



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

## **SISTEMA DE POSGRADO**

### **MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

#### **TEMA:**

**“DISEÑO DE UNA RED IP-RAN PARA EL TRANSPORTE DE TRÁFICO DE DATOS DE UNA RED DE TELEFONÍA CELULAR DE CUARTA GENERACIÓN CON TECNOLOGÍA LTE PARA UN OPERADOR MÓVIL, EN LA CIUDAD DE MACHALA, PROVINCIA DE EL ORO, ECUADOR”**

#### **AUTORA:**

Ing. Vega Valdiviezo Verónica Elizabeth

**Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de  
Magister en Telecomunicaciones**

#### **TUTOR:**

Ing. Romero Paz Manuel de Jesús, MSc.

Guayaquil, a los 29 días del mes Noviembre año 2016



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**SISTEMA DE POSGRADO**  
**MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por Vega Valdiviezo Verónica Elizabeth como requerimiento parcial para la obtención del Título de Magíster en Telecomunicaciones.

TUTOR

---

MSc. Manuel Romero Paz

DIRECTOR DEL PROGRAMA

---

MSc. Manuel Romero Paz

Guayaquil, a los 29 días del mes Noviembre año 2016



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

**YO, VEGA VALDIVIEZO VERÓNICA ELIZABETH**

**DECLARÓ QUE:**

El trabajo de Titulación “**Diseño de una red IP-RAN para el transporte de tráfico de datos de una red de telefonía celular de cuarta generación con tecnología LTE para un operador móvil, en la ciudad de Machala, Provincia de El Oro, Ecuador**”, previa a la obtención del Título de **Magíster en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 29 días del mes Noviembre año 2016

LA AUTORA

---

Ing. Vega Valdiviezo Verónica Elizabeth



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

AUTORIZACIÓN

YO, VEGA VALDIVIEZO VERÓNICA ELIZABETH

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación**, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación de Titulación, “**Diseño de una red IP-RAN para el transporte de tráfico de datos de una red de telefonía celular de cuarta generación con tecnología LTE para un operador móvil, en la ciudad de Machala, Provincia de El Oro, Ecuador**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

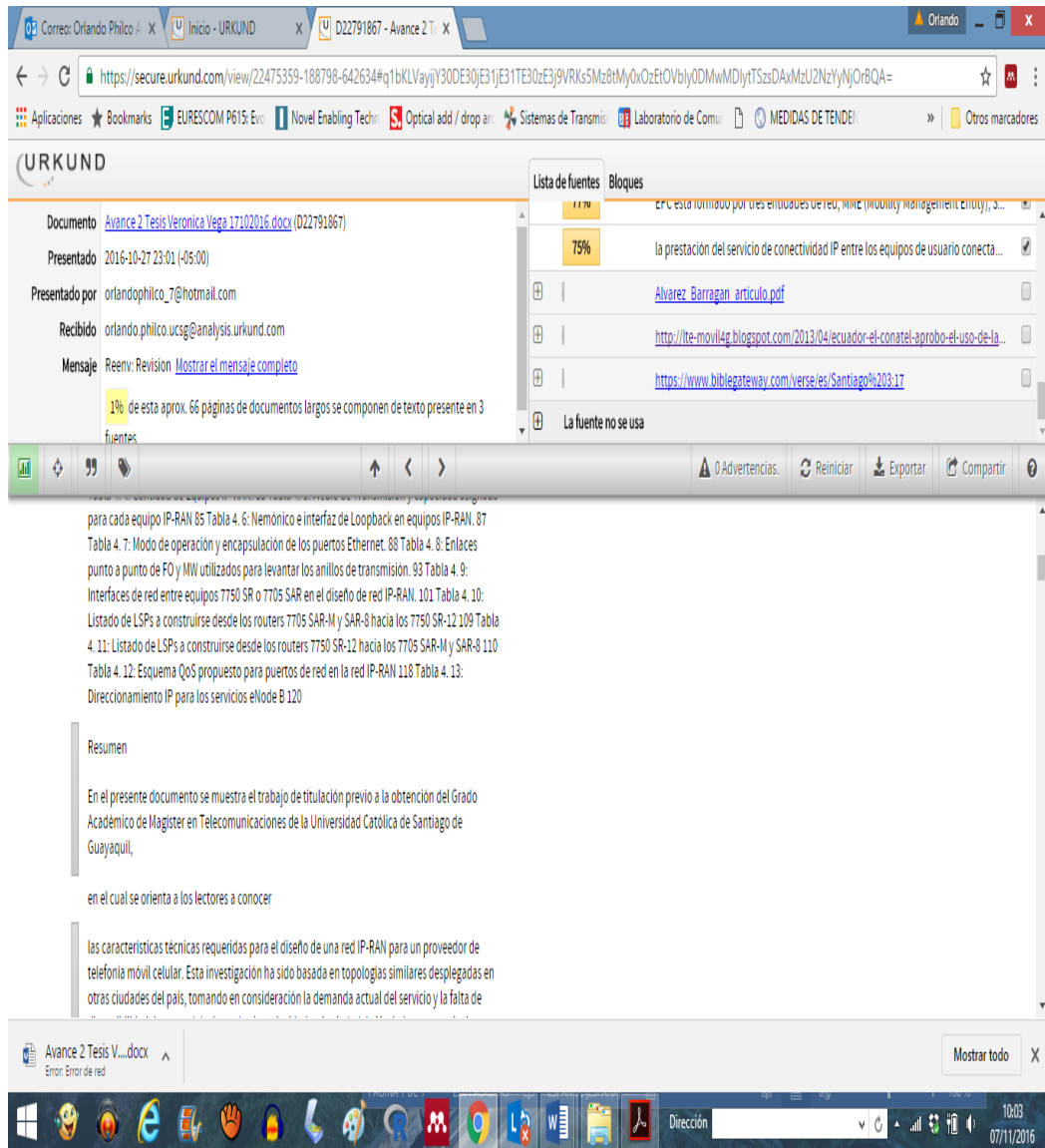
Guayaquil, a los 29 días del mes Noviembre año 2016

LA AUTORA

---

Ing. Vega Valdiviezo Verónica Elizabeth

# REPORTE URKUND



**Reporte Urkund tesis** “Diseño de una red IP-RAN para el transporte de tráfico de datos de una red de telefonía celular de cuarta generación con tecnología LTE para un operador móvil, en la ciudad de Machala, Provincia de El Oro, Ecuador” de la ingeniera, Verónica Vega Valdiviezo. Al **1%** de coincidencias.

Atentamente.

MSc. Orlando Philco Asqui.

## **Dedicatoria**

*“Más la sabiduría que es de lo alto, primeramente es pura, después pacífica, modesta, benigna, llena de misericordia y de buenos frutos, no juzgadora, no fingida.” Santiago 3:17.*

Dedico este trabajo a mi esposo Patricio e hijo Santiago Patricio quienes me brindaron todo el tiempo, apoyo y paciencia en esperarme hasta la culminación de la maestría.

A mis padres Vinicio Vega y Susy Valdiviezo quienes continúan brindándome su amor y protección.

A mi tutor por su confianza y apoyo para realizar un trabajo digno que sirva de ejemplo a las generaciones venideras como una guía en el camino de la superación como Magister en Telecomunicaciones.

## **Agradecimientos**

*“Más a Dios gracias, el cual nos lleva siempre en triunfo en Cristo Jesús, y por medio de nosotros manifiesta en todo lugar el olor de su conocimiento.” 2º Corintios 2:14.*

Agradezco primeramente a Dios por haberme dado la fortaleza y sabiduría espiritual para realizar este trabajo. Agradezco a mi esposo por su paciencia y comprensión en todo momento, a mi hijo que desde que nació es mi mayor ilusión, mi valentía, alegría y fuerza, a mi tutor que aportó grandemente en nuestro proyecto compartiendo con nosotros sus experiencias y conocimientos profesionales.

A las autoridades, personal docente, administrativo de nuestra querida universidad por permitir exitosamente la culminación de este trabajo de investigación.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_

**MSc. Manuel Romero Paz**

TUTOR

f. \_\_\_\_\_

**MSc. Manuel Romero Paz**

DIRECTOR DEL PROGRAMA

f. \_\_\_\_\_

**MSc. Luis Córdova Rivadeneira**

REVISOR

f. \_\_\_\_\_

**MSc. Orlando Philco Asqui**

REVISOR



## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>XI</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>XIII</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>XV</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>XVI</b>
<b>Capítulo 1: Descripción del proyecto de intervención.....</b>	<b>17</b>
1.1. Justificación del problema a investigar.....	17
1.2. Antecedentes.....	18
1.3. Definición del problema .....	18
1.4. Objetivos.....	18
1.5. Hipótesis .....	19
1.6. Metodología de investigación.....	19
<b>Capítulo 2: Fundamentación Teórica.....</b>	<b>21</b>
2.1. Arquitectura de un sistema LTE.....	21
2.1.1. Red de Acceso Evolucionada: E-UTRAN.....	22
2.1.2. Core de Paquetes Evolucionado: EPC.....	25
2.1.3. Equipo de usuario .....	27
2.1.4. Interfaz de Radio .....	27
2.1.5. Espectro concedido a operadores de telefonía celular en el Ecuador .....	29
2.2. Arquitectura IP-RAN.....	29
2.2.1. Jerarquía de agregación de una red IP-RAN .....	30
2.2.2. Protocolos de enrutamiento .....	31
2.2.3. IP/MPLS .....	37
2.2.4. Protocolo de Distribución de Etiquetas (LDP) .....	40
2.2.5. RSVP-TE (Protocolo de Reservación de Recursos – Ingeniería de Tráfico) ..	41
2.2.6. Modo de operación de los puertos .....	43
2.2.7. Encapsulación de puertos .....	44
2.2.8. Servicios VPN MPLS.....	44
2.2.9. T-LDP (Targeted LDP) .....	47
2.2.10. MP-BGP (Multiprotocol BGP).....	48

2.2.11.	Calidad de servicio (QoS).....	49
2.2.12.	Manejo del tráfico de un eNB.....	51
2.2.13.	Sincronismo de una red IP-RAN .....	53
<b>Capítulo 3: Descripción de Equipamiento .....</b>		<b>55</b>
3.1.	Descripción Funcional de los nodos IP-RAN.....	56
3.1.1.	Equipo Agregador/Acceso: Router 7705 SAR (Service Aggregation Router) 56	
3.1.2.	Equipo de Concentración: Router 7750 SR (Service Router) .....	64
3.1.3.	Protocolos y configuraciones que soportan los elementos de una red IP-RAN72	
3.2.	Elementos de transmisiones de última milla .....	73
3.2.1.	Fibra Óptica.....	73
3.2.2.	Equipo de radio: 9500 MPR (Microwave Packet Radio) .....	75
<b>Capítulo 4: Diseño de red IP-RAN para el tráfico de datos LTE en la ciudad de Machala, Provincia de El Oro, Ecuador. ....</b>		<b>77</b>
4.1.	Demanda actual del servicio móvil 4G en la ciudad de Machala. ....	77
4.2.	Diseño físico de una red IP-RAN en la ciudad de Machala. ....	81
4.2.1.	Consideraciones en los Niveles de Agregación de la Red IP-RAN. ....	82
4.2.2.	Distribución de los equipos IP-RAN.....	83
4.2.3.	Medio de Transmisión de los equipos IP-RAN.....	84
4.2.4.	Consideraciones de diseño para los equipos e interfaces físicas de los routers.86	
4.3.	Diseño lógico de una red IP-RAN en la ciudad de Machala. ....	97
4.3.1.	Consideraciones para los protocolos de enrutamiento.....	97
4.3.2.	Consideraciones de diseño en los Servicios IP-RAN .....	111
Conclusiones.....		122
Recomendaciones. ....		123
<b>Glosario de términos .....</b>		<b>124</b>
<b>Referencias Bibliográficas .....</b>		<b>129</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>132</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Capítulo 2: Fundamentación Teórica

Figura 2. 1: Distribución de la Arquitectura de un Sistema LTE.....	21
Figura 2. 2: Comparación Arquitecturas 2G, 3G y 4G .....	22
Figura 2. 3: Interfaz X2 y Uu en la red LTE.....	24
Figura 2. 4: Interfaz S1 en la arquitectura de la red LTE.....	24
Figura 2. 5: El EPC en la arquitectura de la red LTE. ....	25
Figura 2. 6: Equipo móvil y Sim Card .....	27
Figura 2. 7: Técnica de acceso múltiple OFDM .....	28
Figura 2. 8: Jerarquía de agregación de una red IP-RAN .....	30
Figura 2. 9: Clasificación de los protocolos de enrutamiento dinámico .....	32
Figura 2. 10: Nivel 1, nivel 2, y 1-2 en una topología de red IS-IS .....	34
Figura 2. 11: Sesiones BGP (peering).....	36
Figura 2. 12: Elementos fundamentales en una red MPLS .....	38
Figura 2. 13: Cabecera de un paquete MPLS.....	38
Figura 2. 14: Esquema del paso de las etiquetas MPLS .....	40
Figura 2. 15: Operación de FRR en un LSP .....	43
Figura 2. 16: Modelo de servicio L2VPN.....	45
Figura 2. 17: Modelo de un servicio VPLS .....	46
Figura 2. 18: Ejemplo de un servicio L3VPN.....	47
Figura 2. 19: Ejemplo del protocolo MP-BGP .....	49

### Capítulo 3: Descripción de Equipamiento

Figura 3. 1: Familia 7705 SAR .....	57
Figura 3. 2: Familia 7705 SAR .....	58
Figura 3. 3: Detalle de puertos 7705 SAR-M .....	59
Figura 3. 4: Variantes de router 7705 SAR-M.....	60
Figura 3. 5: Router 7705 SAR-8 .....	61
Figura 3. 6: Tarjeta controladora CSM para un router 7705 SAR-8.....	62
Figura 3. 7: Tarjeta MDA 8-port Gigabit Ethernet SFP.....	63
Figura 3. 8: Identificación de ranura 7705 SAR-8.....	63
Figura 3. 9: Familia 7750 SR .....	65
Figura 3. 10: Router 7750 SR-12 .....	66
Figura 3. 11: Tarjeta SF/CPM para router 7750 SR-12 .....	67
Figura 3. 12: Diagrama de bloques de la Arquitectura funcional del router 7750 SR-12. ....	68

Figura 3. 13: Tarjeta IOM para router 7750 SR-12 .....	69
Figura 3. 14: Modelos de tarjetas IOM para router 7750 SR-12 .....	70
Figura 3. 15: Modelos de tarjetas IMM para router 7750 SR-12.....	70
Figura 3. 16: Tipos de MDAs soportadas para los router 7750 SR-12.....	71
Figura 3. 17: IDU y ODU de un equipo de radio 9500 MPR .....	76

**Capítulo 4: Diseño de red IP-RAN para el tráfico de datos LTE en la ciudad de Machala, Provincia de El Oro, Ecuador.**

Figura 4. 1: Total de Líneas Activas a nivel nacional de SMA .....	78
Figura 4. 2: Número mensual de RBS por tecnología y por provincia Operador CONECEL S.A. ....	79
Figura 4. 3: Número mensual de RBS por tecnología y por provincia Operador OTECEL S.A. ....	80
Figura 4. 4: Número mensual de RBS por tecnología y por provincia Operador CNT EP. ....	80
Figura 4. 5: Ubicación referencial de las 20 estaciones celulares en la ciudad de Machala .....	83
Figura 4. 6: Anillos de enlaces de FO sobre la red IP-RAN .....	84
Figura 4. 7: Diseño físico de una red IP-RAN para el transporte de tráfico de datos LTE en la ciudad de Machala, Provincia de El Oro, Ecuador.....	92
Figura 4. 8: Componentes de un servicio en equipos IP-RAN Nokia .....	111
Figura 4. 9: Diseño lógico de una red IP-RAN para el transporte de tráfico de datos LTE en la ciudad de Machala, Provincia de El Oro, Ecuador.....	121

## ÍNDICE DE TABLAS

### Capítulo 2: Fundamentación Teórica

Tabla 2. 1: Principales funciones de cada elemento del EPC .....	27
Tabla 2. 2: Velocidades de pico posibles en función de la canalización .....	28
Tabla 2. 3: Canalización en el sistema LTE.....	28
Tabla 2. 4: Comparación de los protocolos de enrutamiento dinámico .....	33
Tabla 2. 5: Comparación de los protocolos de señalización y distribución de etiquetas ..	42
Tabla 2. 6: Rangos de parámetros 3GPP QCI.....	52

### Capítulo 3: Descripción de Equipamiento

Tabla 3. 1: Comparación de modelos de equipos utilizados en el diseño de redes IP-RAN por proveedores Nokia y Huawei.....	55
Tabla 3. 2: Tipos de MDAs Ethernet soportados por el router 7750 SR .....	71
Tabla 3. 3: Protocolos y configuraciones soportadas en los router SAR y SR .....	72
Tabla 3. 4: Protocolos y configuraciones adicionales soportadas en los router SR .....	73
Tabla 3. 5: Tipos de fibras ópticas y sus aplicaciones .....	75

### Capítulo 4: Diseño de red IP-RAN para el tráfico de datos LTE en la ciudad de Machala, Provincia de El Oro, Ecuador.

Tabla 4. 1: Cantidad de Líneas Activas de cada Operador por tecnología. ....	79
Tabla 4. 2: Número mensual de radio bases por tecnología, y por operador en la ciudad de Machala.....	81
Tabla 4. 3: Ubicación Geográfica de estaciones Celulares de diferentes Operadores en Machala.....	82
Tabla 4. 4: Cantidad de Equipos IP-RAN.....	83
Tabla 4. 5: Medio de Transmisión y capacidad asignada para cada equipo IP-RAN .....	85
Tabla 4. 6: Nemónico e interfaz de Loopback en equipos IP-RAN.....	87
Tabla 4. 7: Modo de operación y encapsulación de los puertos Ethernet. ....	88
Tabla 4. 8: Enlaces punto a punto de FO y MW utilizados para levantar los anillos de transmisión.....	93
Tabla 4. 9: Interfaces de red entre equipos 7750 SR o 7705 SAR en el diseño de red IP-RAN.....	101

Tabla 4. 10: Listado de LSPs a construirse desde los routers 7705 SAR-M y SAR-8 hacia los 7750 SR-12.....	109
Tabla 4. 11: Listado de LSPs a construirse desde los routers 7750 SR-12 hacia los 7705 SAR-M y SAR-8.....	110
Tabla 4. 12: Esquema QoS propuesto para puertos de red en la red IP-RAN .....	118
Tabla 4. 13: Direccionamiento IP para los servicios eNode B .....	120

## **Resumen**

En el presente documento se muestra el trabajo de titulación previo a la obtención del Grado Académico de Magíster en Telecomunicaciones de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, en el cual se orienta a los lectores a conocer los elementos de red y sus características técnicas requeridas para el diseño de una red IP-RAN que soporte tráfico de datos LTE, en la ciudad de Machala, Provincia de El Oro, Ecuador.

Esta investigación ha sido basada en topologías similares desplegadas en otras ciudades del país, tomando en consideración la demanda actual del servicio y la falta de disponibilidad de una red de datos de alta velocidad en la ciudad de Machala que permita la innovación de servicios móviles basados en IP y por lo tanto un alto crecimiento de usuarios en la red.

Para un proveedor de telefonía móvil celular, es un desafío realizar el despliegue de servicios móviles sobre un transporte en capa 3, el cual resuelva los problemas de broadcast, sincronismo, calidad de servicio, escalabilidad, por lo tanto el presente trabajo muestra el diseño de red IP-RAN en dos formas, diseños físico y lógico.

El diseño físico describe el tipo de equipamiento y capacidad de transmisión de los elementos que conforman los anillos de acceso y agregación de la red IP-RAN; mientras que, el segundo diseño presenta los parámetros de direccionamiento y configuraciones requeridas para levantar el diseño de red IP-RAN.

La metodología de investigación utilizada en este trabajo es de carácter exploratorio, descriptivo con un enfoque pre-experimental.

**Palabras Claves:** LTE, IP-RAN, MPLS, eNodo B, Agregador, anillos.

## **Abstract**

In the present document there appears the work of qualifications before the obtaining of Magíster's Academic Degree in Telecommunications of the Catholic University of Santiago of Guayaquil, in which the readers are orientated to know the elements of network and his technical characteristics needed for the design of a network IP-RAN that supports traffic of information LTE, in Machala's city, Province of El Oro, Ecuador.

This investigation has been based in topologías similar opened on other cities of the country, taking in consideration the current demand of the service and the lack of availability of a network of information of high speed in Machala's city that allows the innovation of mobile services based on IP and therefore a users' high growth in the network.

For a supplier of mobile cellular telephony, it is a challenge fulfils the deployment of mobile services on a transport in cap 3, which solves the problems of broadcast, synchronism, quality of service, scalability, therefore the present work shows the design of network IP-RAN in two forms, designs physically and logically.

The physical design describes the type of equipment and capacity of transmission of the elements that shape the rings of access and aggregation of the network IP-RAN; whereas, the second design presents the parameters of addressing and configurations needed to raise the design of network IP-RAN.

The methodology of investigation used in this work is of exploratory, descriptive character with a pre-experimental approach.

**Key words:** LTE, IP-RAN, MPLS, eNode B, Agregador, rings.



## **Capítulo 1: Descripción del proyecto de intervención.**

En el presente capítulo se justificará y delimitará el problema a investigar, se establecerán los objetivos generales y específicos, la hipótesis y la metodología de investigación.

### **1.1. Justificación del problema a investigar.**

El diseño de una red IP-RAN (Internet Protocol - Radio Access Network) para el transporte del tráfico de datos de una red de telefonía celular de cuarta generación con tecnología LTE (Long-Term Evolution) para un operador móvil en la ciudad de Machala permitirá disponer de una red estratégica de transporte que brinde conectividad IP (Internet Protocol) hacia los componentes de la red celular de cuarta generación, con el respectivo enrutamiento y parámetros de calidad de servicio, para garantizar los niveles de disponibilidad de los servicios móviles.

Esta investigación orientará a los operadores de telefonía celular a identificar los parámetros técnicos de cada uno de los elementos de la red de transporte que deben tener presente al momento de levantar el diseño de una red IP-RAN para el transporte del tráfico de datos de una red de telefonía celular de cuarta generación, garantizando una buena experiencia en el servicio por parte del usuario final.

El estudio permitirá que los operadores de telefonía celular conozcan los beneficios de disponer de una red IP-RAN para el transporte de servicios de datos móviles considerando el incremento del flujo de tráfico IP y el control del procesamiento de los equipos de la red durante las prestaciones de servicios que requieren ser cada vez más especializados.

Los resultados del diseño propuesto serán insumos y antecedentes para posteriores estudios sobre el diseño de una red IP-RAN para el transporte del tráfico de datos de la red de telefonía celular de cuarta generación de los diferentes operadores móviles en la ciudad de Machala.

## **1.2. Antecedentes.**

La diversidad de aplicaciones que se pueden implementar en las nuevas redes móviles demandan mayor ancho de banda y generan grandes retos para los operadores en cuanto a la administración de los flujos de tráfico y las soluciones actuales en las redes de transporte se vuelven ineficientes en cuanto al uso de ancho de banda y al no garantizar todos los parámetros de calidad de servicio se tornan obsoletas.

A nivel mundial, los técnicos de telefonía móvil han comprendido que al introducir la tecnología IP en sus redes de acceso de radio, contribuyen a la preparación de la red para el futuro, de tal forma que permita soportar nuevas tecnologías de banda ancha para los nuevos servicios de movilidad.

Es por este motivo, que disponer de una red de transporte que permita manejar esta demanda de tráfico en redes móviles de manera adecuada es realmente trascendental.

## **1.3. Definición del problema**

La falta de capacidad para el transporte del tráfico de datos de una red de telefonía celular de cuarta generación con tecnología LTE para un operador móvil en la ciudad de Machala, es uno de los factores para el retraso del despliegue del servicio comercial de telefonía celular de cuarta generación en esta ciudad.

## **1.4. Objetivos**

A continuación se detalla el objetivo general y los objetivos específicos:

### **1.4.1. Objetivo General:**

Diseñar una red IP-RAN para el transporte del tráfico de datos de una red de telefonía celular de cuarta generación con tecnología LTE para un operador móvil, en la ciudad de Machala, provincia de El Oro, Ecuador.

#### **1.4.2. Objetivos específicos:**

- ✓ Describir la fundamentación teórica de redes IP-RAN en sistemas de telefonía celular de cuarta generación con tecnología LTE.
- ✓ Realizar un análisis de la demanda actual del servicio móvil 4G en la ciudad de Machala y la necesidad de una red IP-RAN.
- ✓ Establecer los parámetros para el dimensionamiento de equipos de transporte y conectividad IP de los componentes de la red IP-RAN.
- ✓ Elaborar los diseños físicos y lógicos de una red IP-RAN para el transporte de tráfico de datos LTE en la ciudad de Machala, Provincia de El Oro, Ecuador.

#### **1.5. Hipótesis**

El diseño de una red IP-RAN para el transporte del tráfico de datos de una red de telefonía celular de cuarta generación con tecnología LTE para un operador móvil, en la ciudad de Machala, provincia de El Oro, Ecuador, permitirá disponer, desde el punto de vista IP, de una arquitectura global de red basada en la confiabilidad de los anillos para la conectividad entre la IP-RAN y el EPC (Evolved Packet Core) de una red LTE.

#### **1.6. Metodología de investigación.**

El actual trabajo investigativo previo al grado académico de Magister en Telecomunicaciones, es exploratorio y descriptivo. Se dice “**EXPLORATORIO**”, debido a que pretende explorar la tecnología IP-RAN mediante el Estado del Arte. Es “**DESCRIPTIVO**”, puesto que permite analizar, diseñar y evaluar la tecnología de transporte IP-RAN y comprobar que esta tecnología es capaz de soportar nuevas aplicaciones de datos móviles.

Además, esta investigación es del paradigma “**EMPÍRICO-ANALÍTICO**” con un enfoque “**CUANTITATIVO**” porque se utilizan cálculos matemáticos y

estadísticas para presentar los indicadores que permitan caracterizar la tecnología IP-RAN.

Finalmente el diseño del presente trabajo investigativo es “**PRE-EXPERIMENTAL**”, debido a que no se alteran las variables de estudio, sino que se procede a la observación directa de los acontecimientos físicos electrónicos y como se desenvuelven en su ámbito natural, para finalmente proceder con el análisis respectivo.

En el siguiente capítulo se puntualizarán los elementos de un estándar LTE para un sistema de telefonía celular de cuarta generación y se analizarán los parámetros técnicos necesarios a considerar dentro del diseño de una red IP-RAN.

## Capítulo 2: Fundamentación Teórica

En este capítulo se estudiarán los elementos que conforman la arquitectura de una red LTE, para comprender el papel fundamental que desarrollará una red IP-RAN como parte del transporte de un sistema de telefonía celular de cuarta generación.

### 2.1. Arquitectura de un sistema LTE

LTE es considerada como una tecnología de transmisión de datos de banda ancha inalámbrica que permite la conectividad a internet a dispositivos móviles celulares y portátiles a mayores velocidades que los sistemas GSM (Global System for Mobile communications) y UMTS (Universal Mobile Telecommunications System).

LTE fue desarrollado por la organización 3GPP (3rd Generation Partnership Project) el cual denomina a esta arquitectura como un Sistema de Paquetes Evolucionado o EPS (Evolved Packet System). Esta tecnología divide el sistema en tres elementos: un equipo de usuario, una nueva red de acceso evolucionada denominada E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network) y una red de Core de Paquetes Evolucionada que se denomina EPC. En la figura 2.1 se observa un ejemplo de la distribución de la arquitectura de un sistema LTE.

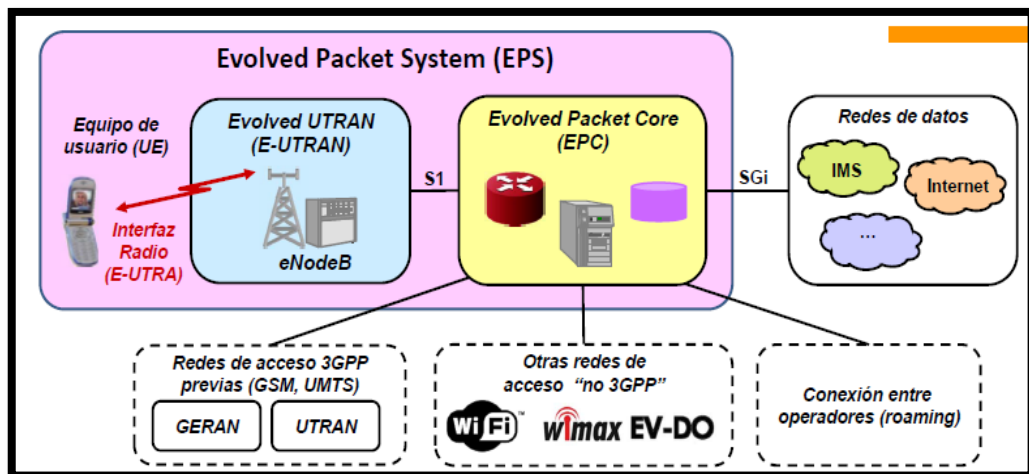


Figura 2. 1: Distribución de la Arquitectura de un Sistema LTE  
Fuente: (Alvarez-Campana, 2015)

Los servicios LTE utilizan conmutación de paquetes, por lo cual esta arquitectura no gestiona SMS (Short Message Service) o llamadas basadas en conmutación de circuitos, puesto que estos servicios se seguirían brindando por las redes GSM y demás. Cabe indicar que hoy en día, el switching de paquetes de LTE está optimizado, se habla de VoIP (Voice over IP) en lugar de llamadas, y en lugar de SMS se utiliza redes sociales como Whatsapps, se está ante un mundo que hace cada vez más cosas sobre IP.

### 2.1.1. Red de Acceso Evolucionada: E-UTRAN

La estación base es el único elemento que constituye la red de acceso E-UTRAN, el cual en una red móvil de cuarta generación se denomina “evolucionado Nodo B” (eNB, evolved Node B), el cual integra todas las funcionalidades de la red de acceso, lo cual representa un cambio en cuanto a las redes móviles de otras generaciones, tales como 2G y 3G, para las tecnologías GSM y UMTS, respectivamente, puesto que, la red de acceso contenía no solo las estaciones base BTS (Base Transceiver Station) y Nodo B, sino además un equipo controlador BSC (Base Station Controller) y RNC (Radio Network Controller). Esta diferencia se representa claramente en la figura 2.2.

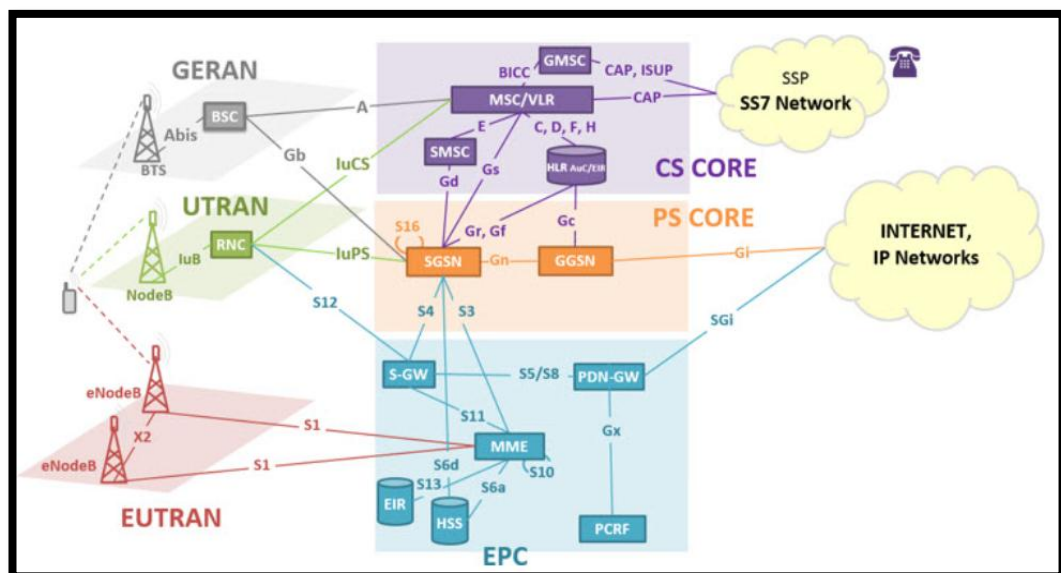


Figura 2. 2: Comparación Arquitecturas 2G, 3G y 4G  
Fuente: (leopedrini, 2015)

La red de acceso E-UTRAN al estar constituida únicamente por estaciones base, los eNB serán los encargados de brindar la conectividad entre los usuarios y la red de Core de paquetes evolucionada EPC.

Otra característica importante en la funcionalidad de un eNB es la selección dinámica de la entidad MME (Mobility Management Entity) en la red EPC cuando un terminal debe registrarse en la red LTE (Agusti Comes, y otros, 2010).

### **Interfaces de un eNodo B:**

Un eNB está constituido por tres interfaces Uu, S1 y X2 las cuales le permiten comunicarse con los usuarios, con la red EPC y con otros eNB.

A continuación se detallan estas tres interfaces:

a) **Interfaz Uu:** Comunica al usuario con el eNB haciendo uso del canal radio. Esta interfaz es la encargada de las funciones y protocolos para establecer y mantener el envío de datos y controlar la interfaz.

b) **Interfaz X2:** Permite la conectividad entre sí de los eNB. Esta interfaz permite intercambiar los mensajes de señalización, que orientan a tener un uso eficiente de los recursos de radio para disminuir las interferencias entre las estaciones base eNB, además de encargarse del proceso de handover, para cuando los usuarios se movilen de un eNB a otro.

En la figura 2.3 se identifica la interfaz Uu y X2 en la arquitectura de la red LTE.

c) **Interfaz S1:** El eNB se comunica con el EPC a través de la interfaz S1, la cual a su vez se divide en otras dos sub-interfaces S1-MME y S1-U, las cuales se definen a continuación:

- S1-MME: ésta sub-interfaz se utiliza para el plano de control. El plano de control hace referencia al conjunto de protocolos que permiten mantener las funciones de gestión de la interfaz.

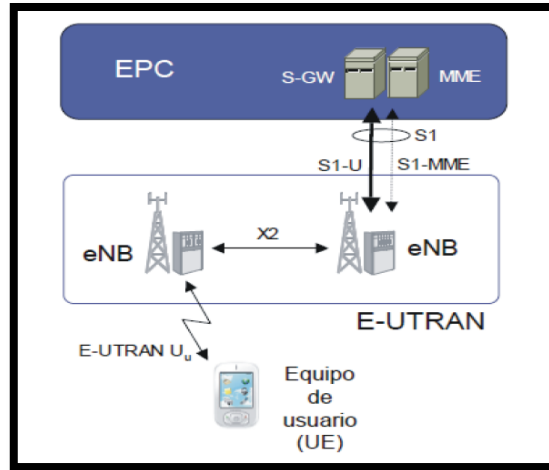


Figura 2. 3: Interfaz X2 y Uu en la red LTE  
Fuente: (Agusti Comes, y otros, 2010)

- S1-U: se utiliza para el plano de usuario. El plano de usuario hace referencia al conjunto de protocolos empleados para el envío del tráfico de los usuarios desde el eNB al EPC.

