

**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRIA EN TELECOMUNICACIONES**

**TEMA:**

**Propuesta para mejorar la cobertura en interiores en redes  
de telefonía celular en clientes individuales**

**AUTORA:**

**García Acuña Liuva Tamara**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de  
MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES**

**TUTOR:**

**Romero Paz, Manuel de Jesús, MSc.**

**Guayaquil, Ecuador**

**25 de noviembre de 2019**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRIA EN TELECOMUNICACIONES**

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **García Acuña Liuva Tamara**, como requerimiento para la obtención del Título de **Magíster en Telecomunicaciones**.

**TUTOR**

f. \_\_\_\_\_  
**Romero Paz, Manuel de Jesús, MSc.**

**DIRECTOR DEL PROGRAMA**

f. \_\_\_\_\_  
**Romero Paz, Manuel de Jesús, MSc.**

**Guayaquil, 25 de noviembre de 2019**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRIA EN TELECOMUNICACIONES**

## **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **García Acuña Liuva Tamara**

### **DECLARO QUE:**

El Trabajo de Titulación, **Propuesta para mejorar la cobertura en interiores en redes de telefonía celular en clientes individuales**, previo 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, 25 de noviembre de 2019**

**LA AUTORA**

f. \_\_\_\_\_  
**García Acuña Liuva Tamara**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRIA EN TELECOMUNICACIONES**

## **AUTORIZACIÓN**

Yo, **García Acuña Liuva Tamara**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Propuesta para mejorar la cobertura en interiores en redes de telefonía celular en clientes individuales**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, 25 de noviembre de 2019**

**LA AUTORA:**

f. \_\_\_\_\_  
**García Acuña Liuva Tamara**

# REPORTE DE URKUND

**URKUND** ★ Probar la nueva interfaz Urkund | Orlando Philco Asqui (orlando.philco)

**Documento:** [TT Liuva Garcia 21-10-2019.docx](#) (D57475013)

**Presentado:** 2019-10-22 12:52 (-05:00)

**Presentado por:** orlandophilco\_7@hotmail.com

**Recibido:** orlando.philco.ucsg@análisis.urkund.com

**Mensaje:** TESIS LIUVA GARCIA [Mostrar el mensaje completo](#)

2% de estas 30 páginas, se componen de texto presente en 5 fuentes.

Lista de fuentes	Bloques
Categoría	Enlace/nombre de archivo
	TESIS_MAUURICIO_TOALOMBO_MONTERO.pdf
	<a href="https://www.telesemana.com/blog/2015/06/15/wi-fi-calling-que-es-y-cuando-usa...">https://www.telesemana.com/blog/2015/06/15/wi-fi-calling-que-es-y-cuando-usa...</a>
	<a href="#">ProyectoTitulación-AndradeEdgar.docx</a>
	<a href="https://comunidad.movistar.es/t5/Blog-Movisfera/Posibles-causas-y-soluciones-d...">https://comunidad.movistar.es/t5/Blog-Movisfera/Posibles-causas-y-soluciones-d...</a>

0 Advertencias. Reiniciar Exportar Compartir

SISTEMA DE POSGRADO MAESTRIA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA: Propuesta para mejorar la cobertura en interiores en redes de telefonía celular en clientes individuales

AUTORA: Garcia Acuña Liuva Tamara

Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR: Romero Paz, Manuel de Jesus, MSc.

Guayaquil, Ecuador (día) de (mes) del (año)

SISTEMA DE POSGRADO MAESTRIA EN

TELECOMUNICACIONES

IDENTIFICACIÓN

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mi familia en especial a mi hermano Francesco (+), por su cariño y apoyo por culminar esta maestría. Adicional la dedico a todas las personas que no tienen una experiencia laboral en el ámbito de las telecomunicaciones, pero son investigadoras en el tema; ya que esta tesis fue elaborada para comprensión de todo tipo de lectores.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco primero a Dios y a la Virgen Santísima por guiar mis pasos y darme la sabiduría necesaria en el momento preciso, a mi familia, a mis amigos, a los docentes y en especial a mi tutor por la factibilidad de realizar y culminar esta tesis.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRIA EN TELECOMUNICACIONES**

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

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

**MSc. Manuel de Jesús Romero Paz**  
TUTOR

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

**MSc. Néstor Armando Zamora Cedeño**  
REVISOR

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

**MSc. Luis Silvio Córdova Rivadeneira**  
REVISOR

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

**MSc. Manuel de Jesús Romero Paz**  
DIRECTOR DEL PROGRAMA

# ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I	INTRODUCCIÓN .....	2
1.1	<i>Justificación.</i> .....	2
1.2	<i>Antecedentes.</i> .....	2
1.3	<i>Definición del Problema.</i> .....	3
1.4	<i>Objetivos.</i> .....	4
1.4.1	<i>Objetivo general.</i> .....	4
1.4.2	<i>Objetivos específicos.</i> .....	4
1.5	<i>Hipótesis.</i> .....	5
1.6	<i>Metodología de investigación.</i> .....	5
CAPÍTULO II	REDES MÓVILES .....	6
2.1	<i>Generalidades de la Telefonía móvil.</i> .....	6
2.1.1	<i>Terminal Móvil.</i> .....	7
2.1.2	<i>Tarjeta SIM (Módulo de Identificación del Suscriptor).</i> .....	7
2.2	<i>Sistemas celulares.</i> .....	10
2.2.1	<i>Celda.</i> .....	11
2.2.2	<i>Reutilización de frecuencias.</i> .....	12
2.2.3	<i>División de celdas o células.</i> .....	14
2.2.4	<i>Transferencia de llamada.</i> .....	15
2.2.5	<i>Arquitectura general de las redes celulares.</i> .....	16
CAPÍTULO III	CRONOLOGÍA DE LA RED MÓVIL .....	17
3.1	<i>1G (Primera Generación).</i> .....	17

3.1.1	AMPS.....	18
3.1.2	TACS.....	18
3.1.3	ETACS.....	18
3.2	2G (Segunda Generación).....	18
3.2.1	GSM.....	19
3.2.2	IS-136.....	26
3.2.3	IS-95.....	27
3.2.4	PDC.....	27
3.3	2.5G (Generación 2.5G).....	28
3.3.1	Arquitectura del sistema GPRS.....	28
3.4	2.75G (Generación 2.75G).....	32
3.4.1	Arquitectura del sistema EDGE.....	32
3.5	3G (Tercera Generación).....	33
3.5.1	UMTS (Universal Mobile Telecommunication System).....	34
3.5.2	CDMA2000 (Code Division Multiple Access2000).....	37
3.6	3.5G (Generación 3.5G).....	38
3.6.1	HSDPA (High Speed Downlink Packet Access, Acceso de Alta Velocidad del Paquete de Downlink).....	39
3.6.2	HSUPA (High Speed Uplink Packet Access, Acceso de Alta Velocidad del Paquete de Uplink).....	40
3.7	3.75G (Generación 3.75G).....	41
3.7.1	Arquitectura HSPA+.....	41
3.8	4G (Cuarta Generación).....	42
3.8.1	Arquitectura LTE.....	44

3.9	5G (Quinta generación).....	49
CAPÍTULO IV ANÁLISIS PARA MEJORAR LA COBERTURA EN INTERIORES EN UNA RED CELULAR.....		
4.1	<i>Aspectos para evaluar la calidad de servicio en una red celular.</i>	50
4.2	<i>Factores que degradan la intensidad de la señal.</i> .....	51
4.3	<i>Soluciones básicas de las operadoras de SMA para mejorar la señal.</i> .....	51
4.4	<i>Soluciones técnicas para mejorar el problema de cobertura en interiores.</i> .....	53
4.4.1	<i>Femtoceldas.</i> .....	53
4.4.2	<i>DAS (Distributed Antennas Systems, Sistemas Distribuidos de Antenas) o antenas amplificadoras/ repetidoras de señal.</i> .....	55
4.4.3	<i>Wi-Fi calling.</i> .....	57
CONCLUSIONES.....		59
RECOMENDACIONES.....		61
REFERENCIAS.....		62

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Sistema de numeración de tarjeta SIM.....	9
Figura 2.2 Estructura y formato de la IMSI. ....	10
Figura 2.3 Subdivisión de celdas. ....	12
Figura 2.4 Concepto de reutilización celular de frecuencia.....	13
Figura 2.5 División de célula.....	14
Figura 2.6 Transferencia de llamada. ....	15
Figura 3.1 Modelo del sistema GSM.....	19
Figura 3.2 Arquitectura funcional e interfaces.....	20
Figura 3.3 Arquitectura de la red GPRS. ....	28
Figura 3.4 Arquitectura de la red GPRS. ....	31
Figura 3.5 Arquitectura de la red EGPRS. ....	33
Figura 3.6 Arquitectura básica de una red UMTS.....	35
Figura 3.7 Arquitectura de la red de acceso UTRAN.....	36
Figura 3.8 Evolución de UMTS. ....	38
Figura 3.9 Arquitectura HSPA+.....	41
Figura 3.10 Canalización y asignación de bandas de frecuencias SMA..	44
Figura 3.11 Comparativa de la arquitectura de red E-UTRAN y UTRAN.	45
Figura 3.12 Arquitectura 4G.....	45
Figura 3.13 Red de acceso E-UTRAN.....	46
Figura 3.14 Arquitectura básica de la red troncal.....	47
Figura 4.1 Femtocelda.....	53
Figura 4.2 Amplificador de señal de telefonía móvil.....	55

Figura 4.3 Amplificador de señal inteligente digital Cel-Fi PRO.....	57
Figura 4.4 Instalación del Cel-Fi PRO.....	57
Figura 4.5 Wi-Fi calling. ....	57

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Interfaces de la red GPRS. ....	31
Tabla 3.2 Interfaces de la red UMTS. ....	37
Tabla 3.3 Bandas operativas en LTE. ....	43
Tabla 3.4 Entidades de red e interfaces de E-UTRAN. ....	46
Tabla 3.5 Entidades de red e interfaces de EPC para el acceso desde E-UTRAN. ....	49

## RESUMEN

En la actualidad, los clientes que usan teléfonos celulares son cada vez más exigentes con los servicios tradicionales que contratan; que incluyen voz, SMS o datos móviles; sean estos que estén en la modalidad de pago: prepago, previo pago o pospago. Entre sus requerimientos el más importante es que buscan proveedores de servicios móviles avanzados que les brinden una óptima calidad de servicio siendo hincapié en la cobertura. Los operadores móviles pueden en muchos sectores garantizar cobertura en sus exteriores, pero en los interiores se ven afectados por mucho factores teniendo como consecuencia una insatisfacción en los clientes. Este trabajo de investigación presenta una propuesta para mejorar la cobertura en interiores en redes de telefonía celular en clientes individuales con el uso de antenas amplificadoras/repetidoras de señal celular, las cuales hay de todo tipo inclusive plug and play con sus antenas integradas lo que facilita su instalación y uso al ser muy amigables con el usuario final.

**Palabras Claves:** cobertura, 2G, GSM, GPRS, EDGE, 3G, UMTS, 3.5G, HSPA, HSPA+, 4G, LTE, 5G, femtoceldas, DAS, Wi-Fi calling.

## ABSTRACT

Nowadays, customers who use cell phones are increasingly demanding with the traditional services they hire; which include voice, SMS or mobile data; be these that are in the payment method: pre-paid, prior-paid or post-paid. Among your requirements, the most important is that they are looking for advanced mobile service providers that provide them with an optimal quality of service, with emphasis on coverage. Mobile operators can in many sectors guarantee coverage in their outdoor, but in the indoor they are affected by many factors resulting in customer dissatisfaction. This research work presents a proposal to improve indoor coverage in cellular telephone networks in individual clients with the use of cellular signal amplifier/repeater antennas, which are of all types including plug and play with their integrated antennas, which facilitates its installation and use to be very friendly with the end user.

**Keywords:** coverage, 2G, GSM, GPRS, EDGE, 3G, UMTS, 3.5G, HSPA, HSPA +, 4G, LTE, 5G, femtocells, DAS, Wi-Fi calling.

# CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

## **1.1 Justificación.**

Con esta investigación se pretende dar una solución alternativa a los clientes del segmento individual de las empresas de servicios móviles avanzados para mejorar la cobertura en interiores, hasta que el área de optimización de cada una de las operadoras incorpore dicha falencia al análisis del plan técnico de despliegue de red para la implementación de la ampliación de la cobertura en dicho sector.

## **1.2 Antecedentes.**

Uno de los principales temas a tratar en las empresas de servicios móviles avanzados es la falta de cobertura que se presenta en zonas específicas.

Los principales factores que intervienen cuando existe un problema de cobertura son: el clima, el tipo de terreno en donde se ubican las estaciones bases junto con las edificaciones y el material de construcción de las mismas. Adicional el rango de frecuencia utilizada, ya que a menor frecuencia mayor longitud de onda, por lo tanto la onda electromagnética podrá atravesar más obstáculos obteniendo un mayor alcance, pero menor velocidad y viceversa.

Las operadoras al tener un problema de cobertura especifican si es falta de cobertura en exteriores o en interiores. Los problemas de cobertura en exteriores se debe a la falta de implementación de repetidoras y/o radios bases, pero los problemas de cobertura en interiores radica por el tipo de infraestructura de la edificación.

Las telefónicas para poder realizar un despliegue y diseño de red utilizan programas para predicción de cobertura con bases cartográficas digitales

y diferentes modelos matemáticos de radio propagación; luego efectúan mediciones en campo, esto permite corroborar o ajustar los modelos obtenidos mediante simulación. Adicional consideran muchos aspectos entre ellos los ambientales, legales y económicos; colocando prioridad en el último.

En Ecuador las operadoras se enfocan en expandir su red externa para llegar a más sectores dentro del país, pero no se percatan de la calidad de red en interiores y esto afecta a muchos usuarios generando inconformidades con respecto al servicio.

### **1.3 Definición del Problema.**

En la actualidad el crecimiento acelerado de las tecnologías y la globalización ha convertido a la telefonía celular en una necesidad lo que hace unos años era un lujo, por lo que cuando se tiene un inconveniente con la comunicación por falta de cobertura se acude a la operadora prestadora de servicios para obtener una solución con respecto a la misma, pero la respuesta puede tardar días, meses o años dependiendo de la complejidad.

En muchos de los casos se mejora la señal con reparación y/o cambios en los equipos celulares y reposiciones de sim cards a la vez, pero en otros ya se necesita inversiones mucho más grandes sobre todo para los proveedores del servicio. Por este motivo, los usuarios se ven obligados a optar por una o varias líneas celulares en distintas empresas de servicios móviles avanzados para asegurar la comunicación en los sectores donde una u otra operadora tienen problemas de cobertura.

La mayoría de los problemas de señal no se percibe fuera de un lugar (outdoor) sino dentro de una edificación (indoor), por lo que es común escuchar los comentarios de clientes que indican “tengo que salir de mi casa para poder efectuar una llamada”, con lo cual se puede concluir que

las operadoras tienen más deficiencias de señal en interiores que en exteriores.

Se ha notado que en ocasiones las operadoras cuando se trata de un cliente empresarial (PYMES o GGCC) aplican soluciones más ágiles colocando dentro de las edificaciones femtoceldas, pero dejan atrás un gran grupo de clientes individuales los cuales no reciben soluciones a sus inconvenientes de cobertura, ya que no especifican una fecha para el despliegue de la solución; debido a que se necesita que exista un presupuesto disponible y que el área de optimización luego del estudio correspondiente lo apruebe, sin olvidar de que esto también depende de la obtención de los permisos municipales, ambientales y comunitarios.

La falta de cobertura en interiores afecta la calidad de llamadas en cada interacción que los usuarios tengan, por lo que como resultado daría clientes insatisfechos y reclamos continuos hacia sus operadoras.

El Ecuador cuenta con tres empresas de telefonía móvil avanzada que prestan el servicio, cuyos nombres comerciales son: Claro, Movistar y CNT. Cabe recalcar que no se enfocará en una de ellas si no que se tratará a nivel general como mejorar la cobertura de telefonía celular en interiores para cliente individuales que es la falencia de las tres operadoras.

#### **1.4 *Objetivos.***

##### **1.4.1 *Objetivo general.***

Proponer una alternativa que mejore la cobertura en interiores en el segmento individual para dar una mejor intensidad en la señal y por ende un servicio de calidad a los usuarios finales de la telefonía celular.

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

- ✓ Describir el estado del arte de la telefonía celular.

