSMF y FBBA/C

FSMF	FBBA/C	FBBA/C	Número De Subunidades
WCDMA	WCDMA	WCDMA	17.5
WCDMA	WCDMA	LTE	11.5
WCDMA	LTE	LTE	5.5

6.1.2.3 Dimensionamiento de RF

El dimensionamiento de RF se realiza con el concepto de conjuntos de celdas que describen las configuraciones admitidas. Las configuraciones están definidas por conjuntos de celdas de banda base (BB) y radio frecuencia (RF). Un conjunto de celdas está formado por un conjunto de BB y

uno o varios conjuntos de RF. Es la SBTS quien decide de forma autónoma qué recursos de unidad de banda base se utilizan para manejar un determinado tipo de celdas

Los conjuntos de celdas BB representan la capacidad del HW utilizado por tecnología y qué puertos de RF se pueden usar para conectar las unidades de RF requeridas (definidas en los conjuntos de celdas de RF) para cada RAT. Los conjuntos de celdas de RF definen la capacidad de radio máxima disponible para una RAT específica (GSM/WCDMA/LTE) o una combinación de las tres RATs. Es decir que el dimensionamiento de RF depende directamente de la cantidad de sectores del sitio y la capacidad del módulo RF seleccionado.

6.1.3 Cálculos de Costos

Los cálculos de costos que forman parte del modelo de costos de Single RAN calculan CAPEX, OPEX y el TCO para las dos estrategias de despliegue siguiendo el diagrama de flujo de la Figura 151. Los cálculos se basan en la lista de materiales y equipos, los datos del sitio y los datos financieros. Los cálculos de CAPEX y OPEX consisten en los costos necesarios para configurar y operar el sitio. El resultado final del modelado de costos de Single RAN es el TCO para los escenarios evaluados en el proceso de implementación y 12 meses de gastos operativos.

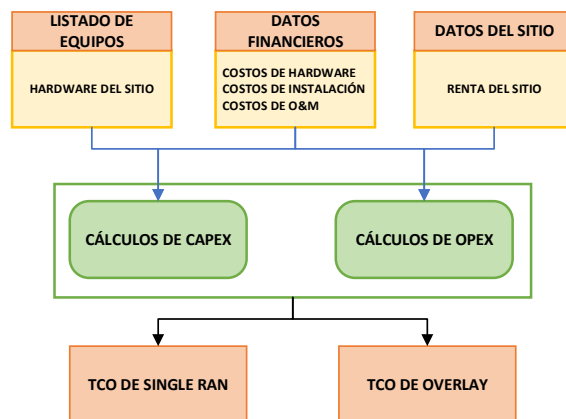


Figura 151. Diagrama de flujo de modelado de costos

6.1.3.1 Cálculos de CAPEX

En este modelo de costos, el CAPEX incluye las inversiones en hardware y los costos de instalación del sitio. El cálculo de CAPEX se realiza utilizando la lista de equipos, que contiene todos los elementos de hardware necesarios y los datos financieros, que contienen la información de precios para los elementos requeridos. Los cálculos siguen una fórmula simple de multiplicar la cantidad de elementos de hardware por su precio unitario. El CAPEX en este modelo se calcula una única vez ya que se consideran los costos solamente de la implementación del sitio.

6.1.3.1.1 CAPEX Total

El CAPEX total acumulado para la implementación del sitio es, por lo tanto:

$$CAPEX = C_{BB} + C_{RF} + C_{INST} \quad (2)$$

Donde:

C_{BB} : es el costo del hardware de banda base

C_{RF} : es el costo del hardware de RF

C_{INST} : es el costo de instalación del sitio

6.1.3.2 Cálculos de OPEX

Los costos de OPEX incluyen el costo de alquiler del sitio y los costos de Operación y Mantenimiento por 60 meses. El cálculo del OPEX para la red se realiza utilizando, los datos del sitio y los datos financieros. El OPEX se calcula para cada uno de los escenarios por el período de un año.

6.1.3.2.1 Costo de Renta del sitio

Los costos de alquiler del sitio consisten en el costo anual de alquiler de la torre celular para el hardware de radio y las antenas, el costo del alquiler del piso de la estación por gabinete de banda base. Tomando en cuenta que para facilidad del cálculo de este costo se ha considerado en el modelo de costos, para los dos escenarios, la renta de toda la estación base por parte de una empresa contratista; el costo total de renta del sitio está dado por:

$$\text{Donde: } C_{Rent} = C_{Estructura} + C_{m2} \times m_{sitio}^2 \quad (3)$$

C_{Rent} : Costo total de renta del sitio

$C_{Estructura}$: Costo de Renta de la estructura

C_{m2} : Costo de renta por m2

m_{sitio}^2 : Cantidad de m2 necesarios para la implementación del sitio

6.1.3.2.2 Costo de Operación y Mantenimiento del sitio

Los costos de Operación y Mantenimiento (O&M) consisten en la gestión de problemas de la red, el mantenimiento preventivo, y el mantenimiento correctivo. Los costos de O&M son muy únicos y difieren según las operaciones y procesos de mantenimiento del sitio. Los costos O&M utilizados en el modelo son estimaciones específicas para un sitio celular de las características propuestas.