El disponer de dos sub-interfaces, una para el plano de usuario y otra para el de control, permiten dimensionar los recursos de transmisión que serán necesarios para la señalización y el tráfico de los usuarios. En la figura 2.4 se identifican las dos sub-interfaces S1 en la arquitectura de la red LTE.

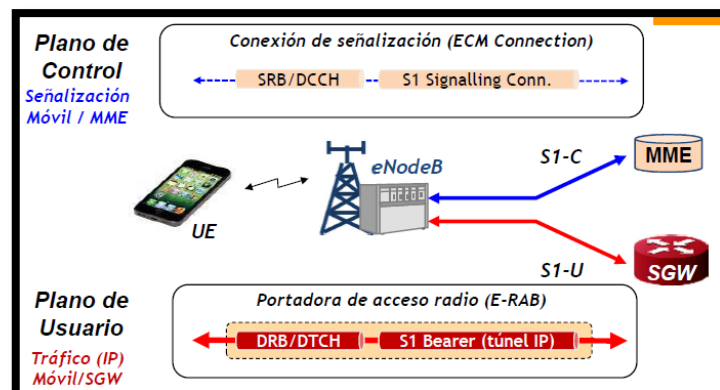


Figura 2. 4: Interfaz S1 en la arquitectura de la red LTE  
Fuente: (Alvarez-Campana, 2015)



### 2.1.2. Core de Paquetes Evolucionado: EPC

El EPC está conformado por tres elementos de red: MME, Serving Gateway (S-GW) y el Packet Data Network Gateway (P-GW), los cuales en conjunto con el HSS (Home Subscriber Server), que corresponde a la base de datos principal, permiten la prestación del servicio desde los equipos de usuario a través de la red de acceso E-UTRAN y las redes externas que tienen conectividad a la red EPC. A continuación se describen las funciones de cada uno de los elementos principales que componen el EPC.

**MME:** es la entidad encargada de controlar a los usuarios de datos móviles, es decir, todo terminal o equipo de usuario que esté registrado en la red LTE y tenga conectividad a través de las de la red E-UTRAN se enganchará a un MME determinado, para cuya elección se considera el criterio de ubicación geográfica del equipo de usuario en la red, además de realizar un adecuado balanceo de tráfico. Una entidad MME se encarga de la gestión de la señalización que permita el establecimiento, modificación y liberación de los servicios portadores. Además se encarga de gestionar la señalización para el soporte de movilidad entre la red LTE y redes externas. Un elemento MME debe garantizar la autenticación para el acceso de los usuarios a través de la red E-UTRAN. En la figura 2.5 se observan los elementos del EPC de una red LTE:

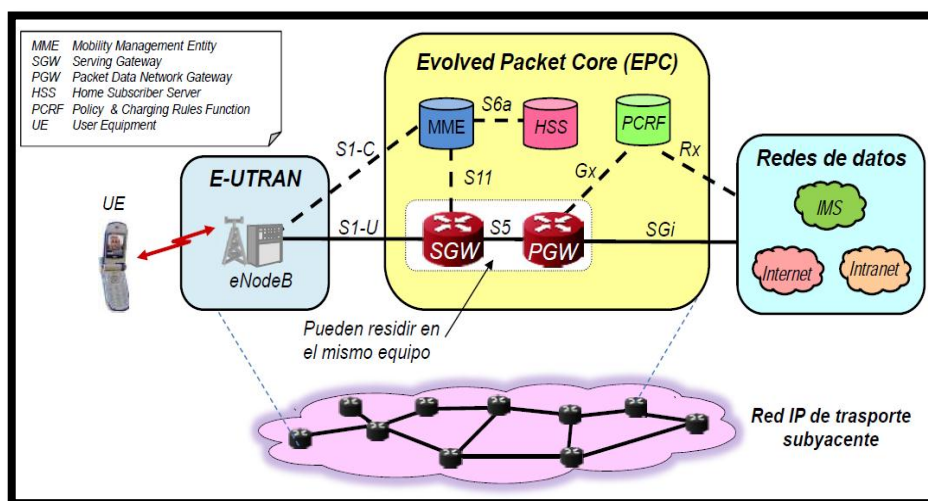


Figura 2. 5: El EPC en la arquitectura de la red LTE.  
Fuente: (Alvarez-Campana, 2015)

**S-GW:** es la puerta de enlace de la sub-interfaz S1-U entre la red E-UTRAN y el EPC. A todo usuario registrado en la red LTE se asigna una entidad S-GW. Una de las características principales es proporcionar un punto de anclaje en la red EPC con relación al movimiento del equipo de usuario entre eNBs. El S-GW almacena la información y funciones para encaminar el tráfico de subida hacia la pasarela P-GW y el tráfico de bajada hacia el eNB.

**P-GW:** es el elemento de la red EPC que se encarga de establecer conectividad entre la red LTE y otras redes externas. De igual forma, un usuario tiene registrado como mínimo una pasarela P-GW desde su conexión a la red LTE. Una de sus principales características es la tarificación de los servicios portadores que tenga establecidos el móvil o equipo terminal.

Además, actúa de punto de anclaje para el control de movilidad entre la red LTE y redes externas no 3GPP, tales como, wifi, WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), CDMA2000 (Code Division Multiple Access 2000), entre otras.






**HSS:** corresponde al servidor de suscriptores, que almacena la base de datos principal con la información de todos los usuarios de la red. La base de datos puede ser consultada y modificada desde el MME así como desde servidores de control del subsistema IMS (IP Multimedia Subsystem). Entre la información almacenada en la HSS se tiene: información de seguridad y cifrado, los identificadores del usuario y del servicio, información de ubicación de un usuario en la red, entre otros.

**PCRF:** La entidad PCRF (Policy and Charging Rules Function) se utiliza para controlar y gestionar las políticas de QoS (Quality of Service) y controlar los mecanismos de tarificación. En la tabla 2.1 se observa un resumen de las principales funciones de cada elemento del EPC.

### 2.1.3. Equipo de usuario

El equipo de usuario está conformado por un módulo de suscripción del usuario, conocido como Sim Card y el equipo móvil. La Sim Card identifica al usuario dentro de la red independientemente del equipo móvil que se utilice. Los elementos se muestran en la figura 2.6:

Tabla 2. 1: Principales funciones de cada elemento del EPC

	<i>Mobility Management Entity</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Servidor de señalización (funciones de control similares a un SGSN)</li> <li>- Gestión de movilidad y de sesiones: act. posición, paging, ...</li> </ul>
	<i>Serving Gateway</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intercambio de tráfico de usuario entre red de acceso y núcleo de red IP</li> <li>- Ancla para traspasos entre con otras redes 3GPP</li> </ul>
	<i>Packet Data Network Gateway</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intercambio de tráfico con redes externas (Packet Data Networks)</li> <li>- Clave para "policy enforcement" y recogida de datos de tarificación</li> <li>- Ancla para traspasos con redes no 3GPP</li> </ul>
	<i>Home Subscriber Server</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Base de datos central de usuarios del sistema EPS</li> <li>- Identidades, datos de servicio y localización de usuarios</li> </ul>
	<i>Policy Charging and Rules Function</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gestión de políticas de QoS y tarificación</li> </ul>

Fuente: (Alvarez-Campana, 2015)

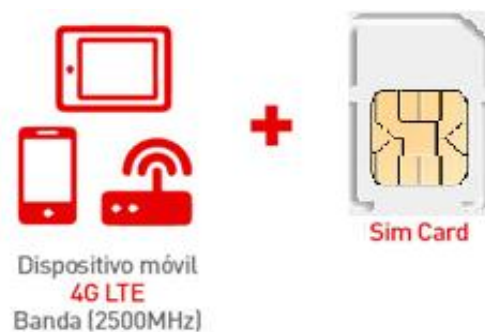


Figura 2. 6: Equipo móvil y Sim Card  
Elaborada por: La Autora.

### 2.1.4. Interfaz de Radio

La interfaz de radio a nivel físico utiliza la técnica de acceso múltiple OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) en el enlace de bajada y SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) para el de subida y los esquemas de modulación a utilizarse generalmente son: QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), 16-QAM (Quadrature Amplitude Modulation) y 64-QAM.

En la técnica OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) el ancho de banda es dividido en numerosas sub-portadoras ortogonales entre sí como lo muestra la figura 2.7, con lo cual evita interferencias cruzadas y necesidad de bandas de guarda, para el caso de LTE la separación entre sub-portadoras es igual a 15 KHz para el enlace de subida y de bajada.

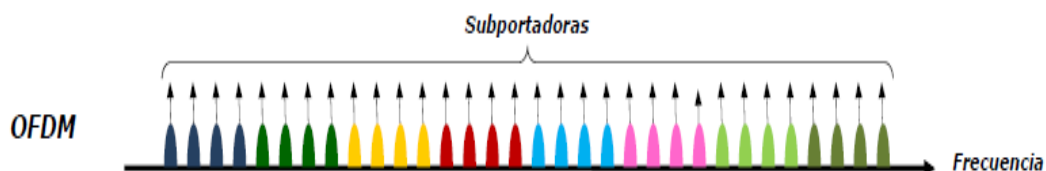


Figura 2. 7: Técnica de acceso múltiple OFDM  
Fuente: (Alvarez-Campana, 2015)

En LTE, se contemplan anchos de banda entre 1,4 MHz y 20 MHz con lo cual se llega a velocidades pico de aproximadamente 6Mbps a 100Mbps respectivamente (Agusti Comes, y otros, 2010), según se observa en la Tabla 2.2:

Tabla 2. 2: Velocidades de pico posibles en función de la canalización

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

Fuente: (Agusti Comes, y otros, 2010)

En la Tabla 2.3 se muestra el número de sub-portadoras en la canalización del sistema LTE:

Tabla 2. 3: Canalización en el sistema LTE

Canalización	1,4MHz	3MHz	5MHz	10MHz	15MHz	20MHz
Tamaño FFT (Transformada Rápida de Fourier)	128	256	512	1024	1536	2048
Número de subportadoras disponibles	73	181	301	601	901	1201

Fuente: (Agusti Comes, y otros, 2010)

### **2.1.5. Espectro concedido a operadores de telefonía celular en el Ecuador**

La Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL) autorizó a la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT), ofrecer servicios 4G con la tecnología LTE. Además, el ente regulador le concedió a esta empresa 30 MHz de espectro en la banda de 700 MHz, y 40 MHz de espectro en la banda de 1700 – 2100 MHz AWS (Advanced Wireless Service) para el despliegue de esta tecnología. (GUILLEN ORTEGA, 2011).

Además, resolvió aprobar la concesión de 60 MHz de frecuencias de espectro adicionales para Claro, 40 MHz en la banda de 1.700 para 4GLTE y 20 MHz en la banda de 1.900 para la tecnología 3G. Por su parte el espectro asignado a Telefónica Movistar fue de 50 MHz en la banda de los 1.900 y 1.700 MHz, de la cual la empresa informó que una parte de ésta se utilizará para potenciar el servicio 3G. (Diario El Tiempo, 2015)

## **2.2. Arquitectura IP-RAN**

La tecnología RAN (Radio Access Network), hace referencia a las redes de radiofrecuencia que forman parte de un sistema de Telecomunicaciones específico para terminales móviles, como es el caso de la telefonía celular.

De allí, surge el término IP-RAN, la cual es la tecnología que brinda el acceso de transmisiones de radiofrecuencia a redes de datos basadas en el protocolo IP.

La implementación de una plataforma de siguiente generación IP-RAN, trae consigo grandes beneficios tales como: ahorro en costos, escalabilidad en menor tiempo, nuevos servicios, seguridad (ITC Group, 2013).

La tecnología IP-RAN arma cápsulas de información de conversaciones telefónicas y de mensajes de 2 vías, en un paquete de información de una red de datos basada en IP, el cual se transportará entre el dispositivo origen y destino de

forma más eficiente, gracias a los mecanismos de optimización, tales como QoS, que evitará un congestionamiento en la red.

### 2.2.1. Jerarquía de agregación de una red IP-RAN

Las aplicaciones móviles, incluyendo Voz sobre IP, necesitan ser diferenciadas y priorizadas por cada uno de los elementos en la red de transporte para asegurar una buena experiencia del usuario final.

Por lo tanto una red de transporte IP-RAN, está conformada por tres niveles de jerarquía:

- Low RAN o Acceso
- Mid RAN o Agregación
- High RAN o Concentración

En la figura 2.8 se observan los niveles de agregación de una red IP-RAN, los cuales se describen a continuación:

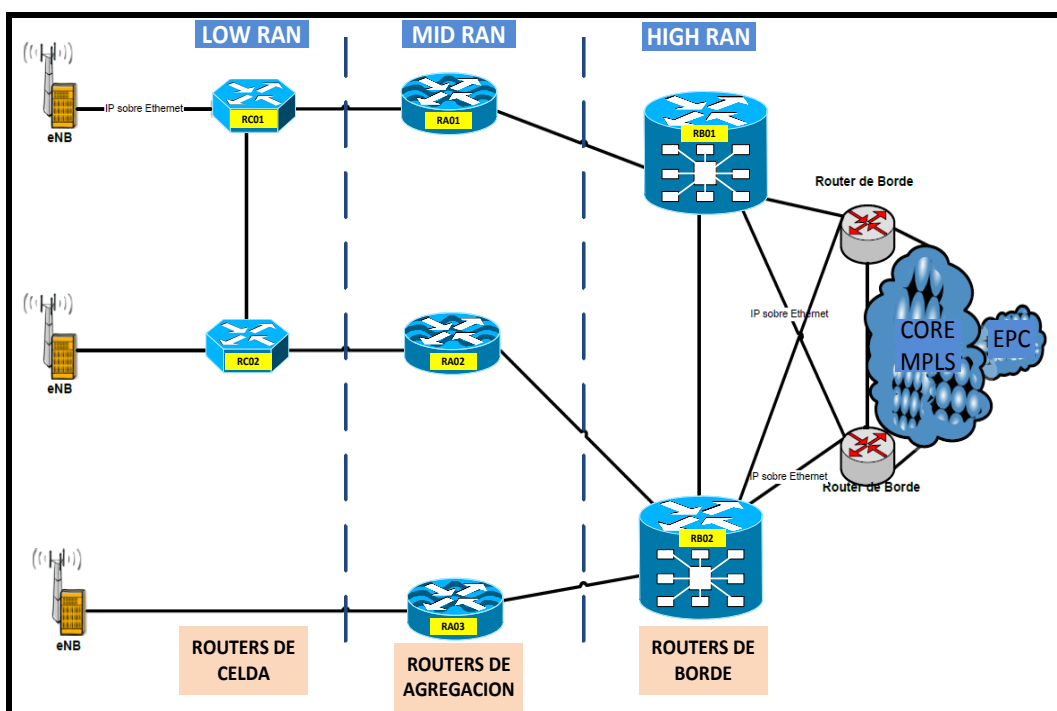


Figura 2. 8: Jerarquía de agregación de una red IP-RAN  
Elaborada por: La Autora.

Los nodos que forman parte del nivel Low RAN o Mid RAN, son responsables de la paquetización, clasificación de tráfico y priorización del tráfico IP/Ethernet. Este tráfico será conectado a la red de acceso móvil directamente desde las radio bases, las cuales constituyen además la puerta de enlace por defecto para el eNB. Los nodos Low RAN son denominados routers de celda y los nodos Mid RAN se conocen como routers agregadores, a lo cuales dependiendo de la topología de la red, convergen varios routers de celda.

Los nodos Low RAN o Mid RAN, encapsulan este tráfico en VPN (Virtual Private Networks) de Capa 3 mediante el RFC (Request for Comments) 4364: BGP/MPLS IP VPNs, el cual rige el transporte de tráfico IP/Ethernet de los eNB.

Una vez que el tráfico es convertido en paquetes IP/MPLS (Internet Protocol/Multiprotocol Label Switching), este es transportado hacia los nodos High RAN, los cuales actúan como routers de borde para el tráfico destinado al EPC, por lo general los nodos High RAN son ubicados en las centrales del cliente, en la cual reside el EPC.

### **2.2.2. Protocolos de enrutamiento**

Un protocolo de enrutamiento se encarga de intercambiar entre los nodos de una red o de varias redes la información que se requiere para establecer un enrutamiento estandarizado. Los protocolos de enrutamiento deben considerar el tipo de información que requieren entregar o recibir de sus nodos vecinos. La forma de enrutamiento puede ser de tipo estático o dinámico. A continuación se describirán brevemente cada uno de ellos.

**Enrutamiento Estático:** La tabla de enrutamiento contiene rutas fijas o estáticas todo el tiempo.

**Enrutamiento Dinámico:** Este basado en un intercambio de mensajes, y mediante el uso de algoritmos de routing identifica las mejores trayectorias. Los protocolos de enrutamiento dinámico crean y mantienen estructuras de datos. En

la figura 2.9 se observa un esquema de los diferentes tipos de protocolos de enrutamiento dinámico:

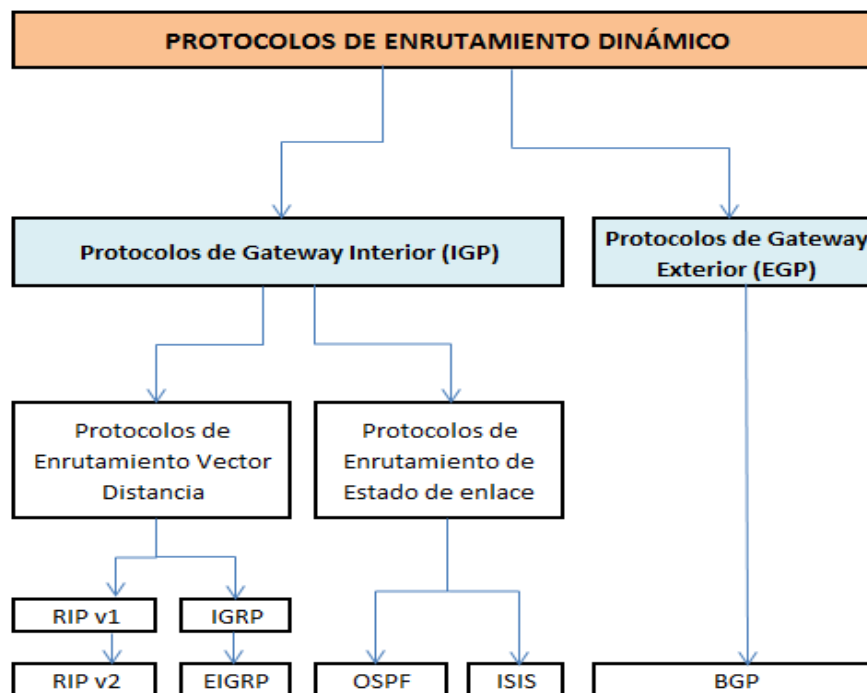


Figura 2. 9: Clasificación de los protocolos de enrutamiento dinámico  
Elaborada por: La Autora.

A continuación se describe los diferentes tipos de protocolo de enrutamiento dinámico.

**Protocolos de Gateway Interior (IGP):** se utiliza para el enrutamiento entre sistemas autónomos. Los protocolos IGP se dividen en dos categorías:

- a) **Protocolo de enrutamiento Vector-Distancia:** ningún router tiene información completa sobre la topología de la red. Los routers se comunican entre sí enviando y recibiendo información sobre las distancias entre ellos. Entre los protocolos de enrutamiento Vector-Distancia tenemos RIP (Routing Information Protocol) versión 1, RIPv2, IGRP (Interior Gateway Routing Protocol) y EIGRP (Enhanced Interior Gateway Routing Protocol).
- b) **Protocolo de enrutamiento estado de enlace:** En este tipo de protocolos cada router posee información sobre la totalidad de la topología de la red. Por lo cual cada uno puede calcular el próximo salto a cada posible router



destino de acuerdo a su tabla de enrutamiento. Entre los protocolos de enrutamiento estado de enlace se tiene OSPF (Open Shortest Path First) e ISIS (Intermediate System to Intermediate System).

A continuación en la Tabla 2.4 se muestra un cuadro comparativo de los protocolos de enrutamiento dinámico:

Tabla 2. 4: Comparación de los protocolos de enrutamiento dinámico

	Vector distancia				Estado de enlace	
	RIPv1	RIPv2	IGRP	EIGRP	OSPF	IS-IS
Velocidad de convergencia	Lento	Lento	Lento	Rápido	Rápido	Rápido
Escalabilidad: tamaño de la red	Pequeño	Pequeño	Pequeño	Grande	Grande	Grande
Uso de VLSM	No	Sí	No	Sí	Sí	Sí
Uso de recursos	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Alto	Alto
Implementación y mantenimiento	Simple	Simple	Simple	Complejo	Complejo	Complejo

Fuente: (CASASOLA, 2016)

A continuación se describen las características del protocolo de enrutamiento ISIS.

**ISIS:** es un protocolo de estado de enlace, que utiliza el algoritmo SPF (Shortest Path First) por lo cual converge rápidamente luego de existir cambios en la topología de red, además es flexible a cambios y nuevas implementaciones. ISIS soporta IPv6 y VLSM (Variable Length Subnet Mask).

Dentro de las características importantes de ISIS se debe considerar que la métrica que utiliza depende del costo de cada enlace que por defecto tiene un costo de 10, y una distancia administrativa de 115.

El área en ISIS está conformada por los routers cuyas adyacencias son del tipo nivel 1, mientras que las adyacencias que unen varias áreas son nivel 2. De igual

forma los routers pueden ser del tipo nivel 1, 2 o nivel 1-2. A continuación se describe brevemente cada uno de ellos:

- Router nivel 1 (L1): Enrutando tráfico a destinos de la misma área.
- Router nivel 2 (L2): Enrutando tráfico a destinos de distintas áreas.
- Router nivel 1-2 (L1L2): Enrutando tráfico hacia el interior y exterior de un área.

El protocolo de estado enlace ISIS mantiene 3 bases de datos, la tabla de vecinos, la tabla de topología de la red y la tabla de forwarding. En la figura 2.10 se identifican los 3 tipos de router en un modelo de red que utiliza el protocolo de enrutamiento dinámico ISIS.

Para optimizar los tiempos de convergencia del protocolo ISIS se acostumbra habilitar BFD (Bidirectional Forwarding Detection), éste es un protocolo de detección diseñado para proporcionar tiempos de detección de fallas de trayectorias de reenvío rápido para todos los tipos de medios, encapsulaciones, topologías y protocolos de ruteo. (Cisco Systems Inc, 2013)

En el caso de ISIS, al habilitar BFD en los enlaces punto a punto, permite bajar el tiempo durante el cual se entera de un cambio en la topología de red, de 30 segundos a 300 ms.

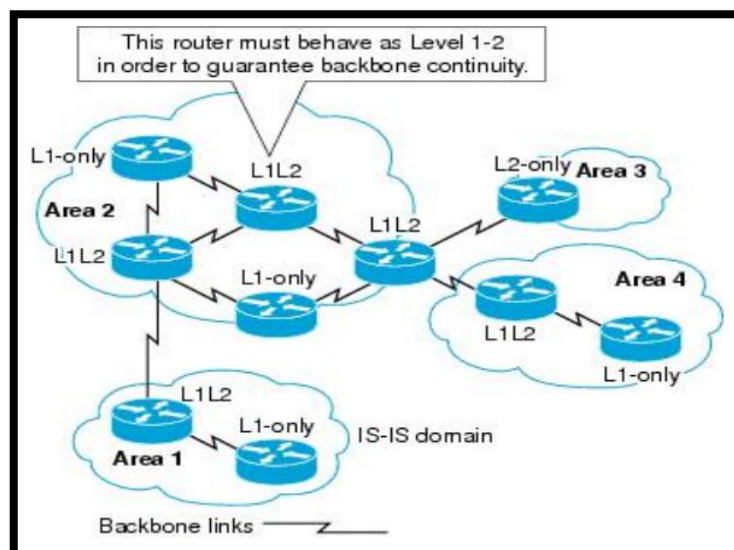


Figura 2. 10: Nivel 1, nivel 2, y 1-2 en una topología de red IS-IS  
Fuente: (Cisco Systems Inc., 2013)

**Protocolos de Gateway Exterior (EGP):** es utilizado para el enrutamiento entre sistemas autónomos (AS, Autonomous System). El protocolo más utilizado para configurar un EGP es BGP (Border Gateway Protocol), el cual es el protocolo de enrutamiento oficial que utiliza Internet.

El protocolo BGP es el EGP más utilizado en Internet y permite el encaminamiento de los paquetes IP que se intercambian entre los diferentes sistemas autónomos. BGP garantiza un intercambio dinámico de los prefijos de rutas entre los diferentes AS libre de lazos lógicos en la red, mediante el establecimiento de sesiones BGP inter-AS sobre conexiones TCP (Transmission Control Protocol).

BGP dispone de dos comportamientos:

- ❖ **Internal BGP (iBGP):** Utilizado dentro de un solo AS y por lo general se implementa para comunicar dos routers eBGP ubicados en el mismo AS.
- ❖ **External BGP (eBGP):** Encamina la información de routing entre diferentes AS.

### **Sesiones BGP (Peering):**

El diseño BGP se basa en el uso de un Router Reflector (RR) para todo el diseño de la red IP-RAN, en el cual mínimo se debe considerar un RR principal y uno secundario. Un RR se configura para reenviar rutas desde otros clientes identificados iBGP, evitando la necesidad de una red totalmente mallada iBGP, que causaría sobrecarga y poca escalabilidad.

Este tipo de implementación en una red IP-RAN permite reducir la cantidad de sesiones iBGP entre los routers, puesto que cada nodo solo deberá establecer una sesión iBGP contra cada RR en lugar de establecer sesión contra todos los routers que participen de los servicios capa 3 (L3).

En la figura 2.11 se observan las sesiones iBGP que los nodos de una red IP-RAN levantan contra un router reflector principal:

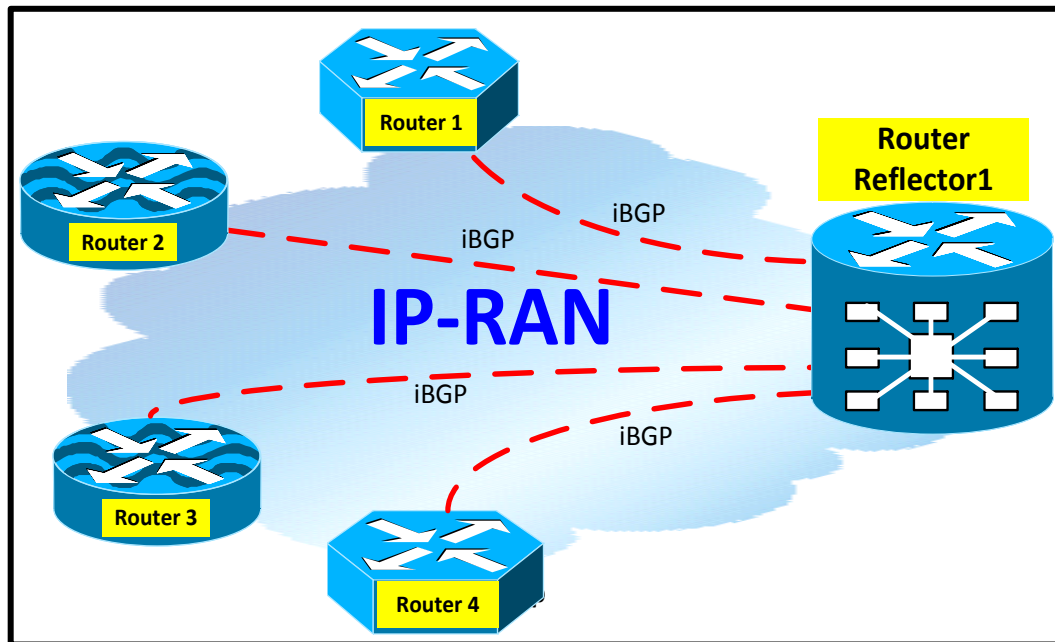


Figura 2. 11: Sesiones BGP (peering)  
Elaborada por: La Autora.

**AS:** se define como un conjunto de redes que operan bajo la misma administración técnica y comparten las mismas políticas de ruteo. En el caso de los protocolos IGP, estos actúan dentro de un mismo AS. A diferencia de los protocolos IGP, como el caso de BGP se implementa entre distintos AS.

Cada AS se representa con un único número entero de 16 bits, cuyo rango es de 1 hasta el 65535. IANA (Internet Assigned Numbers Authority) es la entidad encargada de asignar los números de sistemas autónomos. A continuación se muestran los rangos de AS sean estos públicos o privados:

**Públicos:** 1 - 49151

**Privados:** 64512 - 65534 no intercambian información con AS públicos

**Reservados:** 0, 49152 - 64511 y el 65535

### 2.2.3. IP/MPLS

IP/MPLS es una tecnología de transporte que permite diferenciar y priorizar el tráfico en una red de conmutación de paquetes.

Además ofrece convergencia sobre cualquier tecnología de transmisión sean estas Microondas, líneas arrendadas, redes metro Ethernet, enlaces SDH (Synchronous Digital Hierarchy), entre otras. En el caso de las redes móviles esta tecnología permite el transporte de tráfico desde los eNB y Nodo B basados en IP sobre Ethernet al mismo tiempo cuando sea necesario.

Las bondades más importantes de MPLS (Multiprotocol Label Switching) son:

- ❖ Soporte de calidad sobre servicio (QoS)
- ❖ Ingeniería de tráfico
- ❖ Soporte para redes VPNs
- ❖ Soporte multiprotocolo (Orozco A., Cortes A., Buitrago, & Martinez T., 2014)

Con esta tecnología se brinda a las redes estabilidad, escalabilidad y flexibilidad.

**Elementos de una red MPLS:** a continuación se describe brevemente los elementos de una red MPLS:

**LER (Label Edge Router):** elemento que inicia o termina un determinado túnel, si inicia se conoce como iLER (ingress) y si termina eLER (egress).

**LSR (Label Switching Router):** elemento que realiza conmutación de etiquetas.

**LSP (Label Switched Path):** Son túneles estáticos a través de los cuales se establecen caminos de tráfico determinados, un LSP es unidireccional.

**LDP (Label Distribution Protocol):** protocolo que permite la distribución de etiquetas dentro de una red MPLS.

**FEC (Forwarding Equivalence Class):** grupo de paquetes IP reenviados sobre una misma trayectoria, incluso si sus destinos finales no son iguales dentro de la red MPLS.

En la figura 2.12 se observan los elementos principales de una red MPLS anteriormente descritos:

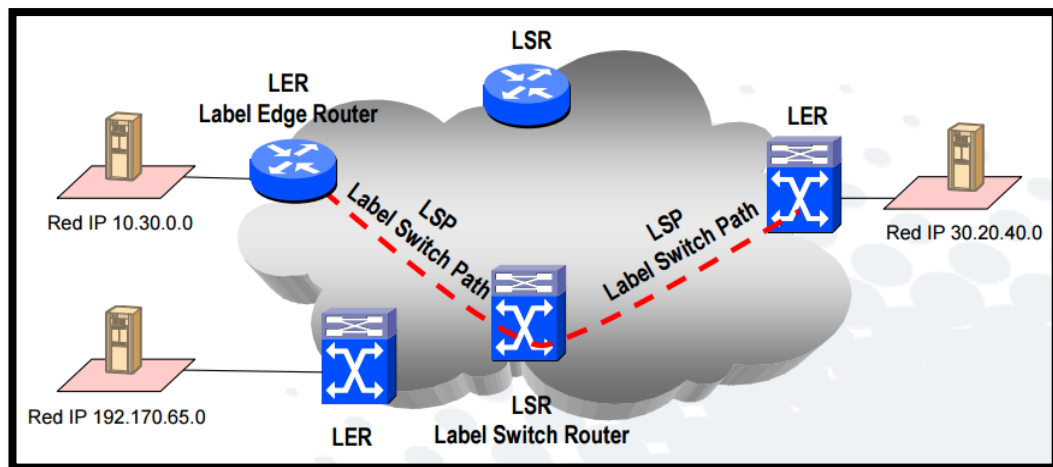


Figura 2. 12: Elementos fundamentales en una red MPLS  
Fuente: (Mariano Beiro, 2012)

**Cabecera de un paquete MPLS:** una etiqueta es un valor de tamaño fijo que solo tiene significado local, y es transportada sobre la cabecera de un determinado paquete. Una etiqueta relaciona el tráfico con un FEC específico. Una etiqueta es asignada en función de la dirección destino, el tipo de servicio, la correspondencia a una VPN, entre otros criterios. La cabecera de un paquete MPLS tiene un tamaño de 4 bytes. En la figura 2.13 se observa la distribución de los bits de una cabecera MPLS:

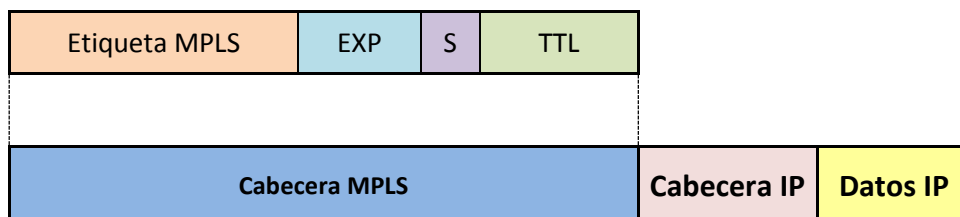


Figura 2. 13: Cabecera de un paquete MPLS  
Elaborada por: La Autora.

**Label (20 bits):** Etiqueta MPLS con valor local.

**EXP (3 bits):** Se utiliza para mapear el tipo de servicio (ToS) del paquete IP estándar para el manejo de clase de servicio (CoS).

**Stack (1 bit):** S o bit de pila indica el fondo de la pila de etiquetas.

**TTL (Time To Live - 8 bits):** se utiliza para evitar la formación de bucles en la red (conteo de saltos en IPv6 o tiempo de vida en IPv4).

**Paso de una etiqueta sobre una red MPLS:** el dispositivo o router en el cual empieza un LSP es referido como iLER, el cual agrega una etiqueta que contiene la trayectoria que seguirá el paquete a la entrada de la red MPLS, a esta operación se denomina PUSH (apilar).

Cada router que forma parte de la red MPLS conoce la ruta por lo cual lo enrutará al siguiente salto. Por último, el dispositivo o router en el cual termina el LSP se denomina eLER y realiza una operación denominada POP (desapilar), el cual retira la etiqueta a los paquetes que salen del dominio MPLS.

En caso de que se requiera cambiar una etiqueta por otra y enviar el paquete por el nuevo camino asociado a esta etiqueta, se realizará la operación SWAP (intercambiar). Como se observa en la figura 2.14, las etiquetas se incluyen antes del ingreso a la red y se eliminan al salir de la red MPLS, es decir, el enrutamiento dentro de la red no es por paquetes, sino por etiquetas.

Existen protocolos de señalización y distribución de etiquetas, que se encargan de solicitar el establecimiento de un LSP para su señalización y definir el tipo de etiquetado que aplicará a un determinado LSP en cada LSR.