- ✓ Analizar los aspectos que las operadoras de telefonía celular consideran para mejorar la cobertura en sectores específicos.
- ✓ Investigar las soluciones que las operadoras en el Ecuador brindan a los clientes individuales cuando estos tienen inquietudes y/o problemas de cobertura.
- ✓ Presentar una propuesta para mejorar la cobertura en interiores en las edificaciones de los usuarios finales instalando antenas amplificadoras de señal (una amplificadora/repetidora de señal celular)

### **1.5 Hipótesis.**

Se podría mejorar la cobertura en interiores en las edificaciones de los usuarios finales instalando antenas amplificadoras de señal (una amplificadora/repetidora de señal celular) como una solución rápida hasta que se mejore la cobertura por parte de la operadora prestadora de servicios.

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

Es una investigación exploratoria en su etapa inicial, porque comprende la investigación de la teoría de las antenas amplificadoras de señal y su aplicación en la telefonía celular, realizando una revisión bibliográfica de las mismas.

Se utilizará el método empírico cuyo alcance es descriptivo y explicativo, el diseño es cuasi-experimental, para validar si la hipótesis propuesta es afirmativa, describiendo las generaciones de la telefonía celular junto con la explicación de los factores que afectan la cobertura en exteriores e interiores y hacen que la comunicación sufra perturbaciones.

Se emplea el paradigma “Empírico-Analítico” y un enfoque “Cuantitativo” porque se realizan cálculos matemáticos y estadísticos para caracterizar estas antenas.

## CAPÍTULO II REDES MÓVILES

### 2.1 *Generalidades de la Telefonía móvil.*

La telefonía móvil o telefonía celular es un sistema y/o medio de comunicación inalámbrica que a través de ondas electromagnéticas permite realizar y recibir llamadas, enviar y recibir mensajes de textos, y/o transferencia de datos desde cualquier lugar siempre y cuando se esté dentro de una zona de cobertura.

Para que se pueda establecer una comunicación en telefonía móvil, sea esta una llamada telefónica, un mensaje de texto y/o transferencia de datos, se necesitan dos elementos básicos, los cuales son:

- Los usuarios:
  - Son los emisores y receptores quienes necesitan realizar una transferencia de información a través de un canal de comunicación. Para que se pueda establecer dicha comunicación los usuarios deben realizarlo a través un terminal móvil.
  
- Las empresas prestadoras de servicios móviles avanzados o también conocidas como operadoras de telefonía móvil:
  - Son las empresas que poseen la infraestructura necesaria y que utilizan como medio de comunicación el aire, para administrar de la mejor manera las frecuencias del espectro radioeléctrico otorgadas por el gobierno mediante una concesión que para el Ecuador aplica cada 15 años (ASAMBLEA NACIONAL REPÚBLICA DEL ECUADOR, 2015). Estas empresas entregan al usuario una tarjeta SIM la cual va colocada en el terminal móvil, para que este

pueda tener señal y posterior el uso de los distintos servicios ofrecidos por la operadora telefónica.

### **2.1.1 Terminal Móvil.**

Es un dispositivo como el teléfono celular u otro equipo que tenga un IMEI (Identificador Internacional de Equipo Móvil), el cual corresponde a un código numérico de quince (15) dígitos pregrabado, y que permite conectarse a la red de la operadora de Servicio Móvil Avanzado (SMA) para el uso de sus servicios previo la activación de una tarjeta SIM.

El número de IMEI consta de 4 partes:

1. TAC (Type Approval Code)  
Formado por 6 dígitos (los 2 primeros corresponden al país), identifica el tipo de licencia.
  
2. FAC (Final Assembly Code)  
Formado por 2 dígitos, identifica el fabricante.
  
3. SNR (Serial Number)  
Formado por 6 dígitos.
  
4. Sp (Spare)  
Formado por 1 dígito verificador y se utiliza para comprobar que el IMEI es correcto.

### **2.1.2 Tarjeta SIM (Módulo de Identificación del Suscriptor).**

Conocida comúnmente por los abonados como chip, es una tarjeta inteligente desmontable que se usa en los terminales móviles, la cual previa activación permite la comunicación a través del uso de los diversos servicios tanto de voz, texto y datos ofrecidos por las operadoras de telefonía móvil avanzada.

La tarjeta SIM está conformada por un microprocesador, memoria RAM y ROM, la cual puede tener una capacidad de almacenamiento de hasta 512 KB. La tarjeta SIM se la puede encontrar de 4 tamaños:

- SIM card
- Mini SIM card
- Micro SIM card
- Nano SIM card

Aunque en la actualidad hay tarjetas multi-SIM las cuales vienen con adaptadores para ser utilizadas en cualquier terminal móvil.

La principal función de la tarjeta SIM es proporcionar movilidad a los usuarios, ya que permite que un usuario acceda a la red y obtenga los servicios a los que está inscrito desde cualquier terminal móvil. Por lo tanto, la tarjeta SIM contiene los datos necesarios para identificar al abonado en la red, tales como:

- ICCID (International Circuit Card ID)  
Conocido en Ecuador como el código de barra del chip. Es el número visible de la tarjeta SIM y tiene una longitud máxima de 19 caracteres que se encuentra definido en la recomendación ITU-T E.118. Comprende las siguientes partes, como se puede visualizar en la figura 2.1:
  - Identificador de actividad industrial (MII, Major Industry Identifier), en caso de Ecuador 89 para telecomunicaciones.
  - Indicativo de país, en caso de Ecuador 593.
  - Identificador del expedidor, en caso de Ecuador 00.
  - Número identificador de cuenta individual.
  - Cifra de control de paridad, corresponde al último dígito y es calculada mediante la fórmula de Luhn (ITU, 2006).

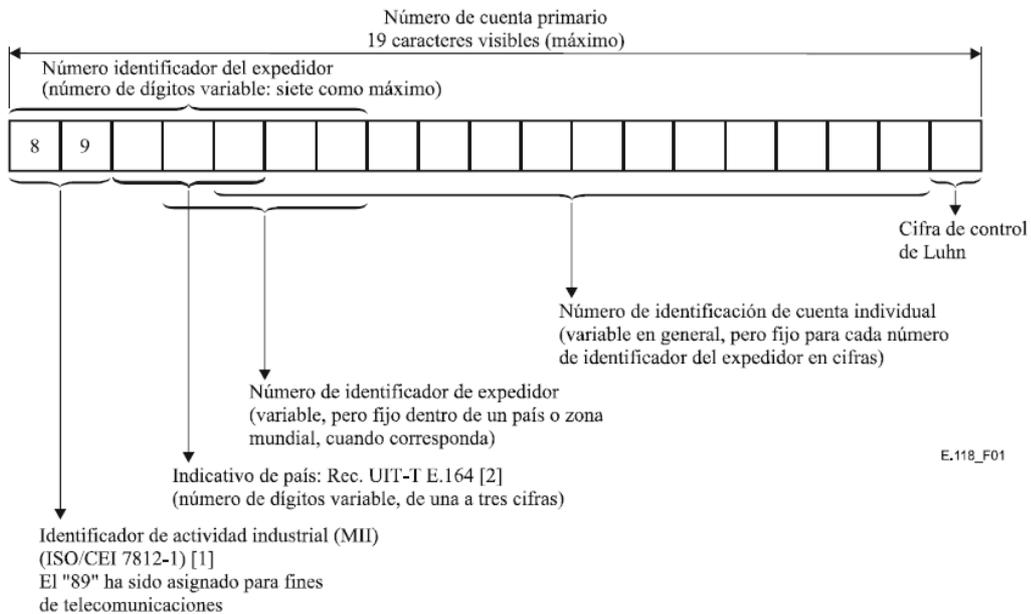


Figura 2.1 Sistema de numeración de tarjeta SIM.

Fuente: (ITU, 2006).

- IMSI (Identidad Internacional del Suscriptor Móvil)

Es un código único de hasta máximo 15 dígitos que permite que la tarjeta SIM se identifique en la red móvil. La IMSI está formada por 3 campos como se puede visualizar en la figura 2.2:

1. Mobile Country Code (MCC)

Es el primer campo de la IMSI, tiene una longitud de 3 cifras e identifica a un país. En caso de Ecuador corresponde a 593.

2. Mobile Network Code (MNC)

Es el segundo campo de la IMSI, tiene una longitud de 2 a 3 cifras y es gestionado por el administrador del plan de numeración nacional correspondiente.

3. Mobile Subscriber Identity Number (MSIN) (Jácome Oleas, 2009)

Es el tercer campo de la IMSI, tiene una longitud máxima de 10 cifras y es administrado por el asignatario del MNC del caso para identificar cada suscripción particular (ITU, 2016).

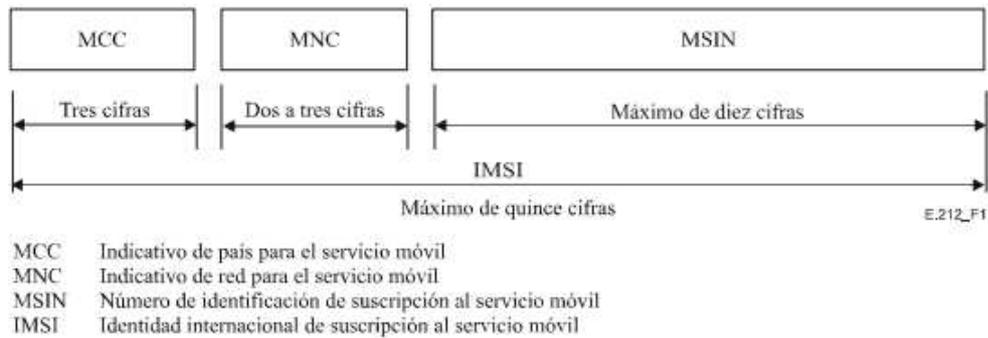


Figura 2.2 Estructura y formato de la IMSI.

Fuente: (ITU, 2016).

- TMSI (Temporal Mobile Subscriber Identity)
- Código PIN (Número de Identificación Personal)  
Es una clave corta para el desbloqueo de la SIM.
- Código PUK  
Es una clave larga para el desbloqueo de la SIM.
- Clave de autenticación (Ki, Authentication key)  
Es usado para autenticar las tarjetas SIM en la red móvil y está conformado por 16 bytes. Cada tarjeta SIM tiene una Ki única asignada por el operador. La Ki también se almacena en una base de datos específica llamada AuC (Authentication Center) que está implementada como parte integral de la HLR (Home Location Register) de la red del operador.

## 2.2 **Sistemas celulares.**

Los sistemas de radiocomunicaciones móviles, sistemas móviles o celulares permiten el intercambio de información variada; como voz, video o datos; a la vez que proporcionan comunicaciones con ubicuidad, versatilidad y flexibilidad.

Los objetivos de los sistemas celulares son:

- Capacidad para atender a una gran cantidad de suscriptores.
- Uso eficiente del espectro radio eléctrico, lo que requiere de una planificación de las frecuencias.
- Capacidad de cobertura a nivel nacional.
- Amplia capacidad de acceso.
- Capacidad de adaptación al crecimiento de la densidad de tráfico.
- Servicio a vehículos y teléfonos portátiles.
- Servicio de telefonía regular y servicios especiales.
- Calidad de servicio telefónico.
- Asequibilidad a diferentes tipos de usuarios (Young, 1979).

Para lograr dichos objetivos se desarrolló el concepto celular, cuyas principales características se basan en el reuso de frecuencia, subdivisión de celdas y transferencia de llamada.

### **2.2.1 Celda.**

La telefonía móvil celular para cubrir un área de servicio se divide en zonas de menor tamaño conocidas como celdas. Una celda o célula es el área de cobertura de un sector, la cual es servida por una estación de radiocomunicaciones. Las celdas son de forma geométrica hexagonal y a medida que el número de usuarios se incrementa, el tamaño de las mismas se reestructura y se hace más pequeño incrementando así su número, como se puede visualizar en la figura 2.3; considerar que cuanto menor sea el radio de una celda mayor será el ancho de banda disponible.

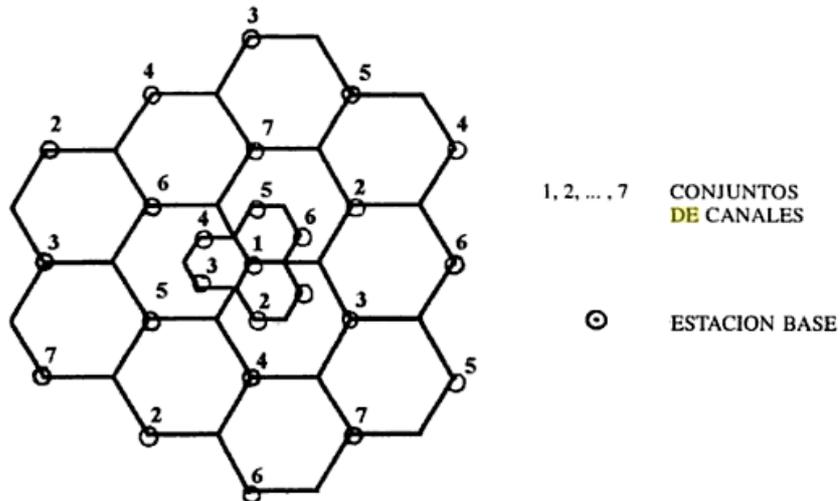


Figura 2.3 Subdivisión de celdas.

Fuente: (Lara Rodríguez, y otros, 2002).

La estación base de cada celda puede estar situada en el centro de la celda utilizando antenas omnidireccionales que cubren ciudades pequeñas para comunicarse con los móviles o en las esquinas de la misma (en 3 de los 6 vértices) utilizando antenas direccionales con un ancho del lóbulo de radiación de  $120^\circ$  que permite cubrir parte de 3 celdas adyacentes para ciudades grandes (Lara Rodríguez, y otros, 2002).

### **2.2.2 Reutilización de frecuencias.**

Cada celda utiliza un grupo de canales y si las celdas están suficientemente separadas pueden reutilizar el mismo grupo (Lara Rodríguez, y otros, 2002).

Considerar que cada canal está asociado a una frecuencia específica para llevar a cabo la transmisión de información. En la reutilización de frecuencias se debe tomar en cuenta que si las radio bases no tienen la suficiente distancia de separación, puede aumentar el efecto cocanal (interferencia proveniente de la reutilización de frecuencias) logrando que pueda ser percibida por el usuario (Navarro, 2014).

En la práctica, dos celdas que usan el mismo rango de frecuencia deben estar separadas por una distancia equivalente a dos o tres veces el diámetro de la celda (Vialfa, 2017).

La figura 2.4 ilustra el concepto de reutilización de frecuencia celular. Las células con la misma letra usan el mismo conjunto de frecuencias de canal (Tomasi, 2003).

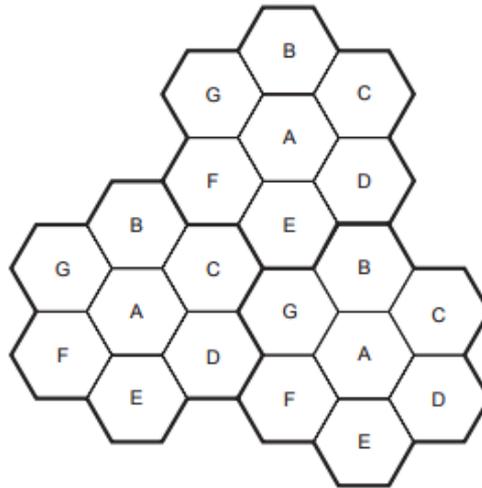


Figura 2.4 Concepto de reutilización celular de frecuencia.

Fuente: (Tomasi, 2003).

El concepto de reutilización de frecuencia se puede ilustrar en forma matemática, considerando un sistema con cierta cantidad de canales dúplex disponibles. A cada área geográfica se le asigna un grupo de canales, que se divide entre  $N$  células en agrupamiento único y ajeno, en el que cada célula tiene la misma cantidad de canales. Entonces, la cantidad total de canales de radio disponibles se puede expresar como sigue

$$F=GN$$

en donde  $N$  = cantidad de células en un grupo y suele ser de 3, 7 o 12

$G$  = cantidad de canales en una célula

$F$  = cantidad de canales dúplex disponibles en un grupo,

y  $G < F$

Las células que usan el mismo conjunto de frecuencias disponibles de canal, en forma colectiva, se llaman grupo. Cuando se reproduce un grupo  $m$  veces dentro de un sistema, la cantidad total de canales dúplex se puede determinar cómo sigue

$$C = mGN$$

o también

$$= mF$$

donde  $C$  = capacidad de canales

$m$  = cantidad de unidades de asignación (Tomasi, 2003).