6.1.3.2.3 OPEX Total

El OPEX total del sitio acumulado por 12 meses, por lo tanto:

$$OPEX = 12 \times (C_{Renta} + C_{O\&M}) \quad (4)$$

Donde:

C_{Rente} : es el costo total mensual de renta del sitio

$C_{O\&M}$: es el costo mensual del O&M del sitio

6.1.3.3 Costo total de Propiedad TCO (Total Cost of Ownership)

Finalmente, el modelo de costos de Single RAN Cloud RAN combina los resultados de los cálculos de CAPEX y OPEX para cada uno de los escenarios para resolver y comparar las cifras del TCO. Los resultados proporcionados por este modelo se pueden utilizar para comprender en qué escenarios Single RAN podría ser más económico y cuáles son los efectos en los costos para los operadores.

En el siguiente punto analizaremos el modelado de costos para el escenario de despliegue Overlay y el escenario de despliegue Single RAN.

6.2 Análisis del modelo de costos para despliegue Overlay vs Single RAN

Para el análisis del modelo de costos se define un tipo de Sitio que deberá implementarse con la estrategia Overlay y la estrategia Single RAN para analizar los costos de los diferentes escenarios. El caso de análisis se basa en la configuración de un sitio tipo con datos proporcionados por un operador de red móvil del país. El modelo de costos se aplica para CAPEX solamente en el proceso de implementación del sitio y para OPEX se aplica por un período de 12 meses.

El operador tiene la necesidad de implementar el mismo sitio tipo con la estrategia de despliegue Overlay y con la estrategia de despliegue Single RAN en dos estaciones base de características

similares. Cada escenario se evalúa en términos de TCO para determinar cuál es la estrategia de implementación de BTS más económica.

A continuación, se detallarán en primer lugar las asunciones para la implementación del sitio, que se utilizaron para el modelado y posteriormente se presentará los supuestos de costos. Los dos escenarios serán comparados y analizados en términos de costos y hardware requerido.

6.2.1 Datos iniciales y asunciones

6.2.1.1 Datos del sitio

La Tabla 30 muestra los datos del sitio tipo a ser implementado, esta información permitirá definir el costo total de renta del sitio

Tabla 30
Datos del Sitio Tipo

Nombre	Parámetros de entrada
Tipo de Sitio	Rooftop (Terraza)
Tipo de Estructura	Torreta
Tecnologías de Acceso	3G + 4G
Tipo de Transmisión	Microonda

6.2.1.2 Datos del Hardware

La Tabla 31 muestra los datos del hardware a ser utilizado para la implementación de los sitios, esta información permitirá realizar el dimensionamiento de los sitios en base a las capacidades del hardware propuesto.

Tabla 31*Datos de Hardware para el Sitio Tipo*

Nombre	Parámetros de entrada
Tipo de Hardware	Outdoor
Fabricante	Nokia
Producto	Nokia Flexi Multiradio 10

6.2.1.3 RF Planning

Los parámetros de configuración técnicos de los sitios se muestran en la Tabla 32 y Tabla 33 para la implementación Overlay y Single RAN respectivamente. Los dos sitios tienen una configuración de RF idéntica: 3 sectores para LTE y WCDM + 3 celdas adicionales para WCDMA.

Tabla 32*RF Planning para el sitio Overlay*

Nombre	Parámetros de entrada
Nombre del Sitio	CAV_AMERICA
Tipo de Transmisión	IP
Número de Sectores 3G	3
Número de Celdas 3G	6
Banda de Frecuencia	1900 MHz
Número de Sectores 4G	3
Número de Celdas 4G	3
Banda de Frecuencia	1900 MHz

Tabla 33*RF Planning para el sitio Single RAN*

Nombre	Parámetros de entrada
Nombre del Sitio	VIA_INCA_REDZAMBIZA_C_2
Tipo de Transmisión	IP
Número de Sectores 3G	3
Número de Celdas 3G	6
Banda de Frecuencia	1900 MHz
Número de Sectores 4G	3
Número de Celdas 4G	3
Banda de Frecuencia	1900 MHz

6.2.1.4 Datos Financieros


 TECH MAHINDRA DEL ECUADOR S.A. 17-jun.-19 RUC: 0992287101001 Address: CDLA. KENNEDY NORTE MZ. 1010 SOLAR 7-8-9 GUAYAQUIL, ECUADOR Phone: +593 4 22684315				
ÍTEM	TIPO DE COSTO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PU
1	CAPEX - INSTALACIÓN DEL SITIO	INSTALACIÓN DE MODULO RADIO CON TODOS LOS ELEMENTOS ASOCIADOS	unidad	\$ 180.00
2		COMISIONAMIENTO E INTEGRACIÓN DE MODULO DE RADIO CON TODOS LOS ELEMENTOS ASOCIADOS	unidad	\$ 270.00
3		CREACIÓN DE BASE DATOS E INTEGRACIÓN DE BTS GSM O UMTS O LTE	unidad	\$ 712.80
4		INSTALACIÓN DE BANDA BASE CON TODOS LOS ELEMENTOS ASOCIADOS	unidad	\$ 330.30
5		COMISIONAMIENTO E INTEGRACIÓN DE BANDA BASE CON TODOS LOS ELEMENTOS ASOCIADOS	unidad	\$ 135.00
6		TSS SIMPLE SIN CARTOGRAFÍA SITIOS NUEVOS Y O AMPLIACIÓN	unidad	\$ 189.00
7		SERVICIO DE RFI (READY FOR INSTALLATION)	unidad	\$ 212.76
8	CAPEX - SUMINISTRO DE EQUIPOS	SUMINISTRO DE MODULO DE BANDA BASE FSMF	unidad	\$ 775.00
9		SUMINISTRO DE MÓDULOS DE EXPANSIÓN FBBA	unidad	\$ 510.00
10		SUMINISTRO DE MÓDULOS DE EXPANSIÓN FBBC	unidad	\$ 510.00
11		SUMINISTRO DE MODULO DE RF FXCB	unidad	\$ 1,105.00
12		SUMINISTRO DE MODULO DE RF FXFC	unidad	\$ 1,105.00
13	OPEX - RENTA DEL SITIO	RENTA DE SITIO TIPO POSTE	unidad	\$ 150.00
14		RENTA DE ESTRUCTURA TIPO POSTE PARA COLOCACIÓN DE ANTENAS	unidad	\$ 100.00
15	OPEX - SERVICIOS DE O&M	SERVICIO DE O&M MANTENIMIENTO PREVENTIVO BTS 3G	unidad	\$ 272.24
16		SERVICIO DE O&M MANTENIMIENTO PREVENTIVO BTS 4G	unidad	\$ 314.19
17		SERVICIO DE O&M MANTENIMIENTO PREVENTIVO BTS 3G + 4G	unidad	\$ 292.07
TOTAL				\$ 7,163.36