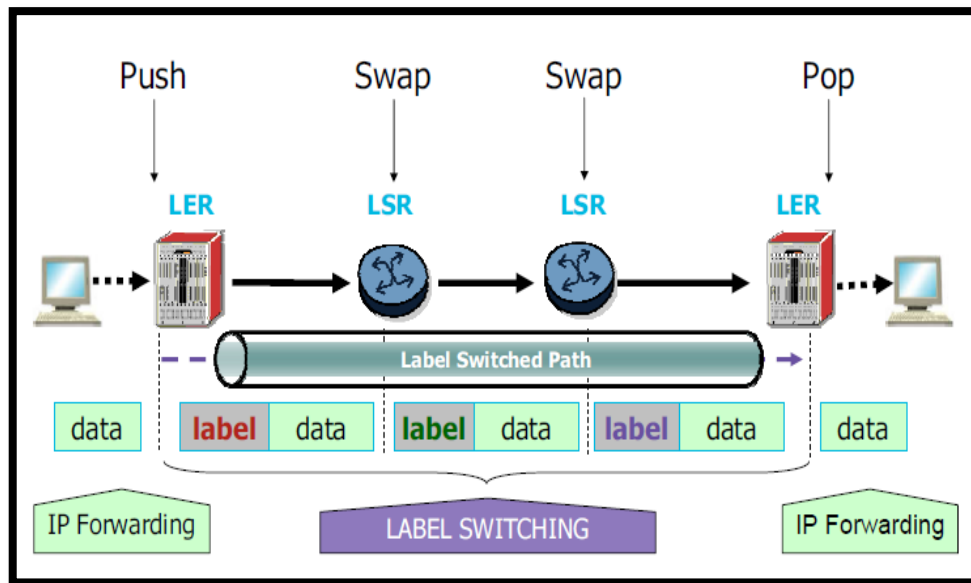


Figura 2. 14: Esquema del paso de las etiquetas MPLS  
Fuente: (ALCATEL-LUCENT, 2012)

De acuerdo a su accionar sobre los LSP se analizan dos tipos de protocolos:

- ❖ LDP, y
- ❖ RSVP (Resource Reservation Protocol)

#### 2.2.4. Protocolo de Distribución de Etiquetas (LDP)

El protocolo LDP construye los LSPs automáticamente basado en la información proporcionada por el IGP implementado en la red, esto facilita considerablemente la tarea administrativa de creación de LSP.

LDP establece una relación punto a punto entre un router LER y un LSR con el fin de intercambiar la información (valor y significado) de etiquetas, reservando los recursos físicos que se requieren para cubrir los requerimientos del servicio. LDP descubre los vecinos adyacentes a través de mensajes “Hellos” para luego establecer sesiones TCP con cada uno de ellos.



### **2.2.5. RSVP-TE (Protocolo de Reservación de Recursos – Ingeniería de Tráfico)**

RSVP-TE, utiliza herramientas de ingeniería de tráfico para construir los LSP, lo cual es bastante aconsejable para evitar cuellos de botella o para alejarse del camino predeterminado por el IGP, tal es el caso de ISIS, OSPF entre otros protocolos.

La utilización de RSVP-TE para realizar la señalización de un LSP, requiere la configuración manual de todos los caminos y LSPs. Existen varios modos de construir un LSP señalado con RSVP-TE:

- ❖ **Strict Path:** Se declaran todos los saltos (hops) por los cuales el LSP debe atravesar obligatoriamente.
- ❖ **Loose Path:** Se declaran algunos saltos por los que debe atravesar el LSP o directamente no se declaran saltos y se deja que el LSP siga libremente las mejores rutas seleccionadas por el IGP que se encuentre implementado.
- ❖ **Secondary Path:** se configura un camino secundario para que sea utilizado en caso de falla del camino principal. Lo cual no es recomendable cuando la ruta primaria está configurada como Loose Path.

En la tabla 2.5 se presenta un cuadro comparativo con las características principales de los protocolos de señalización y distribución de etiquetas LDP y RSVP-TE.

Una de las ventajas fundamentales del protocolo RSVP-TE es soportar la protección FRR (Fast Re-Route), la cual se describe a continuación.

Tabla 2. 5: Comparación de los protocolos de señalización y distribución de etiquetas LDP y RSVP-TE

CARACTERISTICA	LDP	RSVP-TE
Dependencia del IGP	Total	Puede o no depender, mayor control del path
Nivel de simplicidad	Simple	Complejo, se requieren túneles
Nivel de escalabilidad	Dinámico	Manual
Nivel de Protección	Bajo	Alto, incluye mecanismo de protección
Convergencia	100 ms - 10 sg (dependiendo de la topología)	Menor a 50 ms
Servicios	En redes móviles el tráfico X2 sigue el camino más corto	En redes móviles el tráfico X2 no sigue el camino más corto
Soporta FRR (Fast Re-Route)	NO	SI
Soporta Ingeniería de Tráfico	NO	SI
Reserva de Ancho de banda	NO	SI

Elaborada por: La Autora.

**Protección FRR:** define vías de pre-configuración y señalización de paths (caminos) de redundancia antes de que se presente una falla en el camino de un LSP. FRR provee a los LSP's una protección similar a la utilizada en las redes SDH, tiempos de conmutación aproximados a 50ms. Existen dos modos de implementación:

- ❖ One-to-One: en el cual cada LSP se protege a través de otro LSP. El path primario conmutará automáticamente en caso de existir alguna falla dentro de la trayectoria establecida, en un tiempo estimado de 50ms, sin requerirse señalizar el camino de protección justo en el momento de la falla. (Lopez, Gelvez García, & Pedraza, 2011)
- ❖ Facility Backup: Un LSP alternativo protege a todos los LSP que utilizan el mismo camino en la red, con este modo los recursos son mejor aprovechados.

En la figura 2.15 se observa la operación de FRR en un LSP frente a la caída de un enlace, se realiza la conmutación del path primario al FRR path:

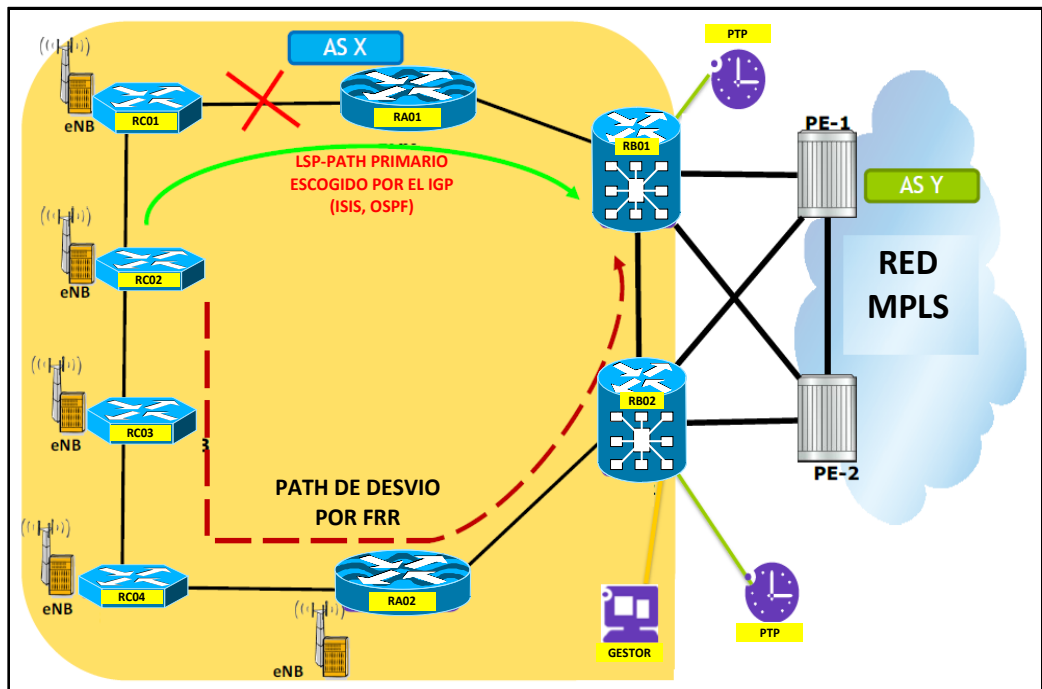


Figura 2. 15: Operación de FRR en un LSP  
Elaborada por: La Autora.

**CSPF (Constrained Shortest Path First):** en la configuración de un LSP es preciso configurar CSPF, es decir, se establecerán los túneles mediante el camino más corto que cumpla con las restricciones deseadas, señalado por el IGP. Los túneles se señalizan de manera “unidireccional”. CSPF debe estar habilitado en caso de que algunas de las siguientes funcionalidades sean implementadas al momento de realizar la señalización de los LSPs, tales como protección de FRR, reservas de ancho de banda, límite de saltos o grupos administrativos.

### 2.2.6. Modo de operación de los puertos

Los puertos tienen dos modos de operación fundamentales:

- ❖ **Puerto de red:** Este tipo de operación del puerto permite la configuración de MPLS y son utilizados generalmente para habilitar los enlaces WAN (Wide Area Network), tal es el caso de las conexiones entre routers agregadores y de borde en el diseño de una red IP-RAN.

- ❖ **Puerto de Acceso:** Son utilizados para la implementación de los diferentes servicios a transportar sobre la red.

### 2.2.7. Encapsulación de puertos

La encapsulación es una propiedad de un puerto Ethernet y el tipo a implementar depende de los requisitos para soportar múltiples servicios en un único puerto y las capacidades de los equipos conectados a un puerto Ethernet.

**Tipos de Encapsulación de puertos Ethernet:** los siguientes tipos de encapsulación son compatibles con puertos Ethernet:

- Null:** Soporta un único servicio en el puerto y no discrimina etiquetas. Por ejemplo, se aplica este tipo de encapsulamiento al puerto en el cual se conecta un solo dispositivo de borde para brindar un único servicio a un solo cliente. El ID de la encapsulación es siempre 0 (cero). Si este puerto se usa para servicios de enrutamiento, deberá depender del modo de operación utilizado.
- Dot1q:** Soporta múltiples servicios. Por ejemplo, el puerto está conectado a un dispositivo que maneja múltiples clientes. El ID de encapsulación utilizado para distinguir un servicio individual es el ID de la Red de área local virtual (VLAN, Virtual Local Area Network).
- Q-in-Q:** Maneja doble etiquetado de VLAN y sólo se aplica a los puertos de acceso.

### 2.2.8. Servicios VPN MPLS

Una variedad de servicios VPN MPLS pueden ser implementados para soportar los requerimientos de tráfico de un cliente, por lo cual estos servicios pueden clasificarse dependiendo de la capa del modelo OSI (Open System Interconnection) sobre el que actúan:

- a) Servicios de capa 2:
  - ❖ L2VPN (Layer 2 VPN)
  - ❖ VPLS (Virtual Private LAN Service)
- b) Servicios de capa 3:
  - ❖ L3VPN (Layer 3 VPN).

A continuación se describen cada uno de los tipos de servicio VPN MPLS.

**L2VPN:** en estos servicios se encapsula el tráfico a nivel de capa 2 para su posterior transporte sobre el diseño de red MPLS. Es utilizado cuando se desea realizar una conexión punto a punto utilizando un enlace WAN, para lo cual se asigna en el router PE (Provider Edge), el CID (Circuit Identification) al cual el usuario está asociado y en el otro extremo se asigna el mismo CID. Este tipo de servicio también se conoce como VPWS (Virtual Private Wire System) o EoMPLS (Ethernet Over MPLS).

Como se observa en la figura. 2.16, un servicio L2VPN sobre una red MPLS es un circuito o path punto a punto de capa 2, para el transporte transparente de tráfico, en este caso del router CE-2 al nodo CE-3 (pseudowire marcado de rojo):

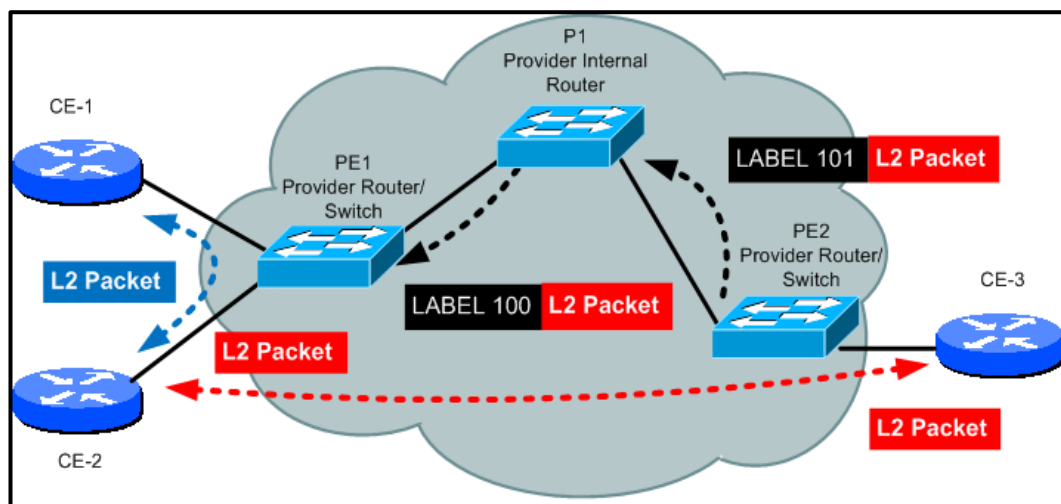


Figura 2. 16: Modelo de servicio L2VPN

Fuente: (HAVRILA, L2 MPLS VPN H3C introducción y ejemplos de configuración (Martini y Kompella VLLS / VPLS), 2012)

**VPLS:** un servicio VPLS, al igual que L2VPN trabaja sobre la capa 2 del modelo OSI. Éste simula el funcionamiento de un switch al cual están directamente conectados los clientes. Utiliza tablas de forward denominadas VSI (Virtual Switch Instance), con ese mismo identificador los nodos pueden intercambiar las tablas de direcciones MAC (Media Access Control). Como se observa en la figura 2.17 los VSI se propagan dentro de la red MPLS a través de los LSP que existen entre los router PE, cada uno identificado con una ID (Identification) específica.

**L3VPN:** es un servicio de capa 3 que permite alcanzar una conexión punto a punto entre un router CE (Customer Edge) y un PE, este último tendrá una VRF (Virtual Routing and Forwarding) por cada usuario al cual esté registrado, y mediante el uso de los protocolos de etiquetado de servicios, se anuncia al usuario y su etiqueta VPN asociada de una PE a otra. Como se observa en la figura 2.18 las VRF's con el mismo identificador pueden intercambiar sus tablas de rutas.

En un servicio L3VPN o también conocido como VPRN (Virtual Private Routed Network) se utilizan direcciones VPN-IPV4 porque permiten que los mismos prefijos de direcciones IP sean utilizados en diferentes VRF's. Este tipo de servicio es un gran aporte para el posterior desarrollo de los servicios IP sobre MPLS, tales como telefonía, video bajo demanda, la protección de aplicaciones corporativas, entre otras.

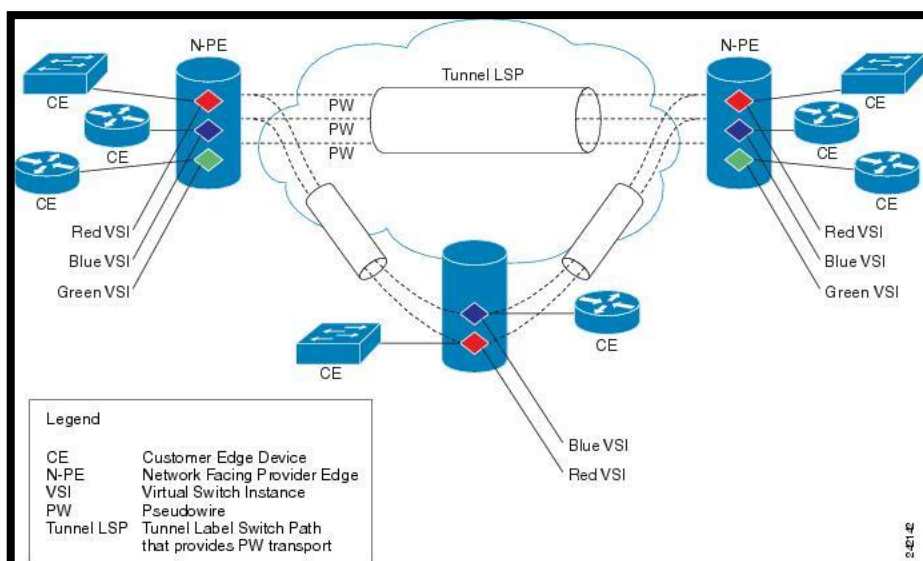


Figura 2. 17: Modelo de un servicio VPLS  
Fuente: (Cisco Systems Inc., 2010)

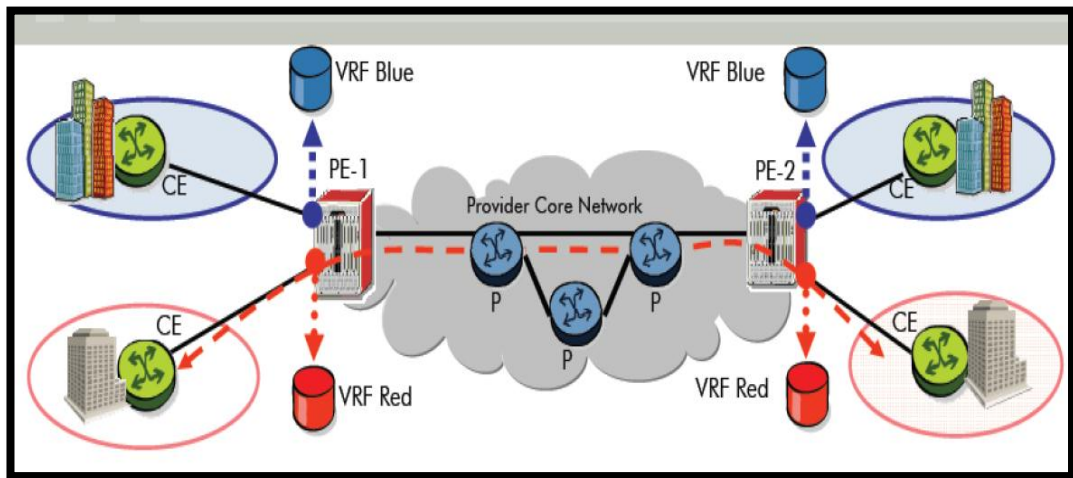


Figura 2. 18: Ejemplo de un servicio L3VPN  
Fuente: (Alcatel-Lucent, 2014)

Para la creación de servicios se necesitan otros protocolos que distribuyan las etiquetas internas o de servicio que se ubicarán dentro del túnel de transporte creado por RSVP-TE. Estos protocolos son el T-LDP (Targeted LDP) para servicios de capa 2 y el MP-BGP (Multiprotocol BGP) para los servicios de capa 3.

### 2.2.9. T-LDP (Targeted LDP)

Se utiliza para señalar las etiquetas de servicio asociadas con los túneles de servicio, por lo tanto, identifican el tráfico VPN particular.

T-LDP se utiliza para el intercambio de etiquetas en la capa dos del modelo OSI y utiliza procesos similares a LDP, los mensajes de descubrimiento “Hello” son enviados a las adyacencias de T-LDP, posterior a eso los mensajes de “Init” son enviados para el establecimiento de sesión, y luego los mensajes de actividad se envían para mantener la conexión levantada.

En LDP los mensajes de Hello, son enviados por multicast, a diferencia de T-LDP que los envía de modo unicast. En T-LDP los peers no requieren estar conectados directamente.

### 2.2.10. MP-BGP (Multiprotocol BGP)

La RFC 2547 define un mecanismo que permite a los proveedores de servicios recurrir a su backbone de red IP/MPLS para transportar servicios de VPN a sus clientes. La RFC 2547 además se conoce como BGP/MPLS VPN porque MP-BGP se utiliza para el intercambio de información de enrutamiento entre sitios remotos sobre la WAN y MPLS se utiliza para enviar tráfico de VPN. (Juniper Networks, Inc, 2001)

MP-BGP es el protocolo que los servicios L3VPN utilizan para distribuir la información de enrutamiento. En MP-BGP un cliente está conectado a la red de un SP (Service Provider) a través de una interfaz que será asociada a una tabla de enrutamiento y VRF en un router PE. Para el establecimiento de la VPN se consideran dos flujos de control, uno para el intercambio de la información de enrutamiento entre los sitios remotos mediante el protocolo MP-BGP y el segundo flujo consiste en establecer la ruta conmutada por etiquetas (LSP) mediante el protocolo LDP, lo que permitirá finalmente el flujo del tráfico de datos entre los sitios remotos. (Icaran , 2005)

MP-BGP es una extensión del protocolo estándar BGP, que solo maneja direcciones unicast IPv4, mientras que MP-BGP es compatible con más de 15 familias de direcciones BGP unicast o multicast, del protocolo IPv4 e IPv6.

**Route Distinguisher (RD):** es un número que no contiene información referente al enrutamiento sino que exclusivamente permite crear rutas distintas a un común prefijo de dirección IPv4. RD transforma la dirección IP de 32 bits en una dirección de 96 bits única en la red, así los routers PE anuncian prefijos de 96 bits. De esta forma, los clientes pueden utilizar el mismo rango de direcciones IP, pero a las vez mantiene cada red diferente al resto.

**Route-Target (RT):** permite que el protocolo MP-BGP instale las rutas en la correcta tabla de egreso VRF. RT es una comunidad extendida de BGP de 64 bits utilizada para marcar los prefijos. Es decir, al momento de exportar prefijos en



una VRF, se los incluye en una comunidad de RT, así cuando un router PE en el sitio remoto debe importar prefijos en la VRF, puede identificarlos con mayor facilidad.

En la figura 2.19 se observa un diseño de red que tiene implementado MP-BGP como protocolo de distribución del servicio L3VPN, con las comunidades RT y RD para actualizar los prefijos de una VRF.

### 2.2.11. Calidad de servicio (QoS)

Es un componente absolutamente esencial en soluciones de redes de acceso móvil basadas en redes de paquetes. Se utiliza principalmente por las siguientes razones:

- ❖ Respetar los requerimientos de tráfico para las diferentes clases de servicio.
- ❖ Asegurar que se respeten las necesidades del tráfico de alta prioridad durante los momentos de congestión en la red.

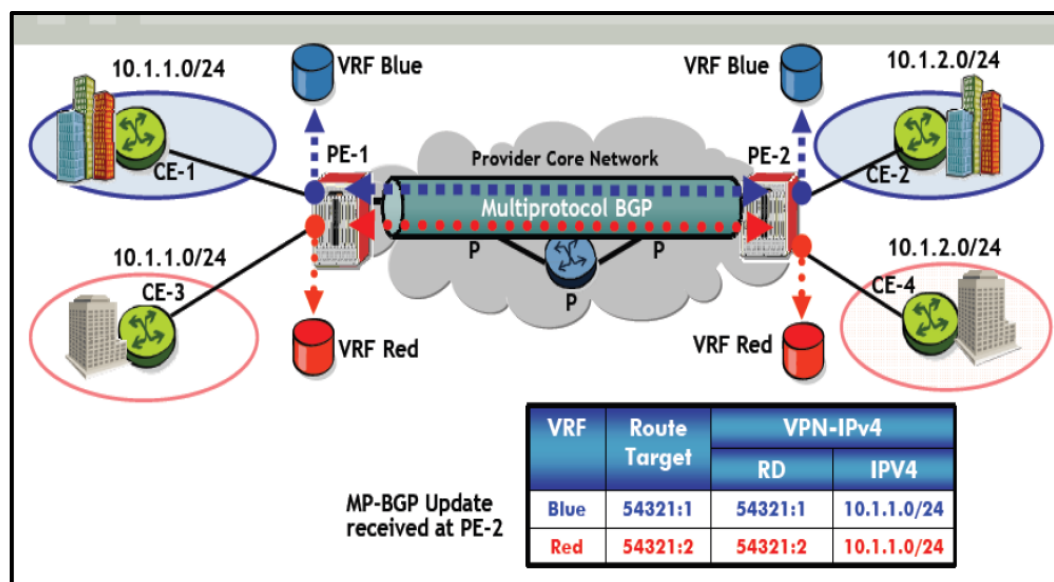


Figura 2. 19: Ejemplo del protocolo MP-BGP  
Fuente: (Alcatel-Lucent, 2014)

En la mayoría de las redes, se transportan diferentes tipos de tráfico, cada uno de ellos con características diferentes, y por lo tanto, con diferentes requisitos de

servicio. Con el fin de implementar una red que cumpla con las expectativas del cliente, se debe tener cuidado para asegurar que esos requisitos sean respetados.

Al existir diferentes tipos de tráfico, se deben establecer prioridades entre ellos, favoreciendo generalmente el tráfico en tiempo real (voz y video) y el tráfico de señalización, sobre el tráfico de datos de usuario.

Debido a la sobre subscripción, los enlaces de red, pueden sufrir congestión de ancho de banda durante las horas pico y el tráfico de alta prioridad podría experimentar pérdida de paquetes y una alta variación de retardo y si el tráfico de voz se viera afectado durante la congestión, las llamadas experimentarían una disminución en cuanto a calidad y se desconectarían eventualmente.

**Políticas de QoS:** existen políticas o plantillas que pueden aplicarse en puntos específicos de la red. Las cuales pueden ser políticas de red y políticas de acceso. Seguidamente se detallan las características de cada una de ellas.

**Políticas de Red:** las políticas de red se aplican a los enlaces WAN o de red, los cuales se encargan de la clasificación, etiquetado y encolado de los paquetes en esos enlaces. Existen tres tipos diferentes de políticas utilizadas en los enlaces de red:

- ❖ Network Policies: Definen a la entrada como se clasifica el tráfico que llega a un puerto, en función de su marca y precisa como será marcado el tráfico antes de salir de un puerto.
- ❖ Network Queue Policy: Define las colas y los parámetros asociados a las mismas en los puertos de red, y precisa además la asignación del tráfico que ingresa y sale de los puertos de red a las colas correspondientes.
- ❖ Slope policy: Define las reservas de los buffers.

**Políticas de Acceso:** también se conocen como políticas de servicio, puesto que se aplican a los servicios, y han sido diseñadas para satisfacer las necesidades específicas de tráfico entrante de red móvil, donde el tráfico se clasifica y se trata de acuerdo a su necesidad específica.

Existen dos tipos de políticas de acceso:

- ❖ **Service Ingress:** Esta política define como será clasificado el tráfico que llega a un punto de acceso al servicio y como se encolará antes de enviar el tráfico.
- ❖ **Service Egress:** Esta política define como será enviado el tráfico al momento de salir del servicio, antes de enviarlo al punto de acceso al servicio.

#### **2.2.12. Manejo del tráfico de un eNB**

En la red LTE un bearer (portador) es un camino definido para transportar los flujos de datos con parámetros específicos de QoS como capacidad garantizada, retardo y tasa de error de bit.

Cada suscriptor tiene al menos un bearer por defecto establecido durante el proceso de registro del equipo de usuario. Sin embargo, el suscriptor puede tener varios bearers dedicados, esto dependerá del tipo de servicio al cual este suscrito.

Cada bearer está asociado a un QCI (QoS Class Identifier), el cual representa su prioridad con un número entre 1 y 9. Se deben diferenciar dos tipos de bearer:

- ❖ **GBR (Guaranteed Bit Rate):** los bearers de tasa de bit garantizada en los cuales un usuario tiene un ancho de banda mínimo garantizado.
- ❖ **non-GBR (non-Guaranteed Bit Rate):** el bearer no garantizado, representa lo contrario, no se garantiza ningún ancho de banda al usuario.

En la Tabla 2.6 se observa la clasificación 3GPP de los servicios LTE en 9 categorías dependiendo de las restricciones:

Tabla 2. 6: Rangos de parámetros 3GPP QCI

Ejemplos de Servicios	QCI	Tipo de Recurso	Prioridad	Retardo de Paquete permitido (ms)	Tasa de Errores de Paquetes
Voz Conversacional	1	GBR	2	100	$10^{-2}$
Video Conversacional (Live Streaming)	2		4	150	$10^{-3}$
Juegos en tiempo real	3		3	50	$10^{-3}$
Video No-Convencional (Buffered Streaming)	4		5	300	$10^{-6}$
Señalización IMS	5	NO GBR	1	100	$10^{-6}$
Video (Buffered Streaming) basado en TCP (ej. www, e-mail, chat, ftp, compartición de archivos p2p, video progresivo, etc.)	6		6	300	$10^{-6}$
Voz, Video (Live Streaming) Juegos Interactivos	7		7	100	$10^{-3}$
Video (Buffered Streaming) basados en TCP (e.g., www, e-mail, chat, ftp, archivos p2p)	8		8	300	$10^{-6}$
Compartición, video progresivo, etc.)	9		9		

Fuente: (ETSI-European Telecommunications Standards Institute, 2011)

El marcado QoS para el plano de usuario es administrado por el eNB para flujos de subida, por el PGW para flujos de Bajada y el PCRF para definición de reglas y configuraciones de bearers. El PGW hará cumplir estas reglas definidas.

Los paquetes de usuario son encapsulados con una cabecera de transporte LTE. Las marcaciones del paquete y el procesamiento serán aplicados en una cabecera externa.

### **2.2.13. Sincronismo de una red IP-RAN**

En las redes móviles se requiere que los equipos controladores y las radio bases se encuentren sincronizadas para lograr establecer una adecuada comunicación, se requiere de un alto nivel de precisión en el sincronismo para este tipo de redes Ethernet a nivel del EPC y backhaul, siendo así, a continuación se explican dos tecnologías de sincronización para este tipo de soluciones:

**Synchronous Ethernet (Sync-E):** Utiliza la capa física de los enlaces Ethernet para distribuir una señal de reloj común para todos los elementos de la red. Cada elemento de red tiene un reloj local que determina la velocidad de reloj de salida para cada interface.

**IEEE 1588v2 PTP (Precision Time Protocol):** es un protocolo estándar, que tiene requerimientos mínimos de ancho de banda, soporta sincronismo a nivel de frecuencia (los relojes oscilan a nivel de frecuencia) y tiempo (los relojes están en una base de tiempo común y universal) y pueden proporcionar un mejor rendimiento.

El protocolo PTP ha sido definido por la IEEE bajo el estándar 1588v2, provee una referencia de tiempo muy precisa en una red de paquetes, gracias a la propagación de la información de frecuencia, fase y fecha/hora.

En el estándar 1588v2 existen cuatro tipos de relojes:

- **Ordinary Clock:** Corresponde a un cliente que tiene un solo puerto PTP, mantiene la escala del dominio del tiempo y puede convertirse en maestro en caso de entregar la referencia de tiempo a un solo reloj esclavo.

- Boundary Clock (BC): Es un reloj que tiene varios puertos PTP, puede servir como maestro y puede sincronizar con otro reloj como esclavo.
- Transparent Clock (TC): Este tipo de reloj coloca la marca de tiempo en los flujos de paquetes de entrada y salida para controlar el tiempo que el paquete se mantiene en el dispositivo TC.
- Grandmaster Clock (GC): Es la fuente que origina el flujo de paquetes con la marca de tiempo, utiliza otra referencia de reloj como su fuente, tales como GPS externo. Es conocido como un reloj maestro PTP del cual el dominio de temporización define la escala de tiempo y sus propiedades.

Existen ciertos parámetros que se deben tener en cuenta al momento de implementar 1588v2 como tecnología de sincronismo:

- Los cambios de frecuencia en la fuente de sincronismo local en un reloj.
- La resolución de la fuente de sincronismo local
- La fluctuación de un dispositivo intermedio en la red, que suman jitter, es decir, la variación del retardo en la red, por lo cual se debe tener en cuenta reducir la cantidad de saltos entre el reloj grand central (Grandmaster) y el reloj esclavo (slave), el cual debe oscilar entre 5 y 8 saltos.
- Al tratarse de paquetes el medio por el cual viaja la señal de sincronismo, se debe asegurar la prioridad más alta para este tipo de tráfico, salvaguardándolo de congestiones y deficiencias.

En el siguiente capítulo se describe el equipamiento a requerirse al momento de diseñar una red IP-RAN, considerando las especificaciones técnicas de equipos y materiales.

### Capítulo 3: Descripción de Equipamiento

Actualmente, los diferentes fabricantes de equipos de telecomunicaciones presentan al mercado distintas soluciones que buscan soportar el incremento acelerado de tráfico y la necesidad de optimizar los servicios móviles, asegurando la escalabilidad de las redes de transporte.

De la investigación efectuada, durante el desarrollo del presente documento, se determina que entre los proveedores de equipamiento para redes IP-RAN con mayor acogida en el país constan, Huawei Technologies Co. Ltd. y Alcatel-Lucent, este último tras su fusión con Nokia pasó a denominarse, Nokia Corporation.

En la Tabla 3.1 se muestra una comparación de modelos de equipo que los proveedores Nokia y Huawei utilizan en las diferentes capas de una red IP-RAN.

Tabla 3. 1: Comparación de modelos de equipos utilizados en el diseño de redes IP-RAN por proveedores Nokia y Huawei

CAPA RED IP-RAN	NOKIA	HUAWEI
ACCESO	7705 SAR-M	ATN 910I
AGREGACIÓN	7705 SAR-8	ATN-950B AGG1
CONCENTRACION	7750 SR-12	NE40-X2-M8

Elaborada por: La Autora.

Del levantamiento de información realizado se observó que 2 de los Operadores móviles del país que brindan servicio de telefonía celular 4G con tecnología LTE, disponen de redes IP-RAN cuyo equipamiento es Alcatel-Lucent, ahora conocida como Nokia Corporation; y analizando las características técnicas que debe soportar una red IP-RAN, tales como transporte en capa 3 para solventar problemas de broadcast, escalabilidad, sincronismo, ingeniería de tráfico, calidad de servicio, entre otras se determina para este diseño, referenciar el equipamiento del vendor Nokia Corporation.

### **3.1. Descripción Funcional de los nodos IP-RAN**

A continuación se describen las características fundamentales del equipamiento propuesto a utilizarse para diseñar una red IP-RAN, el detalle de las especificaciones físicas y técnicas de los equipos constan en los anexos al final del documento.

#### **3.1.1. Equipo Agregador/Acceso: Router 7705 SAR (Service Aggregation Router)**

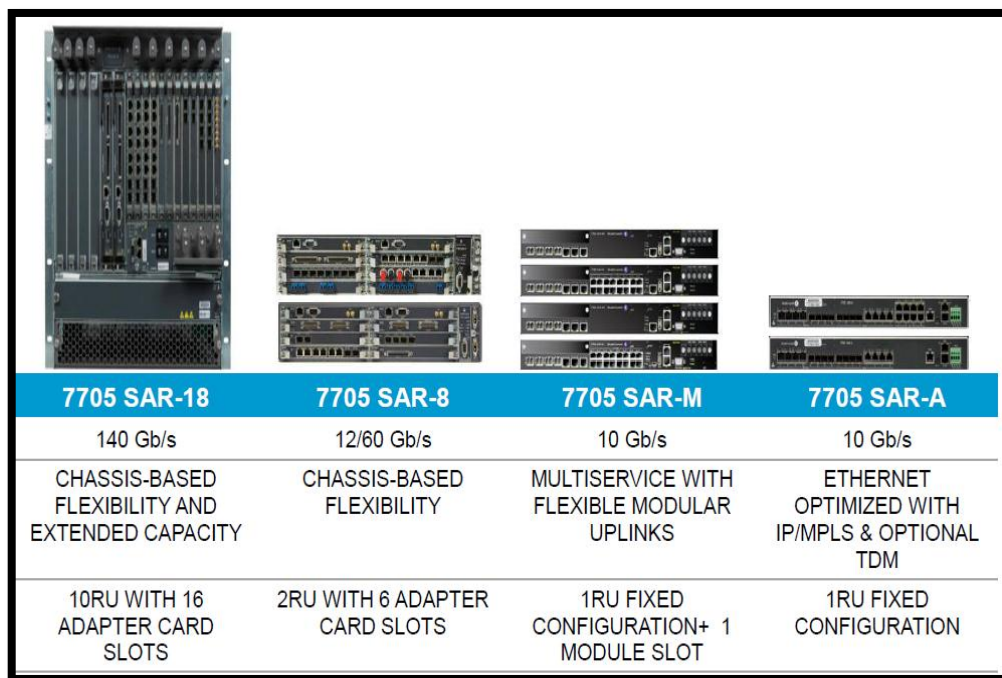
La familia de equipos 7705 SAR, son dispositivos que permiten la adaptación, agregación y enrutamiento de los servicios sobre una infraestructura eficiente, haciendo uso de las funciones Ethernet y MPLS. Las interfaces soportan una amplia gama de protocolos de acceso y son dispositivos que se adaptan como solución para el backhaul móvil, o convergencia de tráfico fijo – móvil y aplicaciones empresariales. Entre las principales bondades de esta familia de equipos tenemos:

- Los router 7705 SAR, son compactos y pueden ser implementados como solución para el interior o exterior de la central.
- Soportan servicios de alta disponibilidad para topologías de red flexibles, y permite una amplia gama de conexiones a nivel de transmisiones tales como, fibra óptica, microonda y cobre, lo cual reduce los tiempos de implementación y los gastos de capital. (Nokia Corporation, 2016)
- Permiten ingeniería de tráfico, y un tratamiento diferenciado a los servicios, lo cual facilita la convergencia de tráfico fijo – móvil para los diferentes proveedores de servicios.
- Disponen de una alta capacidad para redireccionar el tráfico, proporcionando una convergencia en decenas de milisegundos, reduciendo los costos de operación y mejorando la satisfacción de los usuarios finales.