### 2.2.3 División de celdas o células.

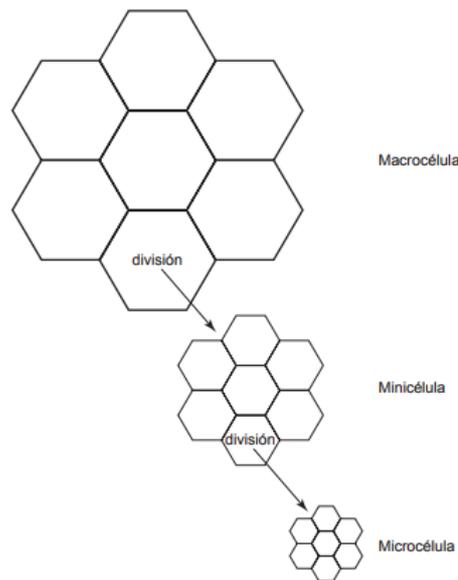


Figura 2.5 División de célula.

Fuente: (Tomasi, 2003).

La división de células es el proceso de subdividir células muy congestionadas en otras menores, cada una con su estación base y conjunto de frecuencias de canal propios. En la división de células, una mayor cantidad de transmisores de menor potencia asumen el servicio en un área que antes era servida por un solo transmisor, de mayor potencia. La división de célula sucede cuando los niveles de tráfico en una célula llegan al punto en que se compromete la disponibilidad de los canales. Si se inicia una nueva llamada en un área donde se están usando todos los canales disponibles, se presenta una condición llamada bloqueo. Si

sucede mucho el bloqueo quiere decir que hay sobrecarga del sistema (Tomasi, 2003).

La figura 2.5 ilustra el concepto de división de célula. Las macrocélulas se dividen en minicélulas, que a su vez se siguen dividiendo en microcélulas, al aumentar la densidad de tráfico (Tomasi, 2003).

#### **2.2.4 Transferencia de llamada.**

Es el procedimiento mediante el cual un usuario móvil cambia su asignación de una estación base a otra. Como se puede visualizar en la figura 2.6, esto se da cuando durante la llamada la unidad móvil se mueve fuera del área de cobertura y la recepción se hace débil. El sistema conmuta la llamada a un nuevo canal en una nueva célula o sector sin interrumpir la misma o alertar al usuario. La llamada continua tanto como el usuario lo desee; ya que esto es un proceso transparente para el mismo.

Puede ser iniciado por la:

- Estación base: En función de las señales recibidas de la unidad móvil.
- Unidad móvil: En función de la señal recibida de distintas estaciones base (Nicola, s.f.).

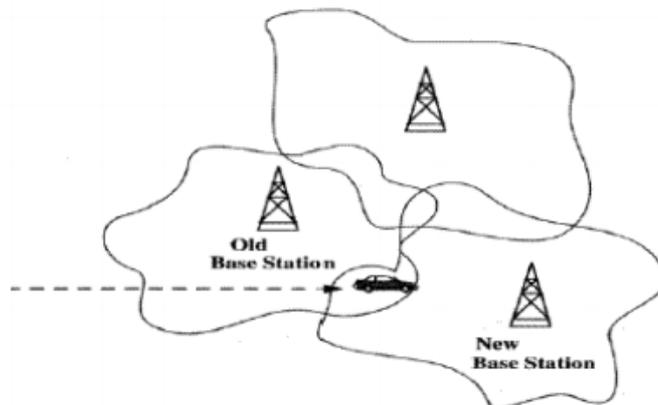


Figura 2.6 Transferencia de llamada.

Fuente: (Nicola, s.f.)

La transferencia de llamada también es conocida como handover (usado en Europa) o handoff (usado en América del Norte) siendo su principal propósito el no permitir llamadas caídas o canceladas.

### **2.2.5 Arquitectura general de las redes celulares.**

Una red celular está conformada por dos elementos estaciones fijas y móviles:

- Estaciones fijas:
  - Estación base (Base Station, BS), se encuentra ubicada por lo general en el centro de la celda y es un conjunto de transmisores/receptores que controlan todos los usuarios que se encuentran dentro de la celda.
  - Estación de control, administra las estaciones bases y repetidoras.
  - Estaciones repetidoras, retransmiten las señales recibidas; por lo general se las usan en zonas donde no llega la cobertura de una estación base.
  
- Estaciones móviles:
  - Dispositivo móvil: Es el terminal utilizado por el usuario para establecer la comunicación como lo es el celular y/o tablet.

La comunicación de una red celular se establece cuando por ejemplo: un usuario desea establecer una llamada, el dispositivo móvil se conecta a una estación base y esta a su vez a su estación de control, la cual administra, conmuta y distribuye canales RF en caso de que haya un traspaso de una celda a otra, que es cuando el usuario está en movimiento de un lugar a otro.

Los sistemas de red celular han ido evolucionando y mejorando con el transcurso del tiempo, ya que en la actualidad no solo permite un tráfico de voz; sino que también de SMS, MMS e inclusive de datos.

## **CAPÍTULO III CRONOLOGÍA DE LA RED MÓVIL**

Los sistemas móviles desde sus inicios de los años 80 han tenido una gran demanda por su principal ventaja que ha sido la movilidad y ha ido desplazando la telefonía fija. Debido a este gran incremento de abonados móviles esta tecnología se ha convertido en el principal medio de comunicación que ha traído consigo una evolución desde la transmisión de solo voz hasta datos.

Martínez (2001) y VIU Universidad Internacional de Valencia (2016), indican que los sistemas celulares han tenido hasta la actualidad 5 generaciones con sus sucesivas versiones; las cuales se mencionarán cada una de ellas con sus características principales.

### **3.1 1G (Primera Generación).**

La primera generación de la telefonía móvil o 1G, comenzó entre los años 1970 a 1980. Se caracterizó por ser analógica y estrictamente para voz. Utilizaba la multiplexación FDMA (Frequency Division Multiple Access) y la banda de frecuencia 800 - 900 MHz con un ancho de banda de RF de 30 kHz; la banda tenía capacidad para 832 canales dúplex, entre los cuales 21 estaban reservados para el establecimiento de llamada, y el resto para la comunicación de voz. Su velocidad fluctuaba entre 1kbps a 2.4 kbps (VIU Universidad Internacional de Valencia, 2016).

Martin Cooper, fue el pionero en utilizarla es por eso que se lo conoce como el padre de la telefonía celular.

Sus estándares predominantes son:

- AMPS
- TACS
- ETACS

### **3.1.1 AMPS.**

AMPS (Advanced Mobile Phone System, Sistema Telefónico Móvil Avanzado), se presentó en 1976 en Estados Unidos y fue el primer estándar de redes celulares. Utilizada principalmente en el continente americano, Rusia y Asia, la primera generación de redes analógicas contaba con mecanismos de seguridad endeblés que permitían hackear las líneas telefónicas. Desarrollado por los Laboratorios Bell AT&T. funcionaba en la banda de los 800 MHz.

### **3.1.2 TACS.**

TACS (Total Access Communication System, Sistema de Comunicación de Acceso Total), es la versión europea del modelo AMPS. Este sistema fue muy usado en Inglaterra y luego en Asia (Hong-Kong y Japón) y utilizaba la banda de frecuencia de 900 MHz.

### **3.1.3 ETACS.**

ETACS (Extended TACS, Sistema de Comunicación de Acceso Total Extendido), es una versión mejorada del estándar TACS desarrollado en el Reino Unido que utiliza una gran cantidad de canales de comunicación (CCM Benchmark Group, 2018).

## **3.2 2G (Segunda Generación).**

La segunda generación de la telefonía móvil, 2G, comenzó a partir de 1990. Se caracteriza por ser digital y transmitir voz y datos digitales de volúmenes bajos como SMS o MMS a una velocidad máxima de 9.6 kbps. Utiliza las bandas de frecuencia de 900 MHz y de 1800 MHz en Europa y 1900 MHz en Estados Unidos. Sus principales estándares son:

- GSM
- IS-136
- IS-95
- PDC

### 3.2.1 GSM.

GSM (Global System for Mobile Communications, Sistema Global para las Comunicaciones Móviles) fue creado por el organismo CEPT (Conference of European Post and Telecommunications) y en la actualidad sus especificaciones son responsabilidad de la ETSI (European Telecommunications Standards Institute).

GSM usa una combinación de FDMA y TDMA en un espectro total de 25 MHz. FDMA divide esos 25 MHz en 124 frecuencias portadoras de 200 KHz cada una. Cada canal de 200 KHz es entonces dividido en 8 ranuras de tiempo utilizando TDMA. Bajo este esquema los sistemas GSM soportan velocidades de hasta 9.6 Kbps. GSM opera en las bandas de 900/1800/1900 MHz (Martínez, El ABC de la telefonía celular (parte 2), 2004).

#### 3.2.1.1 Arquitectura del sistema GSM.

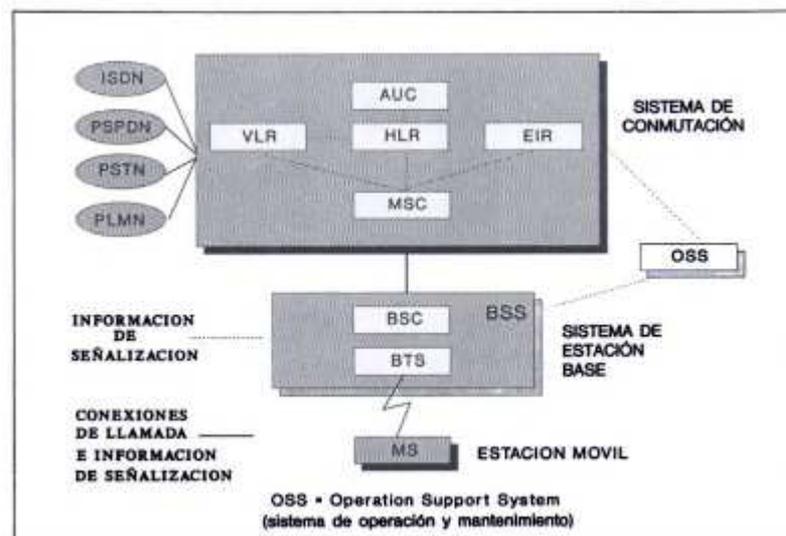


Figura 3.1 Modelo del sistema GSM.

Fuente: (Marcombo, S.A., 1998).

La arquitectura de la red GSM, como se puede visualizar en la figura 3.1, está dividida en tres grandes bloques, partes y/o subsistemas; y cada subsistema se estructura en dos entidades y/o unidades que son las

funcionales (se encargan de la ejecución de las funciones del sistema) y las interfaces (establecen fronteras de repartición funcional).

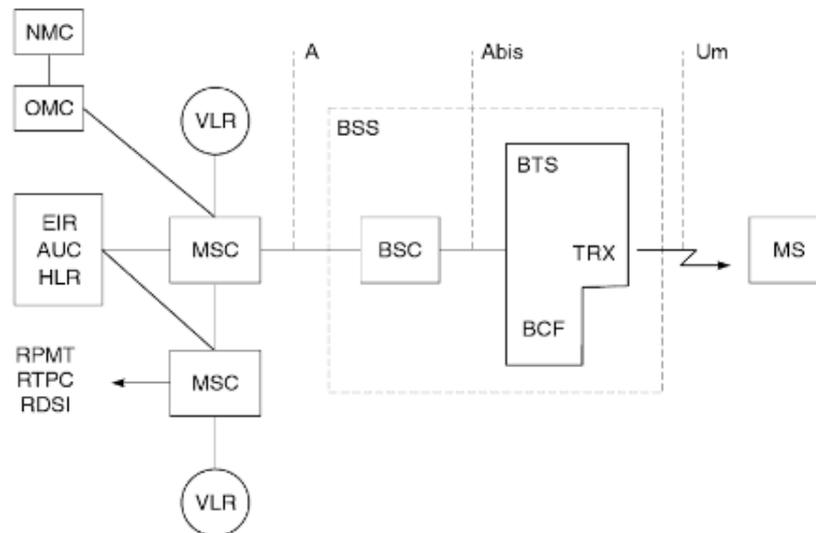


Figura 3.2 Arquitectura funcional e interfaces.

Fuente: (Hernando Rábanos, Mendo Tomás, & Riera Salis, 2013).

Como se muestra en la figura 3.2, se han definido dos interfaces básicas, la interfaz de línea y la interfaz de aire o radio. La interfaz de línea, denominada A, separa el MSC (Centro de Conmutación) del BSS (Sistema de Estación Base). La interfaz A-bis, es opcional entre el BSC (Controlador de Estación Base) y el BTS (Transceptor de Estación Base), los cuales suelen estar físicamente separados. La interfaz radio Um delimita la frontera entre la BS (Estación Base) y las MS (Estaciones Móviles) (Hernando Rábanos, Mendo Tomás, & Riera Salis, 2013).

Subsistema de red y conmutación (NSS, Network and Switching Subsystem)

Se encarga de manejar todo el servicio de comunicaciones entre móviles y conexión con otras redes; como el proceso y/o gestión de llamadas, control de tráfico, análisis de numeración, tarificación y estadísticas de llamadas.

Está formado por los siguientes elementos, unidades funcionales o nodos de la red GSM que se dividen en:

- MSC
- Bases de datos de control (HLR, VLR, AUC, EIR).

MSC (Central de Conmutación Móvil, Mobile Switching Center)

Es la central telefónica o la interfaz entre la red GSM y las redes públicas de voz y datos. Sus funciones son:

- Establecimiento, enrutamiento, control y terminación de las llamadas.
- Gestión de handover inter-BSC e inter-MSC.
- Gestión de servicios suplementarios.
- Recogida de datos de tarificación y contabilidad.
- Las GMSC (Gateway MSC o MSC de cabecera) dan acceso a redes externas, a la PLMN GSM.

HLR (Registro de Posiciones Base, Home Location Register)

Es una base de datos (registro) general de usuarios (residentes), única (funcionalmente) en cada red (físicamente puede estar distribuida o duplicada por motivos de redundancia y seguridad) en donde están inscritos todos los clientes de un operador y que se utiliza para la gestión de los abonados. Contiene toda la información administrativa de cada abonado, junto con los datos de localización del mismo.

Los parámetros de los abonados móviles que se almacenan en la información administrativa son los datos de la suscripción:

- Número internacional de la estación móvil IMSI.
- Número de abonado MSISDN.
- Información sobre teleservicios y servicios portadores.
- Restricciones
- Servicios suplementarios.
- Tripletas

Los parámetros de los abonados móviles que se almacenan en los datos de localización es:

- Información para el enrutamiento de llamadas hacia la central donde el móvil está localizado.

VLR (Registro de Posiciones Visitado, Visitor Location Register)

Es una base de datos (registro) de usuarios (transeúntes), existe uno por cada MSC (MSC y VLR suelen estar integrados en un mismo equipo físico), donde se almacenan parámetros de todos los abonados que se encuentran dentro del área de servicio del VLR.

Cuando un abonado cambia de área de servicio, el nuevo VLR debe actualizar los datos de este abonado y pide a HLR todos los datos necesarios para el establecimiento de llamadas hacia/desde el abonado móvil.

Por razones de seguridad, para cada usuario se almacena un número temporal que sustituye al número de servicio de la red y es asignado por la VLR e identifica unívocamente al abonado móvil dentro de la zona controlada por ese VLR.

AUC (Centro de Autenticación, Authentication Center)

Es una base de datos de autenticación que está asociada al HLR y almacena información de identidad del abonado móvil y de su equipo para la verificación de las llamadas.

EIR (Registro de Identificación de Estaciones Móviles, Equipment Identification Register)

Es la base de datos de los terminales móviles y/o equipos. Almacena información como:

- Identificación de cada terminal; como la marca, modelo e IMEI.
- Lista blanca: terminales móviles permitidos.
- Lista negra: terminales móviles no permitidos; como por ejemplo, los reportados por robo o no homologados.

- Lista gris: terminales móviles en observación; como por fallos o por falta de pago (Marcombo, S.A., 1998).

### Subsistema de radio (RSS)

Comprende el conjunto de equipos utilizados para proporcionar cobertura radioeléctrica en el área celular. Estable comunicación con las MS y es el responsable de las funciones relaciones con la radio en el sistema GSM; como la gestión de las comunicaciones radio, manejo del traspaso de llamadas entre células en el área bajo su control, control del nivel de potencia de la señal tanto de las estaciones base como de las estaciones móviles. Este subsistema abarca al subsistema de estación base y móvil:

- Subsistema de estación base (BSS, Base Station Subsystem)  
Sirve para conectar a las estaciones móviles con los NSS, además de ser los encargados de la transmisión y recepción.

Incluye las siguientes unidades funcionales:

- BSC (Base Station Controller, Controlador de la Estación Base)

Se encarga de gestionar localmente los recursos radio de varias BTS, como asignación, utilización y liberalización de las frecuencias, traspasos, funcionamiento con salto de frecuencia.