Figura 152. Datos Financieros para modelo de costos Single RAN

Los datos financieros utilizados para este modelo de costos son referenciales, en cuanto a los costos del Hardware los precios han sido extraídos de cotizaciones elaboradas por una tercera empresa y no son precios del fabricante. Los precios de renta, instalación y de mantenimiento de los sitios han sido obtenidos de empresas de servicios que trabajan para el operador y se muestran en la Figura 152.

6.2.2 Dimensionamiento del sitio

Basados en los datos del sitio, el RF Planning y los datos de hardware para cada sitio, se ha realizado el dimensionamiento y diseño de configuración para cada estrategia de implementación.

En cuanto a Hardware la implementación OVERLAY requiere elementos para cada tecnología de radio, lo que provoca doblar la inversión para la implementación del sitio.

La Figura 153 muestra la configuración necesaria para la implementación de la BTS WCDMA Overlay. La capacidad de la banda base es ampliada con la ayuda de un submódulo de extensión FBBA. En cuanto al módulo de RF, en este caso basta solamente un módulo ya que el modelo de RF seleccionado soporta los 3 sectores físicos y lógicos requeridos. La configuración de cada sector es 1T/2R.

Por otro lado, la Figura 154 muestra la configuración necesaria para la implementación de la BTS LTE Overlay. Al ser una BTS completamente independiente de la BTS de WCDMA requiere un nuevo módulo de banda base, cuya capacidad es ampliada con la ayuda del submódulo de extensión de capacidad FBBC. En cuanto al módulo de RF, para cumplir con el perfil del sitio, se deben utilizar tres módulos de RF ya que las celdas tienen una configuración 2T/2R.

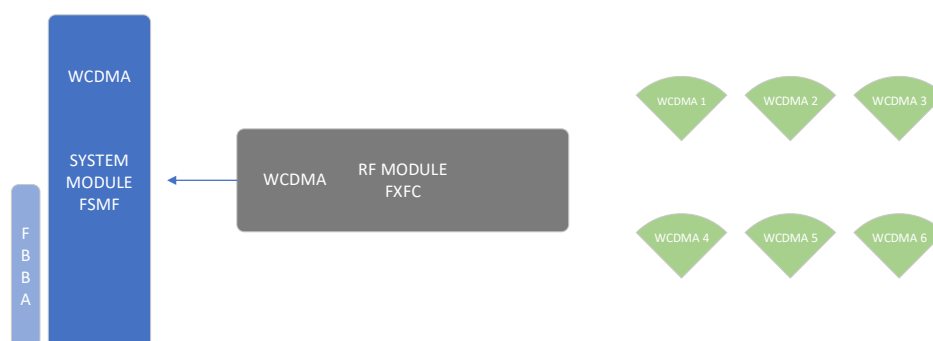


Figura 153. Configuración de sitio 3G Overlay

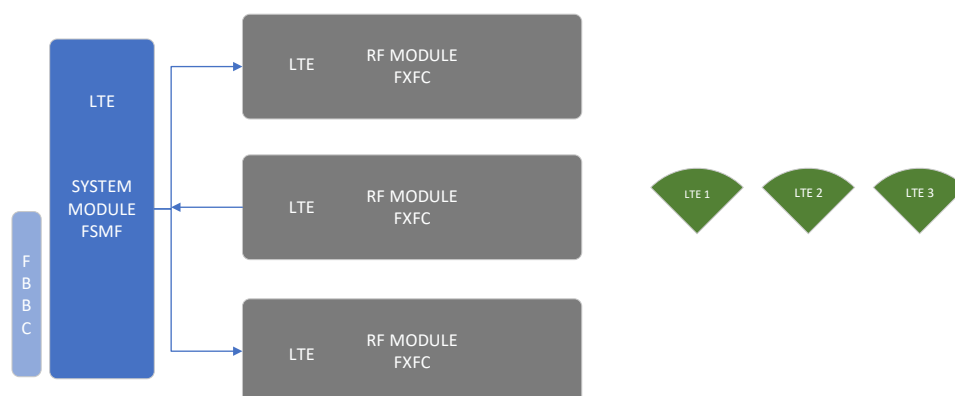


Figura 154. Configuración de sitio 4G Overlay

Para el escenario de implementación de Single RAN se ha dimensionado los recursos de hardware según la *Figura 155*. Adoptando las bondades de Single RAN, para esta implementación se requieren una cantidad menor de módulos de banda base y de RF.