- Proporcionan una sincronización exacta, que reduce la pérdida de datos y minimiza la variación del retardo de sincronización de tráfico.
- Dispone de un conjunto de medidas de seguridad para salvaguardar la integridad de la red, ante ciberataques.


Como se observa en las figuras 3.1 y 3.2, dependiendo de los requerimientos a nivel de diseño e implementación, existen variantes a nivel de chasis y en esta familia de equipos se dispone de los siguientes modelos: 7705 SAR-W, 7705 SAR-H, 7705 SAR-M, 7705 SAR-A, 7705 SAR-O, 7705 SAR-8, 7705 SAR-18, entre otros.



7705 SAR-18	7705 SAR-8	7705 SAR-M	7705 SAR-A
140 Gb/s	12/60 Gb/s	10 Gb/s	10 Gb/s
CHASSIS-BASED FLEXIBILITY AND EXTENDED CAPACITY	CHASSIS-BASED FLEXIBILITY	MULTISERVICE WITH FLEXIBLE MODULAR UPLINKS	ETHERNET OPTIMIZED WITH IP/MPLS & OPTIONAL TDM
10RU WITH 16 ADAPTER CARD SLOTS	2RU WITH 6 ADAPTER CARD SLOTS	1RU FIXED CONFIGURATION+ 1 MODULE SLOT	1RU FIXED CONFIGURATION

Figura 3. 1: Familia 7705 SAR  
Fuente: (LightRiver Technologies Corporation, 2016)

Los dispositivos a utilizar para el diseño de la red IP-RAN propuesto, de acuerdo a sus especificaciones técnicas y características físicas, corresponde a los equipos: 7705 SAR-M como router de celda y el 7705 SAR-8 como router agregador.



7705 SAR-H	7705 SAR-Wx	7705 SAR-Hc	7705 SAR-W	7705 SAR-O
8 Gb/s	10 Gb/s	5 Gb/s	10 Gb/s	CWDM
NAT AND ENCRYPTION SUPPORT	POLE, WALL and STRAND MOUNTABLE NAT AND ENCRYPTION SUPPORT	DIN RAIL MOUNTABLE ROUTER	OPTIMIZED FOR OUTSIDE PLANT	OPTIMIZED FOR OUTSIDE PLANT COMPACT (size of a laptop)
1.7RU FIXED CONFIGURATION+2 MODULE SLOTS	TARGETED VARIANTS WITH OPTIONAL POE+ and GPS	COMPACT F/F FOR UTILITY CLOSET	COMPACT FOR POLE, WALL OR OTHER MOUNT	2 or 4 COLOR CWDM OADM & 8 COLOR CWDM MUX/DEMUX

Figura 3. 2: Familia 7705 SAR  
Fuente: (LightRiver Technologies Corporation, 2016)

- **Router 7705 SAR-M**

Los routers 7705 SAR-M son considerados como elementos LOW RAN dentro de las capas de una red IP-RAN y son ubicados generalmente en las radio bases móviles, para que funcionen como routers de celda.

El 7705 SAR-M es un router de agregación de servicio que incluye un número determinado de puertos, y en ciertas variantes del chasis puede disponer de una ranura modular para la expansión. El chasis del 7705 SAR-M contiene una sola placa de circuito que soporta todas las funciones del router tales como:

- Control
- Conmutación
- Interfaces Ethernet, T1/E1
- LED indicadores y conectores para la gestión del equipos
- Sincronización
- Alarmas

En la figura 3.3 se observa el detalle de los puertos, indicadores y conectores para el equipo SAR-M.

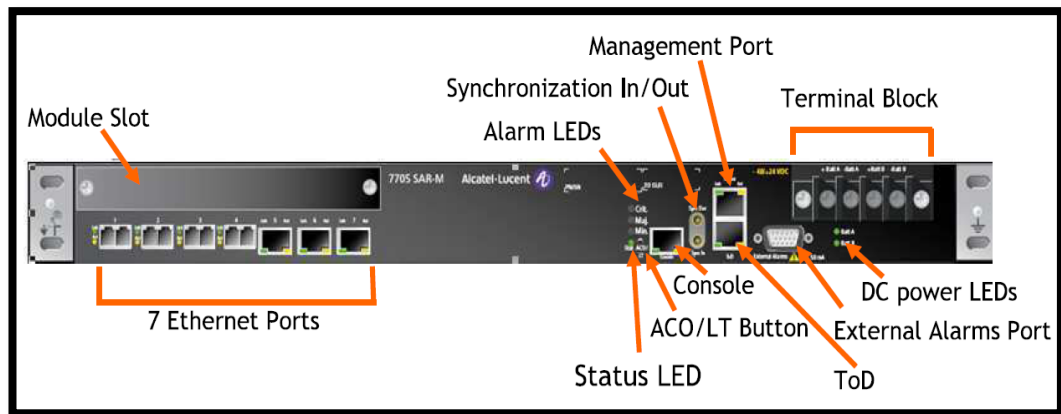


Figura 3. 3: Detalle de puertos 7705 SAR-M  
 Fuente: (ALCATEL-LUCENT UNIVERSITY, 2012)

El módulo de entrada/salida denominado IOM (Input/Output Module), para este tipo de SAR es sólo una entidad virtual, es decir, existe en el software y se soporta en el hardware del sistema. Los puertos de entrada y salida I/O (Input/Output) son agrupados y virtualizados en tarjetas adaptadoras denominadas MDA (Media Dependent Adapters) para su posterior asignación.

El módulo de control y conmutación denominado CSM (Control and Switch Module) tanto en los modelos 7705 SAR-8 y 7705 SAR-18 es un componente físico extraíble, que debe estar instalado en el chasis, pero no requiere ser aprovisionado. En el caso del 7705 SAR-M, el CSM no es un componente extraíble, sino más bien las funciones de control y conmutación corresponden a un bloque funcional que se integra al chasis y no requiere ser aprovisionado.

Entre las funciones principales de control y conmutación del SAR-M se tiene:

- Gestión y control de las interfaces del equipo.
- Sincronización del sistema
- Gestión de las interfaces de alarma para las entradas/salidas externas.
- Funciones de Enrutamiento y conmutación de servicios.

En este modelo de equipo todas las conexiones físicas se realizan en la parte delantera del chasis, incluso la conexión a tierra.

En la figura 3.4 se observan las 4 variantes del router SAR-M, cualquiera de ellas ocupa una unidad de rack (RU) y su sistema soporta un throughput (velocidad real de transporte de datos) de 10 Gb/s HD (Half Duplex):

1. Chassis con 7 puertos Gi/FE, sin módulo extraíble, 16 puertos T1/E1, y con sistema de enfriamiento pasivo.
2. Chassis con 7 puertos Gi/FE, sin módulo extraíble y con sistema de enfriamiento pasivo.
3. Chassis con 7 puertos Gi/FE, módulo extraíble y 16 puertos T1/E1 y con ventilador de enfriamiento.
4. Chassis con 7 puertos Gi/FE, módulo extraíble y sin 16 puertos T1/E1 y con ventilador de enfriamiento.



Figura 3. 4: Variantes de router 7705 SAR-M  
Fuente: (Alcatel-Lucent University, 2012)

En la propuesta de diseño el router 7750 SAR-M será implementado como puerta de enlace o Gateway de los eNB y la variante a utilizar es la número 4, que dispone de 4 puertos 10/100/1000 SFP (Small form-Factor Pluggable) y 3 puertos que soportan 1000 Base-T. Los módulos SFPs son “hot-swappable”, es decir pueden ser extraídos en caliente.

- **Router 7705 SAR-8**

El 7705 SAR-8 dispone de un sistema totalmente redundante, que está constituido de 8 ranuras horizontales para las CSM y las tarjetas adaptadoras (MDAs), y una ranura vertical para el módulo de ventilación. Todas las conexiones físicas se realizan en la parte frontal del equipo, incluso el punto de tierra del chasis.

De igual forma que el SAR-M no existen conexiones en la parte posterior del equipo. En la figura 3.5 se muestra un esquema del equipo 7705 SAR-8, el cual ocupa 2 RU:



Figura 3. 5: Router 7705 SAR-8  
Fuente: (ALCATEL-LUCENT UNIVERSITY, 2012)

A continuación se describe brevemente las características básicas de la tarjeta CSM y MDA para el equipo 7705 SAR-8.

- **Tarjeta CSM:**

En el router 7705 SAR-8, la CSM tiene las mismas funciones de control de enrutamiento y conmutación que en el router 7705 SAR-M. Cada CSM incluye una compact flash, que contiene el software de arranque del equipo, el sistema operativo, y los archivos de configuración y de logs, por lo tanto para que arranque el sistema debe existir por lo menos una CSM instalada.

Como se observa en la figura 3.6 al momento de instalar dos CSM, la redundante opera en modo de reserva y asumirá toda la operación del sistema, en caso de que la CSM activa falle.

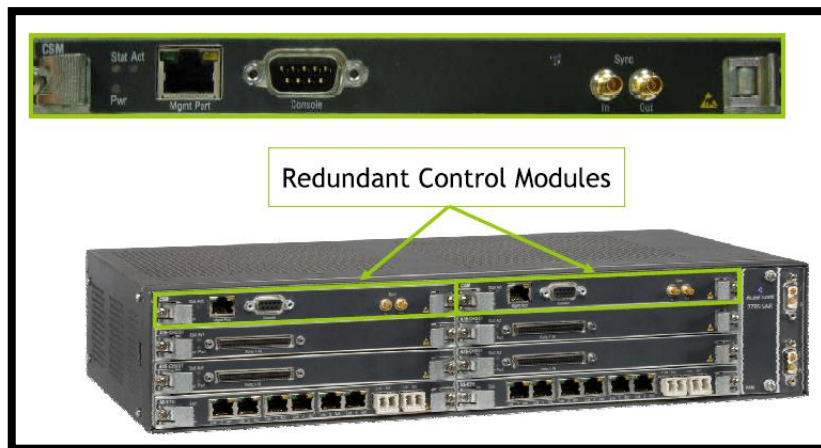


Figura 3. 6: Tarjeta controladora CSM para un router 7705 SAR-8  
Fuente: (ALCATEL-LUCENT UNIVERSITY, 2012)

La CSM se conecta directamente al backplane y transporta el tráfico entre las tarjetas MDAs, la CSM recibe y dirige el tráfico a los diferentes destinos de acuerdo al esquema de enrutamiento. Las tarjetas CSM también son hot-swappable.

- **Tarjeta MDA:**

Las tarjetas adaptadoras MDA brindan una diversidad de interfaces que soportan distintos tipos y tecnologías, tales como: Interfaces T1/E1, Ethernet (10/100/1000/10.000 Base-T y óptico), interfaces SONET/SDH (OC3/STM1), interfaces DS3/E3, entre otras.

La figura 3.7 muestra una tarjeta MDA de 8-port Gigabit Ethernet SFP, que posee las siguientes características:

- Los puertos SFP GigE 10/100/1000 Mbps soportan detección automática y auto-negociación.
- Los puertos ópticos son compatible con SyncE como fuente de sincronismo.

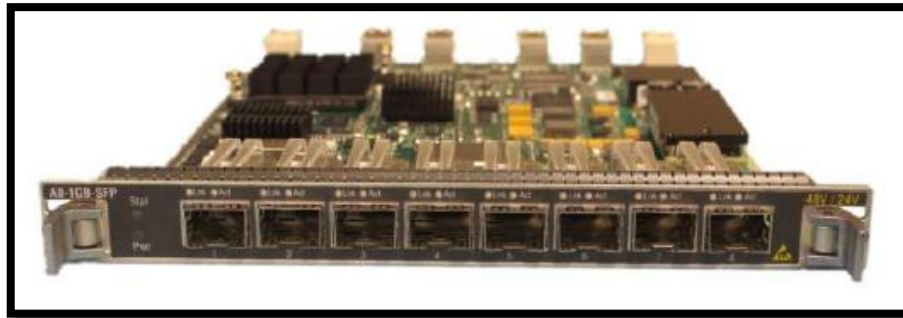


Figura 3. 7: Tarjeta MDA 8-port Gigabit Ethernet SFP  
Fuente: (Alcatel-Lucent, 2014)

Como se observa en la figura 3.8, si el equipo 7705 SAR-8 se configura de forma redundante, las controladoras (CSM) se instalan en las ranuras CSM A y CSM B, caso contrario se instalará una sola CSM en cualquier slot, A o B, pero una placa de relleno debe ser instalada en la ranura libre.

Las tarjetas adaptadoras (MDA) pueden ser instaladas desde los slot MDA 1 a MDA 6, como se observa en la figura 3.8 y para el caso del SAR-8 chasis v1, soporta 6 tarjetas adaptadoras con capacidad 1 Gb/s y el SAR-8 v2 soporta 4 slots de 2,5 Gb/s Full Dúplex (FD) o en su defecto 2 slots de 10 Gb/s de capacidad (FD).

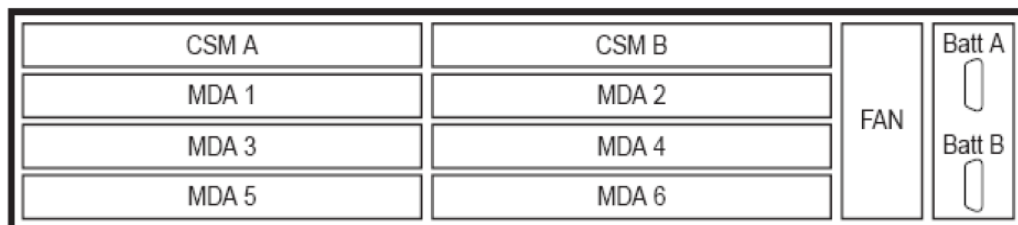


Figura 3. 8: Identificación de ranura 7705 SAR-8  
Fuente: (Alcatel-Lucent, 2014)

El 7705 SAR-8 posee dos fuentes de alimentación independientes cada una de -48 VDC, es decir un sistema redundante de energía para el sistema. Este modelo de equipo tiene un diseño de energía distribuido, por lo cual cada CSM y MDA dispone de fuentes de energía separadas para su funcionamiento. El módulo de ventilación FAN, ubicado en la parte frontal izquierda del equipo provee enfriamiento al sistema, indicadores de alarmas (LEDs), y conectores de I/O de alarmas externas.

### **3.1.2. Equipo de Concentración: Router 7750 SR (Service Router)**

La serie de equipos 7750 SR, permite un alto nivel de enrutamiento para la amplia gama de aplicaciones IP que hoy en día requieren ser administradas por las diferentes redes de las medianas y grandes empresas proveedoras de servicios.

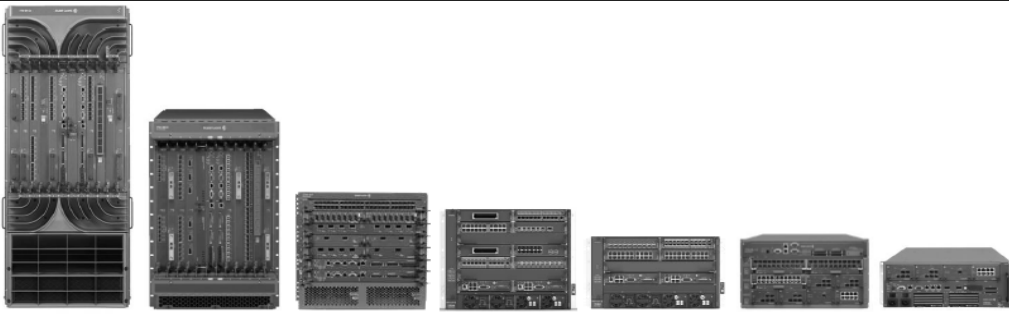
Entre las principales bondades de esta familia de equipos tenemos:

- Los equipos 7750 SR soportan capacidades de transmisión de 2 Tb/s (Terabits/segundo) en modo semidúplex, 9,6 Tb/s (semidúplex) y soportan interfaces Gigabit Ethernet (Gi) en el orden de 1Gi, 10Gi, 40Gi y 100Gi.
- Esta serie de equipos dispone de un procesador de silicio de tercera generación altamente programable conocido como Nokia FP3 (FlexPath 3), que permite alcanzar altas velocidades, soportar servicios/aplicaciones inteligentes y que se adapta a la evolución de los requerimientos de los usuarios finales. (Nokia Corporation, 2016)
- Los routers 7750 SR soportan una amplia gama de funciones y aplicaciones IP tales como:
  - ❖ Broadband Network Gateway (BNG), es decir, funciones de red de banda ancha para la administración de suscriptores residenciales.
  - ❖ Funciona como router PE, para habilitar MPLS y permitir servicios Carrier Ethernet y VPN IP, acceso a internet y la interconexión de servicios entre la nube y centros de datos.
  - ❖ Funciona como router concentrador para soportar aplicaciones móviles 3G, LTE y LTE-Advanced a nivel del backhaul.
  - ❖ Tiene funciones de Gateway de seguridad para el backhaul de redes móviles.



- Dispone de las herramientas necesarias para definir y entregar los acuerdos a nivel del servicio o SLA (Service Level Agreement), más exigentes.
- Los routers 7750 SR, disponen de un sistema operativo que soporta una variedad de características para garantizar los protocolos IP/MPLS, asegurar estabilidad en la red sin interrupción de servicios.
- El equipo 7750 SR está equipado con una plataforma de extensión óptica conocida como OES (Optical Extension Shelf) basada en la familia de equipos DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), tales como el equipo Nokia 1830. Esta extensión permite al equipo 7750 SR coordinar eficientemente el transporte y enrutamiento de segmentos ópticos de forma dinámica para las conexiones de extremo a extremo.

Como se observa en la figura 3.9, existen variantes a nivel de chasis debido a la cantidad de slot disponibles, throughput total del sistema o tipo de servicio soportados, se mencionan los siguientes modelos: 7750 SR-a8, 7750 SR-7, 7750 SR-12, 7750 SR-12e, entre otros.



7750 SR-12e	7750 SR-12	7750 SR-7	7750 SR-a8	7750 SR-a4	7750 SR-c12	7750 SR-c4
7.2 Tbps HD 400G per slot FD	4Tbps HD up to 200G per slot FD	2Tbps HD up to 200G per slot FD	400 Gbps HD 100G per IOM FD	200 Gbps HD 100G per IOM FD	90 Gbps HD	90 Gbps HD
12 slots (9 user slots) 1/2 rack 22 RU	12 slots (10 user slots) 1/3 rack 14 RU	7 slots (5 user slots) 8RU	(2) IOM slots 4 MDAs per IOM 7RU	(1) IOM slot 4 MDAs per IOM 5RU	12 compact slots or 3 full slots 5RU	4 compact slots 3RU
Terabit multiservice router	Terabit multiservice router	Mid-scale multiservice router	Fabricless, mid-scale router	Fabricless, small-scale router	Small POP router	Small POP router

Figura 3. 9: Familia 7750 SR  
Fuente: (Alcatel-Lucent, 2014)

El equipo generalmente utilizado para el diseño de redes IP-RAN, por sus especificaciones técnicas y características físicas corresponden al equipo 7750 SR-12 como router concentrador o de borde.

- **Router 7750 SR-12**

Los equipos de la familia 7750 SR cuentan en su arquitectura de dos módulos fundamentales:

- ✓ Módulo de entrada/salida: IOM o IMM (Integrated Media Modules).
- ✓ Módulo de conmutación: SF/CPM (Switch-Fabric/Control Plane Module).

Como se observa en la figura 3.10 el router 7750 SR-12 dispone de 2 slots para las tarjetas controladoras SF/CPM y 10 slots para tarjetas de servicios (IOM/IMM).

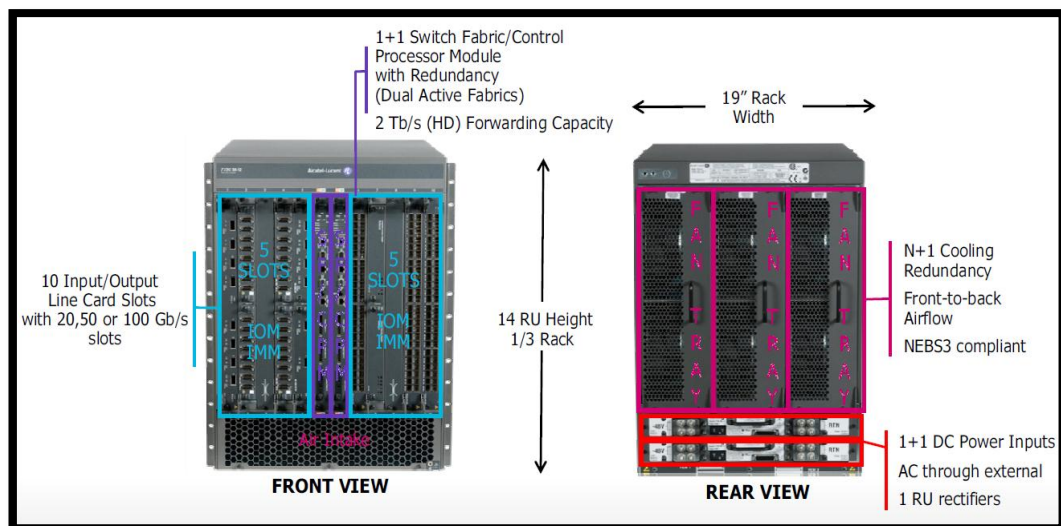


Figura 3. 10: Router 7750 SR-12  
Fuente: (Alcatel-Lucent University, 2012)

A continuación se describe brevemente las características básicas de estos módulos para el router 7750 SR-12.

### Módulo de conmutación SF/CPM:

El router 7750 SR-12 arranca con una sola tarjeta SF/CPM, como se muestra en la figura 3.11 al disponer de 2 controladoras se podrá brindar redundancia completa al equipo.

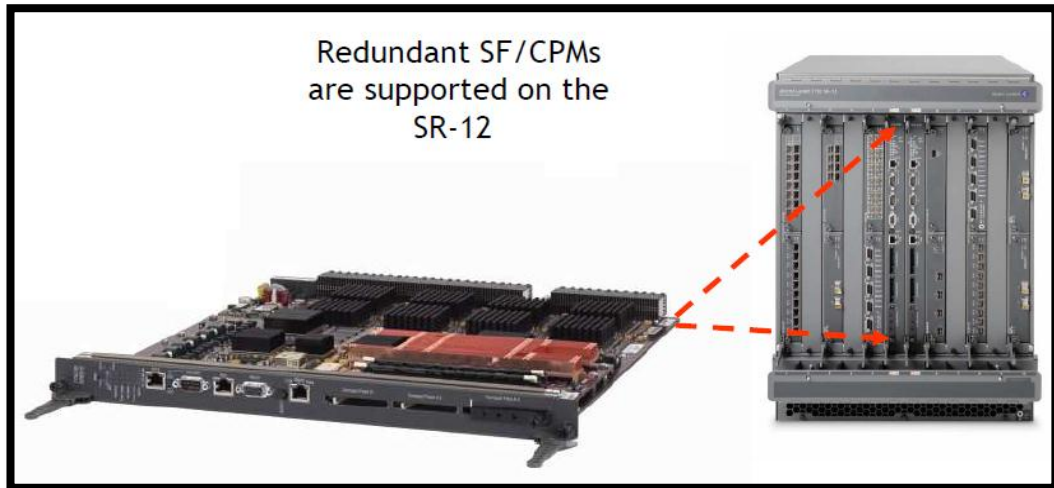


Figura 3. 11: Tarjeta SF/CPM para router 7750 SR-12  
Fuente: (Alcatel-Lucent University, 2011)

El módulo SF/CPM tiene 2 funciones principales:

- a) Ejecutar las funciones de conmutación a nivel del plano de datos.
- b) Ejecutar la gestión, procesamiento y seguridad del plano de control

El diagrama de bloques de la figura 3.12 presenta la arquitectura funcional del router 7750 SR-12, para el cual la tarjeta SF/CPM cuenta con un CPU (Central Processing Unit) de múltiples núcleos, lo que le permite disponer de un multiprocesamiento simétrico (SMP- Symmetric Multi-processing) para alcanzar un plano de control altamente escalable, en el cual las tareas se asignan y distribuyen dinámicamente a los diversos procesadores de tal forma, que en caso de que un procesador falle, no se pierde el proceso por completo, lo cual conlleva a utilizar al máximo las bondades del equipo.

El sistema del router 7750 SR-12 soporta 4 Tb/s de capacidad en modo HD, redundante y por slot soporta hasta 200 Gb/s en modo full dúplex (FD), redundante.

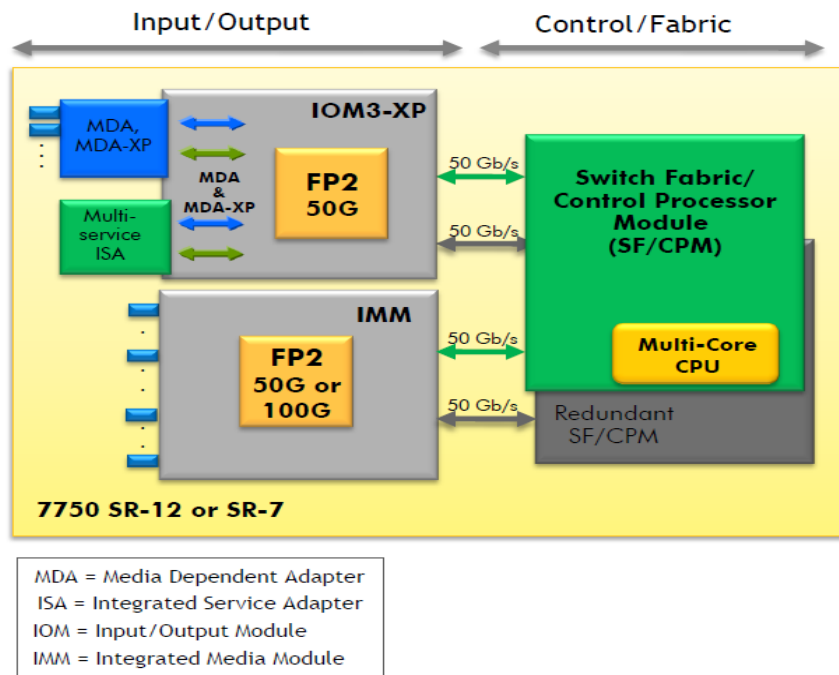


Figura 3. 12: Diagrama de bloques de la Arquitectura funcional del router 7750 SR-12  
 Fuente: (Alcatel-Lucent, 2014)

A nivel de seguridad el módulo SF/CPM posee un procesador de red que soporta la detección y mitigación de ataques de servicio tipo DDoS (Distributed Denial of Service). Maneja un filtrado avanzado para la limitación de ancho de banda y encolado del tráfico a nivel del plano de control, certificando el aislamiento entre los distintos protocolos de red y las sesiones BGP.

### Módulo de entrada/salida IOM e IMM:

Los módulos IOM e IMM utilizan las ranuras de servicio, cada tarjeta recibe de la controladora SF/CMP una capacidad total de 200Gbps (FD), por lo cual cada slot puede conmutar tráfico a dicha velocidad en cada puerto, es decir, al utilizar una tarjeta IMM de 2 puertos, cada puerto maneja 100Gbps.

Los módulos IOMs son hot-swappable, y cada uno de ellos es responsable de conectar dos tarjetas adaptadoras MDAs al sistema, las cuales facilitan la distintas interfaces físicas de 10Gi, 1Gi, 10/100/1000 Ethernet, etc., lo cual se observa en la figura 3.13, a diferencia de las tarjetas IMM cuyas interfaces físicas son parte de la tarjeta y no requiere la instalación de MDAs.

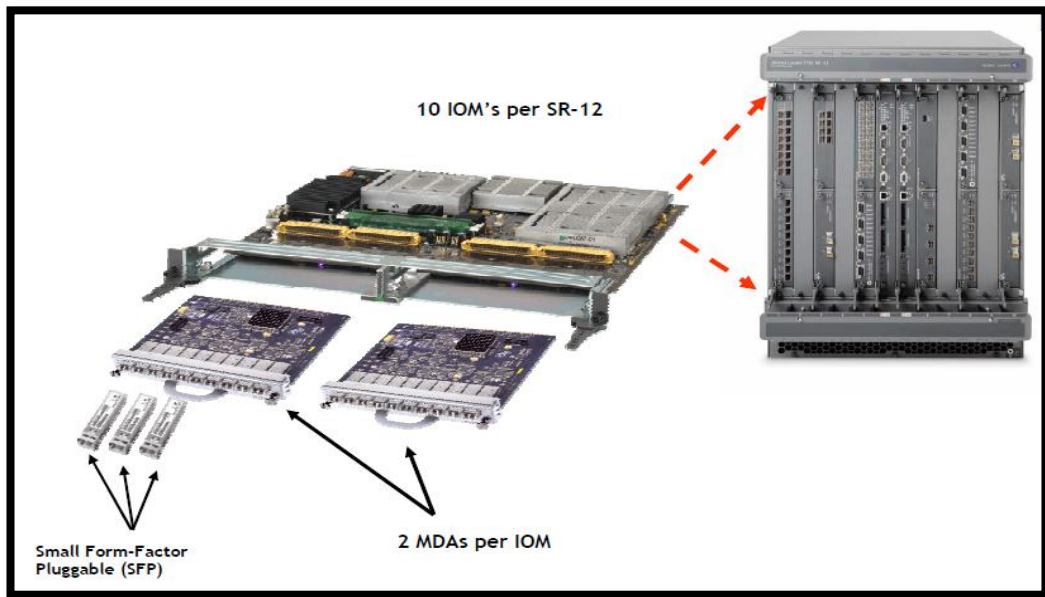


Figura 3. 13: Tarjeta IOM para router 7750 SR-12  
Fuente: (Alcatel-Lucent University, 2011)

Tanto las tarjetas IOM e IMM reciben las tramas desde una interfaz para luego tomar las decisiones de conmutación, aplicar las políticas de QoS por servicio, utilizar las listas de control de acceso (ACL, Access Control List) y aplicar las funciones de contabilidad (Accounting), estas tramas se convierten en celdas antes de ser enviadas a la controladora, el procedimiento se repite en el sentido contrario al transmitir las tramas hacia una interfaz.

En la figura 3.14 se muestran los modelos de tarjetas IOM más utilizados, y cuya diferencia principal es la capacidad de throughput total que soportan, como es el caso de la IOM2 cuyo throughput es de 20 Gb/s (FD) o la tarjeta IOM3-XP que soporta 50 Gb/s (FD).

En la figura 3.15 se observan ciertos modelos de tarjetas IMM, tales como la tarjeta 1-PORT 100GigE IMM, que dispone de 1 pto de 100Gi de capacidad, o la tarjeta 1-port OC-768c/STM-256c DWDM IMM que soportan puertos para la tecnología DWDM a nivel de la transmisión.



Figura 3. 14: Modelos de tarjetas IOM para router 7750 SR-12  
Fuente: (Alcatel-Lucent, 2014)



Figura 3. 15: Modelos de tarjetas IMM para router 7750 SR-12  
Fuente: (Alcatel-Lucent University, 2011)

**Tarjetas MDA:** Como se menciona en el ítem anterior, las tarjetas MDA proporcionan las interfaces físicas y dependiendo de la tecnología a conectarse existe una variedad de tarjetas como se muestra en la figura 3.16, de las cuales se mencionan 60-port 10/100 Base TX Ethernet MDA, 20-port 100BaseFX MDA, 10-port 1GigEthernet MDA, 1-port 10GigEthernet MDA.

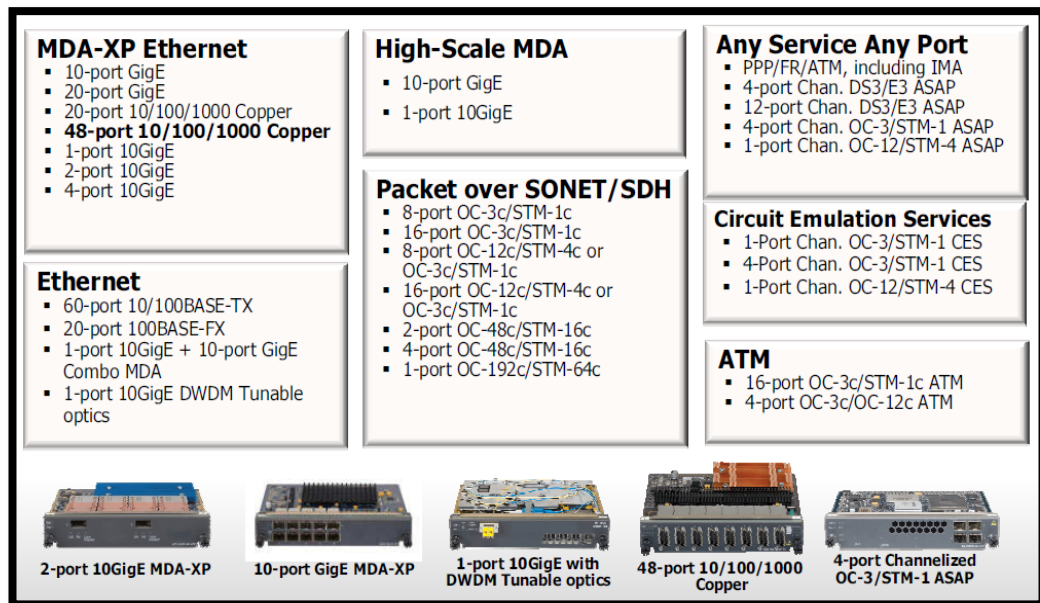


Figura 3. 16: Tipos de MDAs soportadas para los router 7750 SR-12  
Fuente: (Alcatel-Lucent University, 2012)

La tabla 3.2 detalla la cantidad de puertos Ethernet y Giga Ethernet que las tarjetas MDA soportan para los modelos de router SR-1, SR-7, SR-12.