Adicional tiene como elemento al TRAU (Transcoder and Rate Adapter Unit), el cual permite reducir significativamente los costos de transmisión. Considerando que la voz se envía en un canal de 16 kbps hacia el TRAU, sobre la interfaz de aire se usa 13 kbps para voz (full rate) y 9.6 o 14.4 kbps para datos, el TRAU convierte los 16 kbps a los 64 kbps multiplexando varios canales en un solo canal.

Entre sus funciones se encuentran:

- Gestión de canales en el enlace BSC-MSC.
  - Indicación de bloqueo.

- Gestión de canales en el enlace BSC-BTS.
    - Asignación de canal.
  - Gestión de canales de radio.
    - Configuración de los canales radio (que recibe a través del OMC).
    - Gestión de secuencia de salto de frecuencia (enviada al BSC por el OMC). Estas secuencias son enviadas por el BSC hacia las correspondientes BTSs.
    - Selección de canal, supervisión del enlace radio y liberación de canal.
    - Control de potencia en el móvil.
    - Control de potencia en la BTS, determinación del nivel de potencia necesario en cada uno de los transmisores de la BTS.
    - Determinación del grupo de aviso, correspondiente a un móvil, y envío de esta información hacia la BTS.
    - Determinación de la necesidad de realizar traspaso de canal.
- BTS (Base Transceiver Station, Transceptor de Estación Base)
- También llamado BS (Estación Base, Base Station), proporciona la conexión vía radio al terminal móvil en la capa física. Son equipos transmisores-receptores de radio (transceptores), los elementos de conexión al sistema radiante (combinadores, multiacopladores, cables coaxiales), las antenas y las instalaciones accesorias (torre soporte, pararrayos, tomas de tierra, etc.).

Entre sus funciones se encuentran:

- Gestión de canales terrestres BSC-BTS.

- Indicación de bloqueo.
- Gestión de canales de radio.
  - Realización de salto lento de frecuencia.
  - Supervisión de canales libres, y envío de información de éstos hacia el BSC.
  - Temporización de bloques BCCH/CCCH.
  - Detección de accesos al sistema por parte de las MS.
  - Codificación y entrelazado para protección de errores.
  - Determinación del avance de temporización en comunicación con el móvil.
  - Medidas de intensidad de campo y calidad de las señales recibidas de los móviles (enlace ascendente); y enviadas a los móviles, sobre condiciones de intensidad y calidad de las señales recibidas por ellos, en la célula y en las células adyacentes (enlace descendente).
  - Construcción de los mensajes de aviso.
  - Detección de acceso por traspaso de un móvil.
  - Encriptación de la información de señalización y tráfico.

Existen dos tipos de BSS:

- El BBS integrado, BSC y una BTS integrados en un mismo equipo.
  - El BBS separado, donde el BSC es una entidad distinta de las estaciones base, a las que se conecta mediante una interfaz normalizada A-bis.
- Subsistema de Estación Móvil o MS (Mobile Station, Estación Móvil)

Consta de dos elementos básicos:

- ME (Mobile Equipment, Equipo Móvil)  
Es el terminal como el teléfono propiamente dicho.
- SIM (Subscriber Identity Module, Módulo de Identificación de Suscriptor)  
Es una tarjeta que se introduce en el equipo móvil y contiene el número personal asignado al abonado facultándolo a acceder a los servicios de la red GSM.

Su comunicación con la red tiene lugar vía la interfaz radio Um, también conocida como interfaz aérea (España Boquera, 2003).

Subsistema de operación y mantenimiento (OSS, Operational Support Subsystem)

Conocido también como OMC (Operation and Maintenance Center, Centro de Operación y Mantenimiento) o NMC (Network Management Center, Centro de Direccionamiento de Red) o NMS (Network Management System); es el que supervisa los dos sistemas antes mencionados y proporcionará los medios necesarios para poder llevar a cabo una eficiente gestión de la red; como la gestión de la red celular, administración de abonados, gestión de averías y medidas de funcionamiento de la red de conmutación y de radio.

Este subsistema permite al ingeniero y/o administrador vigilar, diagnosticar y localizar las fallas en cada aspecto de la red GSM (Tomasi, 2003).

### **3.2.2 IS-136.**

IS-136 (conocido también como TDMA, D-AMPS (Digital AMPS), TIA/EIA-136 o ANSI-136) es la evolución del AMPS, funcionaba en la banda de 800 MHz y posterior en la de 1900 MHz donde acogió el nombre de PCS (Sistema de Comunicaciones Personales). Fue introducido para proteger las inversiones que los proveedores de servicio habían hecho en

tecnología AMPS, de tal manera que se pudiera emplear la misma red en la transición de una generación a otra, sin afectar a los abonados.

IS-136 se basa en TDMA y divide el ancho de banda de canal de 30 KHz en tres ranuras de tiempo, incrementando en 3 veces la capacidad con respecto a la versión analógica AMPS.

IS-136 permite velocidades de hasta 9.6 Kbps e incorpora una diversidad de servicios digitales y al mismo tiempo puede coexistir con la red analógica AMPS en los 800 MHz.

### **3.2.3 IS-95.**

Conocido también como CDMAOne, ya que es una tecnología basada en CDMA (Code Division Multiple Access, Código de División Múltiple de Acceso), se desarrolló a partir de la tecnología de espectro disperso (Spread Spectrum) que fue utilizada para fines militares, debido a que permite transmisiones altamente codificadas.

CDMA permite que todos los canales sean utilizados por todos los usuarios al mismo tiempo, ya que a cada llamada se le asigna un código único que permite ser diferenciada de las demás llamadas que viajan por el mismo medio.

### **3.2.4 PDC.**

PDC (Personal Digital Communications, Sistema Celular Personal Digital) es otra tecnología celular digital de segunda generación basada en TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo) y funciona en las bandas de frecuencias 800 y 1500 MHz a velocidades de hasta 9.6 Kbps. Este sistema fue introducido por el operador japonés NTT DoCoMo en 1991 como un reemplazo de los antiguos sistemas analógicos (Martínez, El ABC de la telefonía celular (parte 2), 2004).

### 3.3 2.5G (Generación 2.5G).

La generación 2.5G conocida también como GPRS (General Packet Radio Service, Servicio General de Paquetes Vía Radio); es una evolución y/o extensión mejorada de la tecnología GSM, con la misma cobertura y cuyas velocidades de transmisión fluctúan entre 56 kbps a 114 kbps.

GPRS permite un uso eficiente de los recursos de la red, ya que los mismos solo se ocupan cuando los usuarios están transmitiendo o recibiendo datos. Por lo tanto, el usuario facturaría y/o pagaría por volumen de datos y no por duración o tiempo la conexión; así el usuario podrá permanecer conectado sin costo adicional.

#### 3.3.1 Arquitectura del sistema GPRS.

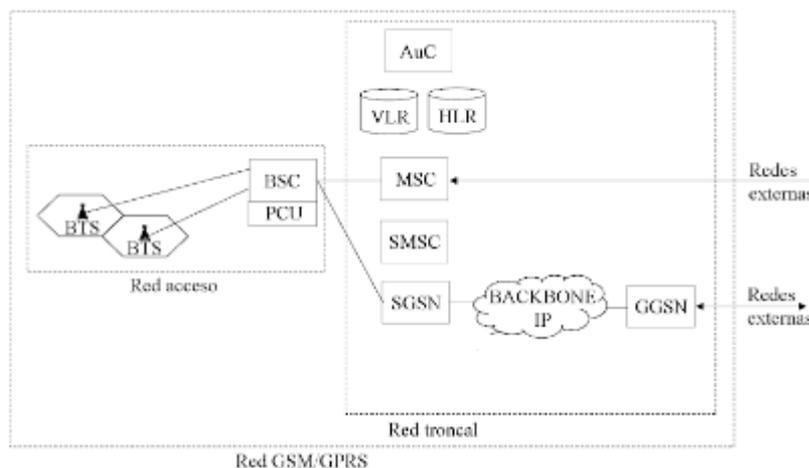


Figura 3.3 Arquitectura de la red GPRS.

Fuente: (Sallent Roig, Valenzuela González, & Agustí Comes, 2003).

Se puede observar en la figura 3.3 que GPRS se basa en la arquitectura del estándar GSM y en el Release 97, integrando los siguientes elementos e interfaces:

Entre los elementos se encuentran:

- Subsistema de Estación Base (BSS), recurso compartido entre el sistema de conmutación de circuitos GSM y el sistema de conmutación de paquetes GPRS.

- CCU (Channel Codec Unit, Unidad de Control de Canal), nuevo software a nivel de BTS, que se encarga de la codificación del canal, la corrección de errores, y otras tareas relacionadas con el mantenimiento del canal. Además soporta nuevos esquemas de codificación, lo que hace posible el aumento de la capacidad de canales.
- PCU (Packet Control Unit, Unidad de Control de Paquetes de Canal), nuevo hardware en el BSC, que se encarga del acceso al canal, las retransmisiones de paquetes y del reparto de canales. Se lo considera como el responsable de manejar la conmutación de paquetes; debido a que separa el tráfico de voz y datos; ya que tiene la funcionalidad de establecer, supervisar y desconectar conexiones de conmutación de circuitos y paquetes.
- Subsistema de Conmutación de Red
  - Los nodos de soporte GPRS (GSN), que se conectan a través del Backbone IP y se clasifican en dos:
    - SGSN (Serving GPRS Support Node)
 

Su función es que las estaciones móviles (MS) tengan acceso a la red de datos GPRS; es decir, se encarga de toda la gestión de movilidad y de mantenimiento del enlace lógico entre el móvil y la red, ya que hace las veces del MSC para la red de datos; como es el enrutamiento y transferencia de los paquetes de datos, la autenticación y asignación de la calidad del servicio a utilizar por cada terminal, también lleva una parte de facturación del roaming.
    - GGSN (Gateway GPRS Support Node)
 

Se encarga de proveer la salida a la PDN (Packet Data Network), ya que actúa como la puerta de enlace o punto central de conexión hacia el exterior o la PDN de una red móvil dependiendo del APN (Access Point Network), así como de la parte de

facturación y aplicación de políticas y reglas de navegación.

- PLMN (Public Land Mobile Network, Red Móvil Pública Terrestre), es también conocida como PLMN backbone, backbone GPRS, backbone IP o red troncal GPRS; es una red de transporte IP. Cada operadora cuenta con un PLMN.

Se clasifican en dos:

- Intra-PLMN

Es una red basada en IP que interconecta GSNs en la misma PLMN; es decir, la comunicación entre los SGSNs y los GGSNs del mismo operador.

- Inter-PLMN

Esta red IP hace posible el roaming, ya que interconecta:

- GSNs pertenecientes al mismo operador en diferentes países.
- Redes intra-PLMN de diferentes operadores, vía interfaz Gp.

- BG (Border Gateway), es un router que utiliza un protocolo de enrutamiento, por lo general BGP (Border Gateway Protocol), a través de la interfaz Gp y suele tener implementada la función de Firewall (se encarga de realizar una barrera segura entre dos redes). El BG representa la puerta de conexión con otras PLMNs, posibilitando el intercambio de datos de forma directa y segura a través de la red Inter-PLMN, en lugar de hacerlo por Internet (Seurre, Savelli, & Pietri, 2003).

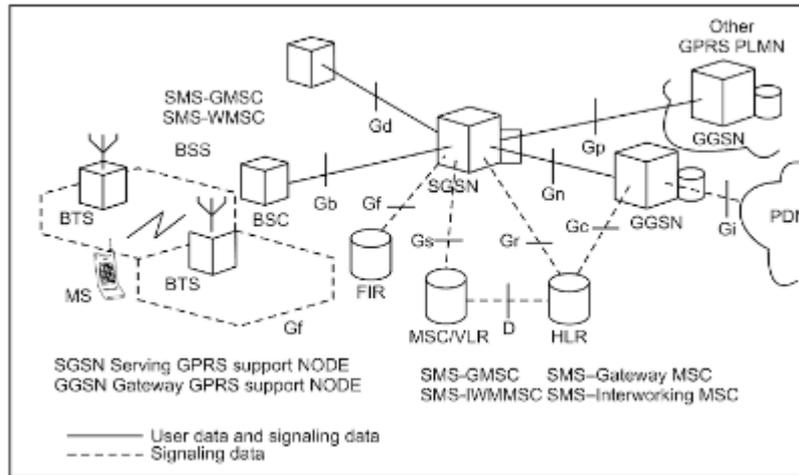


Figura 3.410 Arquitectura de la red GPRS.

Fuente: (Anand, 2012).

Las interfaces de la red GPRS como se puede apreciar en la figura 3.4 se detallaran en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Interfaces de la red GPRS.

Interfaz	Elementos	Uso Principal	Tipo de protocolo
Um	MS-BTS	Interfaz radio	RLC/MAC
Abis	BTS-BSC	Interfaz GSM estándar	RLC/MAC
Gb	BSC-SGSN	Datos GPRS	LLC/FR
Gc	GGSN-HLR	Consulta al HLR para activación de contexto PDP	IP/SS7
Gd	SGSN-SMS GMSC	Intercambio de SMS	SS7
Gf	SGSN-EIR	Verificación del terminal	SS7
Gi	GGSN-Red de datos	Transferencia de datos	IP
Gn	SGSN-SGSN	Gestión de movilidad	IP

	SGSN-GGSN	Activación de contexto PDP y transferencia de datos
Gp	BG-BG	Enlace entre operadores IP
Gr	SGSN-HLR	Gestión de localización SS7
Gs	SGSN-MSC/VLR	Gestión de movilidad GSM/GPRS SS7

Fuente: (Halonen, Romero, & Melero, 2003).

### 3.4 2.75G (Generación 2.75G).

La generación 2.75G conocida también como EDGE (Enhanced Data Rates for GSM of Evolution, Tasas de Datos Mejoradas para la Evolución de GSM) o EGPRS (Enhanced GPRS, GPRS Mejorado); permite alcanzar velocidades de hasta 384 kbps, ya que emplea conmutación de paquetes e introduce un nuevo esquema de codificación de canal y de modulación 8-PSK frente al GMSK de GSM.

En el celular se la suele reconocer al sistema EDGE cuando en la pantalla sale la letra E, siempre y cuando el abonado tenga un paquete de datos activo con su operadora actual; adicional de que su terminal móvil sea un Smartphone y tenga encendido la opción de datos móviles.

#### 3.4.1 Arquitectura del sistema EDGE.

La arquitectura EDGE se basa en la de GPRS y en el Release 98, conservando el mismo comportamiento en la parte del NSS, pero con algunos cambios en la parte de radio como se puede visualizar en la figura 3.5. Considerar que a partir de EDGE el NSS toma el nombre de CN (Core Network), las BSS el nombre de RNS y el conjunto de RNS

toma el nombre de RAN (Radio Access Network); en EDGE la RAN es conocida como GERAN (GSM/EDGE Radio Access Network).

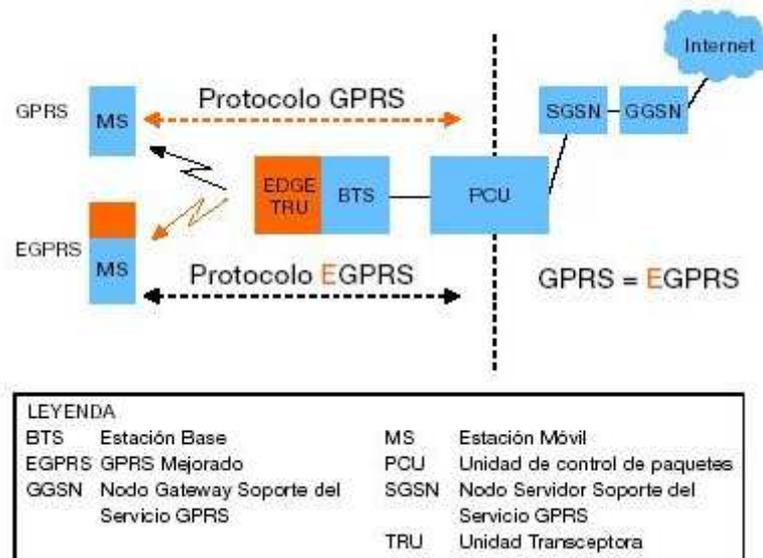


Figura 3.5 Arquitectura de la red EGPRS.

Fuente: (gsmSpain.com, 2019).

GERAN implica la actualización de software en el PCU que por lo general se encuentra en la BSC; y en la BTS un nuevo hardware llamado EDGE-TRU (Unidad Transceptora-EDGE); esta unidad de transmisión/recepción maneja la modulación de EDGE (GMSK/8PSK) y provee un soporte mejorado para todas las clases de QoS (Quality of Service) (gsmSpain.com, 2019).