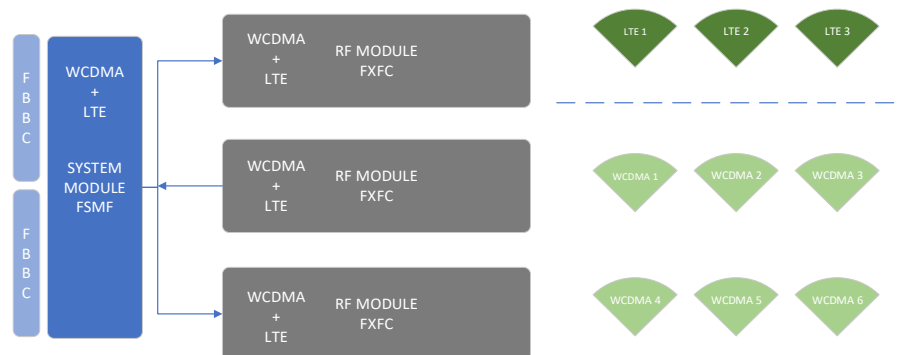


Figura 155. Configuración de sitio 3G/4G Single RAN

El resumen del hardware necesario para la implementación de la BTS 3G/4G utilizando las dos estrategias de despliegue se muestra en la

Tabla 34.

Tabla 34

Datos de hardware del sitio con las dos estrategias de despliegue

RF planning para sitio OVERLAY		RF planning para sitio SINGLE RAN	
Nombre	Parámetros de entrada	Nombre	Parámetros de entrada
Tipo de Hardware	Outdoor	Tipo de Hardware	Outdoor
Fabricante	Nokia	Fabricante	Nokia
Producto	Nokia Flexi Multiradio 10	Producto	Nokia Flexi Multiradio 10
Software	WBTS / LBTS	Software	SBTS 17
Configuración de HW	2x FSMF + FBBA + FBBC + 4x FXFC	Configuración de HW	FSMF + FBBA + 3x FXFC
Cantidad de Módulos de BB requeridos	2	Cantidad de Módulos de BB requeridos	1
Cantidad de submódulos de expansión requeridos	2	Cantidad de submódulos de expansión requeridos	2
Cantidad de Módulos de RF requeridos	4	Cantidad de Módulos de RF requeridos	3

La .

Tabla 35 muestra el planning de RF para cada escenario, es importante notar que utilizando la implementación de Single RAN no se pierden capacidades del sitio.

Tabla 35

RF Planning del sitio con las dos estrategias de despliegue

RF planning para sitio OVERLAY		Rf planning para sitio SINGLE RAN	
Nombre	Parámetros de entrada	Nombre	Parámetros de entrada
Nombre del Sitio	CAV_AMERICA	Nombre del Sitio	VIA_INCA_REDZAMBIZA_C_2
ID de Sitio 3G	3910		3969
ID de Sitio 4G	28910		28969
Tipo de Transmisión	IP	Tipo de Transmisión	IP
Número de Sectores 3G	3	Número de Sectores 3G	3
Número de Celdas 3G	6	Número de Celdas 3G	6
Banda	1900 MHz	Banda	1900 MHz
Ptx_Max (dBm)	42.8	Ptx_Max	42.8

CONTINÚA

Nombre Celdas	UPI_CAV_AMERICA _1_1A UPI_CAV_AMERICA _1_1B UPI_CAV_AMERICA _1_1C UPI_CAV_AMERICA _1_2A UPI_CAV_AMERICA _1_2B UPI_CAV_AMERICA _1_2C	Nombre Celdas	UPI_VIA_INCA_REDZAMBIZA _C_2_5A UPI_VIA_INCA_REDZAMBIZA _C_2_5B UPI_VIA_INCA_REDZAMBIZA _C_2_5C UPI_VIA_INCA_REDZAMBIZA _C_2_6A UPI_VIA_INCA_REDZAMBIZA _C_2_6B UPI_VIA_INCA_REDZAMBIZA _C_2_6C
ID del Sector	30910 31910 32910 37910 38910 39910	ID del Sector	30969 31969 32969 33969 34969 35969
Número de Sectores 4G	3	Número de Sectores 4G	3
Número de Celdas 4G	3	Número de Celdas 4G	3
Banda	1900 MHz	Banda	1900 MHz
Nombre de Celdas 4G	LPI_CAV_AMERICA_ 1_4A LPI_CAV_AMERICA_ 1_4B LPI_CAV_AMERICA_ 1_4L	Nombre Celdas	LPI_VIA_INCA_REDZAMBIZA _C_2_4A LPI_VIA_INCA_REDZAMBIZA _C_2_4B LPI_VIA_INCA_REDZAMBIZA _C_2_4C
ID del Sector	7401150 7401151 7401152	ID del Sector	7416254 7416255 7416256
Ptx_Max (dBm)	46	Ptx_Max	46

6.3 Cálculo de Costos

Una vez determinados la lista de equipos necesarios para la implementación de los sitios y con los datos financieros y datos del sitio ya definidos, a continuación, se procederá a calcular los costos de CAPEX y OPEX.

6.3.1 Cálculo de CAPEX

La Tabla 36 detalla los cálculos de los costos de CAPEX para la implementación OVERLAY.