Tabla 3. 2: Tipos de MDAs Ethernet soportados por el router 7750 SR

MDA Type	Interface Speed	Ports per MDA	Ports per 7750 SR		
			SR-1	SR-7	SR-12
10/100 Ethernet	10/100 Mb/s	60	120	600	1200
10/100/1000 TX Ethernet*	10/100/1000 Mb/s	20	40	200	400
100Base FX Ethernet	100 Mb/s	20	40	200	400
1000Base FX Ethernet*	1000 Mb/s	10	20	100	200
Gigabit Ethernet	1 Gb/s	5	10	50	100
Gigabit Ethernet	1 Gb/s	10	20	100	200
Gigabit Ethernet*	1 Gb/s	20	40	200	400
10 Gigabit Ethernet	10 Gb/s	1	2	8	10
10 Gigabit Ethernet*	10 Gb/s	2	4	16	20
10 Gigabit Ethernet*	10 Gb/s	4	8	40	80
1-10Gig + 10-1 Gigabit Ethernet	1/10 Gb/s	10/1	20/2	100/10	200/20
100 Gigabit Ethernet	100 Gb/s	1	2	10	20

\*Tipos de MDA Ethernet soportados por la tarjeta IOM3.

Fuente: (Alcatel-Lucent University, 2011)

**Compact Flash (CF):** Las tarjetas SF/CPM de un router 7750 SR soportan 3 compact flash, cuyas capacidades pueden ser 256 Mb, 512 Mb, 1 Gb y 2 Gb. Las

compact flash 1 y 2 permiten guardar debug y accounting logs, y la CF3 guarda la configuración activa.

### 3.1.3. Protocolos y configuraciones que soportan los elementos de una red IP-RAN

Los routers a utilizarse en el diseño de una red IP-RAN deben soportar configuraciones y protocolos que permitan transportar el tráfico de los eNB hacia el Core de la red móvil utilizando MPLS, protocolos de enrutamiento ISIS, BGP, servicios VPN de capa 3, políticas de QoS, ingeniería de tráfico, entre otros.

Las tablas 3.3 y 3.4 presentan una síntesis de los protocolos y configuraciones que los routers 7750 SR-12 ,7705 SAR 8 y SAR M, soportan, lo cual muestra que estos equipos cubren las necesidades de backhaul móvil de las redes de concentración, agregación y acceso.

Tabla 3. 3: Protocolos y configuraciones soportadas en los router SAR y SR

Protocolos y configuraciones	Características
<b>Políticas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Restricción de Ancho de Banda</li> <li>▪ Políticas de QoS</li> <li>▪ Tratamiento de tráfico según DSCP (Differentiated Services Code Point)</li> </ul>
<b>Puertos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Modo network y/o modo Access</li> <li>▪ Configuración LLDP (Link Layer Discovery Protocol)</li> <li>▪ Encapsulación dot1Q</li> <li>▪ Tamaño de MTU (Maximum Transmission Unit)</li> <li>▪ direccionamiento IP</li> <li>▪ Configuración de Políticas de Servicio</li> <li>▪ Configuración de BFD</li> </ul>
<b>ISIS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nivel 2</li> <li>▪ Extensión para Ingeniería de tráfico</li> <li>▪ Ancho de banda de referencia (cálculo de costo)</li> <li>▪ Métricas con rango amplio</li> <li>▪ Definición de interfaz punto-a-punto</li> <li>▪ Configuración de BFD</li> </ul>
<b>MPLS</b>	Habilitación del protocolo en interfaces.
<b>LDP</b>	Configuración de Targeted-Session (T-LDP)
<b>RSVP</b>	Habilitación del protocolo en interfaces.



<b>LSP</b>	Configuración de Fast-Reroute
<b>L3 VPN</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Configuración de Route Distinguisher</li> <li>▪ Configuración de Route Target</li> <li>▪ Comunidades</li> </ul>
<b>VLAN</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Encapsulamiento dot1Q</li> <li>▪ Asociación de VLAN dentro de una L3VPN</li> </ul>
<b>BGP</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Internal BGP</li> <li>▪ MP-BGP para vpn-ipv4</li> </ul>

Fuente: (Alcatel-Lucent , 2015)

Tabla 3. 4: Protocolos y configuraciones adicionales soportadas en los router SR

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
<b>Políticas</b>	Programación de políticas para filtrado de tráfico.
<b>BGP</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Inter-AS BGP (external).</li> <li>▪ Configuración como Route-Reflector.</li> </ul>
<b>Link Aggregation</b>	Soporte para configurar varios puertos dentro de un único enlace lógico.

Fuente: (Alcatel-Lucent , 2015)

Adicionalmente, los equipos 7750 SR12, 7705 SAR-8 y SAR-M tienen la capacidad de usar los siguientes métodos de sincronismo PTP, SyncE, NTP (Network Time Protocol).

### 3.2. Elementos de transmisiones de última milla

Se denomina Backhaul móvil, a la red usada para interconectar las radio bases celulares al nodo principal de la red, utilizando distintos elementos o medios de transmisión alámbricos o inalámbricos, tal es el caso de enlaces de fibra óptica, microondas, enlaces satelitales, entre otros.

A continuación se analizará brevemente los elementos de fibra óptica y microonda que serán utilizados en la propuesta de diseño de la red IP-RAN.

#### 3.2.1. Fibra Óptica

La alta tasa de tráfico que los actuales operadores de telefonía móvil administran debido al elevado consumo de aplicaciones sobre datos IP por parte de los

usuarios finales, motiva a garantizar no solo a nivel de quipos sino además a nivel del canal de transmisión, la capacidad necesaria para soportar toda la demanda de tráfico de datos, es allí donde la fibra óptica se convierte en el medio de transporte ideal para un entorno multimedia e interactivo de servicios de voz, datos y video.

Un hilo de fibra óptica consta de un núcleo que posee un diámetro de 5-10 $\mu$  (micras), un revestimiento de vidrio o plástico para brindarle rigidez mecánica, el núcleo y el revestimiento manejan índices de refracción distintos, de tal forma que la luz se refleje hacia el interior. Adicionalmente, se añade una cubierta para proteger el cable de fibra óptica de los efectos del medio.

Las señales luminosas viajan por el interior del núcleo de la fibra óptica y el revestimiento impide que las señales escapen debido a las reflexiones, evitando pérdida de energía o la adición de señales externas.

Como lo menciona (Infante Arturo, 2007) la fibra óptica frente a otros elementos conductores como el cable coaxial o par trenzado, presenta grandes ventajas tales como:

- Gran capacidad de ancho de banda, mayor velocidad en la transmisión.
- Muy bajas pérdidas, lo que disminuye el número de repetidores.
- La fibra óptica es insensible a interferencias electromagnéticas.
- La diafonía es despreciable.
- Presenta estabilidad frente a factores ambientales.

La tabla 3.5 presenta los distintos tipos de fibra óptica y sus aplicaciones dependiendo de las distancias de transmisión alcanzadas.

Como se evidencia el tipo de fibra óptica monomodo es ideal para redes de acceso, como es el caso de la redes IP-RAN.

Tabla 3. 5: Tipos de fibras ópticas y sus aplicaciones

Tipos de fibras	Anchura de banda	Aplicaciones
	(MHz.Km)	
Monomodo	>10.000	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enlaces submarinos</li> <li>• Enlaces interurbanos</li> <li>• Redes de acceso</li> </ul>
Multimodo de índice gradual	400 - 1500	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enlaces telefónicos urbanos o provinciales.</li> <li>• Tx de TV digital</li> </ul>
Multimodo de índice gradual	100 - 400	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redes multiservicio en área de abonado</li> <li>• Distribución de TV</li> </ul>
Multimodo de salto de índice y revestimiento de vidrio.	15 - 20	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redes locales</li> <li>• Transmisión de datos</li> </ul>
Multimodo de salto de índice y revestimiento plástico.	5 - 10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Militares (ambientes radioactivo)</li> <li>• Redes locales</li> <li>• Enlaces punto a punto de corta distancia</li> </ul>

Fuente: (Infante Rielo, 2007)

### 3.2.2. Equipo de radio: 9500 MPR (Microwave Packet Radio)

Si bien es cierto, durante la planificación de las radio bases, existen sitios a los cuales llegar con fibra óptica eleva los costos de un proyecto, o quizás el sitio es inaccesible con medios de transmisión alámbricos, para lo cual la solución de transporte recomendado son los enlaces microondas.

Tal es el caso de los equipos de radio 9500 MPR, que la Corporación Nokia presenta al mercado como solución ideal a nivel de capacidad e incluso permite sin dificultades la migración del mundo TDM (Time Division Multiplexing) al IP.

El radio 9500 MPR presenta una arquitectura modular compacta, resistente y flexible. Puede soportar una configuración redundante 1+1 y está conformado por 2 elementos la IDU (In-Door-Unit) y ODU (Out-Door Unit), ambos elementos separados.

La IDU, conocida en el MPR como MSS (Microwave Service Switch) es un switch interior de servicio que también puede incluso funcionar independiente como un equipo agregador en sitio, este elemento interconecta la radio con el backbone y ofrece interfaces Ethernet, TDM, entre otras. La MSS, puede contar de 1,4 y 8 slots, y es la encargada de las funciones de multiplexión y crossconexiones, la MSS-8 ocupa 2 RU. (Alcatel-Lucent, 2010)

La ODU, se define por la polaridad de trabajo, horizontal o vertical, y la frecuencia de trabajo. La figura 3.17 muestra el modelo de IDU y ODU de un radio 9500 MPR.



Figura 3. 17: IDU y ODU de un equipo de radio 9500 MPR  
Fuente: (Alcatel-Lucent, 2010)

Otros elementos importantes que conforman un enlace microonda son: la antena, la cual determina el patrón de radiación de potencia, los acopladores y cableado.

A continuación se describen los tipos de tarjeta para tráfico Ethernet que soporta una MSS:

- 6 x Ethernet access card: 4 x 10/100/1000 BaseT y 2 x SFP
- 8 x Ethernet access card: 4 x 10/100/1000 BaseT y 4 x SFP

En el siguiente capítulo se plantearán los diseños físicos y lógicos de una red IP-RAN para el transporte de tráfico de datos de una red de telefonía celular de cuarta generación con tecnología LTE para un operador móvil, en la ciudad de Machala, Provincia de El Oro, Ecuador.

## **Capítulo 4: Diseño de red IP-RAN para el tráfico de datos LTE en la ciudad de Machala, Provincia de El Oro, Ecuador.**

En el presente capítulo se analizará la demanda actual del servicio móvil 4G en la ciudad de Machala; se plantearán los parámetros técnicos a considerar para el desarrollo de los diseños físicos y lógicos de una red IP-RAN en la ciudad de Machala para el transporte de tráfico de datos de una red de telefonía celular de cuarta generación con tecnología LTE.

### **4.1. Demanda actual del servicio móvil 4G en la ciudad de Machala.**

#### **Datos Generales de la ciudad de Machala:**

La ciudad de Machala, es la capital de la Provincia de El Oro, está ubicada al suroeste del Ecuador y limita al norte, cantón El Guabo; al sur, Santa Rosa; al este, Pasaje y Santa Rosa; y al oeste, con el archipiélago de Jambelí, posee una extensión de 349.9 Km<sup>2</sup> y su punto más alto está a 4 metros sobre el nivel del mar. Su temperatura depende de la estación, y oscila de 22 a 36 °C.

De acuerdo al censo de 2010, la ciudad tenía una población de 245.972 habitantes, considerando a los moradores de las parroquias urbanas y rurales. La urbe está conformada por sus parroquias urbanas: Machala (cabecera cantonal), Puerto Bolívar, 9 de Mayo, y La Providencia; sus parroquias rurales son El Cambio y El Retiro (INEC, 2010).

La ciudad de Machala es una tierra rica en producción bananera, camaronera, pesquera, comercial, donde su principal fuente económica es la actividad bananera, por lo cual es considerada la Capital Bananera del Mundo, y como segunda fuente económica se encuentra la actividad camaronera. Cuenta además con un Puerto Pesquero, Puerto Bolívar, en el cual se desarrollan las operaciones de importación y exportación a través de buques provenientes de distintos países del mundo, convirtiendo a la ciudad en un lugar reconocido a nivel mundial.

## Operadores de Servicios Móviles:

Las condiciones antes mencionadas convierten a Machala, en una ciudad con un alto potencial para el desarrollo de las Telecomunicaciones, fijas y móviles, y por ende en una ciudad considerada importante por los operadores de telefonía celular. Actualmente en el país existen tres Operadores de Servicio Móvil Avanzado (SMA):

1. CONECEL S.A. (Consortio Ecuatoriano de Telecomunicaciones Sociedad Anónima), cuyo nombre comercial es CLARO.
2. OTECEL S. A. (Operadora de Telefonía Celular Sociedad Anónima.), cuyo nombre comercial es MOVISTAR/TUENTI.
3. CNT EP. (Corporación Nacional de Telecomunicaciones Empresa Pública)

La figura 4.1 presenta la participación en el mercado de las empresas que brindan SMA a nivel nacional.

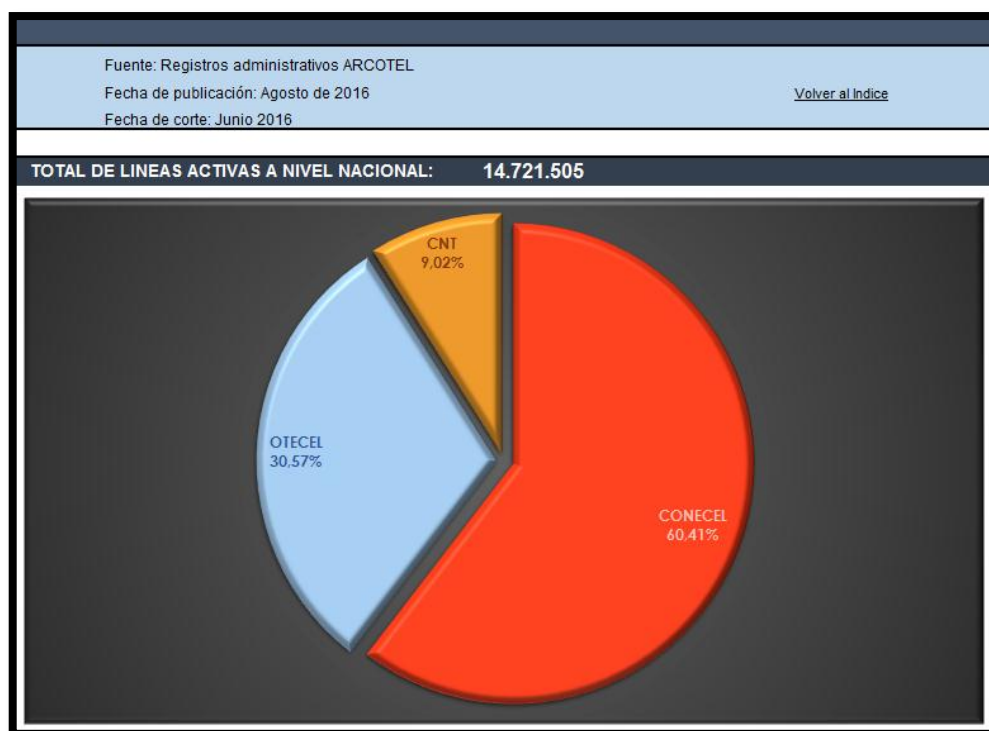


Figura 4. 1: Total de Líneas Activas a nivel nacional de SMA  
Fuente: (ARCOTEL, 2016)

De acuerdo al registro del ente regulador ARCOTEL, las 3 operadoras brindan servicios que hacen uso de la tecnología LTE. En la Tabla. 4.1 se observa la cantidad de líneas activas de cada Operador por tecnología a nivel nacional, con fecha de Publicación: Agosto de 2016 y fecha de corte: Julio 2016.

Tabla 4. 1: Cantidad de Líneas Activas de cada Operador por tecnología.

MES/ AÑO	CONECEL S.A.				OTECEL S.A.				CNT EP		
	GSM	UMTS	HSPA +	LTE	GSM	UMTS	HSPA+	LTE	GSM	HSPA +	LTE
Jul 2016	5.780.893	2.647.035	224.895	240.650	1.978.738	1.768.049	273.073	479.965	168.955	318.229	841.023

Fuente: (ARCOTEL, 2016)

Si bien es cierto, algunas provincias del país cuentan con los beneficios de la tecnología LTE, sin embargo, en otras ciudades esta tecnología se encuentra en proceso de implementación, lo cual es notable en las figuras 4.2, 4.3 y 4.4 que presentan el número mensual de radio bases (RBS, Radio Base Station) por tecnología y por provincia, para los Operadores CONECEL S.A., OTECEL S.A. y CNT EP., con fecha de Publicación: Agosto de 2016 y fecha de corte: Julio 2016.

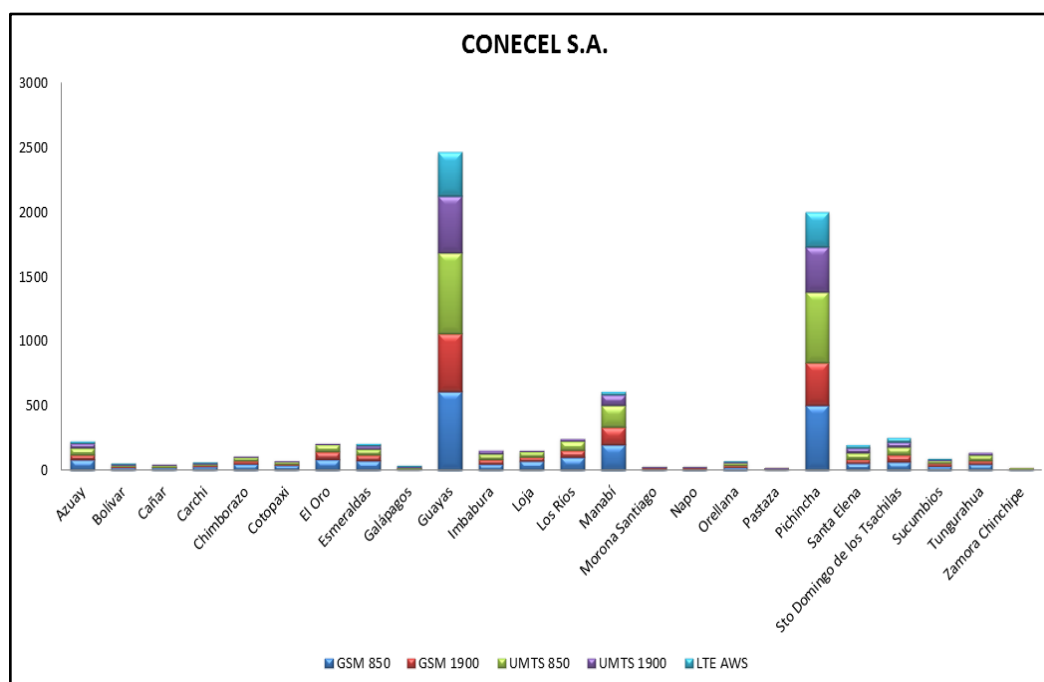


Figura 4. 2: Número mensual de RBS por tecnología y por provincia Operador CONECEL S.A.  
Fuente: (ARCOTEL, 2016)

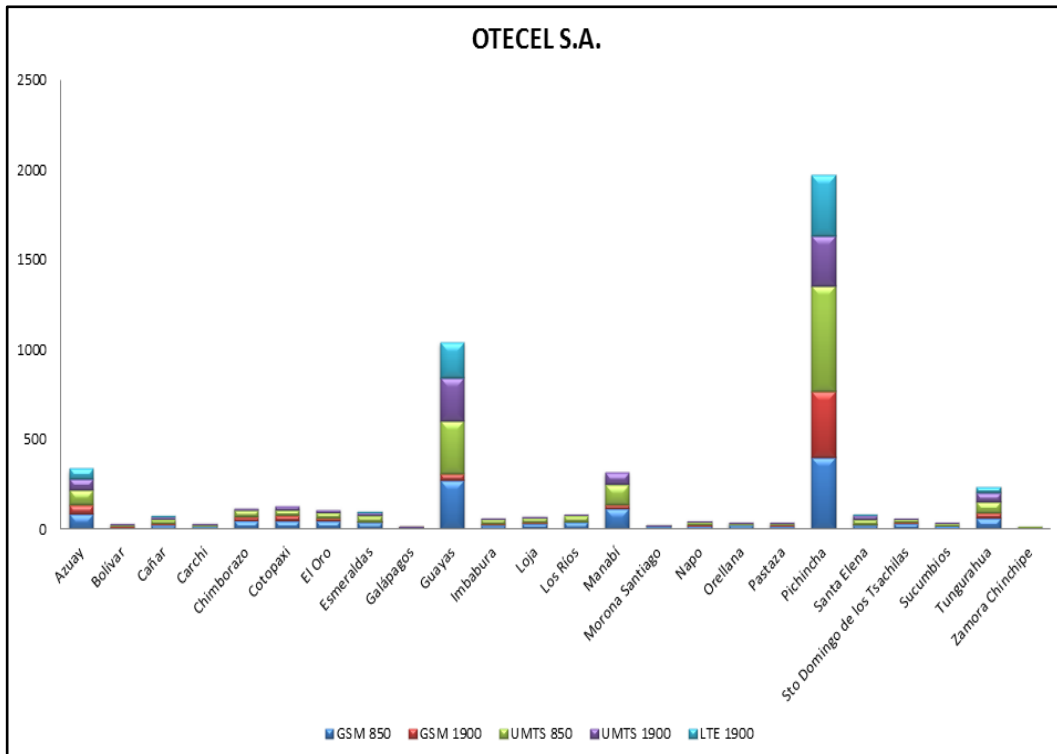


Figura 4. 3: Número mensual de RBS por tecnología y por provincia Operador OTECEL S.A.  
Fuente: (ARCOTEL, 2016)

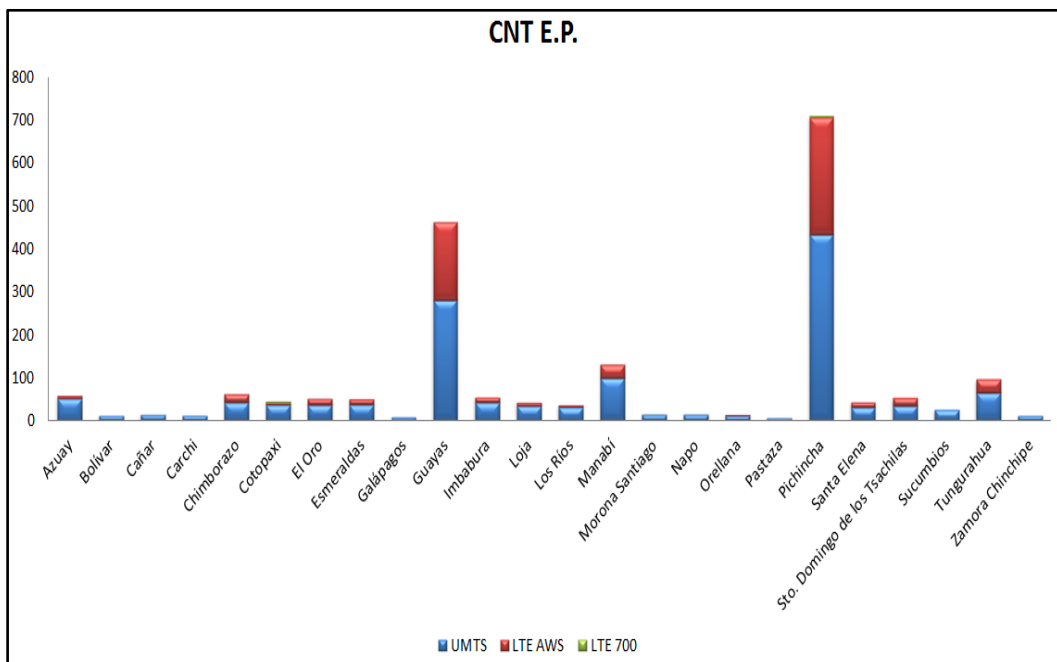


Figura 4. 4: Número mensual de RBS por tecnología y por provincia Operador CNT EP.  
Fuente: (ARCOTEL, 2016)

De acuerdo a datos de ARCOTEL, los 3 operadores móviles disponen de radio bases en la ciudad de Machala, la Tabla 4.2 muestra el Número mensual de radio



bases por tecnología, y por operador en la ciudad de Machala, con fecha de Publicación: Agosto de 2016 y fecha de corte: Julio 2016.

Tabla 4. 2: Número mensual de radio bases por tecnología, y por operador en la ciudad de Machala.

PROVINCIA	CANTON	jul-16												
		CONECEL S.A.					OTECEL					CNT		
		GSM 850	GSM 1900	UMTS 850	UMTS 1900	LTE (AWS)	GSM 850	GSM 1900	UMTS 850	UMTS 1900	LTE 1900	LTE 700	UMTS 1900	LTE AWS
EL ORO	MACHALA	30	28	32	2	0	16	9	18	10	0	0	18	15

Fuente: (ARCOTEL, 2016)

En las estadísticas señaladas, se observa la necesidad de disponer de una red IP-RAN que soporte y garantice la disponibilidad de los servicios móviles en la ciudad de Machala, a continuación se propone el siguiente diseño de red IP-RAN.

#### 4.2. Diseño físico de una red IP-RAN en la ciudad de Machala.

Para el desarrollo del diseño físico de una red IP-RAN en la ciudad de Machala, es necesario resaltar que una red IP-RAN es la sección conformada por los router de celda hasta los router de borde, y una red de Backbone, la red IP/MPLS desde los router de borde hacia los equipos de Core móvil.

La red de IP-RAN permitirá la agregación de servicios móviles 4G, para lo cual se necesita proporcionar conectividad física y lógica desde las estaciones celulares hacia el EPC, por lo que se realizó el levantamiento de coordenadas geográficas para 20 estaciones celulares de varios operadores móviles, tomando como consideración que la tabla 4.2 señala que un operador cuenta con 15 radio bases con tecnología LTE.

La ubicación de estas estaciones celulares será tomada como referencia geográfica para el diseño físico y la distribución de equipos. En la tabla 4.3 se observan las coordenadas referenciales y la figura 4.5 muestra un esquema global de la

distribución de las estaciones celulares sobre la ciudad de Machala mediante la aplicación Google Earth.

Tabla 4. 3: Ubicación Geográfica de estaciones Celulares de diferentes Operadores en Machala.

ESTACIÓN CELULAR	Parroquia	Cantón	Provincia	Latitud (decimal)	Longitud (decimal)
ORO_MCH_001	Machala	Machala	El Oro	-3,25561	-79,9619
ORO_MCH_002	Puerto Bolívar	Machala	El Oro	-3,255072	-79,973627
ORO_MCH_003	El Cambio	Machala	El Oro	-3,2634	-79,9438
ORO_MCH_004	Machala	Machala	El Oro	-3,26705	-79,94789
ORO_MCH_005	Puerto Bolívar	Machala	El Oro	-3,25877	-79,99388
ORO_MCH_006	Machala	Machala	El Oro	-3,25986	-79,96404
ORO_MCH_007	Machala	Machala	El Oro	-3,262361	-79,971694
ORO_MCH_008	Machala	Machala	El Oro	-3,26752	-79,96107
ORO_MCH_009	Machala	Machala	El Oro	-3,25563	-79,94698
ORO_MCH_010	La Providencia	Machala	El Oro	-3,24798	-79,94823
ORO_MCH_011	Machala	Machala	El Oro	-3,24681	-79,93461
ORO_MCH_012	La Providencia	Machala	El Oro	-3,25337	-79,93985
ORO_MCH_013	El Cambio	Machala	El Oro	-3,2555	-79,93076
ORO_MCH_014	Machala	Machala	El Oro	-3,257306	-79,954806
ORO_MCH_015	Machala	Machala	El Oro	-3,260833	-79,959
ORO_MCH_016	Machala	Machala	El Oro	-3,26228	-79,95588
ORO_MCH_017	El Cambio	Machala	El Oro	-3,27594	-79,95642
ORO_MCH_018	El Cambio	Machala	El Oro	-3,27337	-79,94324
ORO_MCH_019	El Cambio	Machala	El Oro	-3,28254	-79,93044
ORO_MCH_020	Machala	Machala	El Oro	-3,28325	-79,9036

Elaborada por: La Autora.

#### 4.2.1. Consideraciones en los Niveles de Agregación de la Red IP-RAN.

- El primer nivel de agregación corresponde a los nodos LOW RAN, en donde serán ubicados los routers 7705 SAR-M como routers de celda, y los cuales brindarán conectividad local y directa a los eNB.
- El segundo nivel de agregación, está constituido por los routers 7705 SAR-8 que actúan como MID-RAN, los cuales reciben todo el tráfico del primer nivel y el tráfico local de eNB conectados directamente a los SAR-8, para su posterior transporte a los routers concentradores.



Figura 4. 5: Ubicación referencial de las 20 estaciones celulares en la ciudad de Machala  
Elaborada por: La Autora (Aplicación Google Earth).

- El tercer nivel de agregación, corresponde a los equipos HIGH RAN o de Borde, para este diseño se utilizarán los equipos 7750 SR-12 los cuales reciben el tráfico total del backhaul móvil, para luego entregarlo a los equipos de Core móvil, en este caso el EPC. Los nodos de borde deben ser ubicados en oficinas centrales del Operador, puesto que son equipos indoor.

#### 4.2.2. Distribución de los equipos IP-RAN.

Para este diseño se dimensionan 22 equipos para la red IP-RAN, 17 routers de celda, 3 agregadores y 2 routers de borde, en la tabla 4.4 se presenta la cantidad de equipos por modelo y nivel de agregación.

Tabla 4. 4: Cantidad de Equipos IP-RAN.

Equipos IP-RAN MACHALA		
Nivel de Agregación	Modelo de Router	Cantidad de equipos
HIGH RAN: Router de Borde	SR-12	2
MID-RAN: Router Concentrador	SAR-8	3
LOW RAN: Router de Celda	SAR-M	17
<b>Total</b>		22

Elaborada por: La Autora.

### 4.2.3. Medio de Transmisión de los equipos IP-RAN.

La topología de la red IP-RAN debe garantizar escalabilidad, disponibilidad y confiabilidad para la conectividad entre la RAN y el EPC, por lo cual estará compuesta de varios anillos de enlaces de fibra oscura para brindar redundancia y en ciertos caso se sugiere enlaces Microondas (MW) como solución de última milla para las estaciones ubicadas geográficamente en punta. La figura 4.6 ilustra de forma general los anillos de Fibra Óptica (FO) a considerarse para el diseño de red.



Figura 4. 6: Anillos de enlaces de FO sobre la red IP-RAN  
Elaborada por: La Autora (Aplicación Google Earth).

La tabla 4.5 detalla el medio de transmisión (FO o MW), distancias de los enlaces y la capacidad asignada para los equipos a instalarse en cada estación celular.

A nivel del medio de transmisión, se considera que mediante enlaces de FO anillados es posible asegurar una capacidad de 1Gbps y se deberá hacer uso de los conectores SFP apropiados para soportar las distancias entre los equipos, en el caso de los tipo LX se aseguran distancias de 1 a 10Km.

Tabla 4. 5: Medio de Transmisión y capacidad asignada para cada equipo IP-RAN

ORIGEN ESTACIÓN CELULAR	Modelo Equipo	Medio de Transmisión	DESTINO ESTACIÓN CELULAR	Distancia Aproximada Enlace de Transmisión	Capacidad Transmisión
ORO_MCH_001	7750 SR-12 (2) / SAR-M	FO	ORO_MCH_001	0,2 Km	1Gbps
ORO_MCH_002	SAR-8	FO	ORO_MCH_001	1,6 Km	1Gbps
ORO_MCH_003	SAR-8	FO	ORO_MCH_001	3,2 Km	1Gbps
ORO_MCH_004	SAR-8	FO	ORO_MCH_001	2,3 Km	1Gbps
		FO	ORO_MCH_003	1 Km	1Gbps
ORO_MCH_005	SAR-M	FO	ORO_MCH_002	2,7 Km	1Gbps
		MW	ORO_MCH_001	4 Km	200Mbps
ORO_MCH_006	SAR-M	FO	ORO_MCH_002	1,5 Km	1Gbps
ORO_MCH_007	SAR-M	FO	ORO_MCH_002	1,5 Km	1Gbps
		FO	ORO_MCH_008	1,5 Km	1Gbps
ORO_MCH_008	SAR-M	FO	ORO_MCH_006	1,5 Km	1Gbps
ORO_MCH_009	SAR-M	FO	ORO_MCH_003	1,1 Km	1Gbps
ORO_MCH_010	SAR-M	FO	ORO_MCH_009	1,3 Km	1Gbps
ORO_MCH_011	SAR-M	FO	ORO_MCH_010	2,2 Km	1Gbps
		FO	ORO_MCH_012	1,2 Km	1Gbps
ORO_MCH_012	SAR-M	FO	ORO_MCH_013	1,5 Km	1Gbps
ORO_MCH_013	SAR-M	FO	ORO_MCH_003	2,5 Km	1Gbps
ORO_MCH_014	SAR-M	FO	ORO_MCH_003	2 Km	1Gbps
ORO_MCH_015	SAR-M	FO	ORO_MCH_014	0,6 Km	1Gbps
		FO	ORO_MCH_016	0,6 Km	1Gbps
ORO_MCH_016	SAR-M	FO	ORO_MCH_004	1,4 Km	1Gbps
ORO_MCH_017	SAR-M	FO	ORO_MCH_004	1,9 Km	1Gbps
	SAR-M	FO	ORO_MCH_009	3,1 Km	1Gbps
ORO_MCH_018	SAR-M	FO	ORO_MCH_004	1,1 Km	1Gbps
ORO_MCH_019	SAR-M	FO	ORO_MCH_018	2 Km	1Gbps
ORO_MCH_020	SAR-M	FO	ORO_MCH_019	3,5 Km	1Gbps
		MW	ORO_MCH_004	5,5 Km	200Mbps

Elaborada por: La Autora.

Para los enlaces MW, se garantizará una capacidad de 200Mbps, con lo cual se proporciona el ancho de banda requerido para los servicios 4G.

#### **4.2.4. Consideraciones de diseño para los equipos e interfaces físicas de los routers.**

**Nemónico e Interfaz Loopback:** El nemónico identificará al router en forma única dentro de la red, y estará formado utilizando el acrónimo de la provincia (3 letras), el acrónimo de la ciudad (3 letras), el nombre de la estación (3 letras), la función del equipo (1 letra) y el ID del equipo dentro de un nodo.

Es decir: **AAABBBCCFID**

**AAA:** Corresponde al acrónimo de la provincia, en este caso ORO.

**BBB:** Corresponde al acrónimo de la ciudad, en donde se ubica el equipo, en este caso MCH.

**CCC:** Corresponde al nombre de la estación, en este caso 001,002, 003.

**F:** Corresponde a la función que el equipo desempeña, es decir, B - Equipo de Borde, A - Equipo de Agregación y C - Equipo de Celda.

**ID:** Corresponde al Número de equipo dentro de un nodo.

Ejemplo: OROMCH001B1.

La loopback es una interfaz virtual que representa la IP del sistema del router, la cual utiliza una máscara/32. La loopback del sistema no debe ser borrada de la configuración porque permite gestionar un dispositivo.