### 3.5 3G (Tercera Generación).

La tercera generación de la telefonía móvil o 3G, se caracteriza por la convergencia de la voz y datos con acceso inalámbrico a internet, aplicaciones multimedia y altas transmisiones de datos; cuyas velocidades oscilan entre 384 Kbps a 2 Mbps. Utilizan bandas con diferentes frecuencias a las redes anteriores: 1885 a 2025 MHz y 2110 a 2200 MHz. Las tecnologías predominantes son: UMTS (Universal Mobile Telephone Service) y CDMA2000.

3G se basa en el estándar global IMT-2000 (Telecomunicaciones Móviles Internacionales 2000) definido por la ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones) junto con la colaboración de siete organizaciones de desarrollo de estándares de telecomunicaciones (ARIB, ATIS, CCSA, ETSI, TSDSI, TTA, TTC), conocidas como “Socios Organizacionales” en el proyecto de 3GPP donde se desarrolló UMTS para el ámbito europeo y asiático; y para el proyecto 3GPP2 de cinco organizaciones de desarrollo de estándares (ARIB, CCSA, TTA, TTA, TTC) donde se desarrolló CDMA2000 para Estado Unidos.

### **3.5.1 UMTS (Universal Mobile Telecommunication System).**

Este sistema celular utiliza la tecnología WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) a diferencia de GSM que utiliza TDMA, es por ese motivo que a UMTS se lo conoce como WCDMA.

UMTS es utilizado en aquellos operadores del espectro de 2GHz y se caracteriza por la transmisión simultánea de voz y capacidad de datos. Adicional permite el roaming global.

WCDMA utiliza la modulación QPSK y soporta dos modos básicos de funcionamiento, considerando que cada canal ocupa ahora 5 MHz, frente a los 200 KHz de GSM. Adicional el canal se reparte entre 50 a 150 usuarios versus a los 8 de GSM.

- FDD (Dúplex por División de Frecuencia)  
Utiliza portadoras de 5 MHz tanto para el enlace ascendente como el descendente. Un par de bandas de frecuencia con una separación especificada se asigna para cada enlace.
- TDD (Dúplex por División de Tiempo)  
Utiliza portadoras de 5 MHz para compartir entre enlace ascendente y descendente. Es un método bidireccional, donde las transmisiones de los enlace de subida y bajada son transportadas en la misma banda de frecuencia usando intervalos de tiempo o de

trama (tanto para la transmisión como para la recepción) de forma síncrona.

### 3.5.1.1 Arquitectura del sistema UMTS.

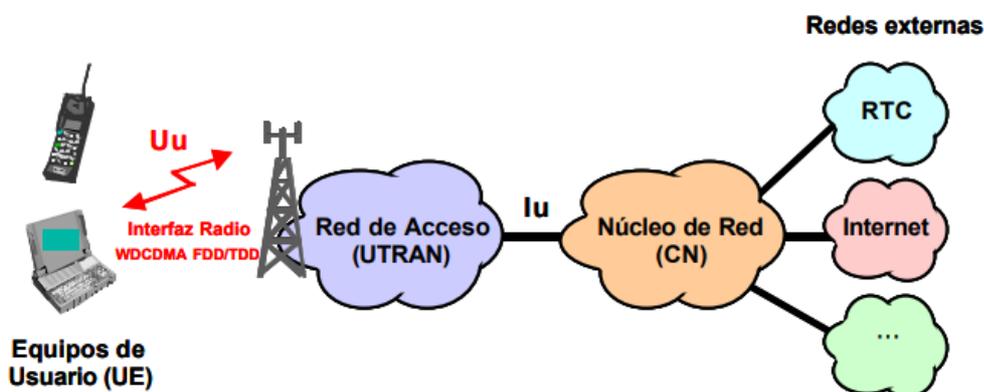


Figura 3.6 Arquitectura básica de una red UMTS.

Fuente: (García, Álvarez-Campana, Vázquez, & Berrocal, 2002).

Su arquitectura inicial se basa en el Release 99 de 3GPP el cual se distinguen dos partes, tal como se puede visualizar en la figura 3.6:

- UE (User Equipment, Equipo de Usuario)  
En GSM es la MS, está conformado por el terminal móvil que puede ser el celular y la tarjeta SIM que a partir de esta tecnología se denomina USIM.
- Infraestructura de red, la cual se divide en dos bloques:
  - CN (Core Network, Núcleo de red o Red Troncal).  
Es una réplica del subsistema de red y conmutación de GSM, pero con algunos cambios ya que hay dos núcleos de red diferenciados, llamados dominios de conmutación:
    - CS (Circuit Switched), similar al núcleo de red de GSM
    - PS (Packet Switched), similar al núcleo de red de GPRS
  - RAN (Radio Access Network, Red de Acceso Radio), en el caso de UMTS se denomina UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network, Red de Acceso Radio Terrestre UMTS)

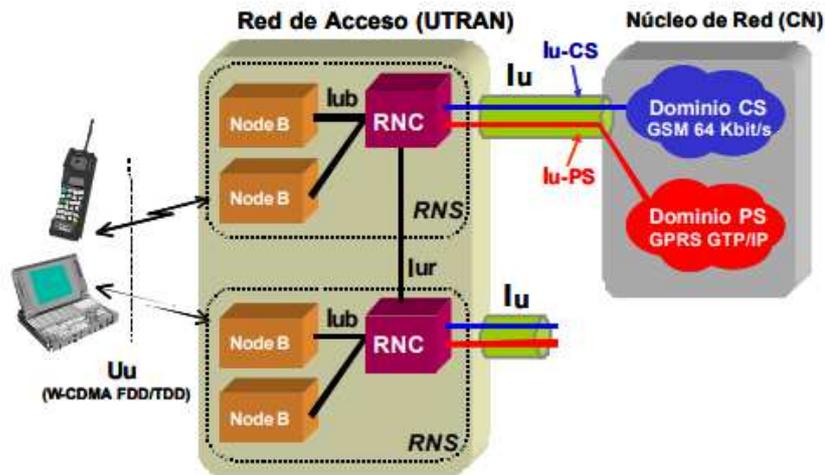


Figura 3.7 Arquitectura de la red de acceso UTRAN.

Fuente: (García, Álvarez-Campana, Vázquez, & Berrocal, 2002).

Proporciona la conexión entre los terminales móviles y CN, adicional se encarga de la movilidad a nivel de célula y se compone de varios RNS (Radio Network Subsystem, Subsistema de Red Radio) en GSM conocido como BSS. El RNS es responsable de los recursos y de la transmisión y recepción en un conjunto de celdas.

Está formada por dos elementos principales:

- Node-B (Nodo-B)  
El nodo B es similar al BTS de GSM y puede controlar varias antenas que hacen una célula de radio. Soporta los dos modos de WCDMA que son FDD y TDD.
- RNC (Radio Network Controller, Controlador de Red Radio).  
El RNC equivale a la BSC de GSM y como su nombre lo indica se encarga del control de la red de acceso radio, ya que entre sus funciones está proveer control descentralizado de los nodos B en su área de cobertura, el control de los recursos de radio, el control de admisión, la asignación de canal, el control de Handover, la segmentación y el reensamble, la

señalización de Broadcast y el control de potencia (GitBook, 2019).

### Interfaces en la red UMTS

Las interfaces de la red UMTS como se puede apreciar en la figura 3.7 se detallaran en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Interfaces de la red UMTS.

<b>Interfaz</b>	<b>Elementos</b>
<b>Uu</b>	UE-Node B (Um en GSM)
<b>Iu</b>	RNC-CN (A en GSM)
<b>Iu-CS</b>	Dominio de conmutación de circuitos
<b>Iu-PS</b>	Dominio de conmutación de paquetes
<b>Iub</b>	Node B-RNC
<b>Iur</b>	RNC-RNC

Fuente: (García, Álvarez-Campana, Vázquez, & Berrocal, 2002).

### 3.5.2 CDMA2000 (Code Division Multiple Access2000).

Este sistema celular es utilizado por los operadores basados en IS-95 también llamado CDMAOne ya existentes en la banda 800 y 1900 MHz. Con el fin de facilitar su migración, su implementación se dividió en dos fases:

- CDMA2000 1x, con una velocidad de 144 Kbps, basada en un ancho de banda de canal de 1,25 MHz.
  - CDMA2000 1xEV-DO (1x Evolution-Data Only), con una velocidad de 2.4 Mbps. En Ecuador, fue implementado por Telecsa S.A. conocido en dicho tiempo por su marca comercial Alegro PCS.
  - CDMA2000 1xEV-DV (1x Evolution-Data & Voice), soporta servicios de transmisión de voz y datos al mismo tiempo con una velocidad de 3.1 Mbps mejorando los mecanismos de QoS durante su

transmisión. En el 2005, Qualcomm detuvo su desarrollo.

- CDMA2000 3x

Utiliza tres portadoras de 1,25 MHz ( $3 \times 1,25 \text{ MHz} = 3,75 \text{ MHz}$ ) en un sistema multiportadora para prestar servicios de banda ancha; es decir ofrece tres veces la velocidad de CDMA2000. Esta versión no ha sido implementada y no está en desarrollo hasta la fecha (Korhonen, 2003).

### 3.6 3.5G (Generación 3.5G).

La generación 3.5G conocida también como HSPA (High Speed Packet Access), se desarrolla a partir de UMTS/WCDMA de tercera generación, mejorando la velocidad y latencia en la transferencia de datos. HSPA está formado por HSDPA para el canal descendente y HSUPA para el canal ascendente.

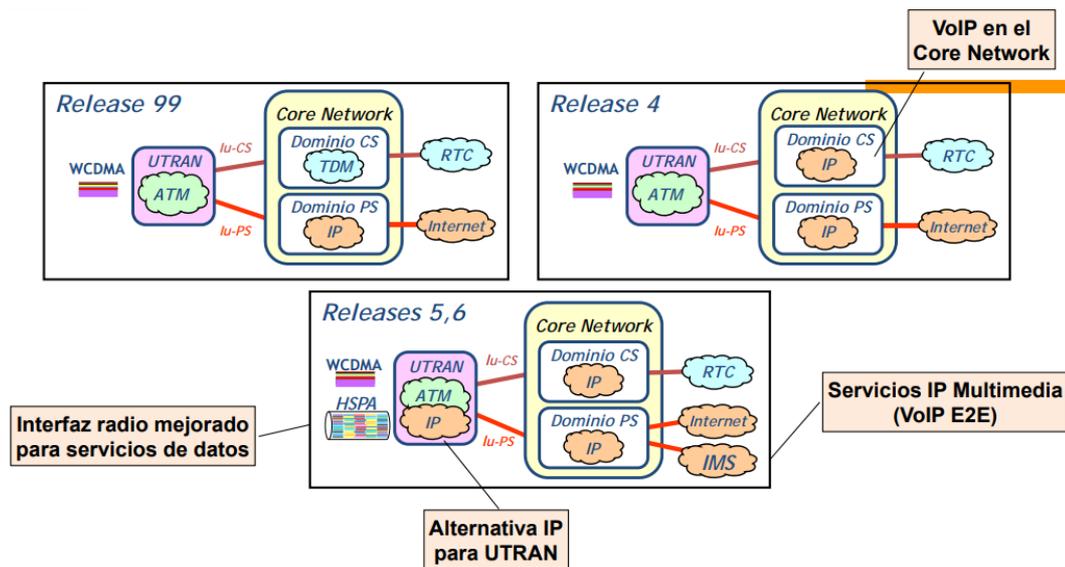


Figura 3.8 Evolución de UMTS.

Fuente: (Alvarez Campana, 2015).

### **3.6.1 HSDPA (High Speed Downlink Packet Access, Acceso de Alta Velocidad del Paquete de Downlink).**

Se basa en el Release 5 de 3GPP, se caracteriza por aumentar la velocidad de descarga mediante la incorporación de un nuevo canal compartido, HS-DSCH (High Speed Downlink Shared Channel, Canal Compartido de Bajada de Alta Velocidad), en el enlace descendente (downlink), el cual permite alcanzar velocidades de datos de hasta 14.4 Mbps en enlace de bajada y en el de subida mantiene la velocidad de UMTS que es 384 Kbps.

#### **3.6.1.1 Arquitectura HSDPA.**

Como se puede visualizar en la figura 3.8, la arquitectura HSDPA se basa en el sistema UMTS, pero con cambios significativos en el CN al considerar una plataforma completamente IP y en la UTRAN tanto los nodos B como los RNC tienen un upgrade de software, adicional los nodos B requieren de tarjetas de canales. Este cambio introduce mejoras como:

- El acceso al IMS (IP Multimedia Subsystem, Subsistema IP Multimedia), con lo el objetivo de unificar el núcleo de la red móvil con la red de datos, telefonía fija y otros tipos de redes; evolucionando a una NGN (Next Generation Network, Red de Siguiete Generación).
- El nodo B tiene nuevas funciones que antes las procesaba el RNC, como el control sobre los recursos de radio, la asignación de los códigos, la tasa de codificación y el manejo de las retransmisiones; con lo que hay mejor rendimiento en la red, ya que se reducen los tiempos de latencia y aumenta la transmisión al saltarse la interfaz Iub. Esto se conoce como Fast Scheduling o Planificación rápida.
- Nuevo método de modulación QAM, trabaja con modulación QPSK y 16QAM. Utiliza la técnica AMC (Adaptive Modulation and Coding, Modulación y Codificación

Adaptativa), donde la modulación y los códigos pueden cambiar de acuerdo con las variaciones de las condiciones del canal.

- Reducción del TTI (Transmission Time Interval, Intervalo de Tiempo de Transmisión) a 2 ms en comparación con UMTS que está comprendido entre 10 y 80 ms (Hernández Bonilla, 2010).

### **3.6.2 HSUPA (*High Speed Uplink Packet Access, Acceso de Alta Velocidad del Paquete de Uplink*).**

Se basa en el Release 6 de 3GPP, es una evolución de UMTS que se caracteriza por ofrecer una mayor velocidad binaria y capacidad en el enlace ascendente o de subida, es decir desde el terminal hacia la red. Esta velocidad puede llegar hasta 5.76 Mbps, ya que posee un canal dedicado de transporte llamado E-DCH (Enhanced Dedicated Channel), el cual tiene dos posibles TTI de 10 ms y 2 ms.

HSUPA no utiliza una planificación de usuarios dependiente del canal, debido a que ello exigiría que cada móvil transmitiera un canal piloto, en HSDPA el nodo B transmite un piloto y éste sirve para todos los móviles. Además en HSUPA transmiten todos los usuarios a la vez, en HSDPA se planifica en cada momento a unos pocos usuarios.

#### **3.6.2.1 Arquitectura HSUPA.**

Como se puede apreciar en la figura 14, la arquitectura HSUPA se basa en el sistema UMTS y no hay entidades nuevas en la red, pero sí funcionalidades nuevas en los nodos B (planificación de usuarios y retransmisiones con combinación) y en los RNC (macrodiversidad por selección en traspaso con continuidad y reordenación de los bloques recibidos con posibles retransmisiones por los nodos B); a diferencia que

en HSDPA solo habían funcionalidades nuevas en los nodos B (Mendo Tomás & García Vilas, 2019).

### 3.7 3.75G (Generación 3.75G).

Conocida también como HSPA+, Evolved HSPA o HSPA Evolution, basada en el Release 7 de 3GPP. Se enfoca en aumentar la velocidad de descarga a 21.1 Mbps modulando los datos con 64QAM (Quadrature Amplitude Modulation) y hasta 28 Mbps con la modulación 16QAM y técnicas avanzadas de antena 2x2 MIMO (Multiple Input Multiple Output); y de subida a 11.5 Mbps utilizando la modulación 16QAM, reducir la latencia, mejorar la QoS y aplicaciones en tiempo real como VoIP (Huidobro Moya, 2014).

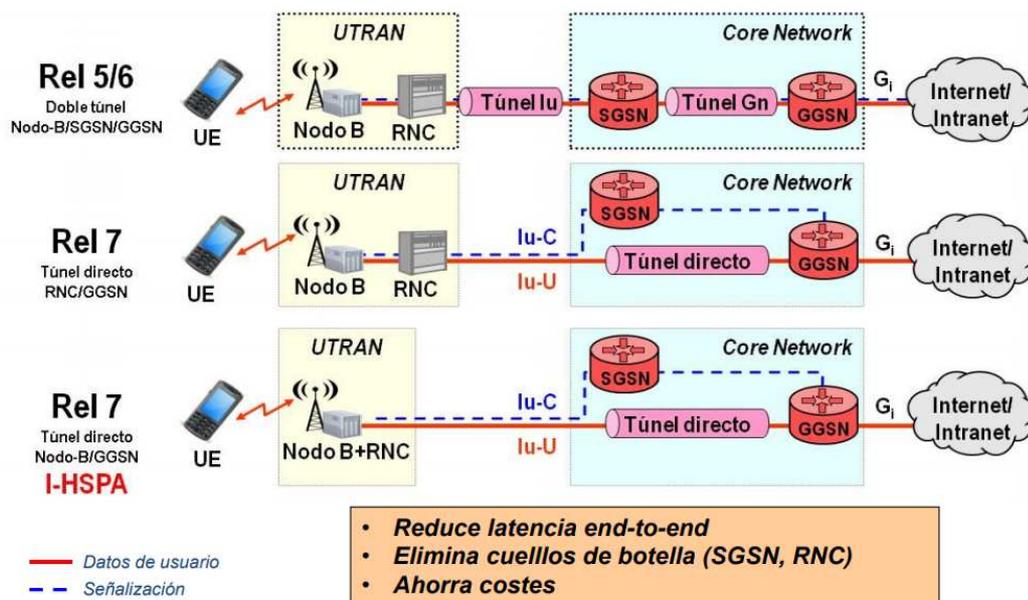


Figura 3.9 Arquitectura HSPA+.