Tabla 36
Cálculos de CAPEX para la implementación con Overlay

Costo total de CAPEX para implementación OVERLAY				
Parámetro	Ítem	Cant	Precio unitario	Precio total
Hardware	Módulo de Banda Base FSMF	2	\$ 775.00	\$ 1,550.00
	Submódulo de Expansión FBBA	1	\$ 510.00	\$ 510.00
	Submódulo de Expansión FBBC	1	\$ 510.00	\$ 510.00
	Módulo de RF FXFC	4	\$1,105.00	\$ 4,420.00
Servicios de Implementación	Instalación de modulo radio con todos los elementos asociados	4	\$ 180.00	\$ 720.00
	Comisionamiento e integración de módulo de radio con todos los elementos asociados	4	\$ 270.00	\$ 1,080.00
	Creación de base datos e integración de BTE GSM o UMTS o LTE	2	\$ 712.80	\$ 1,425.60
	Instalación de banda base con todos los elementos asociados	2	\$ 330.30	\$ 660.60
	Comisionamiento e integración de banda base con todos los elementos asociados	2	\$ 135.00	\$ 270.00
	Tss simple sin cartografía sitios nuevos y o ampliación	1	\$ 189.00	\$ 189.00
	Servicio de RFI (reyad foro instalación)	1	\$ 212.76	\$ 212.76
			TOTAL	\$11,547.96

La Tabla 37 detalla los cálculos de los costos de CAPEX para la implementación Single RAN.

Tabla 37
Cálculos de CAPEX para la implementación con Single RAN

Costo total de CAPEX para implementación Single RAN				
Parámetro	Ítem	Cant	Precio unitario	Precio total
Hardware	Módulo de Banda Base FSMF	1	\$ 775.00	\$ 775.00
	Submódulo de Expansión FBBA	0	\$ 510.00	\$ -
	Submódulo de Expansión FBBC	2	\$ 510.00	\$1,020.00
	Módulo de RF FXFC	3	\$1,105.00	\$3,315.00
Servicios de Implementación	Instalación de modulo radio con todos los elementos asociados	3	\$ 180.00	\$ 540.00
	Comisionamiento e integración de módulo de radio con todos los elementos asociados	3	\$ 270.00	\$ 810.00
	Creación de base datos e integración de BTE GSM o UMTS o LTE	1	\$ 712.80	\$ 712.80
	Instalación de banda base con todos los elementos asociados	1	\$ 330.30	\$ 330.30
	Comisionamiento e integración de banda base con todos los elementos asociados	1	\$ 135.00	\$ 135.00
	Tas simple sin cartografía sitios nuevos y o ampliación	1	\$ 189.00	\$ 189.00
	Servicio de RFI (reyad foro instalación)	1	\$ 212.76	\$ 212.76
			TOTAL	\$8,039.86

6.3.2 Cálculo de OPEX

La Tabla 38 detalla los cálculos de los costos de OPEX para la implementación OVERLAY.

Tabla 38

Cálculos de OPEX para la implementación con Overlay

Costo total de OPEX para implementación OVERLAY					
Parámetro	Ítem	Cant x mes	No. Meses	Precio unitario	Precio total
Costos de Renta del Sitio	Renta de sitio tipo poste	1	12	\$ 150.00	\$ 1,800.00
	Renta de estructura tipo poste para colocación de antenas	1	12	\$ 100.00	\$ 1,200.00
Costos de O&M del sitio	Servicio de O&M mantenimiento preventivo BTS 3g	1	4	\$ 272.24	\$ 1,088.96
	Servicio de O&M mantenimiento preventivo BTS 4g	1	4	\$ 314.19	\$ 1,256.76
	Servicio de O&M mantenimiento preventivo BTS 3g + 4g	0	4	\$ 292.07	\$ -
				TOTAL	\$ 5,345.72

La Tabla 39 detalla los cálculos de los costos de OPEX para la implementación Single RAN.

Tabla 39

Cálculos de OPEX para la implementación con Single RAN

Costo total de OPEX para implementación Single RAN					
Parámetro	Ítem	Cant x mes	No. Meses	Precio unitario	Precio total
Costos de Renta del Sitio	Renta de sitio tipo poste	1	12	\$ 150.00	\$1,800.00
	Renta de estructura tipo poste para colocación de antenas	1	12	\$ 100.00	\$1,200.00
Costos de O&M del sitio	Servicio de O&M mantenimiento preventivo BTS 3g	0	4	\$ 272.24	\$ -
	Servicio de O&M mantenimiento preventivo BTS 4g	0	4	\$ 314.19	\$ -
	Servicio de O&M mantenimiento preventivo BTS 3g + 4g	1	4	\$ 292.07	\$1,168.28
				TOTAL	\$4,168.28

6.3.3 Costos Totales del TCO

Los costos totales del TCO resultan de la suma del costo total de CAPEX y el costo total de OPEX, la Tabla 40 muestra los valores totales del modelo de costos para cada tipo de implementación.