En la tabla 4.6 se observan el nemónico e interfaz loopback asignados a los equipos IP-RAN, se utilizará para este diseño la red 10.10.0.0/16, con la cual se cubre hasta 65536 equipos, es decir que este direccionamiento puede utilizarse para el diseño IP-RAN en otras ciudades:

Tabla 4. 6: Nemónico e interfaz de Loopback en equipos IP-RAN.

ESTACIÓN CELULAR	CODIGO	MODELO EQUIPO	TIPO*	HOSTNAME	IP DE LOOPBACK	MASCARA / 32
<b>ROUTER DE BORDE (B)-7710SR-12</b>						
ORO_MCH_001	001	7750 SR-12	B1	OROMCH001B1	10.10.3.100	255.255.255.255
ORO_MCH_001	001	7750 SR-12	B2	OROMCH001B2	10.10.4.100	255.255.255.255
<b>ROUTER AGREGADOR (A) - 7705 SAR-8</b>						
ORO_MCH_002	002	SAR-8	A1	OROMCH002A1	10.10.11.100	255.255.255.255
ORO_MCH_003	003	SAR-8	A1	OROMCH003A1	10.10.12.100	255.255.255.255
ORO_MCH_004	004	SAR-8	A1	OROMCH004A1	10.10.13.100	255.255.255.255
<b>ROUTER DE CELDA (C) - 7705 SAR-M</b>						
ORO_MCH_001	001	SAR-M	C1	OROMCH001C1	10.10.51.100	255.255.255.255
ORO_MCH_005	005	SAR-M	C1	OROMCH005C1	10.10.52.100	255.255.255.255
ORO_MCH_006	006	SAR-M	C1	OROMCH006C1	10.10.53.100	255.255.255.255
ORO_MCH_007	007	SAR-M	C1	OROMCH007C1	10.10.54.100	255.255.255.255
ORO_MCH_008	008	SAR-M	C1	OROMCH008C1	10.10.55.100	255.255.255.255
ORO_MCH_009	009	SAR-M	C1	OROMCH009C1	10.10.56.100	255.255.255.255
ORO_MCH_010	010	SAR-M	C1	OROMCH010C1	10.10.57.100	255.255.255.255
ORO_MCH_011	011	SAR-M	C1	OROMCH011C1	10.10.58.100	255.255.255.255
ORO_MCH_012	012	SAR-M	C1	OROMCH012C1	10.10.59.100	255.255.255.255
ORO_MCH_013	013	SAR-M	C1	OROMCH013C1	10.10.60.100	255.255.255.255
ORO_MCH_014	014	SAR-M	C1	OROMCH014C1	10.10.61.100	255.255.255.255
ORO_MCH_015	015	SAR-M	C1	OROMCH015C1	10.10.62.100	255.255.255.255
ORO_MCH_016	016	SAR-M	C1	OROMCH016C1	10.10.63.100	255.255.255.255
ORO_MCH_017	017	SAR-M	C1	OROMCH017C1	10.10.64.100	255.255.255.255
ORO_MCH_018	018	SAR-M	C1	OROMCH018C1	10.10.65.100	255.255.255.255
ORO_MCH_019	019	SAR-M	C1	OROMCH019C1	10.10.66.100	255.255.255.255
ORO_MCH_020	020	SAR-M	C1	OROMCH020C1	10.10.67.100	255.255.255.255

\* A: Agregador; B: Borde; C: Celda

Elaborada por: La Autora.

**Descripción de los puertos físicos entre routers:** Para la descripción de los puertos físicos ethernet entre routers se presenta la siguiente descripción modelo:

# Red - Link to Nodo - Puerto nodo Destino- TX #

En el cual:

**Red:** Corresponde al tipo de red a la cual está conectada la interface, en este caso IPRAN.

**Nodo:** Es el nemónico al que se conecta el equipo, por ejemplo OROMCH001B1.

**Puerto Nodo:** Corresponde al puerto de conexión destino.

**TX:** Capacidad y tipo de transmisión utilizada.

Por ejemplo: #IPRAN-LINK\_TO\_OROMCH001B1-Gi 1/2/3-1Gbps\_FO#

**Modo de operación, encapsulación y MTU de los puertos Ethernet:** La tabla 4.7 presenta el modo de operación, tipo de encapsulación, MTU a considerarse en la configuración de los puertos Ethernet para las conexiones entre los routers de borde y agregadores, y los puertos de servicios hacia los eNB:

Tabla 4. 7: Modo de operación y encapsulación de los puertos Ethernet.

PUERTOS	MODO DE OPERACIÓN	MODO DE ENCAPSULACION	MTU	LLDP
ENTRE 7750 SR- 7750 SR	Modo de Red	Null	9212 Bytes	SI
ENTRE 7750 SR - 7705 SAR	Modo de Red	Null	2102 bytes	SI
ENTRE 7705 SAR - eNODO B	Modo de Acceso	Dot1q	2000 bytes	NO

Elaborada por: La Autora.

El MTU para la conexión entre los router 7750 SR-12 será de 9212 bytes, para que soporten paquetes Jumbo Frames.

Para las conexiones entre 7705 SAR o 7750 SR - 7705 SAR, se considerará un MTU de 2102 bytes para que soporte la carga útil de 2076 bytes, el encabezado Ethernet de 14 bytes y 3 etiquetas MPLS que corresponde a 12 bytes adicionales.

En los puertos de acceso se considerará un MTU de 2000 bytes, para la carga útil superior a 1500 bytes más los encabezados Ethernet, IP, MPLS, que aproximadamente suman 40 bytes. En los puertos de acceso se debe habilitar la autonegociación.



Para la conectividad Ethernet desde el SAR-M hacia el eNB se considerarán interfaces ópticas multimodo de 1Gbps.

NOKIA, utiliza el gestor 5620SAM para la administración de los elementos de red IP-RAN, y utiliza el protocolo estándar LLDP, el cual comunica los datos de los elementos de red hacia los nodos remotos y almacena la información recolectada de los demás elementos, de tal manera que le permite al gestor descubrir la topología física de la red.

A continuación se detallan los comandos que permiten configurar, la interfaz del sistema, el modo de operación, tipo de encapsulación, MTU y LLDP en los puertos ethernet de los router 7750 SR y 7705 SAR. El compendio completo de los comandos de configuración de los equipos consta en los anexos al final del documento.

A modo de referencia se utilizaran las siguientes etiquetas:

<IP-ADDRESS>: Corresponde a la IP de sistema o Loopback, referencia Tabla 4.6.

<PORT-ID>: Corresponde al puerto físico de conexión, referencia Tabla 4.8.

<PORT-DESCR>: Corresponde a la etiqueta del puerto físico, referencia Tabla 4.8.

#### **Comandos para configurar la interfaz de sistema:**

```
configure
  router
    interface system
      address <IP-ADDRESS>
      no shutdown
    exit
  exit
exit
```

#### **Comandos para cambiar el modo de operación de un puerto ethernet:**

```
configure
  port <PORT-ID>
  ethernet
```

```

mode <ACCESS | NETWORK>
exit
exit
exit

```

### **Comandos para cambiar el tipo encapsulación de un puerto ethernet:**

```

configure
port <PORT-ID>
ethernet
encap-type <null | dot1q | qinq>
exit
exit
exit

```

### **Comandos de configuración de LLDP entre router 7750 SR:**

```

configure
port <PORT-ID>
description <PORT-DESCR>
ethernet
lldp
dest-mac nearest-bridge
admin-status tx-rx
exit
dest-mac nearest-customer
admin-status tx-rx
exit
exit
exit
no shutdown
exit

```

### **Comandos de configuración de LLDP entre router 7750 SR y un 7705 SAR:**

```

configure
port <PORT-ID>
description <PORT-DESCR>
ethernet
mtu 2102
lldp
dest-mac nearest-bridge
admin-status tx-rx
exit
dest-mac nearest-customer
admin-status tx-rx
exit
exit
exit
no shutdown
exit

```

## **Comandos de configuración del puerto de un router 7705 SAR para la conexión de un eNodo B:**

```
configure
  port <PORT-ID>
    description <PORT-DESCR>
    ethernet
      encap-type dot1q
      autonegotiate
      mtu 2000
    exit
  no shutdown
exit
exit
```

Para el diseño de la red IP-RAN sobre la ciudad de Machala, se considera a nivel de acceso 20 eNB, uno por cada estación referencial, los cuales deberán tener conectividad hacia los EPC del Operador móvil final.

El diagrama de la figura 4.7 muestra la arquitectura física de la red IP-RAN para la ciudad de Machala, el cual describe el modelo de equipo por estación, el medio y capacidad de transmisión, los puertos a nivel de los enlaces de red y las interfaces físicas asignadas para la integración de los eNB.

En la tabla 4.8 se presenta un consolidado de los 32 enlaces punto a punto de FO y MW utilizados para levantar los anillos de transmisión sobre la red, las interfaces físicas y descripción de los puertos asignados.

“DISEÑO FÍSICO DE UNA RED IP-RAN PARA EL TRANSPORTE DE TRÁFICO DE DATOS DE UNA RED DE TELEFONÍA CELULAR DE CUARTA GENERACIÓN CON TECNOLOGÍA LTE PARA UN OPERADOR MÓVIL, EN LA CIUDAD DE MACHALA, PROVINCIA DE EL ORO, ECUADOR”

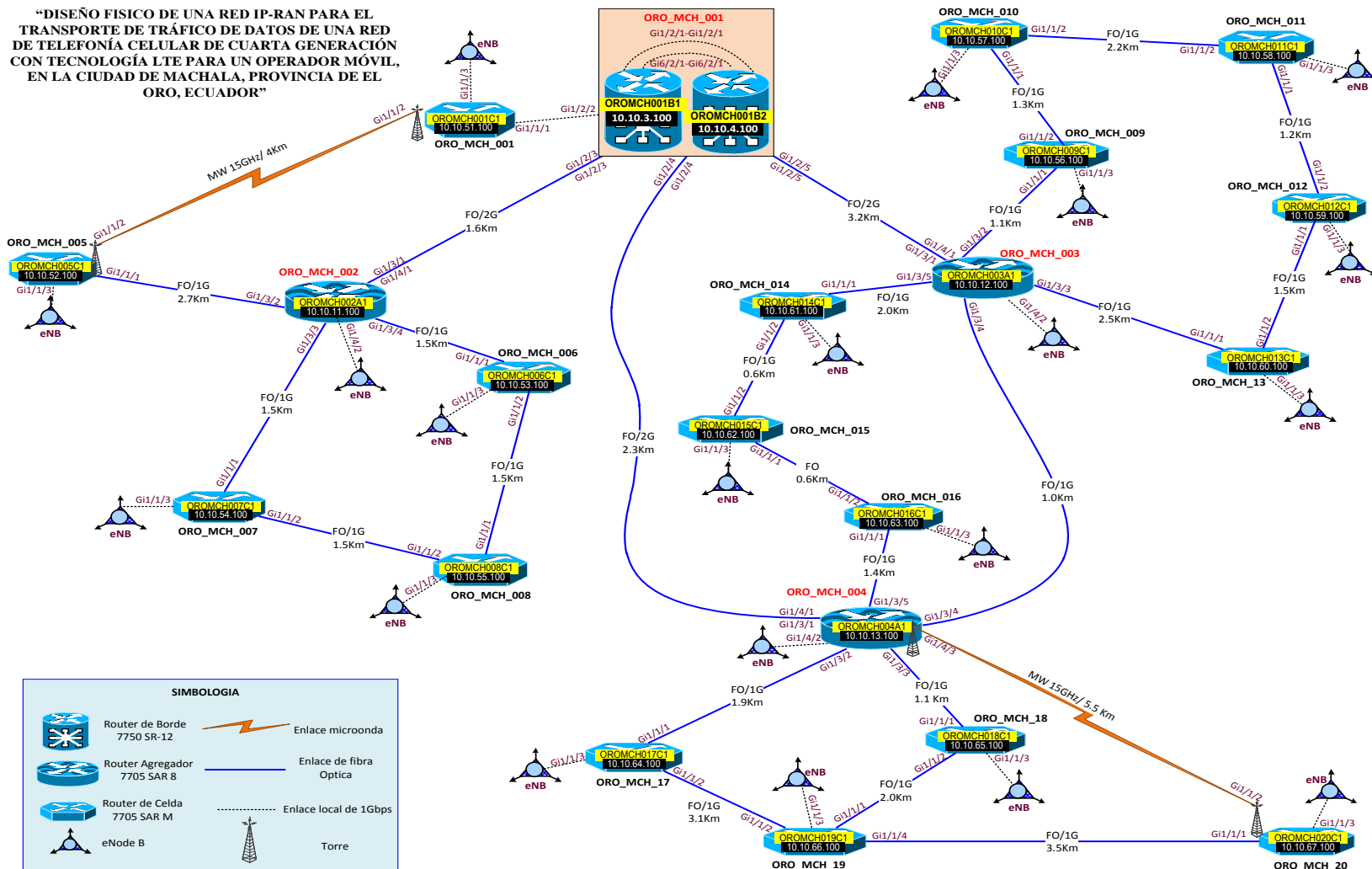


Figura 4. 7: Diseño físico de una red IP-RAN para el transporte de tráfico de datos LTE en la ciudad de Machala, Provincia de El Oro, Ecuador.  
Elaborada por: La Autora.

Tabla 4. 8: Enlaces punto a punto de FO y MW utilizados para levantar los anillos de transmisión.

NODO ORIGEN						MEDIO DE TRANSMISIÓN		NODO DESTINO					
ESTACION	MODELO EQUIPO	NEMONICO	IP LOOPBACK /32	INTERFACE FISICA	DESCRIPCION DEL PUERTO	Capacidad	Tipo	ESTACION	MODELO EQUIPO	NEMONICO	IP LOOPBACK/32	INTERFACE FISICA	DESCRIPCION DEL PUERTO
ORO_MCH_001	7750 SR-12	OROMCH001B1	10.10.3.100	Gi 1/2/1	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH001B2 -Gi 1/2/1-1Gbps_FO#	1Gbps	FO	ORO_MCH_001	7750 SR-12	OROMCH001B2	10.10.4.100	Gi 1/2/1	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH001B1-Gi 1/2/1-1Gbps_FO#
ORO_MCH_001	7750 SR-12	OROMCH001B1	10.10.3.100	Gi 6/2/1	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH001B2 -Gi 6/2/1-1Gbps_FO#	1Gbps	FO	ORO_MCH_001	7750 SR-12	OROMCH001B2	10.10.4.100	Gi 6/2/1	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH001B1-Gi 6/2/1-1Gbps_FO#
ORO_MCH_001	7750 SR-12	OROMCH001B1	10.10.3.100	Gi 1/2/3	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH002A1 -Gi 1/3/1-1Gbps_FO#	1Gbps	FO	ORO_MCH_002	SAR-8	OROMCH002A1	10.10.11.100	Gi 1/3/1	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH001B1-Gi 1/2/3-1Gbps_FO#
ORO_MCH_001	7750 SR-12	OROMCH001B1	10.10.3.100	Gi 1/2/5	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH003A1 -Gi 1/3/1-1Gbps_FO#	1Gbps	FO	ORO_MCH_003	SAR-8	OROMCH003A1	10.10.12.100	Gi 1/3/1	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH001B1-Gi 1/2/5-1Gbps_FO#
ORO_MCH_001	7750 SR-12	OROMCH001B1	10.10.3.100	Gi 1/2/4	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH004A1 -Gi 1/3/1-1Gbps_FO#	1Gbps	FO	ORO_MCH_004	SAR-8	OROMCH004A1	10.10.13.100	Gi 1/3/1	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH001B1-Gi 1/2/4-1Gbps_FO#
ORO_MCH_001	7750 SR-12	OROMCH001B2	10.10.4.100	Gi 1/2/3	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH002A1 -Gi 1/4/1-1Gbps_FO#	1Gbps	FO	ORO_MCH_002	SAR-8	OROMCH002A1	10.10.11.100	Gi 1/4/1	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH001B2-Gi 1/2/3-1Gbps_FO#
ORO_MCH_001	7750 SR-12	OROMCH001B2	10.10.4.100	Gi 1/2/5	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH003A1 -Gi 1/4/1-1Gbps_FO#	1Gbps	FO	ORO_MCH_003	SAR-8	OROMCH003A1	10.10.12.100	Gi 1/4/1	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH001B2-Gi 1/2/5-1Gbps_FO#

ORO_MCH_001	7750 SR-12	OROMCH001B2	10.10.4.100	Gi 1/2/4	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH004A1-Gi 1/4/1-1Gbps_FO#	1Gbps	FO	ORO_MCH_004	SAR-8	OROMCH004A1	10.10.13.100	Gi 1/4/1	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH001B2-Gi 1/2/4-1Gbps_FO#
ORO_MCH_001	7750 SR-12	OROMCH001B1	10.10.3.100	Gi 1/2/2	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH001C1-Gi 1/1/1-1Gbps_FO#	1Gbps	FO	ORO_MCH_001	SAR-M	OROMCH001C1	10.10.51.100	Gi 1/1/1	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH001B1-Gi 1/2/2-1Gbps_FO#
ORO_MCH_002	SAR-8	OROMCH002A1	10.10.11.100	Gi 1/3/2	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH005C1-Gi 1/1/1-1Gbps_FO#	1Gbps	FO	ORO_MCH_005	SAR-M	OROMCH005C1	10.10.52.100	Gi 1/1/1	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH002A1-Gi 1/3/2-1Gbps_FO#
ORO_MCH_002	SAR-8	OROMCH002A1	10.10.11.100	Gi 1/3/3	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH007C1-Gi 1/1/1-1Gbps_FO#	1Gbps	FO	ORO_MCH_007	SAR-M	OROMCH007C1	10.10.54.100	Gi 1/1/1	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH002A1-Gi 1/3/3-1Gbps_FO#
ORO_MCH_002	SAR-8	OROMCH002A1	10.10.11.100	Gi 1/3/4	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH006C1-Gi 1/1/1-1Gbps_FO#	1Gbps	FO	ORO_MCH_006	SAR-M	OROMCH006C1	10.10.53.100	Gi 1/1/1	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH002A1-Gi 1/3/4-1Gbps_FO#
ORO_MCH_003	SAR-8	OROMCH003A1	10.10.12.100	Gi 1/3/2	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH009C1-Gi 1/1/1-1Gbps_FO#	1Gbps	FO	ORO_MCH_009	SAR-M	OROMCH009C1	10.10.56.100	Gi 1/1/1	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH003A1-Gi 1/3/2-1Gbps_FO#
ORO_MCH_003	SAR-8	OROMCH003A1	10.10.12.100	Gi 1/3/3	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH013C1-Gi 1/1/1-1Gbps_FO#	1Gbps	FO	ORO_MCH_013	SAR-M	OROMCH013C1	10.10.60.100	Gi 1/1/1	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH003A1-Gi 1/3/3-1Gbps_FO#
ORO_MCH_003	SAR-8	OROMCH003A1	10.10.12.100	Gi 1/3/5	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH014C1-Gi 1/1/1-1Gbps_FO#	1Gbps	FO	ORO_MCH_014	SAR-M	OROMCH014C1	10.10.61.100	Gi 1/1/1	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH003A1-Gi 1/3/5-1Gbps_FO#
ORO_MCH_003	SAR-8	OROMCH003A1	10.10.12.100	Gi 1/3/4	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH004A1-Gi 1/3/4-1Gbps_FO#	1Gbps	FO	ORO_MCH_004	SAR-8	OROMCH004A1	10.10.13.100	Gi 1/3/4	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH003A1-Gi 1/3/4-1Gbps_FO#
ORO_MCH_004	SAR-8	OROMCH004A1	10.10.13.100	Gi 1/3/5	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH016C1-Gi 1/1/1-1Gbps_FO#	1Gbps	FO	ORO_MCH_016	SAR-M	OROMCH016C1	10.10.63.100	Gi 1/1/1	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH004A1-Gi 1/3/5-1Gbps_FO#

ORO_MCH_004	SAR-8	OROMCH004A1	10.10.13.100	Gi 1/3/2	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH017C1-Gi 1/1/1-1Gbps_FO#	1Gbps	FO	ORO_MCH_017	SAR-M	OROMCH017C1	10.10.64.100	Gi 1/1/1	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH004A1-Gi 1/3/2-1Gbps_FO#
ORO_MCH_004	SAR-8	OROMCH004A1	10.10.13.100	Gi 1/3/3	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH018C1-Gi 1/1/1-1Gbps_FO#	1Gbps	FO	ORO_MCH_018	SAR-M	OROMCH018C1	10.10.65.100	Gi 1/1/1	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH004A1-Gi 1/3/3-1Gbps_FO#
ORO_MCH_004	SAR-8	OROMCH004A1	10.10.13.100	Gi 1/4/3	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH020C1-Gi 1/1/2-200Mbps_MW#	200Mbps	MW	ORO_MCH_020	SAR-M	OROMCH020C1	10.10.67.100	Gi 1/1/2	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH004A1-Gi 1/4/3-200Mbps_MW#
ORO_MCH_005	SAR-M	OROMCH005C1	10.10.52.100	Gi 1/1/2	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH001C1-Gi 1/1/2-200Mbps_MW#	200Mbps	MW	ORO_MCH_001	SAR-M	OROMCH001C1	10.10.4.100	Gi 1/1/2	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH005C1-Gi 1/1/2-200Mbps_MW#
ORO_MCH_006	SAR-M	OROMCH006C1	10.10.53.100	Gi 1/1/2	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH008C1-Gi 1/1/1-1Gbps_FO#	1Gbps	FO	ORO_MCH_008	SAR-M	OROMCH008C1	10.10.55.100	Gi 1/1/1	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH006C1-Gi 1/1/2-1Gbps_FO#
ORO_MCH_007	SAR-M	OROMCH007C1	10.10.54.100	Gi 1/1/2	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH008C1-Gi 1/1/2-1Gbps_FO#	1Gbps	FO	ORO_MCH_008	SAR-M	OROMCH008C1	10.10.55.100	Gi 1/1/2	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH007C1-Gi 1/1/2-1Gbps_FO#
ORO_MCH_009	SAR-M	OROMCH009C1	10.10.56.100	Gi 1/1/2	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH010C1-Gi 1/1/1-1Gbps_FO#	1Gbps	FO	ORO_MCH_010	SAR-M	OROMCH010C1	10.10.57.100	Gi 1/1/1	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH009C1-Gi 1/1/2-1Gbps_FO#
ORO_MCH_010	SAR-M	OROMCH010C1	10.10.57.100	Gi 1/1/2	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH011C1-Gi 1/1/2-1Gbps_FO#	1Gbps	FO	ORO_MCH_011	SAR-M	OROMCH011C1	10.10.58.100	Gi 1/1/2	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH010C1-Gi 1/1/2-1Gbps_FO#
ORO_MCH_011	SAR-M	OROMCH011C1	10.10.58.100	Gi 1/1/1	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH012C1-Gi 1/1/2-1Gbps_FO#	1Gbps	FO	ORO_MCH_012	SAR-M	OROMCH012C1	10.10.59.100	Gi 1/1/2	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH011C1-Gi 1/1/1-1Gbps_FO#
ORO_MCH_012	SAR-M	OROMCH012C1	10.10.59.100	Gi 1/1/1	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH013C1-Gi 1/1/2-1Gbps_FO#	1Gbps	FO	ORO_MCH_013	SAR-M	OROMCH013C1	10.10.60.100	Gi 1/1/2	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH012C1-Gi 1/1/1-1Gbps_FO#

ORO_MCH_014	SAR-M	OROMCH014C1	10.10.61.100	Gi 1/1/2	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH015C1 -Gi 1/1/2-1Gbps_FO#	1Gbps	FO	ORO_MCH_015	SAR-M	OROMCH015C1	10.10.62.100	Gi 1/1/2	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH014 C1-Gi 1/1/2-1Gbps_FO#
ORO_MCH_015	SAR-M	OROMCH015C1	10.10.62.100	Gi 1/1/1	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH016C1 -Gi 1/1/2-1Gbps_FO#	1Gbps	FO	ORO_MCH_016	SAR-M	OROMCH016C1	10.10.63.100	Gi 1/1/2	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH015 C1-Gi 1/1/1-1Gbps_FO#
ORO_MCH_019	SAR-M	OROMCH019C1	10.10.66.100	Gi 1/1/2	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH017C1 -Gi 1/1/2-1Gbps_FO#	1Gbps	FO	ORO_MCH_017	SAR-M	OROMCH017C1	10.10.64.100	Gi 1/1/2	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH019 C1-Gi 1/1/2-1Gbps_FO#
ORO_MCH_019	SAR-M	OROMCH019C1	10.10.66.100	Gi 1/1/1	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH018C1 -Gi 1/1/2-1Gbps_FO#	1Gbps	FO	ORO_MCH_018	SAR-M	OROMCH018C1	10.10.65.100	Gi 1/1/2	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH019 C1-Gi 1/1/1-1Gbps_FO#
ORO_MCH_019	SAR-M	OROMCH019C1	10.10.66.100	Gi 1/1/4	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH020C1 -Gi 1/1/1-1Gbps_FO#	1Gbps	FO	ORO_MCH_020	SAR-M	OROMCH020C1	10.10.67.100	Gi 1/1/1	#IPRAN-LINK_TO_OROMCH019 C1-Gi 1/1/4-1Gbps_FO#

Elaborada por: La Autora.



### **4.3. Diseño lógico de una red IP-RAN en la ciudad de Machala.**

A continuación se describen todos los parámetros de direccionamiento de la red completa y las configuraciones lógicas que se requieren habilitar sobre los equipos para integrar la red IP-RAN.

**Interfaces de Red:** Las interfaces de red o network se configuran entre los SR para habilitar la conectividad y permitir la señalización de servicios MPLS. La configuración de las interfaces se realiza una vez que los puertos físicos han sido configurados. En esta sección se configura el protocolo BFD, para reducir de 30sg a 300 ms el tiempo que le toma al IGP conocer de los cambios en la topología de la red, es decir, todos los equipos deben conocer cómo llegar a la IP de sistema de todos los demás routers.

Para la descripción de las interfaces de red se presenta la siguiente descripción modelo:

L3\_ROUTER. En donde:

**ROUTER:** es el nemónico que identifica al router en el otro extremo del enlace.

Por ejemplo: L3\_OROMCH001B1.

En la tabla 4.9 constan las direcciones de loopback, el direccionamiento y nombres de las interfaces de red entre equipos 7750 SR o 7705 SAR en el diseño de red IP-RAN. Para las interfaces de red se utilizará la red 10.4.4.0 / 24.

#### **4.3.1. Consideraciones para los protocolos de enrutamiento**

**IS-IS:** Para este diseño de red se utilizará como protocolo IGP a IS-IS, por su confiabilidad y escalabilidad, además de soportar IPv6, lo que permite que esta red pueda migrar a esta versión de ser necesario.

Debido a que el número inicial de routers no es muy elevado, se considerará que los routers del diseño de red se encuentren en la misma área y serán de L2, lo cual permite hasta 1000 routers en una sola área, y de superarse el número de equipos,

se pueden incrementar nuevas áreas L1. Lo cual le permitirá al operador móvil administrar una gran cantidad de equipos dentro de un mismo AS.

La IP de loopback corresponde al Router ID para IS-IS y para mejorar los tiempos de convergencia del IGP se debe habilitar en todos los enlaces de red BFD.

Respecto a la métrica de los enlaces, IS-IS por defecto asigna a cada enlace un costo de 10 y métricas máximas de 64, por lo tanto se utilizarán métricas mayores a 64 y se configurará en cada enlace un ancho de banda referencial de 100 Gbps, con lo cual se busca que la métrica de cada enlace varíe de acuerdo al tipo de interface. Es decir, para un enlace de 10G una métrica igual a 10, para enlaces de 1G una métrica de 100.

Se habilitará Ingeniería de Tráfico, para que RSVP-TE use la información de IS-IS al crear los túneles LSPs. Se debe considerar que primero se habilita el protocolo IS-IS, y luego cada una de las interfaces de red debe ser añadida a la instancia IS-IS, incluso la interfaz de loopback.

**BGP:** La red IP-RAN establecerá sesiones peering BGP entre los routers 7750 SR-12 y los routers 7705 SAR, puesto que se habilitarán servicios L3-VPN en los routers de celda.

Para que los servicios L3-VPN sean soportados por la red se debe realizar la implementación de RR, con lo cual cada router 7705 SAR establecerá una sesión iBGP contra cada RR mas no con todos los routers que administren servicios L3-VPN. Los 2 equipos 7750 SR-12 considerados en la estación ORO\_MCH\_001 funcionarán como RR para los router 7705 SAR-8 y 7705 SAR-M de las demás localidades.

**Sistema Autónomo:** Para el diseño de red IP-RAN se utilizará para la comunicación del protocolo BGP, el sistema autónomo privado 65000.

A continuación se describen los comandos para la configuración de una interface de red, los protocolos IS-IS, BGP, y configuración de AS en los router 7750 SR y 7705 SAR. A modo de referencia se utilizarán las siguientes etiquetas:

<NODE-NAME>: Nombre del router destino, referencia Tabla 4.9.

<SYSTEM-IP>: Dirección IP de Loopback, referencia Tabla 4.6.

<IF-NAME>: Nombre de la interface de red, referencia Tabla 4.9.

<BGP\_GROUP\_NAME>: Nombre del grupo de sesiones iBGP, eBGP. En este diseño se nombrará RRs a las sesiones hacia los RR y RR Clients: el grupo de IP de sistema de los router de celda.

<NEIGHBOR>: Nombre del nodo remoto al cual se levantará una sesión peering de BGP.

<NEIGHBOR\_SYSTEM\_IP>: Dirección IP de sistema o Loopback del nodo remoto al cual se levantará una sesión peering de BGP.

### **Comandos para configurar una interfaz de red:**

```
configure
  router
    interface <IF-NAME>
      address <IP-ADDRESS>
      port <PORT-ID>
      bfd 100 receive 100 multiplier 3
      no shutdown
    exit
  exit all
```

### **Comandos para habilitar IS-IS:**

```
configure router isis
```

### **Comandos para la configuración Básica de ISIS**

```
#-----
echo "ISIS Configuration"
#-----
  isis
    level-capability level-2
    area-id 49.0008
    reference-bandwidth 100000000
    traffic-engineering
    level 2
      wide-metrics-only
    exit
```

```

interface "system"
exit
interface <IF_NAME>
    level-capability level-2
    interface-type point-to-point
    bfd-enable ipv4
exit
interface <IF_NAME>
    level-capability level-2
    interface-type point-to-point
    bfd-enable ipv4
exit
exit

```

### **Comandos para habilitar BGP:**

```
configure router bgp
```

### **Comandos para la configuración de sesiones BGP en RR 7750**

```

configure router bgp
    group <BGP-Group-Name1>
        cluster 10.0.0.0
        family vpn-ipv4
        peer-as 65000
        neighbor <Neighbor-System-IP>
            description <Neighbor-1>
        exit
        neighbor <Neighbor-System-IP>
            description <Neighbor-2>
        exit
    group <BGP-Group-Name2>
        family vpn-ipv4
        type internal
        local-as 65000
        neighbor <Neighbor-System-IP>
            description <Neighbor-RR2>
        exit
    exit
exit all

```

### **Comandos para la configuración de sesiones BGP en 7705 SAR-M**

```

configure router bgp
    group <BGP-Group-Name>
        family vpn-ipv4
        peer-as 64986
        neighbor <Neighbor-System-IP>
            description <Neighbor-RR1>
        exit
        neighbor <Neighbor-System-IP>
            description <Neighbor-RR2>
        exit
    exit
exit all

```

### **Comandos para la configuración del sistema autónomo:**

```
configure router autonomous-system 65000
```

Tabla 4. 9: Interfaces de red entre equipos 7750 SR o 7705 SAR en el diseño de red IP-RAN.