Fuente: (Alvarez Campana, 2015).

#### 3.7.1 Arquitectura HSPA+.

Como se puede apreciar en la figura 3.9, la arquitectura presenta algunas modificaciones de red; ya que hay un cambio significativo a nivel de radio, debido a que el nodo B tiene funciones de RNC, lo que permite duplicar la tasa de bit respecto a HSPA, con esto se reduce la latencia y el consumo

de potencia en los terminales del usuario. En la red de core, se crea un túnel directo, que simplifica la arquitectura de acceso a la red de paquetes y se presenta a IMS como elemento de red que controla todos los tipos de acceso IP.

### **3.8 4G (Cuarta Generación).**

La cuarta generación de la telefonía móvil o 4G, conocida también como LTE (Long Term Evolution), basada en el Release 8 de 3GPP. Se caracteriza por mejorar la seguridad y proporcionar alta velocidad en transmisión de datos, ya que puede alcanzar hasta 100 Mbps para comunicación de alta movilidad y 1 Gbps para comunicación de baja movilidad. Su tecnología se basa en el protocolo IP.

LTE cubre una gama de diferentes bandas de frecuencia, como se puede visualizar en la tabla 2.3:

- En América del Norte se utilizan 700, 750, 800, 850, 1900, 1700/2100 (AWS), 2300 (WCS) 2500 y 2600 MHz (bandas 2, 4, 5, 7, 12, 13, 17, 25, 26 , 30, 41).
- En América del Sur 2500 MHz.
- En Europa 700, 800, 900, 1800, 2600 MHz (bandas 3, 7, 20).
- En Asia 800, 1800 y 2600 MHz (bandas 1, 3, 5, 7, 8, 11, 13, 40).
- En Australia y Nueva Zelanda 1800 MHz y 2300 MHz (bandas 3, 40). (ARCOTEL (Agencia de Regularización y Control de las Telecomunicaciones), 2018)

Tabla 3.3 Bandas operativas en LTE.

E-UTRA Operating Band	Uplink (UL) operating band BS receive UE transmit	Downlink (DL) operating band BS transmit UE receive	Duplex Mode
	$F_{UL\_low} - F_{UL\_high}$	$F_{DL\_low} - F_{DL\_high}$	
1	1920 MHz – 1980 MHz	2110 MHz – 2170 MHz	FDD
2	1850 MHz – 1910 MHz	1930 MHz – 1990 MHz	FDD
3	1710 MHz – 1785 MHz	1805 MHz – 1880 MHz	FDD
4	1710 MHz – 1755 MHz	2110 MHz – 2155 MHz	FDD
5	824 MHz – 849 MHz	869 MHz – 894MHz	FDD
6	830 MHz – 840 MHz	875 MHz – 885 MHz	FDD
7	2500 MHz – 2570 MHz	2620 MHz – 2690 MHz	FDD
8	880 MHz – 915 MHz	925 MHz – 960 MHz	FDD
9	1749.9 MHz – 1784.9 MHz	1844.9 MHz – 1879.9 MHz	FDD
10	1710 MHz – 1770 MHz	2110 MHz – 2170 MHz	FDD
11	1427.9 MHz – 1447.9 MHz	1475.9 MHz – 1495.9 MHz	FDD
12	698 MHz – 716 MHz	728 MHz – 746 MHz	FDD
13	777 MHz – 787 MHz	746 MHz – 756 MHz	FDD
14	788 MHz – 798 MHz	758 MHz – 768 MHz	FDD
17	704 MHz – 716 MHz	734 MHz – 746 MHz	FDD
...			
33	1900 MHz – 1920 MHz	1900 MHz – 1920 MHz	TDD
34	2010 MHz – 2025 MHz	2010 MHz – 2025 MHz	TDD
35	1850 MHz – 1910 MHz	1850 MHz – 1910 MHz	TDD
36	1930 MHz – 1990 MHz	1930 MHz – 1990 MHz	TDD
37	1910 MHz – 1930 MHz	1910 MHz – 1930 MHz	TDD
38	2570 MHz – 2620 MHz	2570 MHz – 2620 MHz	TDD
39	1880 MHz – 1920 MHz	1880 MHz – 1920 MHz	TDD
40	2300 MHz – 2400 MHz	2300 MHz – 2400 MHz	TDD

Fuente: (ETSI, 2010).

En Ecuador las operadoras trabajan en las siguientes bandas LTE, como se muestra en la figura 3.10:

- Movistar: 1900 Mhz (Banda 2).
- Claro: 1700/2100 Mhz (Banda 4).
- CNT: 1700/2100 Mhz (Banda 4) o también 700MHz (Banda 28).

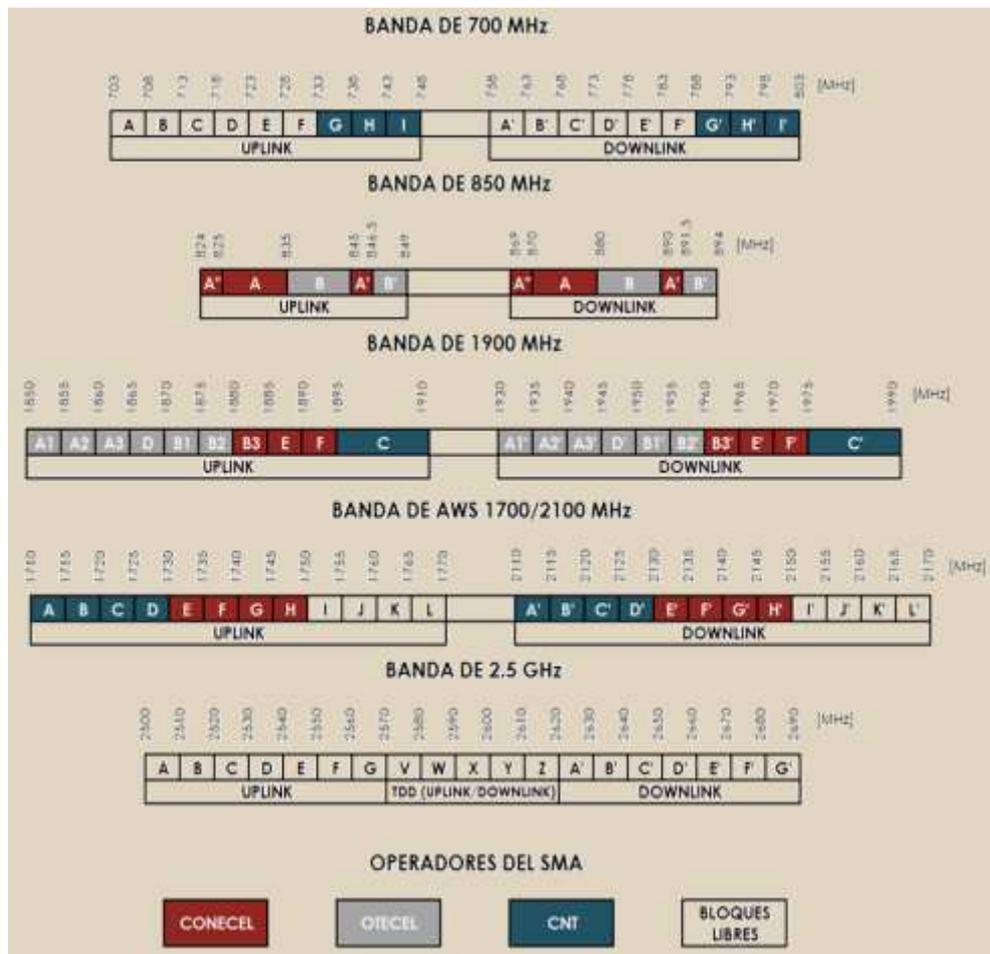


Figura 3.10 Canalización y asignación de bandas de frecuencias SMA.

Fuente: (ARCOTEL (Agencia de Regularización y Control de las Telecomunicaciones), 2018).

### 3.8.1 Arquitectura LTE.

Con referencia a HSPA+, la infraestructura de LTE cambia un poco tanto en la RAN como en el núcleo de red, como se puede apreciar en la figura 3.11.

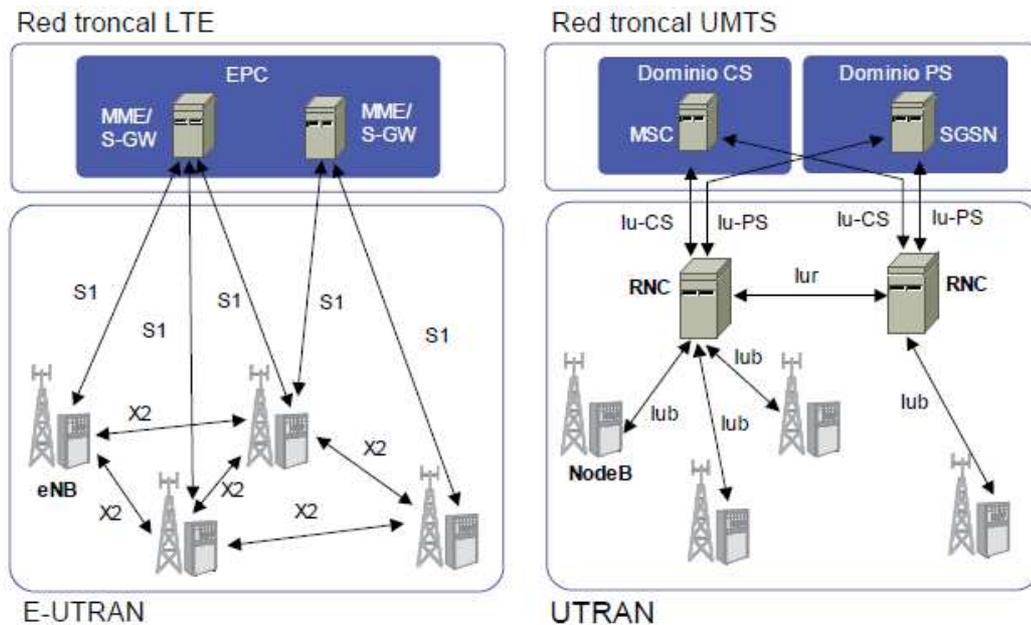


Figura 3.11 Comparativa de la arquitectura de red E-UTRAN y UTRAN.  
Fuente: (Agusti Comes, y otros, 2010).

Como se muestra en la figura 3.12, en LTE la RAN se denomina E-UTRAN; esta utiliza un acceso basado en la tecnología OFDMA y está conformado por el único elemento eNodeB, el cual integra un elemento controlador, simplificando así la arquitectura y permitiendo tiempos de respuestas más bajos.

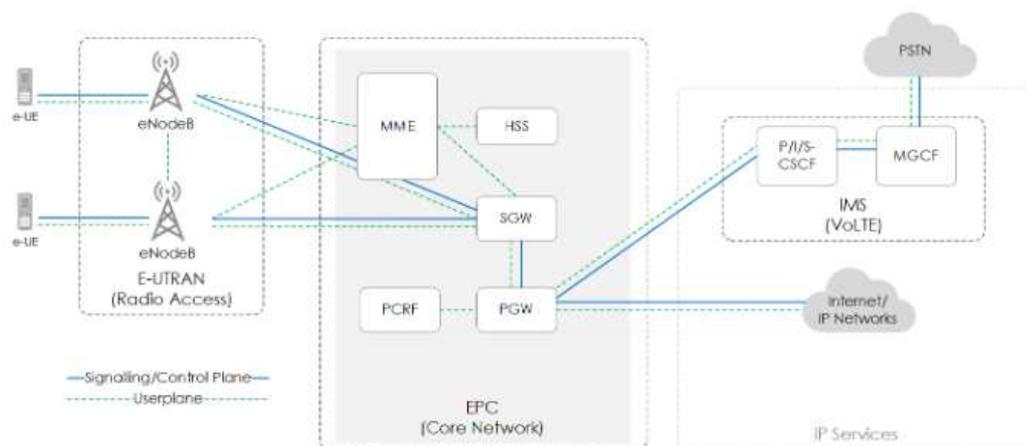


Figura 3.12 Arquitectura 4G.  
Fuente: (DONATO, 2019).

El eNodeB proporciona la conectividad entre los equipos de usuario (UE) y la red troncal EPC. Se comunica con el resto de elementos del sistema mediante tres interfaces E-UTRAN Uu, S1 y X2, como se ilustra en la figura 3.13 y en la tabla 3.4.

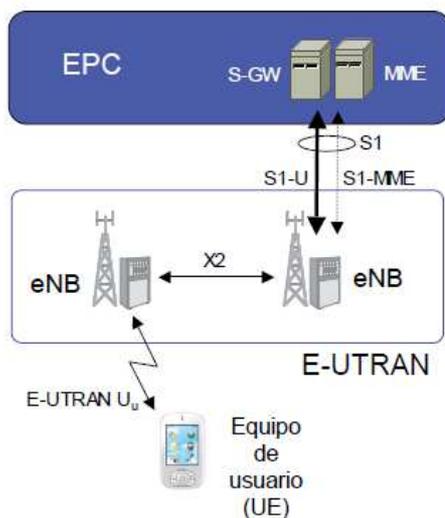


Figura 3.13 Red de acceso E-UTRAN.

Fuente: (Agusti Comes, y otros, 2010).

Tabla 3.4 Entidades de red e interfaces de E-UTRAN.

Entidades de red	Denominación	Descripción	Referencias 3GPP <sup>1)</sup>
		Evolved NodeB (eNB)	Estación base de la red de acceso E-UTRAN
Interfaces	Denominación	Entidades de red asociadas	
	E-UTRAN Uu (también denominada LTE Uu o interfaz radio)	eNB UE	TS 36.300 [4] Documentos TS 36.2xx Y TS 36.3xx
	X2	eNB eNB	Documentos TS 36.42x TS 29.281 [26]
	S1-MME	eNB Red troncal EPC (MME)	Documentos TS 36.41x
	S1-U	eNB Red troncal EPC (S-GW)	TS 29.281 [26]

Fuente: (Agusti Comes, y otros, 2010).

En LTE el núcleo de red es conocido con el nombre de EPC (Evolved Packet Core), el cual unifica la voz y los datos en una arquitectura de servicio de IP (Protocolo de Internet).

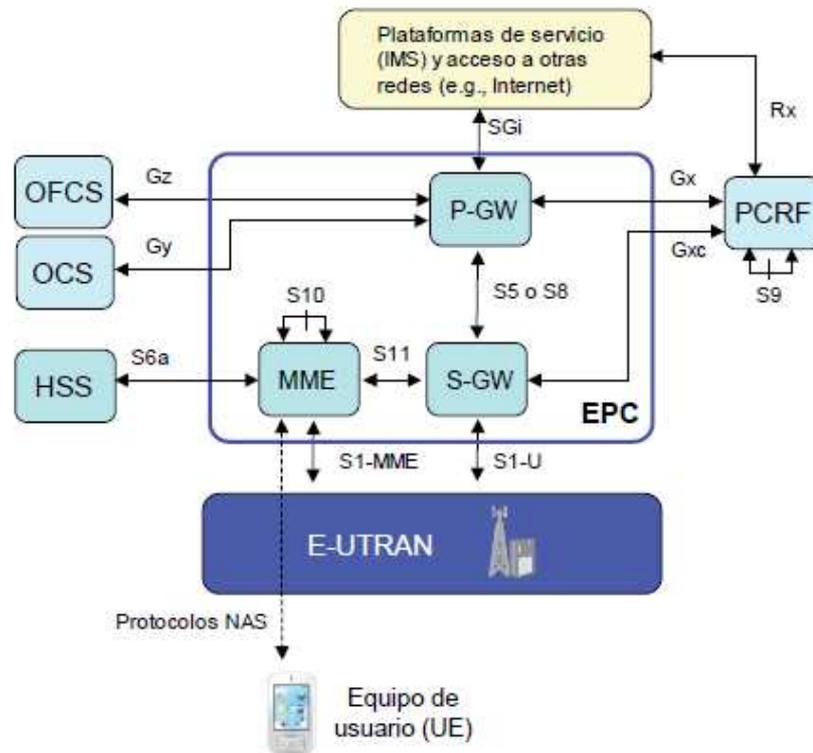


Figura 3.14 Arquitectura básica de la red troncal.