Tabla 40

Valores totales del modelo de costos

TCO para implementación Overlay			TCO para implementación Single RAN		
Tipo de costo	Parámetro	valor total	Tipo de costo	Parámetro	valor total
CAPEX	Hardware	\$ 6,990.00	CAPEX	Hardware	\$ 5,110.00
	Servicios de Implementación	\$ 4,557.96		Servicios de Implementación	\$ 2,929.86
OPEX	Costos de Renta del Sitio	\$ 3,000.00	OPEX	Costos de Renta del Sitio	\$ 3,000.00
	Costos de O&M del sitio	\$ 2,345.72		Costos de O&M del sitio	\$ 1,168.28
	TOTAL TCO	\$ 16,893.68		TOTAL TCO	\$ 12,208.14

6.4 Análisis de los resultados de Costos TCO

Los dos escenarios evaluados tanto en CAPEX como en OPEX muestran una reducción de costos significativa de Single RAN vs la implementación Overlay. Este ahorro se debe principalmente al aprovechamiento que hace Single RAN de la compartición de hardware, lo que impacta en los costos tanto de CAPEX como de OPEX ya que se tiene menor inversión y el trabajo de O&M se reduce en la misma medida en que se reduce el equipamiento del sitio.

La Figura 156 y la Figura 157 muestran los costos de CAPEX y OPEX para las estrategias de implementación evaluadas. Adicionalmente muestran claramente cómo Single RAN puede aportar en una medida importante a la reducción de los costos del operador.

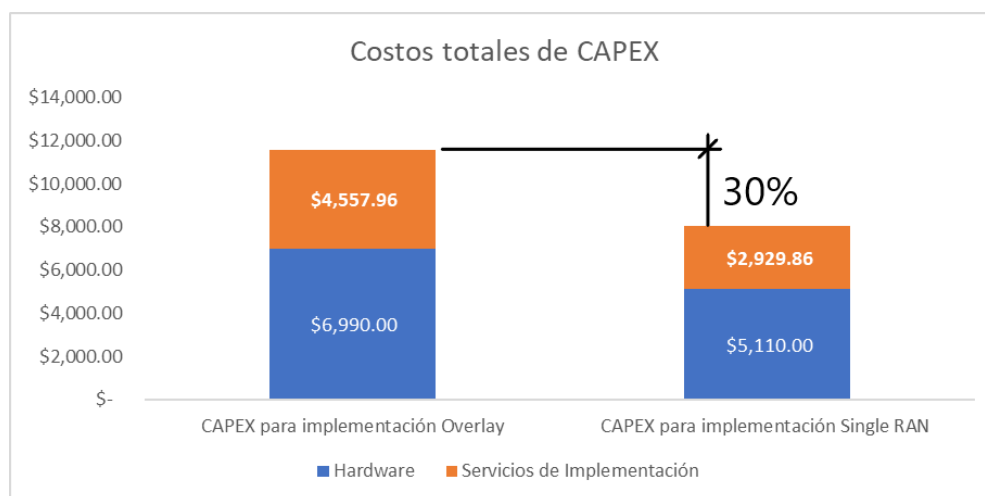


Figura 156. Costos totales de CAPEX

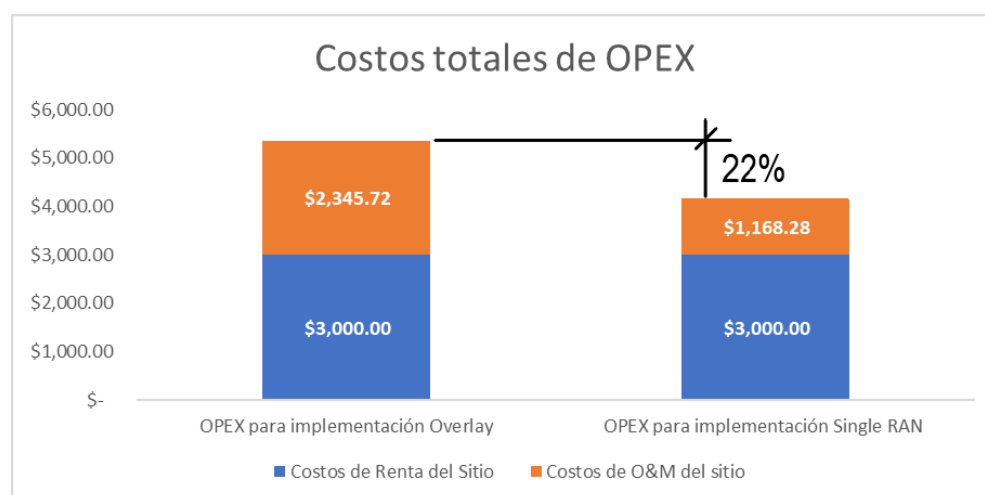


Figura 157. Costos totales de OPEX

La Figura 158 muestra el resumen del Modelo de costos elaborado para el escenario Single RAN. Si bien la comparación se realizó en la configuración de un solo sitio, los resultados son alentadores en términos de ahorro tanto de la inversión como del gasto de los operadores.

Aun con estos resultados, que a primera vista son muy buenos, es importante tener en cuenta que la adopción de Single RAN como estrategia de despliegue debe ser evaluada a mayor escala,

ya que es indudable que habrá costos de inversión que no tengan un beneficio aparente, costos como el de reemplazar y modernizar las BTS GSM para integrarlas al entorno Single RAN.