RED	MASCARA /30	NODO ORIGEN						NODO DESTINO					
		ESTACION	MODELO EQUIPO	NEMONICO	IP LOOPBACK /32	INTERFACE DE RED	IP DE RED / 30	ESTACION	MODELO EQUIPO	NEMONICO	IP LOOPBACK/32	INTERFACE DE RED	IP DE RED / 30
10.4.4.0	255.255.255.252	ORO_MCH_001	7750 SR-12	OROMCH001B1	10.10.3.100	L3_OROMCH001B2	10.4.4.1	ORO_MCH_001	7750 SR-12	OROMCH001B2	10.10.4.100	L3_OROMCH001B1	10.4.4.2
10.4.4.4	255.255.255.252	ORO_MCH_001	7750 SR-12	OROMCH001B1	10.10.3.100	L3_OROMCH001B2	10.4.4.5	ORO_MCH_001	7750 SR-12	OROMCH001B2	10.10.4.100	L3_OROMCH001B1	10.4.4.6
10.4.4.8	255.255.255.252	ORO_MCH_001	7750 SR-12	OROMCH001B1	10.10.3.100	L3_OROMCH002A1	10.4.4.9	ORO_MCH_002	SAR-8	OROMCH002A1	10.10.11.100	L3_OROMCH001B1	10.4.4.10
10.4.4.12	255.255.255.252	ORO_MCH_001	7750 SR-12	OROMCH001B1	10.10.3.100	L3_OROMCH003A1	10.4.4.13	ORO_MCH_003	SAR-8	OROMCH003A1	10.10.12.100	L3_OROMCH001B1	10.4.4.14
10.4.4.16	255.255.255.252	ORO_MCH_001	7750 SR-12	OROMCH001B1	10.10.3.100	L3_OROMCH004A1	10.4.4.17	ORO_MCH_004	SAR-8	OROMCH004A1	10.10.13.100	L3_OROMCH001B1	10.4.4.18
10.4.4.20	255.255.255.252	ORO_MCH_001	7750 SR-12	OROMCH001B2	10.10.4.100	L3_OROMCH002A1	10.4.4.21	ORO_MCH_002	SAR-8	OROMCH002A1	10.10.11.100	L3_OROMCH001B2	10.4.4.22
10.4.4.24	255.255.255.252	ORO_MCH_001	7750 SR-12	OROMCH001B2	10.10.4.100	L3_OROMCH003A1	10.4.4.25	ORO_MCH_003	SAR-8	OROMCH003A1	10.10.12.100	L3_OROMCH001B2	10.4.4.26

10.4.4.28	255.255.255.252	ORO_MCH_001	7750 SR-12	OROMCH001B2	10.10.4.100	L3_OROMCH004A1	10.4.4.29	ORO_MCH_004	SAR-8	OROMCH004A1	10.10.13.100	L3_OROMCH001B2	10.4.4.30
10.4.4.32	255.255.255.252	ORO_MCH_001	7750 SR-12	OROMCH001B1	10.10.3.100	L3_OROMCH001C1	10.4.4.33	ORO_MCH_001	SAR-M	OROMCH001C1	10.10.51.100	L3_OROMCH001B1	10.4.4.34
10.4.4.36	255.255.255.252	ORO_MCH_002	SAR-8	OROMCH002A1	10.10.11.100	L3_OROMCH005C1	10.4.4.37	ORO_MCH_005	SAR-M	OROMCH005C1	10.10.52.100	L3_OROMCH002A1	10.4.4.38
10.4.4.40	255.255.255.252	ORO_MCH_002	SAR-8	OROMCH002A1	10.10.11.100	L3_OROMCH007C1	10.4.4.41	ORO_MCH_007	SAR-M	OROMCH007C1	10.10.54.100	L3_OROMCH002A1	10.4.4.42
10.4.4.44	255.255.255.252	ORO_MCH_002	SAR-8	OROMCH002A1	10.10.11.100	L3_OROMCH006C1	10.4.4.45	ORO_MCH_006	SAR-M	OROMCH006C1	10.10.53.100	L3_OROMCH002A1	10.4.4.46
10.4.4.48	255.255.255.252	ORO_MCH_003	SAR-8	OROMCH003A1	10.10.12.100	L3_OROMCH009C1	10.4.4.49	ORO_MCH_009	SAR-M	OROMCH009C1	10.10.56.100	L3_OROMCH003A1	10.4.4.50
10.4.4.52	255.255.255.252	ORO_MCH_003	SAR-8	OROMCH003A1	10.10.12.100	L3_OROMCH013C1	10.4.4.53	ORO_MCH_013	SAR-M	OROMCH013C1	10.10.60.100	L3_OROMCH003A1	10.4.4.54
10.4.4.56	255.255.255.252	ORO_MCH_003	SAR-8	OROMCH003A1	10.10.12.100	L3_OROMCH014C1	10.4.4.57	ORO_MCH_014	SAR-M	OROMCH014C1	10.10.61.100	L3_OROMCH003A1	10.4.4.58
10.4.4.60	255.255.255.252	ORO_MCH_003	SAR-8	OROMCH003A1	10.10.12.100	L3_OROMCH004A1	10.4.4.61	ORO_MCH_004	SAR-8	OROMCH004A1	10.10.13.100	L3_OROMCH003A1	10.4.4.62
10.4.4.64	255.255.255.252	ORO_MCH_004	SAR-8	OROMCH004A1	10.10.13.100	L3_OROMCH016C1	10.4.4.65	ORO_MCH_016	SAR-M	OROMCH016C1	10.10.63.100	L3_OROMCH004A1	10.4.4.66

10.4.4.68	255.255.255.252	ORO_MCH_004	SAR-8	OROMCH004A1	10.10.13.100	L3_OROMCH017C1	10.4.4.69	ORO_MCH_017	SAR-M	OROMCH017C1	10.10.64.100	L3_OROMCH004A1	10.4.4.70
10.4.4.72	255.255.255.252	ORO_MCH_004	SAR-8	OROMCH004A1	10.10.13.100	L3_OROMCH018C1	10.4.4.73	ORO_MCH_018	SAR-M	OROMCH018C1	10.10.65.100	L3_OROMCH004A1	10.4.4.74
10.4.4.76	255.255.255.252	ORO_MCH_004	SAR-8	OROMCH004A1	10.10.13.100	L3_OROMCH020C1	10.4.4.77	ORO_MCH_020	SAR-M	OROMCH020C1	10.10.67.100	L3_OROMCH004A1	10.4.4.78
10.4.4.4	255.255.255.252	ORO_MCH_005	SAR-M	OROMCH005C1	10.10.52.100	L3_OROMCH001C1	10.4.4.81	ORO_MCH_001	SAR-M	OROMCH001C1	10.10.4.100	L3_OROMCH005C1	10.4.4.82
10.4.4.84	255.255.255.252	ORO_MCH_006	SAR-M	OROMCH006C1	10.10.53.100	L3_OROMCH008C1	10.4.4.85	ORO_MCH_008	SAR-M	OROMCH008C1	10.10.55.100	L3_OROMCH006C1	10.4.4.86
10.4.4.88	255.255.255.252	ORO_MCH_007	SAR-M	OROMCH007C1	10.10.54.100	L3_OROMCH008C1	10.4.4.89	ORO_MCH_008	SAR-M	OROMCH008C1	10.10.55.100	L3_OROMCH007C1	10.4.4.90
10.4.4.92	255.255.255.252	ORO_MCH_009	SAR-M	OROMCH009C1	10.10.56.100	L3_OROMCH010C1	10.4.4.93	ORO_MCH_010	SAR-M	OROMCH010C1	10.10.57.100	L3_OROMCH009C1	10.4.4.94
10.4.4.96	255.255.255.252	ORO_MCH_010	SAR-M	OROMCH010C1	10.10.57.100	L3_OROMCH011C1	10.4.4.97	ORO_MCH_011	SAR-M	OROMCH011C1	10.10.58.100	L3_OROMCH010C1	10.4.4.98
10.4.4.100	255.255.255.252	ORO_MCH_011	SAR-M	OROMCH011C1	10.10.58.100	L3_OROMCH012C1	10.4.4.101	ORO_MCH_012	SAR-M	OROMCH012C1	10.10.59.100	L3_OROMCH011C1	10.4.4.102
10.4.4.104	255.255.255.252	ORO_MCH_012	SAR-M	OROMCH012C1	10.10.59.100	L3_OROMCH013C1	10.4.4.105	ORO_MCH_013	SAR-M	OROMCH013C1	10.10.60.100	L3_OROMCH012C1	10.4.4.106

10.4.4.108	255.255.255.252	ORO_MCH_014	SAR-M	OROMCH014C1	10.10.61.100	L3_OROMCH015C1	10.4.4.109	ORO_MCH_015	SAR-M	OROMCH015C1	10.10.62.100	L3_OROMCH014C1	10.4.4.110
10.4.4.112	255.255.255.252	ORO_MCH_015	SAR-M	OROMCH015C1	10.10.62.100	L3_OROMCH016C1	10.4.4.113	ORO_MCH_016	SAR-M	OROMCH016C1	10.10.63.100	L3_OROMCH015C1	10.4.4.114
10.4.4.116	255.255.255.252	ORO_MCH_019	SAR-M	OROMCH019C1	10.10.66.100	L3_OROMCH017C1	10.4.4.117	ORO_MCH_017	SAR-M	OROMCH017C1	10.10.64.100	L3_OROMCH019C1	10.4.4.118
10.4.4.120	255.255.255.252	ORO_MCH_019	SAR-M	OROMCH019C1	10.10.66.100	L3_OROMCH018C1	10.4.4.121	ORO_MCH_018	SAR-M	OROMCH018C1	10.10.65.100	L3_OROMCH019C1	10.4.4.122
10.4.4.124	255.255.255.252	ORO_MCH_019	SAR-M	OROMCH019C1	10.10.66.100	L3_OROMCH020C1	10.4.4.125	ORO_MCH_020	SAR-M	OROMCH020C1	10.10.67.100	L3_OROMCH019C1	10.4.4.126

Elaborada por: La Autora.



**MPLS:** Será utilizado como protocolo de transporte sobre la red IP-RAN. MPLS no está habilitado por defecto en los equipos, por lo cual debe ser activado para su uso. Posterior a ello se debe configurar MPLS en las interfaces, incluso en la de sistema de los equipos.

Antes de transportar los servicios sobre la red IP-RAN se requiere definir los protocolos a utilizarse para creación de los túneles de servicio y transporte.

**RSVP-TE:** Se utilizará como el protocolo de distribución de etiquetas de transporte. Se selecciona RSVP-TE como protocolo de distribución de etiquetas puesto que propaga las funciones de señalización de MPLS, permite escoger caminos distintos al del protocolo IGP y soporta FRR.

RSVP es un protocolo que no está habilitado por defecto, por lo cual debe ser activado, sin embargo cuando se configuran las interfaces en MPLS éstas automáticamente se asocian a RSVP, por lo tanto cada interface no requiere ser configurada nuevamente con RSVP. Se debe tener en cuenta que RSVP-TE requiere la configuración manual de todos los path y LSPs.

**LSP:** Los túneles para el envío de paquetes de un extremo a otro serán establecidos dinámicamente considerando las restricciones establecidas por el protocolo RSVP.

En el diseño de red los LSP determinarán su camino inicial utilizando la información de IS-IS. Estos túneles son unidireccionales. Para configurar los LSPs solo se requiere la IP de sistema del router destino.

En el diseño de red solo se configurarán LSPs desde cada router de la IP-RAN hacia los 2 equipos 7750 SR-12 considerados en la estación ORO\_MCH\_001, lo cual permite brindar protección FRR al tráfico S1, OAM y de Sincronismo desde cada eNB hacia los routers de borde.

Al momento de configurar cada LSP es preciso colocar los siguientes comandos:

**cspf:** Para que el LSP sea señalizado utilizando el camino más corto que cumpla con las restricciones establecidas, en este caso el path señalizado por el IGP.

**fast-reroute facility:** Con lo cual en caso de existir falla en el camino calculado por IS-IS, el tráfico conmute en menos de 50ms a una ruta disponible sin requerir esperar a IS-IS. El modo “facility” permite que el mismo túnel Bypass proteja más de un path LSP, con lo cual se aprovecha mejor los recursos de red.

En el diseño de red, el nombre del LSP se identifica de la siguiente manera:

**TUNEL<SDPid>\_<NODE-NAME>**, Donde:

**<SDPid>:** Corresponde al VC ID del SDP (Service Distribution Point) relacionado con el LSP.

**<NODE-NAME>:** Nombre del nodo del extremo remoto del enlace en el cual termina el túnel LSP.

Como por ejemplo, los LSP hacia los SR-12 de la estación ORO\_MCH\_001 tendrán la siguiente nomenclatura:

TUNEL4000\_OROMCH001B1

TUNEL4010\_OROMCH001B2

Las tablas 4.9 y 4.10 presentan los LSP unidireccionales que deben construirse entre los routers 7705 SAR-M, SAR-8 y 7750 SR-12. La numeración asignada a cada SDP será del rango 4000 al 4210.

**T-LDP y MP-BGP:** Los protocolos utilizados para la distribución de las etiquetas de servicios, son T-LDP para los servicios capa 2 y MP-BGP para los servicios capa 3 o VPRN. Estas etiquetas de servicios irán dentro de los túneles de transporte establecidos por RSVP-TE.

**LDP:** Construye los LSPs automáticamente, lo cual facilita la tarea de creación de cada LSP, a diferencia de RSVP-TE que lo realiza de forma manual. LDP es el protocolo ideal para transportar el tráfico de la interfaz X2 que se establece entre

todos los eNB, porque el tráfico X2 no demanda menores tiempos de conmutación en caso de falla, como lo requiere el tráfico de la interfaz S1.

**Re-optimización:** Los equipos NOKIA de la serie 77XX soportan la funcionalidad de *re-optimización* del path MPLS, por lo cual, en caso de existir falla en el path principal, y se señalizare con un path no óptimo, el protocolo cada cierto tiempo evaluará si el path principal puede ser optimizado, recalculando las rutas respectivas y cumpliendo las restricciones establecidas. Esta funcionalidad está definida en minutos.

A continuación se describen los comandos para la configuración de MPLS, RSVP-TE, LDP, FRR, cspf en las interfaces de red:

#### **Comandos para la Verificación de los protocolos habilitados en el router:**

```
show router status
=====
====Router Status (Router: Base)
=====
====
Admin State                               Oper State
-----
Router                                     Up          Up
OSPFv2-0                                   Not config Not
configured
RIP                                         Not config Not
configured
ISIS                                       Up          Up
MPLS                                       Up          Up
RSVP                                       Up          Up
LDP                                         Up          Up
--- Some output is omitted here ---
```

#### **Comandos para activar el protocolo MPLS:**

```
configure router mpls
A:>config>router>mpls# no shutdown
```

#### **Comandos para incluir las interfaces en el dominio MPLS:**

```
Configure router mpls
interface "system"
exit
interface <IF-NAME>
exit
```

```
exit
```

### **Comandos para activar el protocolo RSVP:**

```
configure router rsvp  
A:>config>router>mpls# no shutdown
```

### **Comandos para la configuración de un path primario en modo “loose” así como la de un LSP:**

```
configure router mpls  
  path "p_igp"  
    no shutdown  
  exit  
  lsp to_<NODE-NAME>  
    to <SYSTEM-IP>  
    cspf  
    fast-reroute facility  
  exit  
  primary " p_igp "  
  exit  
  no shutdown  
exit all
```

### **Comandos para la configuración de una interface dentro de LDP:**

```
configure  
  router  
    ldp  
      interface-parameters  
        interface <IF-NAME>  
        exit  
      exit  
    exit  
  exit  
exit
```

### **Comandos para la configuración del temporizador de re-optimización en MPLS/RSVP-TE**

```
configure router mpls  
  resignal-timer 30  
  exit all
```

Tabla 4. 10: Listado de LSPs a construirse desde los routers 7705 SAR-M y SAR-8 hacia los 7750 SR-12

ROUTER DE CELDA O AGREGADOR	Nodo Destino	IP de Loopback Nodo Destino	ID SDP	Nombre del LSP
OROMCH002A1	OROMCH001B1	10.10.3.100	4000	TUNEL4000_OROMCH001B1
	OROMCH001B2	10.10.4.100	4010	TUNEL4010_OROMCH001B2
OROMCH003A1	OROMCH001B1	10.10.3.100	4000	TUNEL4000_OROMCH001B1
	OROMCH001B2	10.10.4.100	4010	TUNEL4010_OROMCH001B2
OROMCH004A1	OROMCH001B1	10.10.3.100	4000	TUNEL4000_OROMCH001B1
	OROMCH001B2	10.10.4.100	4010	TUNEL4010_OROMCH001B2
OROMCH001C1	OROMCH001B1	10.10.3.100	4000	TUNEL4000_OROMCH001B1
	OROMCH001B2	10.10.4.100	4010	TUNEL4010_OROMCH001B2
OROMCH005C1	OROMCH001B1	10.10.3.100	4000	TUNEL4000_OROMCH001B1
	OROMCH001B2	10.10.4.100	4010	TUNEL4010_OROMCH001B2
OROMCH006C1	OROMCH001B1	10.10.3.100	4000	TUNEL4000_OROMCH001B1
	OROMCH001B2	10.10.4.100	4010	TUNEL4010_OROMCH001B2
OROMCH007C1	OROMCH001B1	10.10.3.100	4000	TUNEL4000_OROMCH001B1
	OROMCH001B2	10.10.4.100	4010	TUNEL4010_OROMCH001B2
OROMCH008C1	OROMCH001B1	10.10.3.100	4000	TUNEL4000_OROMCH001B1
	OROMCH001B2	10.10.4.100	4010	TUNEL4010_OROMCH001B2
OROMCH009C1	OROMCH001B1	10.10.3.100	4000	TUNEL4000_OROMCH001B1
	OROMCH001B2	10.10.4.100	4010	TUNEL4010_OROMCH001B2
OROMCH010C1	OROMCH001B1	10.10.3.100	4000	TUNEL4000_OROMCH001B1
	OROMCH001B2	10.10.4.100	4010	TUNEL4010_OROMCH001B2
OROMCH011C1	OROMCH001B1	10.10.3.100	4000	TUNEL4000_OROMCH001B1
	OROMCH001B2	10.10.4.100	4010	TUNEL4010_OROMCH001B2
OROMCH012C1	OROMCH001B1	10.10.3.100	4000	TUNEL4000_OROMCH001B1
	OROMCH001B2	10.10.4.100	4010	TUNEL4010_OROMCH001B2
OROMCH013C1	OROMCH001B1	10.10.3.100	4000	TUNEL4000_OROMCH001B1
	OROMCH001B2	10.10.4.100	4010	TUNEL4010_OROMCH001B2
OROMCH014C1	OROMCH001B1	10.10.3.100	4000	TUNEL4000_OROMCH001B1
	OROMCH001B2	10.10.4.100	4010	TUNEL4010_OROMCH001B2
OROMCH015C1	OROMCH001B1	10.10.3.100	4000	TUNEL4000_OROMCH001B1
	OROMCH001B2	10.10.4.100	4010	TUNEL4010_OROMCH001B2
OROMCH016C1	OROMCH001B1	10.10.3.100	4000	TUNEL4000_OROMCH001B1
	OROMCH001B2	10.10.4.100	4010	TUNEL4010_OROMCH001B2
OROMCH017C1	OROMCH001B1	10.10.3.100	4000	TUNEL4000_OROMCH001B1
	OROMCH001B2	10.10.4.100	4010	TUNEL4010_OROMCH001B2
OROMCH018C1	OROMCH001B1	10.10.3.100	4000	TUNEL4000_OROMCH001B1
	OROMCH001B2	10.10.4.100	4010	TUNEL4010_OROMCH001B2
OROMCH019C1	OROMCH001B1	10.10.3.100	4000	TUNEL4000_OROMCH001B1
	OROMCH001B2	10.10.4.100	4010	TUNEL4010_OROMCH001B2
OROMCH020C1	OROMCH001B1	10.10.3.100	4000	TUNEL4000_OROMCH001B1
	OROMCH001B2	10.10.4.100	4010	TUNEL4010_OROMCH001B2

Elaborada por: La Autora.

Tabla 4. 11: Listado de LSPs a construirse desde los routers 7750 SR-12 hacia los 7705 SAR-M y SAR-8

ROUTER DE BORDE	Nodo Destino	IP de Loopback Nodo Destino	ID SDP	Nombre del LSP
OROMCH001B1 OROMCH001B2	ORO_MCH_002	10.10.11.100	4020	TUNEL4020_ORO_MCH_002
OROMCH001B1 OROMCH001B2	ORO_MCH_003	10.10.12.100	4030	TUNEL4030_ORO_MCH_003
OROMCH001B1 OROMCH001B2	ORO_MCH_004	10.10.13.100	4040	TUNEL4040_ORO_MCH_004
OROMCH001B1 OROMCH001B2	ORO_MCH_001	10.10.51.100	4050	TUNEL4050_ORO_MCH_001
OROMCH001B1 OROMCH001B2	ORO_MCH_005	10.10.52.100	4060	TUNEL4060_ORO_MCH_005
OROMCH001B1 OROMCH001B2	ORO_MCH_006	10.10.53.100	4070	TUNEL4070_ORO_MCH_006
OROMCH001B1 OROMCH001B2	ORO_MCH_007	10.10.54.100	4080	TUNEL4080_ORO_MCH_007
OROMCH001B1 OROMCH001B2	ORO_MCH_008	10.10.55.100	4090	TUNEL4090_ORO_MCH_008
OROMCH001B1 OROMCH001B2	ORO_MCH_009	10.10.56.100	4100	TUNEL4100_ORO_MCH_009
OROMCH001B1 OROMCH001B2	ORO_MCH_010	10.10.57.100	4110	TUNEL4110_ORO_MCH_010
OROMCH001B1 OROMCH001B2	ORO_MCH_011	10.10.58.100	4120	TUNEL4120_ORO_MCH_011
OROMCH001B1 OROMCH001B2	ORO_MCH_012	10.10.59.100	4130	TUNEL4130_ORO_MCH_012
OROMCH001B1 OROMCH001B2	ORO_MCH_013	10.10.60.100	4140	TUNEL4140_ORO_MCH_013
OROMCH001B1 OROMCH001B2	ORO_MCH_014	10.10.61.100	4150	TUNEL4150_ORO_MCH_014
OROMCH001B1 OROMCH001B2	ORO_MCH_015	10.10.62.100	4160	TUNEL4160_ORO_MCH_015
OROMCH001B1 OROMCH001B2	ORO_MCH_016	10.10.63.100	4170	TUNEL4170_ORO_MCH_016
OROMCH001B1 OROMCH001B2	ORO_MCH_017	10.10.64.100	4180	TUNEL4180_ORO_MCH_017
OROMCH001B1 OROMCH001B2	ORO_MCH_018	10.10.65.100	4190	TUNEL4190_ORO_MCH_018
OROMCH001B1 OROMCH001B2	ORO_MCH_019	10.10.66.100	4200	TUNEL4200_ORO_MCH_019
OROMCH001B1 OROMCH001B2	ORO_MCH_020	10.10.67.100	4210	TUNEL4210_ORO_MCH_020

Elaborada por: La Autora.

En la figura 4.9 se presenta el Diseño lógico de una red IP-RAN para el transporte de tráfico de datos LTE en la ciudad de Machala, Provincia de El Oro, Ecuador, en el cual se observan los diferentes protocolos de enrutamiento habilitados sobre el diseño de red.

### 4.3.2. Consideraciones de diseño en los Servicios IP-RAN

Los equipos Nokia utilizan dos entidades lógicas para la construcción de servicios:

**SAP** (Service Access Point): corresponde al cliente como punto de acceso a un servicio. Está asociado al puerto físico de conexión y sólo se configura en un puerto de acceso.

**SDP**: Corresponde al camino lógico que direcciona el tráfico desde un service router a otro a través de un túnel de servicio unidireccional. Direcciona los paquetes que ingresan, hacia el SAP de salida del servicio de ese nodo. Se identifican con un VC ID.

En la figura 4.8 se observan los componentes de un servicio en equipos IP-RAN Nokia. El SDP, que corresponde al # de servicio, se asocia a un túnel de transporte o LSP, este es demultiplexado en el nodo destino y asociado al servicio y SAP.

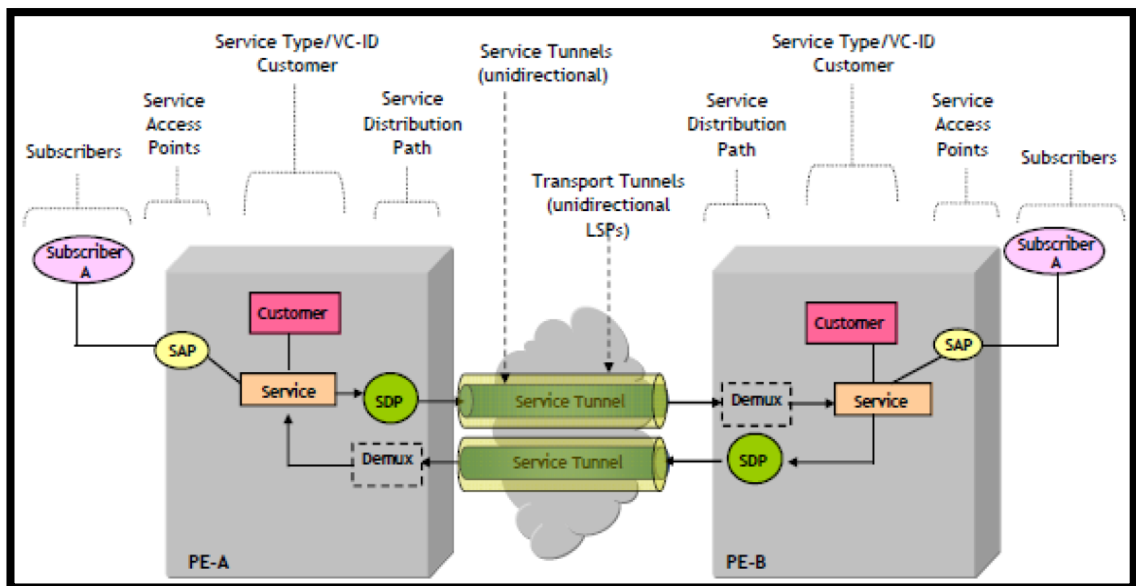


Figura 4. 8: Componentes de un servicio en equipos IP-RAN Nokia  
Fuente: (Alcatel-Lucent, 2014)

**VPRN sobre IP/MPLS:** El tráfico de señalización, control, datos y gestión generado por los elementos de la red IP-RAN será transportado sobre servicios capa 3 o VPRN.

Existirán 3 VPRNs TLC (Telecom), OAM (Operación y mantenimiento) y PTP que transportarán los distintos flujos de tráfico entre los routers de borde o concentradores y los routers de acceso y agregadores, las cuales serán identificadas con una numeración. Para este diseño se usara el rango del 204 al 206, es decir, VPRN 204 para el tráfico de Telecom, VPRN 205 para el tráfico de OAM y VPRN 206 para el tráfico PTP.

Estos flujos de tráfico se describen a continuación:

- a) **Flujo de tráfico TLC:** Corresponde a los protocolos de señalización LTE, los cuales son intercambiados entre los nodos de la red usando las interfaces 3GPP, es decir, las interfaces S1-C, S1-U y X2 entre eNB y el EPC. Este flujo es transportado dentro de la VPRN: TLC (Telecom). La figura 4.8 presenta los flujos de tráfico que cursan sobre el modelo de red IP-RAN. El flujo de tráfico de Telecom se señala con líneas rojas entrecortadas.
- b) **Flujo de tráfico OAM:** Corresponde al tráfico de gestión de los eNB y los routers de la IP-RAN, es decir, los flujos SNMP (Simple Network Management Protocol) versión 1, 2 entre los gestores y los elementos de red. Este tráfico se conoce como OAM y viaja dentro de la VPRN: OAM. La figura 4.8 presenta este flujo de tráfico con líneas verdes entrecortadas.
- c) **Flujos de tráfico PTP:** La tecnología de sincronización que para este diseño de red se considerará es PTP (1588v2). El flujo de tráfico de sincronismo será transportado sobre la VPRN: PTP. La figura 4.8 presenta este flujo de tráfico con líneas azules entrecortadas.



En el diseño lógico de una red IP-RAN para el transporte de tráfico de datos LTE de la figura 4.9 se observan los 3 flujos de tráfico de los servicios TLC, OAM y PTP de los eNB que son transportados sobre la red IP-RAN.

**Conexión eNB – Router:** Esta conexión de celda corresponde a una interface física común, por lo cual el tráfico que cursa debe ser separado a nivel de capa 2 usando VLANs diferentes para cada tipo de servicio (TLC, PTP, OAM), basándose en el marcador 802.1Q.

El default Gateway para cada tipo de tráfico TLC, OAM y PTP siempre serán los routers de acceso a los cuales se conectan directamente los eNB.

Las VPRNs serán configuradas en todos los routers de celda y routers de borde, mientras que los túneles de servicios (SDP) que utilizan los LSPs como túneles de transporte, deben ser configurados solo entre los routers que deberán mantener intercambio de tráfico S1, esto es entre los routers de acceso y agregadores (7705 SAR-8 y SAR-M) hacia los routers de borde (7750 SR-12), más no es necesario crear SDPs entre los routers de celda para el tráfico X2.

En la configuración de la VPRN TLC de los router de celda se usa el parámetro “auto-bind ldp”, para la creación automática de LSPs a través de LDP para el tráfico hacia los vecinos X2 y no se genere la creación de SDPs.

Mientras que en los 7750 SR-12 se configura “auto-bind rsvp-te” para que los túneles de servicio (SDP) sean automáticamente creados usando la información de los LSPs creados inicialmente, referencia tabla 4.10 y 4.11.

**Integración de la red IP-RAN con el Backbone del Operador móvil:** No existe una conexión directa entre los routers de borde de la red IP-RAN y el EPC. Esta conexión es dada a través de los routers de la red backbone IP/MPLS del operador móvil.

Se considerará que la red IP-RAN y el backbone IP/MPLS dispongan de sistemas autónomos diferentes, por lo tanto para la interconexión de ambas redes, se utilizará un Inter-AS mediante una sesión MP-BGP. Por lo tanto, para el intercambio de información de enrutamiento los routers 7750 SR-12 y el backbone del Operador utilizarán una sesión MP-eBGP.

Un paquete de datos que se transportará sobre la red IP-RAN, primeramente será encapsulado con la etiqueta MPLS que corresponda a la VPRN del cliente señalado mediante MP-BGP. Posterior a ello, antes de que el paquete de datos sea enviado a través del LSP, este será etiquetado con el path LSP correspondiente, y con dicha información se encaminará hasta router destino para ser desencapsulado.

En los routers 7750 SR-12 y 7705 SAR-8 y SAR-M, todas las rutas que pertenecen a una misma VPRN son señalizadas mediante una sola etiqueta de servicio hacia los routers PE remotos, por lo cual no se genera una etiqueta por interfaz o por prefijo; siendo así cada VPRN está conformada por todos los clientes que están conectados a un router PE asociado y cada PE debe mantener una tabla de reenvío IP independiente para cada VPRN.

Cada prefijo que se intercambie mediante BGP-MP incluirá un RD, para identificar la VPRN y permitir la superposición de direcciones IP; y RT para que los routers PE tengan la facilidad de importar y exportar rutas de la VPRN.

La VPRN TLC es la única vrf que requiere ser propagada hasta el backbone IP/MPLS del operador móvil, puesto que debe alcanzar el EPC. En la configuración de esta VPRN el RD y RT deben ser iguales para propagar la VRF hasta el core móvil.

**Descripción de los puertos físicos de servicio:** El eNB estará directamente conectado a un puerto 1Gbps del 7705 SAR-M o SAR-8. Para este puerto físico se plantea la siguiente descripción:

**#eNB\_NODO – SERVICIOS#**

En la cual:

**NODO:** Corresponde al nombre del eNB al cual se brinda transmisión.

**SERVICIOS:** Corresponde a los servicios que trasportará este puerto, gestión, sincronismo, datos, etc.

Ejemplo: #eNB\_LTE\_ORO\_MCH\_001- VPRN\_TLC\_OAM\_PTP#

**Direccionamiento IP para los servicios eNB:** Cada eNB tiene asignado su puerto físico, direccionamiento y VLAN para las VPRNs TLC, OAM y PTP. En la tabla 4.13 consta el direccionamiento IP para cada servicio; para el tráfico de TLC se usará la red 10.5.5.0/24, para el tráfico de OAM la 10.6.6.0/24 y para PTP la red 10.7.7.0/24.

A continuación se describen los comandos para la configuración de SDP y VPRNs. A modo de referencia se utilizarán las siguientes etiquetas:

<SDP-ID>: Identificador del Punto de Distribución del Servicio (SDP), referencia Tabla 4.10 y 4.11.

<SDP-IDx>: Corresponde al Identificador SDP de los vecinos X2 dentro de la VPRN, referencia Tabla 4.10 y 4.11.

<FAR-END>: Dirección IP de sistema del router destino.

<LSP-NAME>: Nombre del LSP a utilizar en el SDP, referencia Tabla 4.10 y 4.11.

<PORT-ID>: Identificador del Puerto, por ejemplo 1/1/1.

<VLAN-ID>: Etiqueta de VLAN de servicio, rango 0-4094.

<SAP-ID>: Punto de acceso al servicio constituido por el puerto físico y la VLAN de servicio <PORT-ID>:<VLAN-ID>.

<VPRN-DESCR>: Descripción del servicio VPRN.

<NODE>: Nombre del eNB al que se conecta la interfaz VPRN.

<VPRN-SERVICE-ID>: Identificador de un servicio VPRN.

*<CUSTOMER-ID>*: Identificador del cliente, puede ser diferente para cada tipo de servicio.

*<ASN>:<RD>*: Para este caso el ASN es el número del Sistema Autónomo de la red IP-RAN y RD corresponde al Route Distinguisher.

*Target: <ASN>:<RT>*: este caso el ASN es el número del AS de la red IP/MPLS del Operador móvil y el RT corresponde al Route Target.

*<TLC\_IP\_ADDRESS/31>*: Dirección IP de TLC del eNB, referencia Tabla 4.13.

*<OAM\_IP\_ADDRESS/31>*: Dirección IP de OAM del eNB, referencia Tabla 4.13.

*<PTP\_IP\_ADDRESS/31>*: Dirección IP de PTP del eNB, referencia Tabla 4.13.

### **Comandos de configuración para un SDP con RSVP-TE:**

```
configure
  service
    sdp <SDP-ID> mpls create
      far-end <FAR-END>
      lsp <LSP-NAME>
      no shutdown
    exit
  exit all
```

### **Comandos de configuración de VPRNs para LTE en los routers de celda:**

```
configure
  service
    vprn <VPRN-SERVICE-ID> customer <CUSTOMER-
ID>create
      description <VPRN-DESCR>
      local-as 65000
      route-distinguisher <ASN>:<RD>
      vrf-target target: <ASN>:<RT>
      auto-bind ldp
      interface "TLC4G_<NODE>" create
        address <TLC_IP_ADDRESS/31>
        sap <SAP-ID> create
      exit
    exit
    spoke-sdp <SDP-ID1> create
    exit
    spoke-sdp <SDP-ID2> create
    exit
    no shutdown
  exit
  vprn <VPRN-SERVICE-ID> customer <CUSTOMER-
ID>create
    description <VPRN-DESCR>
    local-as 65000
    route-distinguisher <ASN>:<RD>
    vrf-target target: <ASN>:<RT>
    interface "OAM4G_<NODE>" create
```

```

        address <OAM_IP_ADDRESS/31>
        sap <SAP-ID> create
        exit
    exit
    spoke-sdp <SDP-ID1> create
    exit
    spoke-sdp <SDP-ID2> create
    exit
    no shutdown
exit
vprn <VPRN-SERVICE-ID> customer <CUSTOMER-
ID>create
    description <VPRN-DESCR>
    local-as 65000
    route-distinguisher <ASN>:<RD>
    vrf-target target: <ASN>:<RT>
    interface "PTP4G_<NODE>" create
        address <PTP_IP_ADDRESS/31>
        sap <SAP-ID> create
        exit
    exit
    spoke-sdp <SDP-ID1> create
    exit
    spoke-sdp <SDP-ID2> create
    exit
    no shutdown
exit
exit all

```

**Sincronismo:** Se ha considerado que los eNB utilicen como fuente primaria la tecnología 1588v2 o PTP. En el diseño de red IP-RAN se ha considerado un número de saltos limitado entre las celdas y el reloj master para cumplir con los requerimientos.

Como se indica en los ítems anteriores, se configurará una VRF en la red IPRAN para transportar el sincronismo, de tal forma que el eNB reciba la fuente de reloj del Grand Master (GM), que para este diseño estará ubicado en la estación celular ORO\_MCH\_001, en la cual se encuentran los routers concentradores de todo el tráfico.

El router 7705 SAR-8 permite un máximo de dos fuentes de referencia master PTP, mientras que el router 7705 SAR-M soporta una sola referencia PTP.

A nivel de número de esclavos el router 7750 SR-12 soporta hasta 50 esclavos PTP, el 7705 SAR-8 y SAR-M hasta 10 esclavos.

En los routers 7750 SR-12 la IP de router ID es propagada dentro del IS-IS como fuente de los paquetes 1588v2. Al configurar la dirección del GM e indicar que el tipo de reloj es “Boundary”, no se requiere configurar cada cliente PTP, así cuando el reloj levanta los esclavos se conectan de forma automática.

**Políticas de QoS:** Para la aplicación de políticas de calidad en los eNB, se debe clasificar el tráfico mediante DSCP. Se debe considerar que el tráfico entregado por el eNB ya debe ser marcado con los valores que el EPC espera recibir, al ingresar el servicio, se debe respetar el marcado del eNB para la priorización del tráfico. Las políticas de ingreso y egreso deben aplicarse al SAP asignado al eNB.

Al tráfico que se encuentre marcado con DSCP al ingreso del servicio, se le asignará la clase de reenvío (Forwarding Class – FC) correspondiente según el valor DSCP. De existir tráfico para el cual el DSCP no coincida con las clases FC definidas, este tráfico será enviado a la clase por defecto (BE) correspondiente a la cola 1. En la tabla 4.12 se presenta un esquema de QoS propuesto para los puertos de red:

Tabla 4. 12: Esquema QoS propuesto para puertos de red en la red IP-RAN

Clase de Servicio	Clases de Reenvío (FC)	Cola
Control	NC	8
Sincronismo	H1	7
Voz en tiempo real	EF	6
Video		5
Gestión	H2	4
Datos Asegurados	L2	2
Clase por defecto	BE	1

Elaborada por: La Autora.

A continuación se describen los comandos de una política de red modelo que podría aplicarse a los routers 7750 SR y 7705 SAR:

**Modelo de una política de red:**

```
configure
  qos
    network 10 create
```

```

description "Network Policy"
ingress
    default-action fc be profile out
    lsp-exp 0 fc be profile out
    lsp-exp 1 fc l2 profile in
    lsp-exp 2 fc af profile in
    lsp-exp 3 fc l1 profile in
    lsp-exp 4 fc h2 profile in
    lsp-exp 5 fc ef profile in
    lsp-exp 6 fc h1 profile in
    lsp-exp 7 fc nc profile in
exit
egress
    fc be
        lsp-exp-in-profile 0
        lsp-exp-out-profile 0
    exit
    fc l2
        lsp-exp-in-profile 2
        lsp-exp-out-profile 2
    exit
    fc af
        lsp-exp-in-profile 3
        lsp-exp-out-profile 3
    exit
    fc ef
        lsp-exp-in-profile 5
        lsp-exp-out-profile 5
    exit
    fc h1
        lsp-exp-in-profile 6
        lsp-exp-out-profile 6
    exit
    fc nc
        dscp-in-profile nc2
        dscp-out-profile nc2
        lsp-exp-in-profile 7
        lsp-exp-out-profile 7
    exit
exit
exit
exit

```

**Comandos para aplicar un política de red a una Interface:**

```

configure
    router
        interface <IF-NAME>
            qos <Network Policy-Id>
        exit
    exit
exit

```

La figura 4.9 presenta el Diseño lógico de una red IP-RAN para el transporte de tráfico de datos LTE en la ciudad de Machala, Provincia de El Oro, Ecuador.

Tabla 4. 13: Direccionamiento IP para los servicios eNode B

N°	eNODO B	NEMONICO	INTERFACE FISICA	DESCRIPCION DE PUERTO FISICO	SUBRED SERVICIO TELECOM				SUBRED SERVICIO OAM				SUBRED SERVICIO PTP			
					SUBRED/31	IP ROUTER	IP eNODO B	VLAN	SUBRED/31	IP ROUTER	IP eNODO B	VLAN	SUBRED/31	IP ROUTER	IP eNODO B	VLAN
1	LTE_ORO_MCH_001	OROMCH001C1	Gi 1/1/3	#eNB_LTE_ORO_MCH_001-VPRN_TLC_OAM_PTP#	10.5.5.0	10.5.5.0	10.5.5.1	401	10.6.6.0	10.6.6.0	10.6.6.1	402	10.7.7.0	10.7.7.0	10.7.7.1	403
2	LTE_ORO_MCH_002	OROMCH002A1	Gi 1/4/2	#eNB_LTE_ORO_MCH_002-VPRN_TLC_OAM_PTP#	10.5.5.2	10.5.5.2	10.5.5.3	401	10.6.6.2	10.6.6.2	10.6.6.3	402	10.7.7.2	10.7.7.2	10.7.7.3	403
3	LTE_ORO_MCH_003	OROMCH003A1	Gi 1/4/2	#eNB_LTE_ORO_MCH_003-VPRN_TLC_OAM_PTP#	10.5.5.4	10.5.5.4	10.5.5.5	401	10.6.6.4	10.6.6.4	10.6.6.5	402	10.7.7.4	10.7.7.4	10.7.7.5	403
4	LTE_ORO_MCH_004	OROMCH004A1	Gi 1/4/2	#eNB_LTE_ORO_MCH_004-VPRN_TLC_OAM_PTP#	10.5.5.6	10.5.5.6	10.5.5.7	401	10.6.6.6	10.6.6.6	10.6.6.7	402	10.7.7.6	10.7.7.6	10.7.7.7	403
5	LTE_ORO_MCH_005	OROMCH005C1	Gi 1/1/3	#eNB_LTE_ORO_MCH_005-VPRN_TLC_OAM_PTP#	10.5.5.8	10.5.5.8	10.5.5.9	401	10.6.6.8	10.6.6.8	10.6.6.9	402	10.7.7.8	10.7.7.8	10.7.7.9	403
6	LTE_ORO_MCH_006	OROMCH006C1	Gi 1/1/3	#eNB_LTE_ORO_MCH_006-VPRN_TLC_OAM_PTP#	10.5.5.10	10.5.5.10	10.5.5.11	401	10.6.6.10	10.6.6.10	10.6.6.11	402	10.7.7.10	10.7.7.10	10.7.7.11	403
7	LTE_ORO_MCH_007	OROMCH007C1	Gi 1/1/3	#eNB_LTE_ORO_MCH_007-VPRN_TLC_OAM_PTP#	10.5.5.12	10.5.5.12	10.5.5.13	401	10.6.6.12	10.6.6.12	10.6.6.13	402	10.7.7.12	10.7.7.12	10.7.7.13	403
8	LTE_ORO_MCH_008	OROMCH008C1	Gi 1/1/3	#eNB_LTE_ORO_MCH_008-VPRN_TLC_OAM_PTP#	10.5.5.14	10.5.5.14	10.5.5.15	401	10.6.6.14	10.6.6.14	10.6.6.15	402	10.7.7.14	10.7.7.14	10.7.7.15	403
9	LTE_ORO_MCH_009	OROMCH009C1	Gi 1/1/3	#eNB_LTE_ORO_MCH_009-VPRN_TLC_OAM_PTP#	10.5.5.16	10.5.5.16	10.5.5.17	401	10.6.6.16	10.6.6.16	10.6.6.17	402	10.7.7.16	10.7.7.16	10.7.7.17	403
10	LTE_ORO_MCH_010	OROMCH010C1	Gi 1/1/3	#eNB_LTE_ORO_MCH_010-VPRN_TLC_OAM_PTP#	10.5.5.18	10.5.5.18	10.5.5.19	401	10.6.6.18	10.6.6.18	10.6.6.19	402	10.7.7.18	10.7.7.18	10.7.7.19	403
11	LTE_ORO_MCH_011	OROMCH011C1	Gi 1/1/3	#eNB_LTE_ORO_MCH_011-VPRN_TLC_OAM_PTP#	10.5.5.20	10.5.5.20	10.5.5.21	401	10.6.6.20	10.6.6.20	10.6.6.21	402	10.7.7.20	10.7.7.20	10.7.7.21	403
12	LTE_ORO_MCH_012	OROMCH012C1	Gi 1/1/3	#eNB_LTE_ORO_MCH_012-VPRN_TLC_OAM_PTP#	10.5.5.22	10.5.5.22	10.5.5.23	401	10.6.6.22	10.6.6.22	10.6.6.23	402	10.7.7.22	10.7.7.22	10.7.7.23	403
13	LTE_ORO_MCH_013	OROMCH013C1	Gi 1/1/3	#eNB_LTE_ORO_MCH_013-VPRN_TLC_OAM_PTP#	10.5.5.24	10.5.5.24	10.5.5.25	401	10.6.6.24	10.6.6.24	10.6.6.25	402	10.7.7.24	10.7.7.24	10.7.7.25	403
14	LTE_ORO_MCH_014	OROMCH014C1	Gi 1/1/3	#eNB_LTE_ORO_MCH_014-VPRN_TLC_OAM_PTP#	10.5.5.26	10.5.5.26	10.5.5.27	401	10.6.6.26	10.6.6.26	10.6.6.27	402	10.7.7.26	10.7.7.26	10.7.7.27	403
15	LTE_ORO_MCH_015	OROMCH015C1	Gi 1/1/3	#eNB_LTE_ORO_MCH_015-VPRN_TLC_OAM_PTP#	10.5.5.28	10.5.5.28	10.5.5.29	401	10.6.6.28	10.6.6.28	10.6.6.29	402	10.7.7.28	10.7.7.28	10.7.7.29	403
16	LTE_ORO_MCH_016	OROMCH016C1	Gi 1/1/3	#eNB_LTE_ORO_MCH_016-VPRN_TLC_OAM_PTP#	10.5.5.30	10.5.5.30	10.5.5.31	401	10.6.6.30	10.6.6.30	10.6.6.31	402	10.7.7.30	10.7.7.30	10.7.7.31	403
17	LTE_ORO_MCH_017	OROMCH017C1	Gi 1/1/3	#eNB_LTE_ORO_MCH_017-VPRN_TLC_OAM_PTP#	10.5.5.32	10.5.5.32	10.5.5.33	401	10.6.6.32	10.6.6.32	10.6.6.33	402	10.7.7.32	10.7.7.32	10.7.7.33	403
18	LTE_ORO_MCH_018	OROMCH018C1	Gi 1/1/3	#eNB_LTE_ORO_MCH_018-VPRN_TLC_OAM_PTP#	10.5.5.34	10.5.5.34	10.5.5.35	401	10.6.6.34	10.6.6.34	10.6.6.35	402	10.7.7.34	10.7.7.34	10.7.7.35	403
19	LTE_ORO_MCH_019	OROMCH019C1	Gi 1/1/3	#eNB_LTE_ORO_MCH_019-VPRN_TLC_OAM_PTP#	10.5.5.36	10.5.5.36	10.5.5.37	401	10.6.6.36	10.6.6.36	10.6.6.37	402	10.7.7.36	10.7.7.36	10.7.7.37	403
20	LTE_ORO_MCH_020	OROMCH020C1	Gi 1/1/3	#eNB_LTE_ORO_MCH_020-VPRN_TLC_OAM_PTP#	10.5.5.38	10.5.5.38	10.5.5.39	401	10.6.6.38	10.6.6.38	10.6.6.39	402	10.7.7.38	10.7.7.38	10.7.7.39	403

Elaborada por: La Autora.



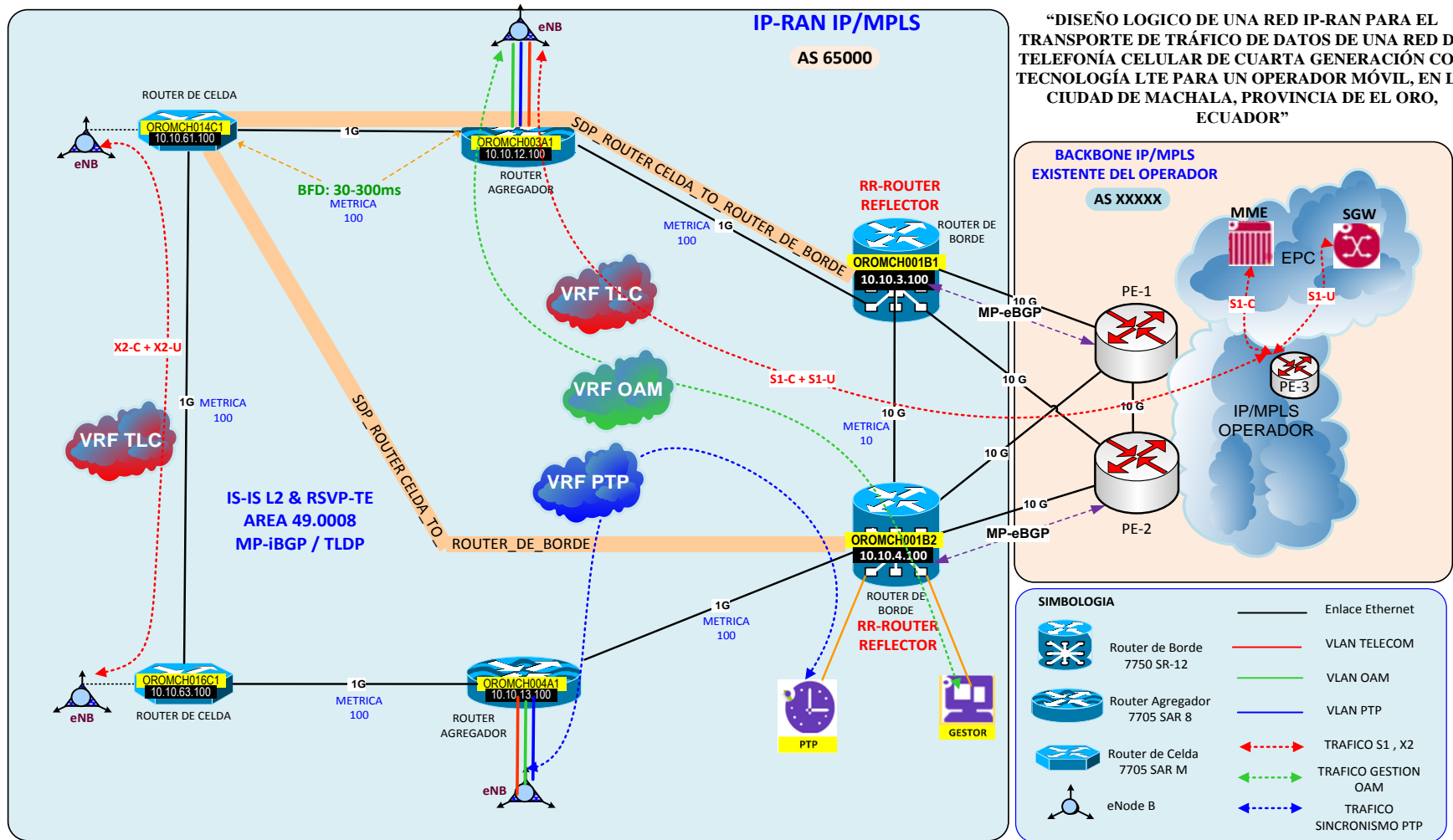


Figura 4. 9: Diseño lógico de una red IP-RAN para el transporte de tráfico de datos LTE en la ciudad de Machala, Provincia de El Oro, Ecuador.  
Elaborada por: La Autora.

## **Conclusiones.**

1. Obtenida la fundamentación teórica necesaria referente a la tecnología LTE y las redes IP/MPLS, se dió paso a la depuración y procesamiento respectivo, para plantear los conceptos fundamentales que soportan la arquitectura de red IP-RAN, tales como la jerarquización, protocolos, flujos de tráfico y servicios de redes móviles.
2. Tras el análisis de la demanda actual del servicio móvil LTE a nivel nacional, se determina que la ciudad de Machala representa un mercado en crecimiento y desarrollo a nivel de los servicios móviles avanzados, por lo tanto, una red IP-RAN sería necesaria para soportar y garantizar disponibilidad al tráfico de los usuarios LTE de un operador.
3. Considerando los diferentes componentes de una red IP-RAN, se determina que dentro de los parámetros y características técnicas que los equipos deben garantizar son: soporte de servicios nivel 2 y 3, ingeniería de tráfico, sincronismo, calidad de servicio y escalabilidad.
4. El estudio y análisis respectivo permite elaborar los diseños físicos y lógicos de una red IP-RAN para el transporte de tráfico de datos LTE en la ciudad de Machala, Provincia de El Oro, Ecuador, en los cual se detalla dimensionamiento de equipos, medio de transmisión, direccionamiento IP, protocolos y servicios a ser soportados sobre el diseño de red.
5. Al culminar el trabajo de titulación, se observa el cumplimiento respectivo de cada uno de los objetivos e hipótesis, alcanzando la elaboración del diseño de red IP-RAN como medio de transporte para los servicios de tecnología LTE, como una solución para la explotación de los servicios móviles en la ciudad de Machala.

## **Recomendaciones.**

1. Las redes IP-RAN deben ser explotadas al máximo como una solución de transporte dedicada para el tráfico de datos móviles de las distintas generaciones celulares 2G, 3G, 4G, y tecnologías futuras, orientadas hacia la convergencia IP.
2. Los operadores celulares deben considerar realizar un análisis costo-beneficio, de ofrecer mayores velocidades y capacidades de datos, al disponer de este tipo de red IP-RAN que garantice además la calidad y disponibilidad de servicios móviles.
3. Se recomienda para los posteriores trabajos de titulación, profundizar la investigación en cuanto a calidad de servicio (QoS) y sincronismo que una red IP-RAN garantiza desde el usuario LTE hasta el EPC.

## **Glosario de términos**

3GPP: 3rd Generation Partnership Project, Proyecto Asociación de Tercera Generación.

ACL: Listas de Control de Acceso.

ARCOTEL: Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones.

AS: Autonomous System, Sistema Autónomo.

AWS: Advanced Wireless Service, Sistema Inalámbrico Avanzado.

BFD: Bidirectional Forwarding Detection, Detección de reenvío bidireccional.

BGP: Border Gateway Protocol, Protocolo de pasarela de frontera.

BNG: Broadband Network Gateway, Pasarela de redes de banda ancha.

BSC: Base Station Controller, Estación base de control.

BTS: Base Transceiver Station, Estación de transferencia base.

CDMA2000: Code Division Multiple Access 2000, Acceso múltiple por división de código 2000.

CE: Customer Edge, Cliente de borde.

CF: Compact Flash, Memoria compacta.

CID: Circuit Identification, Identificación de circuito.

CNT EP.: Corporación Nacional de Telecomunicaciones Empresa Pública.

CONECCEL S.A.: Consorcio Ecuatoriano de Telecomunicaciones Sociedad Anónima.

CoS: Class of Service, Clases de servicio.

CPU: Unidad de Procesamiento Central.

CSM: Control and Switch Module, Módulo de control y conmutación.

CSPF: Constrained Shortest Path First, Primer camino más corto restringido.

DDoS: Distributed Denial of Service, Distribución de denegación de servicio.

DSCP: Differentiated Services Code Point, Código de punto de servicio diferenciado.

DWDM: Dense Wavelength Division Multiplexing, Multiplexación por división de longitud de onda densa.

eBGP: External BGP, BGP externo.

EGP: External Gateway Protocol, Protocolo de pasarela exterior.

EIGRP: Enhanced Interior Gateway Routing Protocol, Protocolo de enrutamiento de pasarela interior mejorada.

eLER: egress Label Edge Router, Etiqueta del router de borde de egreso.

eNB: evolved Node B, Nodo B evolucionado.

EoMPLS: Ethernet Over MPLS, Ethernet sobre MPLS.

EPC: Evolved Packet Core, Core de paquetes evolucionado.

EPS: Evolved Packet System, Sistema de paquete evolucionado.

E-UTRAN: Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network, Red de acceso de radio terrestre universal evolucionada.

FC: Forwarding Class, Clase de reenvío.

FEC: Forwarding Equivalence Class, Clase equivalente de reenvío.

FP3: FlexPath 3, camino flexible versión 3.

FRR: Fast Re-Route, Rápido reenrutamiento.

FD: Full Dúplex, Completas direcciones.

FO: Fibra Óptica.

Gi: Gigabit Ethernet.

GBR: Guaranteed Bit Rate, Tasa de bit garantizado.

GSM: Global System for Mobile communications, Sistema Global de comunicaciones móviles.

HF: Half Duplex, Media dirección.

HSS: Home Subscriber Server, Servidor de abonados.

IANA: Internet Assigned Numbers Authority, Autoridad de asignación de números de internet.

iBGP: Internal BGP, BGP interno.

ID: Identification, Identificación.

IDU: In-Door-Unit, Unidad de entrada.

IGP: Interior Gateway Protocol, Protocolo de pasarela interior.

IGRP: Interior Gateway Routing Protocol, Protocolo de enrutamiento de pasarela interior.

iLER: ingress Label Edge Router, Etiqueta del router de borde de ingreso.

IMM: Integrated Media Modules, Modulo de medios integrado.

IMS: IP Multimedia Subsystem, Subsistema multimedia de Protocolo de internet.

I/O: Input/Output, Entrada y salida.

IOM: Input/Output Module, Módulo de entrada y salida.

IP: Internet Protocol, Protocolo de Internet.

IP/MPLS: Internet Protocol/Multiprotocol Label Switching, Protocolo de internet/multiprotocolo de conmutación de etiquetas.

IP-RAN: Internet Protocol - Radio Access Network, Protocolo de internet – Red de acceso de radio.

ISIS: Intermediate System to Intermediate System, Sistema intermedio a sistema intermedio.

LDP: Label Distribution Protocol, Protocolo de distribución de etiquetas.

LER: Label Edge Router, Etiqueta del router de borde.

LLDP: Link Layer Discovery Protocol, Protocolo de descubrimiento de enlaces de capa.

LSP: Label Switched Path, Etiqueta de camino conmutado.

LSR: Label Switching Router, Etiqueta de router de conmutación.

LTE: Long-Term Evolution, Evolución a largo plazo.

MAC: Media Access Control, Control de acceso al medio.

MDA: Media Dependent Adapters, Adaptador dependiente del medio.

MME: Mobility Management Entity, Entidad de administración de movilidad.

MP-BGP: Multiprotocol BGP, Multiprotocolo BGP.

MPLS: Multiprotocol Label Switching, Multiprotocolo de conmutación de etiquetas.

MPR: Microwave Packet Radio, Microonda de radio por paquetes.

MSS: Microwave Service Switch, Microonda de conmutación de servicios.

MTU: Maximum Transmission Unit, Unidad de transmisión máxima.

MW: Microondas.

non-GBR: non-Guaranteed Bit Rate, Tasa de bit no garantizado.

NTP: Network Time Protocol, Protocolo de tiempo de red.

OAM: Operación y mantenimiento.

ODU: Out-Door Unit, Unidad de salida.

OES: Optical Extension Shelf, Estante de extensión óptico.

OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing, Multiplexación por división de frecuencia ortogonal.

OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access, Acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal.

OSI: Open System Interconnection, Interconexión de sistema abierto.

OSPF: Open Shortest Path First, Primer camino más corto abierto.

OTECEL S. A.: Operadora de Telefonía Celular Sociedad Anónima,

PCRF: Policy and Charging Rules Function, Políticas y reglas de cambio de función.

PE: Provider Edge, Proveedor de Borde.

P-GW: Packet Data Network Gateway, Pasarela de parquets de datos de red.

PTP: Precision Time Protocol, Protocolo de precisión de tiempo.

QAM: Quadrature Amplitude Modulation, Modulación de amplitud en cuadratura.

QCI: QoS Class Identifier, Identificador de clases de calidad de servicio.

QoS: Quality of Service, Calidad de servicio.

QPSK: Quadrature Phase Shift Keying, Modulación por desplazamiento de fase en cuadratura.

RAN: Radio Access Network, Red de acceso de radio.

RBS: Radio Base Station, Estación radio base.

RD: Route Distinguisher, Ruta distinguida.

RFC: Request for Comments, Petición de comentarios.

RIP: Routing Information Protocol, Protocolo de información de enrutamiento.

RNC: Radio Network Controller, Controlador de la red de radio.

RR: Router Reflector, Router reflejo.

RSVP: Resource Reservation Protocol, Protocolo de reservación de recursos.

RSVP-TE: Reservation Protocol - Traffic Engineering, Protocolo de reservación – Ingeniería de tráfico.

RT: Route-Target, Ruta objetivo.

RU: Unidad de rack.

SAP: Service Access Point, Punto de acceso del servicio.

SAR: Service Aggregation Router, Router agregador de servicios.

SC-FDMA: Single Carrier Frequency Divison Multiple Access, Acceso múltiple por división de frecuencia de una sola portadora.

SDH: Synchronous Digital Hierarchy, Jerarquía digital Síncrona.

SDP: Service Distribution Point, Punto de distribución de servicio.

SFP: Small form-Factor Pluggable, Adaptador conectable - forma pequeño.

SF/CPM: Switch-Fabric/Control Plane Module, Matriz de conmutación/ Módulo del plano de control.

S-GW: Serving Gateway, Pasarela de servicios.

SLA: Service Level Agreement, Servicio de nivel agregado.

SMA: Servicio Móvil Avanzado.

SMS: Short Message Service Router. Mensaje corto de router de servicio.

SMP: Symmetric Multi-processing, Multi-procesamiento simétrico.

SNMP: Simple Network Management Protocol, Protocolo de administración simple de red.

SP: Service Provider, Proveedor de servicios.

SPF: Shortest Path First, Primer camino más corto.

SR: Service Router, Router de servicios.

Sync-E: Synchronous Ethernet, Sincronismo Ethernet.

Tb/s: Terabits/segundo.

TCP: Transmission Control Protocol, Protocolo de control de transmisión.

TDM: Time Division Multiplexing, Multiplexación por división de tiempo.

TLC: Telecom.

T-LDP: Targeted LDP, Objetivo LDP.

ToS: Type of Service, Tipo de servicio.

TTL: Time To Live, Tiempo de vida.

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System, Sistema universal de telecomunicaciones móviles.

VLAN: Virtual Local Area Network, Red virtual de área local.

VLSM: Variable Length Subnet Mask, Subred de máscara de longitud variable.

VoIP: Voice over IP, Voz sobre Protocolo de Internet.

VPLS: Virtual Private LAN Service, Servicio virtual de una red local privada.

VPN: Virtual Private Networks, Red privada virtual.

VPRN: Virtual Private Routed Network, Enrutamiento de red privada virtual.

VPWS: Virtual Private Wire System, Sistema de circuito privado virtual.

VRF: Virtual Routing and Forwarding, Enrutamiento y reenvío virtual.

VSI: Virtual Switch Instance, Instancia de conmutación virtual.

WAN: Wide Area Network, Red de área amplia.

WiMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access, Interoperabilidad mundial de acceso microonda.



## Referencias Bibliográficas

- Agusti Comes, R., Bernardo Alvarez, F., Casadevall Palacio, F., Ferrús Ferre, R., Pérez Romero, J., & Sallent Roig, O. (2010). LTE: NUEVAS TENDENCIAS EN COMUNICACIONES MOVILES. En R. Agusti Comes, *LTE: NUEVAS TENDENCIAS EN COMUNICACIONES MOVILES* (pág. 65). Fundación Vodafone España.
- Alcatel-Lucent . (2015). Alcatel-Lucent 7705. En Alcatel-Lucent, *SERVICE AGGREGATION ROUTER OS / RELEASE 7.0.R1 MPLS GUIDE*.
- Alcatel-Lucent . (2015). Alcatel-Lucent 7750. En Alcatel-Lucent, *SERVICE ROUTER / RELEASE 13.0.R1 MPLS GUIDE*.
- Alcatel-Lucent. (2010). *Alcatel-Lucent 9500 Microwave Packet Radio*. Obtenido de Alcatel-Lucent 9500 Microwave Packet Radio: [www.alcatel-lucent.com](http://www.alcatel-lucent.com)
- ALCATEL-LUCENT. (2012). SR-OS Fundamentals. En ALCATEL-LUCENT, *MPLS Fundamentals* (pág. 8).
- Alcatel-Lucent. (2014). 77x5 Basics and O&M.
- Alcatel-Lucent University. (2011). 7750 SR 9.0 Product Overview.
- ALCATEL-LUCENT UNIVERSITY. (2012). 7705 Service Aggregation Router (SAR). En Alcatel-Lucent, *7705 Service Aggregation Router (SAR) R5.0 Product Overview*.
- Alcatel-Lucent University. (2012). SR-OS Fundamentals. En Alcatel-Lucent, *IP/MPLS SR-OS product family* (pág. 47).
- Alcatel-Lucent University. (2012). SR-OS Fundamentals. En Alcatel-Lucent, *IP/MPLS SR-OS product family* (pág. 53).
- Alcatel-Lucent University. (2012). SR-OS Fundamentals. En Alcatel-Lucent, *IP/MPLS SR-OS product family* (pág. 60).
- Alvarez-Campana, M. (2015). Curso LTE: Arquitectura funcional y protocolos. Madrid, España.
- ARCOTEL. (2016). *1.1.1-Lineas-activas-por-servicio\_y\_Densidad\_Jul*. Recuperado el 06 de 09 de 2016, de Registros Administrativos Arcotel: <http://www.arcotel.gob.ec/servicio-movil-avanzado-sma/>
- ARCOTEL. (2016). *1.1.3-Lineas-activas-por-tecnologia\_Jul*. Recuperado el 06 de 09 de 2016, de Registros Administrativos Arcotel: <http://www.arcotel.gob.ec/servicio-movil-avanzado-sma/>

- ARCOTEL. (2016). *1.2.1-Radiobases-por-operador-y-tecnologia-nivel-provincial\_jul2016*. Recuperado el 06 de 09 de 2016, de Registros Administrativos Arcotel: <http://www.arcotel.gob.ec/servicio-movil-avanzado-sma/>
- CASASOLA, T. (2016). *Redes Telemáticas*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/redestelematicas2sti1516/2a-evaluacion/tema-07>
- Cisco Systems Inc. (2013). Bidirectional Forwarding Detection.
- Cisco Systems Inc. (2010). Cisco Active Network Abstraction Network Service Activation 1.0 User Guide. San Jose, California, USA.
- Cisco Systems Inc. (2013). Descripción General de Integrated IS-IS Routing Protocol.
- Diario El Tiempo. (2015). *eltiempo.com.ec Noticias de Cuenca - Azuay Ecuador*. Obtenido de [eltiempo.com.ec Noticias de Cuenca - Azuay Ecuador](http://www.eltiempo.com.ec/eltiempo.com.ec Noticias de Cuenca - Azuay Ecuador): <http://www.eltiempo.com.ec/noticias-cuenca/157873-4g-lte-ya-esta-disponible-en-las-operadoras-a-nivel-nacional/>
- ETSI-European Telecommunications Standards Institute. (2011). LTE;Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA);User Equipment (UE) radio transmission and reception (3GPP TS 36.101 version 10.3.0 Release 10). Francia.
- GUILLEN ORTEGA, D. (2011). *TECNOLOGÍAS LTE - MOVIL 4G*. Obtenido de *TECNOLOGÍAS LTE - MOVIL 4G*: <http://lte-movil4g.blogspot.com/2013/04/ecuador-el-conatel-aprobo-el-uso-de-la.html>
- HAVRILA, P. (2012). *L2 MPLS VPN H3C introducción y ejemplos de configuración (Martini y Kompella VLLS / VPLS)*. Obtenido de <http://networkgeekstuff.com/networking/l2-mpls-vllsvpls-overview-including-martinikompella-mode-h3c-configuration-examples/>
- HAVRILA, P. (2013). *Configuring MPLS L3 VPN on IOS XR*. Obtenido de *Configuring MPLS L3 VPN on IOS XR*: <http://networkgeekstuff.com/networking/configuring-mpls-l3-vpn-on-ios-xr/>
- Icaran , M. (2005). Estudio y configuración de una VPN MPLS MP-BGP. Valparaiso, Chile.
- INEC. (2010). *Resultados del Censo 2010 de población y vivienda en el Ecuador*. Obtenido de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec>:

- [http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manualateral/Resultados-provinciales/el\\_oro.pdf](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manualateral/Resultados-provinciales/el_oro.pdf)
- Infante Arturo, R. (2007). SISTEMAS DE TRANSMISIÓN ÓPTICOS. *Capítulo # 1. Introducción a la transmisión por fibras ópticas.*
- Infante Rielo, D. C. (2007). SISTEMAS DE TRANSMISIÓN ÓPTICOS. *Capítulo # 2: Estructura y componentes de los sistemas de transmisión por fibras ópticas.*, 35.
- ITC Group. (2013). *ITC Group*. Obtenido de ITC Group: <http://www.itc-tech.com/index.php/soluciones/redes/llave-en-mano/ip-ran>
- Juniper Networks, Inc. (2001). RFC 2547bis: BGP/MPLS. Sunnyvale, California, USA.
- leopedrini. (2015). *telecomHall ES*. Obtenido de telecomHall ES: [www.telecomhall.com/es](http://www.telecomhall.com/es)
- LightRiver Technologies Corporation. (2016). *NOKIA (formerly Alcatel-Lucent) 7705 Service Aggregation Router*. Obtenido de LightRiver Technologies: <http://lightriver.com/item/nokia-7705-service-aggregation-router/>
- Lopez, D., Gelvez García, N. Y., & Pedraza, L. F. (2011). Modelo para la proteccion de conexiones en redes IPS. Bogota, Colombia.
- Mariano Beiro, J. G. (2012). *Introducción a MPLS*. Buenos Aires, Argentina.
- Nokia Corporation. (2016). *Nokia 7705 Service Aggregation Router*. Espoo, Finlandia.
- Nokia Corporation. (2016). *Nokia 7750 Service Router*. Espoo, Finlandia.
- Orozco A., M., Cortes A., J., Buitrago, F., & Martinez T., R. (2014). *Multiprotocol Label Switching (MPLS)*. Cartagena, Colombia.
- Serra, C. A., & Marante Rizo, F. R. (2013). Arquitectura general del sistema LTE. *Revista Telem@tica*, 12(2), 81-90.

## **ANEXOS**

### **ANEXO 1: DATA SHEET DE LOS EQUIPOS NOKIA 7750 SERVICE ROUTER Y 7705 SERVICE AGGREGATION ROUTER**

**ANEXO 2: GUÍA DE CONFIGURACIÓN  
DE LOS EQUIPOS NOKIA 7750 SERVICE ROUTER  
Y 7705 SERVICE AGGREGATION ROUTER**



**Presidencia  
de la República  
del Ecuador**



**Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes**



**SENESCYT**  
Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

## **DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN**

Yo, **Vega Valdiviezo Verónica Elizabeth**, con C.C: # **0705196285** autor/a del trabajo de titulación: **Diseño de una red IP-RAN para el transporte de tráfico de datos de una red de telefonía celular de cuarta generación con tecnología LTE para un operador móvil, en la ciudad de Machala, Provincia de El Oro, Ecuador** previo a la obtención del título de **Magíster en Telecomunicaciones** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, **29 de noviembre de 2016**

f. \_\_\_\_\_

**Nombre: Vega Valdiviezo Verónica Elizabeth**

**C.C: 0705196285**

## **REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

### **FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN**

<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	Diseño de una red IP-RAN para el transporte de tráfico de datos de una red de telefonía celular de cuarta generación con tecnología LTE para un operador móvil, en la ciudad de Machala, Provincia de El Oro, Ecuador		
<b>AUTOR(ES)</b>	Verónica Elizabeth Vega Valdiviezo		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	MSc. Luis Córdova Rivadeneira; MSc. Orlando Philco Asqui/MSc. Manuel Romero Paz		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Sistema de Posgrado		
<b>CARRERA:</b>	Maestría en Telecomunicaciones		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	Magíster en Telecomunicaciones		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	29 de noviembre de 2016	<b>No. PÁGINAS:</b>	133
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Redes, Telefonía móvil, Telecomunicaciones.		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	LTE, IP-RAN, MPLS, eNodo B, Agregador, anillos.		
<b>RESUMEN/ABSTRACT</b> (150-250 palabras):	<p>En el presente documento se muestra el trabajo de titulación previo a la obtención del Grado Académico de Magíster en Telecomunicaciones de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, en el cual se orienta a los lectores a conocer los elementos de red y sus características técnicas requeridas para el diseño de una red IP-RAN que soporte tráfico de datos LTE, en la ciudad de Machala, Provincia de El Oro, Ecuador. Esta investigación ha sido basada en topologías similares desplegadas en otras ciudades del país, tomando en consideración la demanda actual del servicio y la falta de disponibilidad de una red de datos de alta velocidad en la ciudad de Machala que permita la innovación de servicios móviles basados en IP y por lo tanto un alto crecimiento de usuarios en la red. Para un proveedor de telefonía móvil celular, es un desafío realizar el despliegue de servicios móviles sobre un transporte en capa 3, el cual resuelva los problemas de broadcast, sincronismo, calidad de servicio, escalabilidad, por lo tanto el presente trabajo muestra el diseño de red IP-RAN en dos formas, diseños físico y lógico. El diseño físico describe el tipo de equipamiento y capacidad de transmisión de los elementos que conforman los anillos de acceso y agregación de la red IP-RAN; mientras que, el segundo diseño presenta los parámetros de direccionamiento y configuraciones requeridas para levantar el diseño de red IP-RAN. La metodología de investigación utilizada en este trabajo es de carácter exploratorio, descriptivo con un enfoque pre-experimental.</p>		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593-9-96158339	<b>E-mail:</b> tiaveyo418@hotmail.com	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):</b>	<b>Nombre:</b> Manuel de Jesús Romero Paz		
	<b>Teléfono:</b> +593-4-2202935 / 0994606932		
	<b>E-mail:</b> manuel.romero@cu.ucsg.edu.ec / mromeropaz@yahoo.com		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			