Fuente: (Agusti Comes, y otros, 2010).

Como se puede observar en la figura 3.14 y en la tabla 3.5, el EPC está conformado por 3 componentes de red y 4 elementos clave de todos los sistemas 3GPP.

Entidades de la red EPC:

- MME (Mobility Management Entity), se encarga de las funciones y señalización del plano de control. Gestiona los estados de sesión, autentica y rastrea a un usuario a través de la red.
- SGW (Serving Gateway, Puerta de Enlace de Servicio), se concentra en las funciones asociadas con el plano de usuario. Actúa como un enrutador y reenvía datos entre la estación base y la puerta de enlace PDN. Además, el SGW también se conectará a

otros SGSN y RNC para infraestructuras de generaciones anteriores.

- PGW (Packet Data Node Gateway), se concentra en las funciones asociadas con el plano de usuario. Actúa como la interfaz entre la red LTE y otras redes de paquetes de datos, gestiona la calidad de servicio (QoS) y proporciona una inspección profunda de paquetes (DPI).

Entidades comunes de la red 3GPP:

- HSS (Home Subscriber Server), es la base de datos principal del sistema 3GPP que contiene información sobre todos los suscriptores del operador de red.
- PCRF (Policy and Charging Rules Function), se utiliza para controlar los servicios portadores que ofrece la red LTE (activación y determinación de los parámetros de QoS asociados a cada servicio portador) así como realizar el control de los mecanismos de tarificación (tarificación online, offline, medición del volumen de datos transferido, tiempo transcurrido, etc.).
- OFCS (Offline Charging System), constituye el núcleo del sistema de tarificación de la red.
- OCS (Online Charging System), constituye el núcleo del sistema de tarificación de la red (Agusti Comes, y otros, 2010).

Tabla 3.5 Entidades de red e interfaces de EPC para el acceso desde E-UTRAN.

	Denominación	Descripción	Referencias 3GPP <sup>1)</sup>
Entidades de red EPC	MME	Nodo que canaliza el plano de control de la red LTE	TS 23.401 [5]
	S-GW	Punto de anclaje del plano de usuario en la red troncal	TS 23.401 [14]
	P-GW	Pasarela para la interconexión con redes externas	TS 23.401 [14]
Entidades comunes a las redes 3GPP	Denominación	Descripción	
	HSS	Base de datos global del sistema (contiene, entre otros, los datos de suscripción de los usuarios).	TS 23.002 [1] TS 23.008 [16]
	PCRF	Elemento central del sistema de control de uso de la red (policy control) y control de tarificación	TS 23.203 [27]
	OCS	Nodo de control para la provisión de servicios que requieren tarificación on-line	TS 23.203 [27] TS 32.240 [28]
	OFCS	Nodo de recogida de la información de tarificación para su posterior transferencia al sistema de facturación.	TS 23.203 [27] TS 32.240 [28]
Interfaces	Denominación	Entidades de red asociadas	
	S1-MME	MME E-UTRAN (eNB)	Documentos TS 36.41x
	S1-U	S-GW E-UTRAN (eNB)	TS 29.281 [26]
	SGi	P-GW Redes externas	TS 29.061 [17]
	S6a	MME HSS	TS 29.272 [25]
	S5/S8	P-GW S-GW	TS 29.274 [21] (opción GTP) TS 23.275 [24] (opción PMIPv6)
	S11	MME S-GW	TS 29.274 [21]
	S10	MME MME	TS 29.274 [21]
	Señalización NAS	UE MME	TS 24.301 [37] [37]
	Rx	PCRF Plataformas servicios	TS 29.214 [29]
	S9	PCRF PCRF	TS 29.215 [30]
	Gx/Gxc	P-GW/S-GW PCRF	TS 29.212 [31]
Gz/Gy	P-GW OFCS/OCS	Documentos TS 32.2xx	

Fuente: (Agusti Comes, y otros, 2010).

### 3.9 5G (Quinta generación).

La quinta generación de la telefonía móvil o 5G, se encuentra en su fase de pruebas por las compañías Sueca Ericsson y China Huawei, la cual alcanzaría velocidades según estudios preliminares realizados de hasta 20 Gbps, una latencia reducida y una mayor densidad de usuario. Entraría en operación en el Ecuador posiblemente en el 2020.

## **CAPÍTULO IV ANÁLISIS PARA MEJORAR LA COBERTURA EN INTERIORES EN UNA RED CELULAR.**

Las exigencias de un mundo globalizado y competitivo en donde la comunicación juega un papel importante para las personas y así poder cerrar negocios hace que los usuarios necesiten estar constantemente conectados con la mejor tecnología y calidad de servicio. Es así que se debe considerar algunos aspectos en la red celular.

### **4.1 Aspectos para evaluar la calidad de servicio en una red celular.**

(Hernando Rábanos, Mendo Tomás, & Riera Salís, Comunicaciones móviles, 2015), indican que los aspectos considerados para evaluar la calidad de servicio se establecen desde dos puntos de vista:

- **Objetiva:** son los parámetros medibles por la operadora; en donde se obtienen información interna de reportes de cobertura, capacidad y movilidad.
  - **Cobertura:** se basa en los tamaños de las celdas y se expresa mediante porcentaje de prestación de servicio a través de umbrales de señal y relación de señal deseada sobre interferencia.
  - **Capacidad:** expresa la actitud de la red celular para cursar la demanda de tráfico de cada zona con un grado de servicio o una probabilidad de bloqueo determinada y está limitada por el número de frecuencias de la celda. Se basa en dos parámetros llamadas interrumpidas o pérdidas.
  - **Movilidad:** es el grado de dificultad que expresa el móvil para registrarse en la estación base.
- **Subjetiva:** es la percepción del usuario.

#### **4.2 Factores que degradan la intensidad de la señal.**

Esta propuesta se basará exclusivamente en el análisis de mejorar la cobertura en interiores en redes de telefonía celular en clientes individuales, por lo que se validará los múltiples factores que alteran o modifican la intensidad de la señal o la capacidad de esta en el dispositivo como son:

- **Distancia:** La distancia a la que se esté de la antena modifica la señal y velocidad de la cobertura; ya que cuanto mayor sea la distancia, menos señal y menos velocidad se dispondrá en el celular. Adicional a mayor distancia de la antena, el móvil emite más potencia, lo que provoca que haya un mayor consumo de energía que como consecuencia hace que el terminal se caliente y la batería se acabe rápidamente.
- **Teléfono:** Depende de la intensidad de recepción del mismo puede ser mayor o menor.
- **Obstáculos:** La cobertura se ve afectada por obstáculos como árboles, túneles, montañas, paredes de edificios o viviendas que afectan a la penetración de la señal.
- **Situación meteorológica:** El cambio de clima afecta a la cobertura como son las lluvias, tormentas, densas nieblas rastreras, etc.; ya que provocan desvanecimientos de la señal IF y RF.
- **Incidencia en la red:** Mantenimiento, reparación, desmantelamiento, saturación (habitualmente en eventos multitudinarios y lugares con mucho turismo), averías en alguna antena o colapso en la misma pueden implicar a una menor cobertura o inclusive pérdida de la señal (Tuenti, 2019).

#### **4.3 Soluciones básicas de las operadoras de SMA para mejorar la señal.**

Cuando surgen este tipo de inconvenientes de degradación de la intensidad de la señal, por lo general las operadoras brindan a los clientes individuales soluciones como:

- Que el cliente reinicie o apague y encienda su celular, para comprobar que no haya sido un fallo momentáneo o location update.
- Determinar qué red y/o tecnología es la que podría estar funcionando mal, para lo cual se le indica al cliente ir a configuraciones del dispositivo en la opción “modo de red”.
- Descartar un fallo físico de la tarjeta SIM, lo cual se soluciona realizando un duplicado o reposición de la misma. Cuando hay una falla en el chip se ven afectadas las llamadas, en este caso el usuario no puede realizar o recibir llamadas; por lo general el teléfono muestra un mensaje como “Sin SIM”, “Tarjeta SIM no detectada”, “Sólo llamadas de emergencia” e incluso “Sin Servicio”.

Considerar que dichos mensajes también pueden ser por un mal funcionamiento del terminal y para descartar uno de los dos se debe hacer una prueba cruzada, la cual consiste en probar el sim card en otro terminal para ver si la misma funciona en dicho celular, si no funciona es falla del sim card, pero si funciona es falla del equipo.

Cuando falla el equipo es muy probable que se deba a:

- Un bloqueo del IMEI (por pérdida o robo).
- Que el dispositivo tenga la banda bloqueada, esto sucede si al introducir la tarjeta SIM pide un código de desbloqueo de red que se refiere al código de liberación el cual se tramita con el operador donde se adquirió el móvil.
- En caso de utilizar un móvil de otro país, hay que tener en cuenta las frecuencias que dicho dispositivo pueda soportar para operar con la red.
- Una falla técnica del equipo (Telefónica, 2019).
- Crear un ticket de cobertura para validar cobertura en interiores, por lo general la respuesta de GDR (Gestión de Reclamos) cuando hay una falla en la cobertura es que se considerará dicho sector para futuras ampliaciones de la red.

#### 4.4 Soluciones técnicas para mejorar el problema de cobertura en interiores.

Hay varias soluciones alternativas al problema de cobertura en interiores y se pueden dividir en tres, las cuales se analizará cada una para validar la mejor propuesta de acuerdo al mercado ecuatoriano:

- Femtoceldas.
- DAS (Distributed Antennas Systems, Sistemas Distribuidos de Antenas) o antenas amplificadoras/ repetidoras de señal.
- Wi-Fi calling.

##### 4.4.1 Femtoceldas.

Conocidas también como estaciones base de uso doméstico, son estaciones base de pequeño tamaño, con baja potencia y alcance que utilizan las bandas de frecuencia del operador, usando como red de retorno internet o un canal de radio separado, como se puede observar en la figura 4.1. Estas se instalan en entornos residenciales o comerciales de manera aislada o en grupos para mejorar la cobertura móvil en el interior de los edificios.

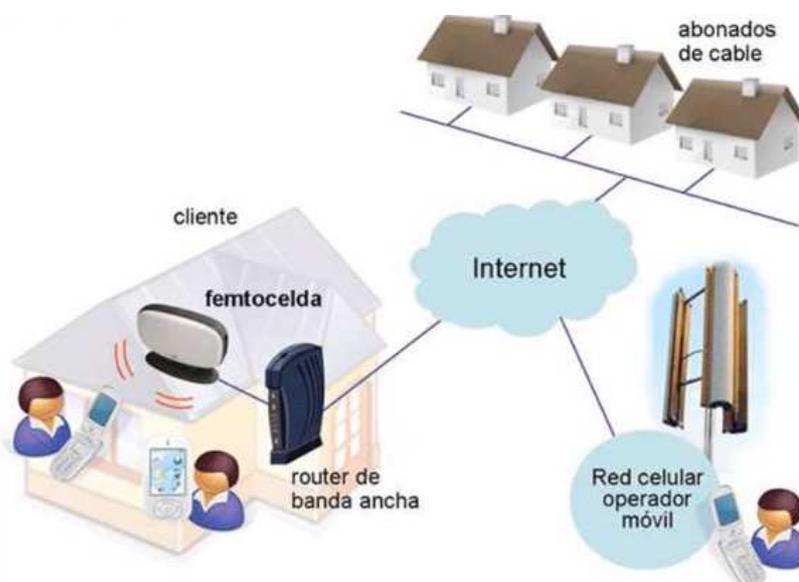


Figura 4.1 Femtocelda.

Fuente: (Escrivá Alós & Sanchis Muñoz, 2019).

El uso de femtoceldas para ofrecer cobertura en interiores tiene importantes ventajas con respecto a la solución más común de aumentar el número de estaciones macrocelulares.

Desde la perspectiva del operador, las ventajas son que:

- El coste de instalación y operación de una femtocelda es muy inferior al de una estación base convencional.
- El retorno de las femtoceldas hacia la red troncal se realiza por canales distintos al del resto de la red, descargando la red de retorno convencional
- Las femtoceldas al ubicarse en entornos interiores, normalmente aislados del exterior, alivian la sobrecarga del espectro radioeléctrico, permitiendo un uso más eficiente del mismo.

Desde el punto de vista del usuario:

- La mejora de la cobertura y calidad de conexión en interiores se traduce en una mejor calidad de servicio. Al mismo tiempo, la menor distancia entre la estación base y el terminal se traduce en una potencia de transmisión más baja, lo que incrementa la duración de la batería del terminal (Chandrasekhar, Andrews, & Gatherer, 2008).

Este tipo de soluciones son las más caras ya que dependen de una conexión a internet por cable, considerando que en muchos casos hay un doble gasto para el usuario debido a que tiene que pagar por la tarifa del internet y por la femtocelda como dispositivo y servicio mensual. Adicional, suelen presentar más problemas técnicos cuando el cliente no asegura el ancho de banda necesario para que la femtocelda opere bien y sin saturación del canal

Como propuesta para mejorar la cobertura en interiores las operadoras optan por colocar femtoceldas con el objetivo de mejorar niveles de recepción celular en interiores en donde previo al estudio no es posible mover antenas del clúster, pero esto aplica por lo general para clientes

con montos altos en facturación que por lo general son las grandes empresas desplazando de forma indirecta a los clientes individuales los cuales prefieren cambiarse de operadora como solución inmediata a su problema.

#### **4.4.2 DAS (Distributed Antennas Systems, Sistemas Distribuidos de Antenas) o antenas amplificadoras/ repetidoras de señal.**



Figura 4.2 Amplificador de señal de telefonía móvil.

Fuente: (StellaDoradus, 2019).

Este tipo de soluciones son más modernas cuando se trata de dispositivos plug and play, ya que cuando la señal llega con poca potencia, estos dispositivos toman la señal celular del operador, la amplifican y repiten dentro de un lugar donde no llega la misma (casa o edificio), mejorando considerablemente la calidad de las llamadas y la velocidad de los datos.

Como se puede visualizar en la figura 4.2, los amplificadores de señal funcionan de la siguiente manera:

- Captación de señal: La señal celular primero es captada por una antena aérea (outdoor) la cual se fija en un lugar en donde la señal celular sea lo más estable posible.
- Transmisión de señal del receptor al amplificador: Aunque algunas soluciones, después de captar la señal, la modifican y transmiten

por medio de fibra óptica, eso ya no es necesario. Las soluciones más nuevas son más eficientes en la transmisión de señal, ya que transmiten la misma señal por medio de un cable coaxial especial para tener muy poca pérdida.

- Amplificación/repetición de señal celular: Esta es una de las partes complicadas, aquí hay que hacer la puesta a punto de la potencia de amplificación y la potencia de salida, así como el cálculo para cubrir todas las áreas, asegurar que se amplifica la señal correcta y después de todo no se afecte a un operador.

La auto-instalación solo se recomienda con las soluciones pequeñas, ya que para soluciones más grandes se necesita a alguien certificado para evitar multas por parte del ente regulador (ARCOTEL); ya que hay que hacer cálculos, diseño de señal, así como revisiones de señales antes y después de instalar.

Considerar que interrumpir las señales de los operadores es un delito, ya que algunas soluciones producen problemas en la señal, desde ruido en algunas frecuencias hasta sobrecarga e inhabilitación de las antenas de los operadores.

- Emisión de señal mejorada: Mediante una o varias antenas de señal celular (indoor), las cuales pueden ser direccionales u omnidireccionales se emite y recibe internamente la señal celular mejorada.

La ventaja de esta solución, es que no se necesita tener internet para que pueda funcionar en comparación con las femtoceldas. Adicional hay amplificadores/repetidores de señal que son inalámbricos, es decir no requieren cableado y son plug and play, con antenas integradas los cuales solo necesitan conexión a la corriente y están conformados solo por dos elementos la unidad de red y la unidad de cobertura. En la figura 4.3 se puede apreciar un ejemplo de ellos y en la figura 4.4 su instalación.



Figura 4.3 Amplificador de señal inteligente digital Cel-Fi PRO.  
Fuente: (Nextivity, 2019).



Figura 4.4 Instalación del Cel-Fi PRO.  
Fuente: (Nextivity, 2019).

Existen diferentes tipos de amplificadores/repetidores de señal celular y cada uno ayuda a mejorar la señal en función de las necesidades de cada usuario, para ellos existen marcas y proveedores calificados.

#### 4.4.3 Wi-Fi calling.

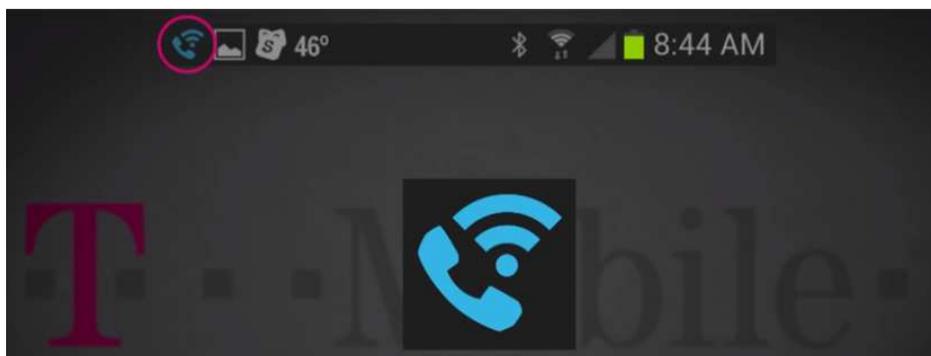


Figura 4.5 Wi-Fi calling.  
Fuente: (T-Mobile, 2019).

Es una tecnología que permite al usuario final llamar y recibir llamadas o enviar y recibir SMS a través de una conexión de red Wi-Fi como lo haría normalmente acudiendo al marcador o a la aplicación de mensajes de su Smartphone, con su mismo número de celular, sin necesidad de instalar una aplicación como Skype, WhatsApp, Google Voice, Viber o Tango, ni de crear una cuenta específica; utilizando Voz sobre IP (VoIP) en lugar de la típica red celular.

Esta alternativa permite que se reciban y realicen llamadas desde lugares con poca o nula cobertura celular, garantizando una buena velocidad de respuesta, pero no una buena calidad de audio. Considerar que cuando el servicio de Wi-Fi calling funciona correctamente, es imposible distinguir las llamadas Wi-Fi de aquellas efectuadas por medio de la red celular: el teléfono pasa automáticamente de una red a la otra según cuál de las dos presentes la señal más fuerte. Aunque en el Smartphone si sale el ícono de Wi-Fi calling cuando se está realizando una llamada por Wi-Fi, tal cual se muestra en la figura 4.5.

Otra ventaja respecto al uso de esta tecnología es la reducción de costos en los minutos, ya que cuando una llamada ocurre a través de Wi-Fi deja de ser transmitida por la red celular, sin importar en donde se sitúe dicha red. Como desventaja es que las llamadas Wi-Fi no son “móviles” de la misma manera que una llamada por celular: si el usuario se aleja de la zona cubierta por el punto de acceso Wi-Fi al que está conectado, su llamada no es traspasada a la torre celular más cercana, simplemente, se corta (Fitchard, 2015).

## **CONCLUSIONES.**

A lo largo del estudio realizado sobre las diferentes propuestas para mejorar la cobertura en interiores en redes de telefonía celular en clientes individuales, se puede concluir que a medida que la tecnología celular avanza se van utilizando frecuencias más altas para tener una mayor velocidad con menor tiempo de latencia que podría llegar a 1 milisegundo con la tecnología 5G; considerando que entre más alta sea la frecuencia más pequeña es la longitud de la onda de radio frecuencia, lo que la hace más sensible a degradación frente a obstáculos como paredes, vidrios, etc.; provocando como consecuencia una falta de cobertura en los interiores de los domicilios y/o lugares de trabajo .

Adicional se tiene conocimiento según los medios de comunicación, que los operadores de servicios móviles avanzados dentro del territorio ecuatoriano, si han realizado una gran inversión por la adquisición de la concesión de frecuencias sobre todo en la de 4G, lo que adicional del pago por la concesión, tienen que realizar un pago anual por el alquiler de dichas frecuencias.

Hay que tomar en cuenta que a medida que la tecnología avanza la distancia de las radios bases deben ser más cortas, por realizar la analogía en la actualidad aproximadamente los operadores de telefonía celular en sectores donde hay cobertura 4G tienen una radio base ubicada cada 600 metros; para el caso de 5G esta distancia se acortaría a 60 metros por el tipo de onda que manejaría lo que implicaría una mayor inversión para el operador.

En el mercado ecuatoriano por el nivel socio-económico que se maneja, el usuario final prefiere estar en tarifas prepago las cuales en la actualidad son muy competentes entre operadores y lo que se afilian a un plan mensual el ARPU (Average Revenue Per User, Promedio de Ingresos por Usuario) de estos planes según los operadores no supera los \$25. Es uno

de estos los motivos por los cuales cuando el abonado presenta una falla de la señal en interiores las telefonías esperan a que haya un número significativo de usuario afectados para considerar si en dicho sector se amplía o no la cobertura; lo que no sucede con las grandes empresas, las cuales su monto de facturación es mucho más alto y al tener una falla o problema de cobertura en interiores, las telefonías invierten en colocar sea femtoceldas y/o en validar si amerita una ampliación de cobertura en dicho sector.

Con esta investigación se concluye, que unas de las soluciones más económicas y de fácil instalación serían las antenas amplificadoras/repetidoras de señal, las cuales hay de todo tipo inclusive plug and play con sus antenas integradas, las cuales son utilizadas en otras partes del mundo sobre todo en Estados Unidos.

## **RECOMENDACIONES.**

Una de las recomendaciones que se debe tomar en cuenta al instalar los amplificadores/repetidores de señal es considerar que si la zona donde se necesita mejorar la señal es rural o urbana, la amplitud de la edificación, la intensidad de la señal en los exteriores de dicho sector y el tipo de tecnología que se desea mejorar acorde al sector 2G, 3G o 4G. Todo esto para realizar la compra correcta del dispositivo y adicional tener una mejor cobertura de red.

Adicional al instalar este tipo de soluciones validar que se vaya a tener una red segura para que no interfiera con otros productos inalámbricos para interiores, como enrutadores Wi-Fi, células pequeñas u otro sistemas de antenas distribuidas (DAS).

El Estado debe considerar reducir los costos en la compra de espectro y/o alquiler del mismo, ya que así podrá exigir una mejor infraestructura en las empresas de servicios móviles avanzados, para que estas brinden una mejor cobertura no solo en exteriores sino en interiores.

## REFERENCIAS.

- Agusti Comes, R., Bernardo Álvarez, F., Casadevall Palacio, F., Ferrús Ferré, R., Pérez Romero, J., & Sallent Roig, O. (2010). *LTE: NUEVAS TENDENCIAS EN COMUNICACIONES MÓVILES*. Fundación Vodafone España.
- Alvarez Campana, M. (2015). Curso LTE, arquitectura funcional y protocolos. *Cátedra Isdefe en la ETSIT-UPM*. Madrid.
- Anand, R. (2012). *Wireless Communication* (Primera ed.). Ram Nagar, Nueva Deli, India: S. Chand Publishing.
- ARCOTEL (Agencia de Regularización y Control de las Telecomunicaciones). (Diciembre de 2018). *Boletín estadístico IV trimestre 2018*. Obtenido de [http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/01/BOLETIN-ESTADISTICO-Diciembre-2018-v4\\_4.pdf](http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/01/BOLETIN-ESTADISTICO-Diciembre-2018-v4_4.pdf)
- ASAMBLEA NACIONAL REPÚBLICA DEL ECUADOR. (18 de Febrero de 2015). *REGISTRO OFICIAL ÓRGANO DEL GOBIERNO DEL ECUADOR*. Obtenido de <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/05/Ley-Org%C3%A1nica-de-Telecomunicaciones.pdf>
- CCM Benchmark Group. (2018). Telefonía móvil. *CCM Benchmark Group*, 4.
- Chandrasekhar, V., Andrews, J. G., & Gatherer, A. (Septiembre de 2008). Femtocell networks: a survey. *IEEE Communications Magazine*, XLVI(9), 59–67.
- DONATO, R. (23 de Marzo de 2019). *PACKETFLOW*. Obtenido de <https://www.packetflow.co.uk/a-beginners-guide-to-mobile-wireless-communication-infrastructure/#fn10>

- Escrivá Alós, C., & Sanchis Muñoz, J. (3 de Octubre de 2019). *Tecnología Femtocell*. Obtenido de <https://slideplayer.es/slide/1101592/>
- España Boquera, M. (2003). *Servicios avanzados de telecomunicación*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, S.A.
- ETSI. (2010). *LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception (3GPP TS 36.101 version 8.8.0 Release 8)*.
- Fitchard, K. (2015). *TeleSemana*. Obtenido de <https://www.telesemana.com/blog/2015/06/15/wi-fi-calling-que-es-y-cuando-usarlo/>
- García, A. B., Álvarez-Campana, M., Vázquez, E., & Berrocal, J. (2002). Diseño de redes de acceso en sistemas móviles UMTS con soporte de calidad de servicio. *Universidad Politécnica de Madrid*.
- GitBook. (27 de marzo de 2019). *Máster Móviles UA*. Obtenido de <https://mastermoviles.gitbook.io/tecnologias2/conectividad-movil.-tecnologias-3g-4g-wifi-y-bluetooth>
- gsmSpain.com. (26 de Marzo de 2019). *gsmSpain.com*. Obtenido de [gsmSpain.com](https://www.gsmSpain.com/):  
[https://www.gsmSpain.com/info\\_tecnica/egprs/diferencias.php](https://www.gsmSpain.com/info_tecnica/egprs/diferencias.php)
- Halonen, T., Romero, J., & Melero, J. (2003). *GSM, GPRS and EDGE performance: Evolution Towards 3G/UMTS* (Segunda ed.). West Sussex, Chichester, England: John Wiley & Sons.
- Hernández Bonilla, C. M. (2010). HSDPA, High Speed Downlink Packet Access. *FIET*. Cauca.
- Hernando Rábanos, J. M., Mendo Tomás, L., & Riera Salis, J. M. (2013). *Transmisión por radio* (Séptima ed.). Madrid, España: Universitaria Ramon Areces.

- Hernando Rábanos, J. M., Mendo Tomás, L., & Riera Salís, J. M. (2015). *Comunicaciones móviles* (Tercera ed.). Madrid, España: Centro de Estudios Ramón Areces, S.A.
- Huidobro Moya, J. M. (2014). *Telecomunicaciones. Tecnologías, Redes y Servicios* (Segunda ed.). Grupo Editorial RA-MA.
- ITU. (11 de Mayo de 2006). *Recomendación E.118*. Ginebra.
- ITU. (23 de Septiembre de 2016). *Recomendación E.212*.
- Jácome Oleas, D. C. (2009). *Diseño de la integración de una plataforma a una red celular GSM para configuración y programación de terminales y tarjetas SIM a través de interfaz aire*. SANGOLQUÍ: ESPE.
- Korhonen, J. (2003). *Introduction to 3G Mobile Communications* (Segunda ed.). Boston, London: Artech House.
- Lara Rodríguez, D., Gaytán Hernández-Magno, J. J., Vargas rosales, C., Aguilar Coutiño, A., Rosas Méndez, J. R., Ortigoza Guerrero, L., . . . Pérez L., S. (2002). *Sistemas Inalámbricos de Comunicación Personal*. (D. Muñoz Rodríguez, Ed.) México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
- Marcombo, S.A. (1998). *Telecomunicaciones móviles* (Segunda ed.). Barcelona, España: Marcombo.
- Martínez, E. (Mayo de 2001). La evolución de la telefonía móvil. *Revista RED*, 6.
- Martínez, E. (22 de Octubre de 2004). El ABC de la telefonía celular (parte 2). *Revista RED*.
- Mendo Tomás, L., & García Vilas, J. B. (6 de Junio de 2019). *OpenCourseWare*. Obtenido de Universidad Técnica de Madrid: <http://ocw.upm.es/course/comunicaciones-moviles>

- Navarro, K. (8 de Marzo de 2014). *Handover en Telecomunicaciones – Parte I*. Recuperado el 24 de Mayo de 2018, de Panama Hitek: <http://panamahitek.com/handover-en-telecomunicaciones-parte/>
- Nextivity. (2019). *Nextivity*. Obtenido de <https://cel-fi.com/pro/>
- Nicola, F. (s.f.). *Redes Celulares (GSM, GPRS)*. Rosario: Universidad Nacional De Rosario.
- Sallent Roig, O., Valenzuela González, J. L., & Agustí Comes, R. (2003). *Principios de comunicaciones móviles* (Primera ed.). Barcelona, España: Edicions UPC.
- Seurre, E., Savelli, P., & Pietri, P.-J. (2003). *GPRS for Mobile Internet*. Boston: Artech House.
- StellaDoradus. (10 de 09 de 2019). *StellaDoradus*. Obtenido de <https://www.stelladoradus.es/2013/09/12/como-puedo-amplificar-la-senal-de-telefonía-movil-en-mi-casa/>
- Telefónica. (9 de Septiembre de 2019). *Movistar*. Obtenido de <https://comunidad.movistar.es/t5/Blog-Movisfera/Posibles-causas-y-soluciones-de-la-falta-de-cobertura-m%C3%B3vil/ba-p/2016725>
- T-Mobile. (4 de Octubre de 2019). *Llamadas Wi-Fi de T-Mobile*. Obtenido de <https://es.support.t-mobile.com/docs/DOC-1680>
- Tomasi, W. (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas* (Cuarta ed.). México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Tuenti. (9 de Septiembre de 2019). Obtenido de <https://www.tuenti.es/ayuda/que-factores-influyen-cobertura/>
- Vialfa, C. (12 de Diciembre de 2017). Estándar GSM (Sistema global de comunicaciones móviles). *CCM Benchmark Group*, 3.
- VIU Universidad Internacional de Valencia. (12 de Octubre de 2016). *VIU Universidad Internacional de Valencia*. Recuperado el 6 de Junio de 2018, de VIU Universidad Internacional de Valencia:

<https://www.universidadviu.es/evolucion-la-red-comunicacion-movil-del-1g-al-5g/>

Young, W. R. (Enero de 1979). AMPS: Introduction, Background, and Objectives. *The Bell System Technical Journal*.



## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **García Acuña, Liuva Tamara**, con C.C: # **0924827934** autor/a del trabajo de titulación: **Propuesta para mejorar la cobertura en interiores en redes de telefonía celular en clientes individuales**, 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, **25 de noviembre de 2019**

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

Nombre: **García Acuña, Liuva Tamara**

C.C: **0924827934**



## REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

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

<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	Propuesta para mejorar la cobertura en interiores en redes de telefonía celular en clientes individuales		
<b>AUTOR(ES)</b>	Liuva Tamara, García Acuña		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	Zamora Cedeño, Néstor Armando, MSc.; Córdova Rivadeneira, Luis Silvio, MSc. / Romero Paz, Manuel de Jesús, MSc.		
<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>	<b>DE</b> 25 de noviembre de 2019	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	<b>DE</b> 80
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Telecomunicaciones, telefonía móvil, proveedores de SMA.		
<b>PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:</b>	cobertura, 2G, GSM, GPRS, EDGE, 3G, UMTS, 3.5G, HSPA, HSPA+, 4G, LTE, 5G, femtoceldas, DAS, Wi-Fi calling		
<b>RESUMEN/ABSTRACT:</b>	<p>En la actualidad, los clientes que usan teléfonos celulares son cada vez más exigentes con los servicios tradicionales que contratan; que incluyen voz, SMS o datos móviles; sean estos que estén en la modalidad de pago: prepago, previopago o pospago. Entre sus requerimientos el más importante es que buscan proveedores de servicios móviles avanzados que les brinden una óptima calidad de servicio siendo hincapié en la cobertura. Los operadores móviles pueden en muchos sectores garantizar cobertura en sus exteriores, pero en los interiores se ven afectados por mucho factores teniendo como consecuencia una insatisfacción en los clientes. Este trabajo de investigación presenta una propuesta para mejorar la cobertura en interiores en redes de telefonía celular en clientes individuales con el uso de antenas amplificadoras/repetidoras de señal celular, las cuales hay de todo tipo inclusive plug and play con sus antenas integradas lo que facilita su instalación y uso al ser muy amigables con el usuario final.</p>		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593-9-84446718	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:liuva_1414@hotmail.com">liuva_1414@hotmail.com</a> ; <a href="mailto:liuva.garcia@gmail.com">liuva.garcia@gmail.com</a>	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::</b>	<b>Nombre:</b> MSc. Manuel Romero Paz		
	<b>Teléfono:</b> +593-994606932		
	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:manuel.romero@cu.ucsg.edu.ec">manuel.romero@cu.ucsg.edu.ec</a>		
<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>			