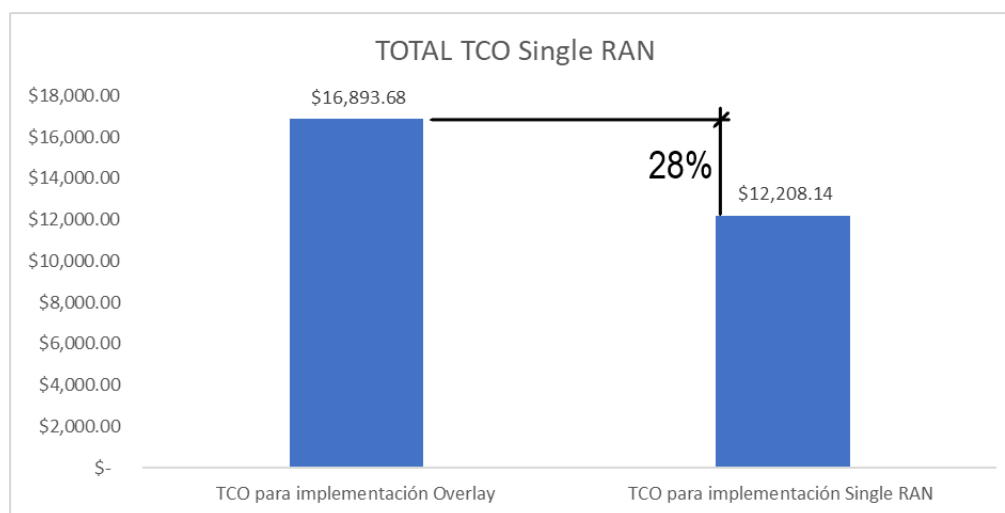


Figura 158. TCO Total de Single RAN

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

Como se ha podido demostrar a lo largo de este documento, Single RAN como estrategia de despliegue de nuevos sitios celulares ofrece al operador un rápido despliegue del sitio gracias a sus equipos compactos y distribuidos.

Las estrategias de despliegue de estaciones base Overlay y Single RAN presentan un concepto completamente distinto, en donde Single RAN propone una alternativa viable para que los operadores celulares en el Ecuador puedan hacer frente a la creciente demanda de servicios de datos celulares.

Basado en el modelamiento de costos elaborado para comparar las estrategias de despliegue Overlay y Single RAN, hemos podido confirmar que la adopción de la implementación Single RAN, para el escenario propuesto, aporta un 28% de ahorro en los costos del operador. Este ahorro de costos se traduce a menores recursos de infraestructura, energía, hardware y actividades de mantenimiento de los sitios.

El despliegue de Single RAN, no requiere modificaciones significativas en los nodos de core de las redes actuales, salvo la implementación del nuevo sistema de gestión único NetAct para Single RAN. Esto facilita la introducción gradual de estaciones base Single RAN con un plan de inversión que se adapte a las necesidades del operador.

Con base a lo analizado en este documento se concluye que la solución Single RAN de Nokia plasma enteramente el concepto teórico de Single RAN, que es un sistema que se puede adaptar a

las necesidades dinámicas del operador, y que basado enteramente en software puede ser configurado para operar en muchas variantes de tecnología de radio e incluso variantes de configuración de hardware.

Single RAN debe su gran parte de su efectividad a una característica importante de hardware, los elementos definidos por Software, cuya aparición formaron las bases de los recursos compartidos, al liberar la necesidad de cableados entre dos dispositivos para hacerlos funcionar de manera conjunta.

El concepto Single RAN no solamente implica la compartición del hardware de la estación base y las tecnologías de radio, sino más bien es una solución integral de optimización de recursos, como los recursos de O&M, transmisión e infraestructura. Todo esto hace de Single RAN una solución completa que requiere varias consideraciones técnicas al momento de su implementación.

Single RAN basa su funcionamiento en compartir hardware de usos múltiples, con la funcionalidad clave de hardware definido por software, y una plataforma de operación y mantenimiento común. La evolución a capacidades de Single RAN más avanzadas desarrollará el uso compartido de los recursos de la BTS para simplificar la administración de la red y brindar una mayor flexibilidad, escalabilidad para los operadores celulares.

Una de las ventajas más notables que ofrece Single RAN es el refarming, método que continuará su evolución para ayudar a los operadores a satisfacer las demandas del mercado. Es muy probable que los desarrollos clave incluyan un refarming más avanzado para un uso más eficiente del espectro compartido, sumado a esto la simplificación en la gestión de la RAN con funciones automáticas de refarming.

El impacto de ahorro de las soluciones Single RAN no solamente se enfocan en el ahorro económico de la inversión, sino también pueden generar ahorro en otras áreas complementarias a la RAN, como en la infraestructura de la estación base. Ya que Single RAN propone de manera general, productos de tamaño reducido que requieren un mínimo de espacio en el sitio y brindan múltiples alternativas para instalación.

Las estaciones base SDR permiten la convergencia 2G/3G y la evolución sin problemas a LTE a través de la actualización del software. Esto ayuda a minimizar las grandes inversiones en la reconstrucción y migración de la red, y mejora rápidamente el rendimiento de la red y la implementación de nuevos servicios. Las estaciones base SDR de nueva generación se han convertido en una opción viable para los operadores móviles al momento de desplegar sus redes, y Single RAN complementa las estaciones base SDR asegurando maximizar la convergencia de GSM/UMTS/LTE en un mismo sistema.

Single RAN puede ser implementado en todo tipo de sitio celular sin importar su configuración, sin embargo, los beneficios de la solución Single RAN son maximizados en escenarios de: sitios de espacio reducido, recursos de infraestructura limitados, área de cobertura específica y sistemas de antena distribuida DAS.

7.2 Recomendaciones

Si bien Single RAN es una solución muy atractiva es recomendable analizar el escenario de aplicación muy a fondo para determinar la viabilidad de Single RAN, ya que al compartir recursos de banda base y recursos de radio, la solución Single RAN puede resultar en una disminución de la capacidad del sistema o a su vez limitar las aplicaciones a una sola banda de frecuencias.

Se recomienda tomar en cuenta, antes de desplegar una solución Single RAN, los problemas potenciales relacionados a Radio Frecuencia que fueron expuestos en este documento. Todos los inconvenientes de radio frecuencia que pueden surgir al momento de desplegar Single RAN se deben a la implementación de varias RAT en un mismo sistema, lo que necesariamente implica generar varias señales de radio que provienen de diferentes servicios.

Se recomienda analizar a fondo los peligros potenciales de la implementación de Single RAN expuestos en este documento, ya que si bien las ventajas de Single RAN son muy evidentes y atractivas si no se dimensionan sus riesgos, como el de introducir un punto único de falla en el sistema, pueden llegar a provocar inconvenientes muy importantes en las estaciones base y consecuentemente comprometer la disponibilidad de la red del operador.

Otra recomendación muy importante al momento de adoptar una solución Single RAN para desplegar una red, es asegurar el roadmap de los productos del fabricante de los equipos a ser utilizados para Single RAN. Esto debido a que la solución Single RAN tiene como propósito asegurar la operatividad y continuidad del hardware a largo plazo.

BIBLIOGRAFÍA

- 3GPP. (2009). Service requirements for the evolved packet system (EPS).
- 3GPP. (2009). Service requirements for the evolved packet system (EPS).
- 3GPP. (2009). TS requirements for evolved UTRA (E-UTRA) and evolved UTRAN (E-UTRAN),.
- 3GPP. (2010). Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA); Radio link control (RLC) protocol specification.
- 3GPP. (2011). Characteristics of the universal subscriber identity module (USIM) application.
- 3GPP. (2011). Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA); Medium access control (MAC) protocol specification.
- 3GPP. (2011). Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA); Packet data convergence protocol (PDCP) specification.
- 3GPP. (2011). Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA); User equipment (UE) radio access capabilities.
- 3GPP. (2011). Evolved universal terrestrial radio access network (E-UTRAN); Architecture description.
- 3GPP. (2011). Evolved universal terrestrial radio access network (E-UTRAN); S1 data transport.
- 3GPP. (2011). Evolved universal terrestrial radio access network (E-UTRAN); X2 data transport.
- 3GPP. (2011). General packet radio service (GPRS) enhancements for evolved universal terrestrial radio access network (E-UTRAN) access.

3GPP. (2011). General packet radio service (GPRS) enhancements for evolved universal terrestrial radio access network (E-UTRAN) access.

3GPP. (2011). General packet radio system (GPRS) tunnelling protocol user plane (GTPv1-U).

3GPP. (2011). Network architecture.

3GPP. (2011). Numbering, addressing and identification.

3GPP. (2011). Policy and charging control architecture.

Alcatel-Lucent. (2009). The LTE network architecture - A comprehensive tutorial. Alcatel-Lucent.

Alcatel-Lucent. (2015). Optimal LTE deployment strategies for market success - Benefits of overlay for speed to market.

Ayvazian, B. (2013). LTE deployment strategies: network overlay vs. single RAN.

Christophe Chevallier, C. B. (2006). WCDMA (UMTS) deployment handbook - Planning and optimization aspects. John Wiley & Sons Ltd.

Corporation, Z. (2009). ZXSDR eNodeB hardware structure.

Corporation, Z. (2014). ZXSDR B8200 Product Description.

Cox, C. (2012). An introduction to LTE - LTE, LTE-Advanced, SAE and 4G mobile communications. John Wiley & Sons Ltd.

Ericsson. (2011). Traffic and market data report.

Huawei Technologies CO., L. (2008). Single BTS product portfolio.

Huawei Technologies CO., L. (2011). Single RAN GSM UMTS LTE new product introduction.

- Huawei Technologies CO., L. (2013). BBU3900 Description.
- Huawei Technologies CO., L. (2016). 3900 series base station - technical description.
- IETF. (1980). RFC 768 User datagram protocol.
- IETF. (1981). RFC 791 Internet protocol.
- IETF. (1981). RFC 793 Transmission control protocol.
- IETF. (1998). RFC 2460 Internet protocol.
- IETF. (2007). RFC 4960 Stream control transmission protocol.
- Inc, V. S. (2015). Análisis de RFoCPRI™ en estaciones base de fibra.
- Jaramillo, M. (2013). Implementación de red móvil con tecnología 4G LTE.
- Jun, L. (2009). ZTE Corporation. Retrieved from https://www.zte.com.cn/global/about/magazine/zte-technologies/2010/11/en_511/194545
- Limited, W. C. (2012). Single RAN.
- Littelfuse, I. (2012). Application note: Distributed base stations.
- Networks, N. S. (2012). WCDMA BTS & module overview.
- Networks, N. S. (2014). Single RAN advanced evolution: The future just got simpler.
- Networks, N. S. (2015). Flexi multiradio 10 base station system module description.
- Networks, N. S. (2017). Flexi multiradio 10 BTS product description.
- Networks, N. S. (2017). Single RAN management overview.

Networks, N. S. (2018). Single RAN system description.

Rocky, J. A. (2010). BTS (Base transceiver station) structure, installation, operation & maintenance and parties included in BTS system in Bangladesh.

Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication.