

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



**ESTUDIO COMPARATIVO DE LA EVOLUCION DE LOS PROCESOS DE
HANDOVER EN TELEFONÍA MÓVIL**

PRESENTADO POR:

RONALD JOSUÉ GARCÍA AVILÉS

MIGUEL ANGEL OLIVA HERNANDEZ

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

CIUDAD UNIVERSITARIA, ENERO DE 2022

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCON SANDOVAL

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO:

PhD. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

SECRETARIO:

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

DIRECTOR:

ING. ARMANDO MARTÍNEZ CALDERÓN

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO ELECTRICISTA

Título:

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LA EVOLUCION DE LOS PROCESOS DE
HANDOVER EN TELEFONÍA MÓVIL**

Presentado por:

RONALD JOSUÉ GARCÍA AVILÉS

MIGUEL ANGEL OLIVA HERNANDEZ

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

ING. WERNER DAVID MELÉNDEZ VALLE

SAN SALVADOR, ENERO DE 2022

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

ING. WERNER DAVID MELÉNDEZ VALLE

NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, viernes 3 de diciembre de 2021, en la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las 5:00 p.m. horas, en presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

1. Ing. Armando Martínez Calderón
Director
2. MSc. José Wilber Calderón Urrutia
Secretario


Firma


Firma



Y, con el Honorable Jurado de Evaluación integrado por las personas siguientes:

- ING. WERNER DAVID MELÉNDEZ VALLE
(Docente Asesor)


Firma

- MSC. HUGO MIGUEL COLATO RODRIGUEZ


Firma

- ING. WALTER LEOPOLDO ZELAYA CHICAS


Firma

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA EVOLUCIÓN DE LOS PROCESOS DE HANDOVER EN TELEFONÍA MÓVIL

A cargo de los Bachilleres:

- OLIVA HERNÁNDEZ MIGUEL ÁNGEL
- GARCÍA AVILÉS RONALD JOSUÉ

Habiendo obtenido en el presente Trabajo una nota promedio de la defensa final: 8.1

(OCHO PUNTO UNO)

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres por el apoyo recibido para la culminación de mi carrera universitaria, a los colegas que estuvieron en el camino para la obtención de este título y de igual manera deseándoles éxitos en sus carreras profesionales.

Al personal docente de la escuela de ingeniería eléctrica que cada uno puso su grano en las enseñanzas de la vida, al docente asesor que tuvo la paciencia para llevarnos a la culminación de este trabajo, a Juan y Posada que nunca dudaron en ayudar y a Reinita que siempre aconsejaba como debíamos actuar y nunca dudo en prestarnos su ayuda.

¡Gracias a todos por haber hecho este camino un poco más afable!

RONALD JOSUE GARCIA AVILES

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se lo dedico principalmente a Dios por haberme permitido llegar a este momento con bienestar y salud, así como también dando la fortaleza necesaria para poder continuar en los momentos de dificultad.

A mis padres, Miguel Oliva y Claudia Hernández quienes han brindado su apoyo incondicional desde el inicio de la carrera hasta su culminación, motivando siempre a seguir adelante en todo momento para lograr cumplir una meta más en mi vida.

A mis hermanos, Gabriela Oliva y Alejandro Oliva, quienes su apoyo también fue parte importante durante este proceso de estudio, brindando su apoyo incondicional y emocional en los altos y bajos de la vida.

Agradecimiento especial a Reina Vides, ya que sin su apoyo y sus consejos lograr alcanzar la meta no hubiera sido posible, gracias Reinita por ese apoyo incondicional que me brindo durante todo el proceso.

A los catedráticos de la escuela de ingeniería eléctrica, que compartieron sus conocimientos para poder lograr el objetivo principal, especialmente al Ing. Werner quien nos asesoró en este proceso de tesis, a Juan y Posada quienes no dudaban en ayudarnos en los laboratorios de la escuela.

MIGUEL ÁNGEL OLIVA HERNÁNDEZ

Contenido

Lista de ilustraciones	9
Lista de tablas	12
Glosario	13
Objetivos	18
Generales:	18
Específicos:	18
Alcances:	19
Antecedentes:	19
Planteamiento del problema:	20
Justificación.....	20
Resumen	21
Capítulo 1: Antecedentes.....	22
Primera generación.....	22
Segunda generación 2G.....	23
Arquitectura de la red GSM	24
Protocolo e interfaces	26
Proceso de Handover en GSM	32
Procedimiento de Handover para Intra-MSC	33
Procedimiento de Handover para Inter-MSC	35
Handover básico utilizando la conexión de circuitos entre MSC-A y MSC-B	35
Handover GSM a UMTS.....	37
Tercera generación UMTS	37
Arquitectura.....	39
Interfaces	41
Proceso de handover UMTS.....	42
Cuarta Generación.....	46
LTE.....	46
Aumento de la capacidad	49
De UMTS a LTE	50
LTE (Long-Term Evolution).....	51
Arquitectura LTE	52
Protocolos E Interfaces.....	54

Handover	55
Parámetros de Handover	57
Handover en LTE.....	58
CAPITULO 2.	66
Sistema profesional de medición de parámetros de handover por medio de drive test.....	66
Sistema de drive test.....	66
Tipos de Drive Test	67
Equipos que se utilizan para medición drive test	69
Definición de rutas y metodologías de medición	74
Diagrama de bloques de la medición.....	74
Carga de parámetros en los equipos	75
Aplicaciones Del Modelo Drive Test20	75
Herramienta de medición basado en teléfono inteligente.....	79
Capítulo 3.	81
Captura de parámetros por medio de aplicaciones móviles.	81
Aplicaciones de teléfono Android para la medición de parámetros.	81
Google Earth.....	83
Vehículo	83
Teléfono Móvil.....	84
Presentación de capturas de datos.	85
Conclusiones	93
Bibliografía.....	94

Lista de ilustraciones

ILUSTRACIÓN 1: ARQUITECTURA DE LA RED GSM	26
ILUSTRACIÓN 2: NIVELES ENCARGADOS DE LA COMUNICACIÓN, MOVILIDAD Y RECURSOS DE RADIO.	29
ILUSTRACIÓN 3 TÍPICA RED CELULAR CON LAS ESTACIONES BASE POR CELDA (AREFIN, 2011).....	29
ILUSTRACIÓN 4 REUTILIZACIÓN DE LAS FRECUENCIAS. (AREFIN, 2011).....	30
ILUSTRACIÓN 5 PARÁMETRO RxLev PARA GESTIONAMIENTO DE HANDOVER (AREFIN, 2011).....	31
ILUSTRACIÓN 6 NIVELES DE SEÑAL PARA HANDOVER (HANDOVER MANAGEMENT IN GSM CELULAR SYSTEM).....	32
ILUSTRACIÓN 7: PROCEDIMIENTO REALIZADO PARA EL HANDOVER DE FORMA INTRA (3GPP, 2011).	33
ILUSTRACIÓN 8 PROCEDIMIENTO REALIZADO PARA EL HANDOVER DE FORMA INTER (3GPP, 2011)	35
ILUSTRACIÓN 9 PROCEDIMIENTO REALIZADO PARA EL HANDOVER (3GPP, 2011).....	37
ILUSTRACIÓN 10: ARQUITECTURA DE LA RED UMTS. (PROCESOS DE HANDOVER TS 23.009.).....	40
ILUSTRACIÓN 11 MAPA DE CALOR DE THROUGHPUT EN UL (AREFIN, 2011).....	42
ILUSTRACIÓN 12: PROCEDIMIENTO DE HANDOVER INTRA. (3GPP, 2011).....	43
ILUSTRACIÓN 13: PROCEDIMIENTO DE HANDOVER INTER_3G_MSC (3GPP, 2011).....	45
ILUSTRACIÓN 14: PROCEDIMIENTO DE HANDOVER ENTRE 3G_MSC-A Y MSC-B. (PROCESOS DE HANDOVER TS 23.009).	45
ILUSTRACIÓN 15: REPRESENTACIÓN DEL CRECIMIENTO DE TRÁFICO DE DATOS MÓVILES DESDE EL AÑO 2013 HASTA EL 2019	47
ILUSTRACIÓN 16: PRONOSTICO DEL TRÁFICO DE VOZ Y DATOS EN LAS TELECOMUNICACIONES A NIVEL GLOBAL PARA LOS AÑOS 2013 HASTA EL 2018 (ERICSSON, 2019)	48

ILUSTRACIÓN 17: CAPACIDAD DEL CANAL EN MEGABITS POR SEGUNDO (MBPS) EN LOS ANCHOS DE BANDA DE 5, 10 Y 20 MHZ. (COX, 2014)	49
ILUSTRACIÓN 18: EVOLUCIÓN DE LA ARQUITECTURA UTILIZADA EN 2G Y 3G HACIA 4G. (COX, 2014)	51
ILUSTRACIÓN 19: ELEMENTOS PRESENTES EN LA ARQUITECTURA DE 4G.	53
ILUSTRACIÓN 20: REPRESENTACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LA ARQUITECTURA DE LA RED 4G.	54
ILUSTRACIÓN 21: PROTOCOLOS DE INTERFACES ENTRE UN EQUIPO DE USUARIO (UE) Y UN NODO (eNB)	54
ILUSTRACIÓN 22: TIEMPO DE HANDOVER	57
ILUSTRACIÓN 23: PROCEDIMIENTO DE ACTIVACIÓN DE HANDOVER	58
ILUSTRACIÓN 24: HANDOVER BASADO EN X2 SIN LA RECOLOCACIÓN DE S-GW (NAMAKOYE, 2011)	60
ILUSTRACIÓN 25: HANDOVER BASADO EN X2 CON CAMBIO EN S-GW. (NAMAKOYE, 2011).....	61
ILUSTRACIÓN 26: HANDOVER BASADO EN S1 (NAMAKOYE, 2011)	61
ILUSTRACIÓN 27: REPRESENTACIÓN DE UN HANDOVER REALIZADO EN LA CAPA FÍSICA ENTRE LA EUTRAN Y UTRAN (NAMAKOYE, 2011)	63
ILUSTRACIÓN 28: RESUMEN DEL FLUJO DE LLAMADAS EN UN HANDOVER ENTRE E-UTRAN Y UTRAN. (NAMAKOYE, 2011)	64
ILUSTRACIÓN 29: EQUIPO USUALMENTE UTILIZADO PARA REALIZAR UN DRIVE TEST	67
ILUSTRACIÓN 30: MODELOS DE ESCÁNER DE FRECUENCIAS	71
ILUSTRACIÓN 31: RECEPTORES DE GPS	72
ILUSTRACIÓN 32: IMAGEN ILUSTRATIVA DE VEHÍCULO.	73
ILUSTRACIÓN 33: TELÉFONOS INTELIGENTES USADOS PARA LA PRUEBA DEL DRIVE TEST	73

ILUSTRACIÓN 34: DIAGRAMA DE BLOQUES QUE MUESTRA EL PROCESO DE MEDICIÓN DE DRIVE TEST	74
ILUSTRACIÓN 35: FORMA DE EJEMPLO DE OPTIMIZACIÓN DE RED.....	76
ILUSTRACIÓN 36: PARÁMETROS DE CALIDAD EN TECNOLOGÍA 2G.....	77
ILUSTRACIÓN 37: PARÁMETROS DE CALIDAD EN TECNOLOGÍA 3G.....	78
ILUSTRACIÓN 38: EJEMPLO DE EVOLUCIÓN DE SINR.....	80
ILUSTRACIÓN 39: TABLA DE ESTADÍSTICAS SINR.....	80
ILUSTRACIÓN 40: APLICACIONES ALMACENADAS EN LA TIENDA DE GOOGLE.....	81
ILUSTRACIÓN 41: APLICACIONES ALMACENADAS EN LA TIENDA DE GOOGLE.....	82
ILUSTRACIÓN 42: MAPA QUE MUESTRA PARTE DE UN RECORRIDO REALIZADO PARA LA TOMA DE MUESTRAS.....	83
ILUSTRACIÓN 43: IMAGEN ILUSTRATIVA.....	84
ILUSTRACIÓN 44: IMAGEN ILUSTRATIVA DE UN TELÉFONO INTELIGENTE EN LA ACTUALIDAD.....	84
ILUSTRACIÓN 45: INFORMACIÓN SOBRE LA RED 2G A LA CUAL SE ENCUENTRA CONECTADA.....	85
ILUSTRACIÓN 46: INFORMACIÓN SOBRE LA RED 3G A LA CUAL SE ENCUENTRA CONECTADA.....	86
ILUSTRACIÓN 47: INFORMACIÓN SOBRE LA RED 4G A LA CUAL SE ENCUENTRA CONECTADA.....	87
ILUSTRACIÓN 48: INFORMACIÓN SOBRE LA UBICACIÓN DE LAS ANTENAS GRACIAS A LA APLICACIÓN CELLMAPPER.....	88
ILUSTRACIÓN 49: MUESTRA DEL MAPA DE TOMA DE DATOS.....	89
ILUSTRACIÓN 50: GRÁFICA DE RSSI DE ENB 220.....	90
ILUSTRACIÓN 51: GRÁFICA DE RSSI DE ENB 2049.....	90
ILUSTRACIÓN 52: HANDOVER ENTRE ENB 220 Y ENB 2049.....	91

Lista de tablas

TABLA 1 PROTOCOLOS DE SEÑALIZACIÓN	27
TABLA 2: NUEVAS INTERFACES PRESENTADAS EN LA RED UMTS	41
TABLA 3. CUADRO COMPARATIVO ENTRE GENERACIONES PARA LA REALIZACIÓN DE HANDOVER. .	92

Glosario

2G	Segunda Generación
3G	Tercera Generación
4G	Cuarta Generación
3GPP	3rd Generation Partnership Project
ACM	Mensaje de Dirección Completa
AMPS	Advanced Mobile Phone System
AP	Protocolo de Aplicación
ARFCN	Número Absoluto de Canal de Radiofrecuencia
AuC	Centro de Authentication
BCCH	Broadcast Channel
BSC	Base Station Controller
BSIC	Código de identificación de estación base transceptora
BSS	Base Station Subsystem
BSSAP	Base Station System Application Part
BTS	Base Transceiver Station
BTSM	Base Transceiver Station Management
CEPT	Conference Of European Post and Telegraphs
CID	Identificador de Celda
CM	Connection Management
CN	Núcleo de Red
CS Domain	Circuit Switched Domain
DAMPS	Digital Advanced Mobile Phone System

DLSCH	Downlink Shared Channel
Ec/No	Energía Recibida entre densidad de ruido
EDGE	Enhanced Data rates for GSM of Evolution
EIR	Registro de la Identidad de Equipo
eNB	Evolved Node B
EPC	Evolved Packet Core
ETSI	Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones
EUTRAN	Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network
FDD	Duplexación por división de frecuencia
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GMSC	Gateway Mobile Services Switching Center
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Sistema de Pociónamiento Global
GSM	Global System for Mobile Communications
GSMC	
GTP	Protocolo de Tunel de GPRS
HLR	Home Location Register
HO	Handover
HSPA	High-Speed Packet Access
IAM	Initial Address Message
IMEI	International Mobile System Equipment Identity
IMT	Telecomunicaciones Moviles Internacionales
IP	Internet Protocol

IWMSC	Short Messages Service Inter-Working Mobile Switching Center
LAC	Location Area Identity
LAP	Link Access Protocol
LAPD	Link Access Protocol for D-channel
LTE	Long Term Evolution
MAC	Control de Acceso al Medio
MAP	Mobile Application Part
MM	Mobility Management
MME	Mobile Management Entity
MS	Mobile Station
MSC	Mobile Switching Center
MTP	Message Transfer Part
OSI	Interconexión de Sistemas Abiertos
PCC	Policy Charging and Control
PCI	Identificador Fisico de la Celda
PDN	Public Data Network
PDCP	Packet Data Convergence Protocol
PHY	Physical Channel
PLMN	Public Land Mobile Network
PS Domain	Packet Switched Domain
RAT	Teconologia de Acceso de Radio
RCS	Radio Cluster Server
RDSI	Red Digital de Servicios Integrados

RLC	Enlace de Radio Control
RNC	Controlador de Red Radio
RNS	Radio Network Subsystem
RR	Radio Resource Management
RSCP	Potencia Recibida en un Codigo
RSRP	Potencia Recibida de la Señal de Referencia
RSRQ	Calidad de la Señal Recibida de Referencia
RSSI	Indicador de Intensidad de Señal Recibida
RxLev	Received Signal Level
RxQual	Received Signal Quality
SCCP	Signaling Connection Part
SGSN	Nodo de servicio GPRS
SGW	Serving Gateway
SMS-G	Short Messages Services Gateway
SMS-GMSC	Short Messages Service Gateway Mobile Switching Service
SIGET	Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones
SIM	Subscriber Identify Module
SINR	Signal to interference & Noise Ratio
TA	Tracking Area
TAC	Trackinh Area Code
TCAP	Transaction Capabilities Application Part
TDD	Time Division Duplexing
TUP	Telephone User Part

UE	User Equipment
UIT	Union International de Telecomunicaciones
UL-SCH	Uplink Shared Channel
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
VLR	Visitor Location Register
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access

Objetivos

Generales:

- Evaluar y comparar el desempeño de los procesos de Handover en las diferentes tecnologías de la telefonía móvil (2G, 3G y 4G)

Específicos:

- Estudiar las opciones de software libre que permitan modelar los procesos de Handover empleados en telefonía móvil y aplicarlas a un caso concreto en El Salvador
- Elaborar graficas de desempeño teóricas, de las diferentes tecnologías de telefonía móvil, considerando la evolucionan la evolución de los procesos de Handover y analizar la forma en la cual, se beneficia o afecta al usuario final.
- Proponer prácticas y/o guías de laboratorio que permitan explicar el concepto de Handover y calidad de servicio, en las asignaturas que así lo requieran.

Alcances:

- Recopilar y analizar, información referente a la normativa aplicable al Handover y calidad de servicio en las diferentes tecnologías de telefonía móvil
- Con la ayuda de herramientas de software adecuadas, simular el funcionamiento de esta característica y demostrar cómo la misma, influye en los parámetros de desempeño de las redes de telefonía móvil
- Aplicar la simulación anterior, a un caso concreto en El Salvador, incorporando las características propias del entorno seleccionado
- Demostrar la variación en el desempeño de las diferentes tecnologías de telefonía móvil, a medida que los procesos de Handover cambian o se mejoran.
- Proponer prácticas de laboratorio que demuestren esta tecnología y la manera en la cual, se afecta al usuario final.

Antecedentes:

La telefonía móvil en El Salvador, evoluciona con gran rapidez, al igual que en el resto del mundo; una de las consecuencias de dicha evolución, es el aumento en la infraestructura de este tipo de redes, derivada de la reducción en el área de cobertura asignada a cada estación base (algo propio de esta tecnología); el aumento en el número de estaciones base, implica que durante una llamada típica, un usuario podría cambiar de celdas continuamente y con ello (el controlador del sistema) deberá ejecutar los procesos de conmutación respectivos, afectando con ello, diferentes parámetros de desempeño de la red. Uno de dichos procesos, es el Handover, mismo que al implementarse, podría afectar indicadores como probabilidad de error, relación Señal/Interferencia, desvanecimientos de señal, variación de ancho de banda, etc. El presente

Trabajo de Graduación, busca crear herramientas para profundizar en estos temas, de modo que puedan emplearse en las asignaturas que correspondan.

Planteamiento del problema:

Los sistemas de telefonía móvil, incorporan procesos tecnológicos complejos para poder brindar un servicio adecuado a sus usuarios, entre ellos el denominado Handover, el cual (cuando se realiza) afecta a otros parámetros de la red. La adecuada comprensión teórica de esta técnica, requiere de herramientas de software adecuadas que permitan simular el proceso y la visualización de las afectaciones, implica el modelado de variables de desempeño, partiendo de las características propias de la zona en la cual se considere y la tecnología móvil que se considere. El presente trabajo, busca proponer herramientas para visualizar lo anterior, de modo que ayuden a comprender mejor este fenómeno.

Justificación

El presente Trabajo, busca fortalecer las competencias de los estudiantes en el campo de la telefonía móvil, al profundizar en las tecnologías que se aplican en dicho campo, a través del desarrollo de herramientas de simulación idóneas, y la parametrización de variables asociadas a la calidad de este tipo de servicios, que ayuden a predecir su desempeño; además, se pretende generar recursos didácticos que podrían utilizarse en la enseñanza de estos conceptos.

Resumen

Las redes móviles en la actualidad son una parte importante en el quehacer diario de las personas, por lo que su evolución ha permitido cambios significativos en la industria. La creciente demanda de aumento de ancho de banda, reducción de latencia, y mejora de movilidad, son los motivos para dar un salto hacia redes Long Term Evolution (LTE).

Hoy en día, estar conectado a una antena de comunicación celular es de suma importancia, ya que el mundo se mueve a través de ella, por lo tanto, con la creciente demanda de equipos móviles, las comunicaciones tuvieron que ir evolucionando su manera de brindar esta conexión sin llegar a dejar de brindar el servicio, aun cuando el equipo móvil se encuentra en movimiento. Esta creciente necesidad de conexión en movimiento es sustentada por los procesos de handover, el cual, mediante la constante medición de ciertos parámetros, permite hacer la toma de decisión sobre el handover de una zona a otra, sin que el usuario llegue a notar esto.

El presente trabajo explora los diferentes procesos de handover en cada una de las generaciones de telefonía móvil, desde la primera generación, como esta ha evolucionado en cada una de sus generaciones hasta la cuarta generación. Así como también se muestra como se realiza una inspección del funcionamiento de la red, principalmente por medio de un *Drive-Test* que ha servido para poder realizar mediciones de parámetros en las diferentes tecnologías simulando un entorno más real en condiciones reales tales como tráfico, número de dispositivos en la zona, velocidad a la que se mueve el UE, entre otros.

Capítulo 1: Antecedentes

Primera generación

A finales de los años ochenta surge la primera generación de telefonía móvil conocida como AMPS (Advanced Mobile Phone System). Cada país adopto su sistema independiente de cada país, esta solo se basaba básicamente en la gestión de llamadas y no existía paquetería de datos. Esta generación da pie al termino de Handover en telefonía móvil el cual es un parámetro importante en la gestión de llamadas telefónicas móviles, este concepto es poco utilizado en la primera generación debido a que los recursos que se deben asignar para mantener las llamadas en curso y constante movimiento no eran óptimos para la época, este handover es conocido como Hard Handover en la cual existe una interrupción importante en la llamada.

- USA – 1978
- Australia – 1987

Tenía problemas fundamentales como:

- No encripta llamadas por lo consiguiente se puede escuchar
- Puede ser clonado
- Es muy ineficiente

Luego fue superada por AMPS (D-AMPS)

- Usan espectro con licencia
- Reúsan frecuencias
- Celdas vecinas usan diferentes frecuencias para prevenir interferencias
- Definen la arquitectura básica de celular.

Segunda generación 2G

A principios de los años ochenta el desarrollo de tecnologías móviles en Europa condujo a que muchos países adoptaran un estándar propio y diferente de comunicaciones móviles análogas, hecho que impedía que existiera interoperabilidad entre países. Para el año 1982 la Conferencia Europea de administraciones de correos y telecomunicaciones (CEPT, por sus siglas en inglés) creó un grupo de trabajo para desarrollar un sistema que permitiera la interoperabilidad entre los países de la región llamado Grupo Especial para móviles (GSM, por sus siglas en francés) compuesto por 26 compañías europeas de telecomunicaciones. Este grupo propuso crear un nuevo sistema de comunicaciones inalámbricas con los siguientes objetivos: itinerancia (roaming) internacional, eficiencia espectral, soporte para nuevos servicios y compatibilidad con RDSI (red digital de servicios integrados). En 1989 se delegó la responsabilidad de continuar con el desarrollo del estándar al Instituto europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI, por sus siglas en inglés) el cual modificó el nombre del proyecto a Sistema Global para las comunicaciones móviles (GSM, por sus siglas en inglés) La evolución del estándar está marcada por tres fases principales:

- En esta fase se desarrollaron las especificaciones.
- Se propuso incluir servicio de datos y fax.
- La actualización de la fase 2 condujo a Fase 2+ donde se propuso mejorar la codificación de la voz y se desarrollaron servicios nuevos en cuanto a la transmisión de datos avanzados (GPRS 2.5G Y EDGE 2.75).

GSM está basado en un sistema de conmutación de circuitos, diseñado inicialmente para servicios de voz, al que posteriormente se le implementaron servicios de datos, tales como: mensajes de texto que soportaban el envío y recepción de 160 caracteres y un servicio de transferencia de datos que soportaba una tasa de 9.6 Kbps.

Arquitectura de la red GSM

Una red GSM está compuesta por los siguientes elementos que hacen parte de la red pública móvil terrestre (PLMN, por sus siglas en inglés):

1. Estación móvil (MS, Mobile Station) Es el terminal físico usado por el usuario para acceder a los servicios de la red GSM.
2. Módulo de identidad del abonado (SIM, Subscriber Identity Module) una de las principales características de GSM es diferenciar la identidad del usuario a la identidad del terminal. La tarjeta SIM está asociada a la identidad del usuario y es un chip que se debe introducir en el terminal GSM.
3. Estación transmisora-receptora de base o estación transceptora de base (BTS, Base Transceiver Station) es el encargado de proporcionar vía radio, el enlace entre la red y el terminal del usuario.
4. Controlador de estaciones base (BSC, Base Station Controller) Encargado de las funciones centrales y de controlar el subsistema de estaciones base (BSS, Base Station Subsystem) el cual está compuesto por el BSC y las BTS's.
5. Unidad de transcodificación (Transcoding Rate and adaptation unit) Es el encargado de comprimir la información en el interfaz aéreo cuando es necesario, permite que tasas de datos de 8, 16 y 32 Kbps puedan ser enviadas a redes RDSI de MSC que solo permitían tasas de 64 Kbps.
6. Centro de conmutación de servicios móviles o centro de conmutación de móviles (MSC, Mobile Service Switching Center) encargado del enrutamiento de llamadas entrantes y salientes, además de encargarse de la asignación de canales de usuario entre el MSC y LAS BSC.

7. Registro general de abonados (HLR, Home Location Register) es la base de datos encargada de administrar la información de los abonados, tales como la posición del móvil y la información del perfil de servicio.
8. Registro de abonados itinerantes (VLR, Visitor Location Register) está diseñado para no sobrecargar el HLR y su función es guardar los mismos datos del HLR cuando el abonado está en itinerancia (Roaming).
9. Centro de autenticación (AuC, Autenticación center) encargado de almacenar toda la información referente a la seguridad, tal como las claves de autenticación y encriptación.
10. Registro de identidad de equipos (EIR, Equipment Identity Register) Todos los terminales cuentan con un único código de registro llamado IMEI (International Mobile Equipment Identity) El EIR es utilizado para tener una relación de la identidad de todos los equipos abonados, la cual permite identificar a los usuarios autorizados.
11. (GMSC, Gateway Mobile Switching Center) punto donde se encaminan la terminación de una llamada cuando no se tiene el conocimiento de la ubicación de la estación móvil, es el responsable del encaminamiento de la llamada al MSC correcto.
12. SMS-G, término utilizado para describir dos gateways encargados de soportar los servicios de mensajería corta (Short Messages Services Gateway). Está compuesto por SMS-GMSC (Short Messages Service Gateway Mobile Switching Service) el cual es el encargado de la terminación de los mensajes cortos y el IWMSC (Short Messages Service Inter-Working Mobile Switching Center) el cual está encargado de originar los mensajes cortos.

En la ilustración 1 se muestra la arquitectura de la red GSM. La cual puede ser subdividida en tres subsistemas: La de estaciones base (BSS, Base Station Subsystem; sistema de conmutación central (MSC, Master switching center) y finalmente el subsistema de operación y mantenimiento (OMSS, Operation and Maintenance Subsystem).

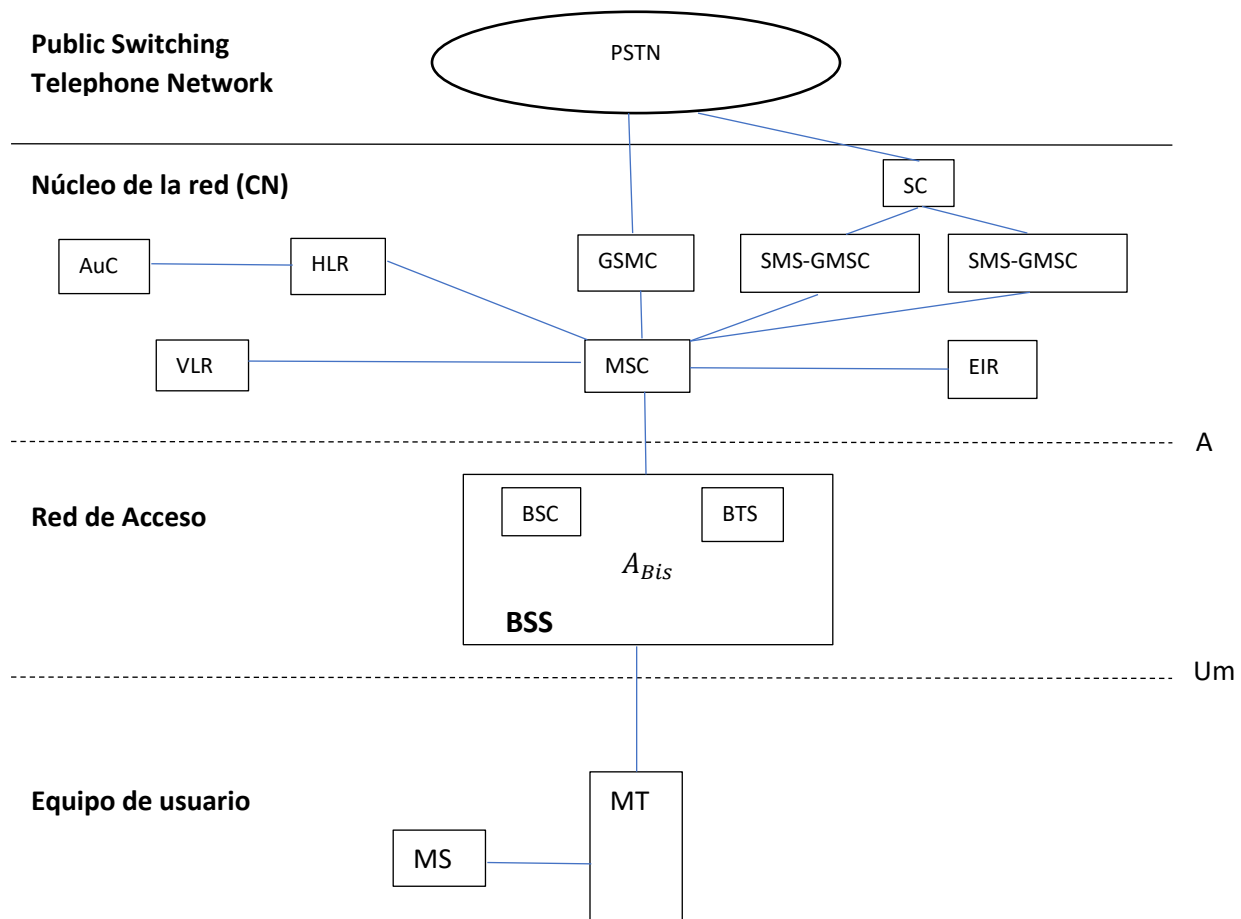


Ilustración 1: Arquitectura de la Red GSM

Protocolo e interfaces

Entre cada uno de los elementos de la arquitectura GSM existe una interfaz independiente, la cual requiere de un propio conjunto de protocolos que permiten su

interconexión, en la siguiente tabla se describen las diferentes interfaces, los tipos de información y los protocolos utilizados.

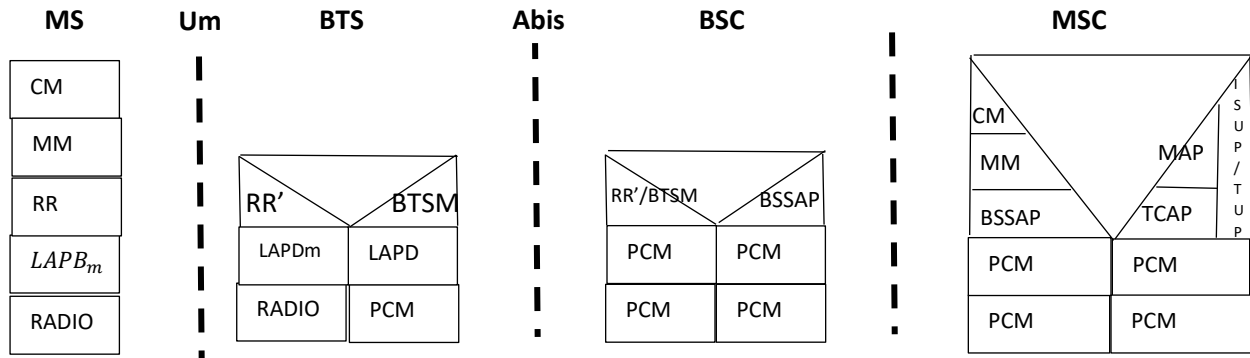
Tabla 1 Protocolos de señalización

Interfaz	Situada entre	Descripción	Intercambio de información	
			Tráfico usuario	Protocolo de señalización
A	MSC - BSC	Permite intercambio de información sobre la gestión del subsistema BSS, de las llamadas y de la movilidad. A través de ella se negocia los circuitos que serán utilizados entre el BSS y el MSC.	SI	SS7
Abis	BSC - BTS	Permite el control de equipos de radio.	SI	LAPD
B	VLR - MSC	VLR es la base de datos que contiene toda la información que permite ofrecer el servicio a los clientes que se encuentran en el área de influencia de sus MSC asociados. Cuando un MSC necesite proporcionar información sobre un móvil, acudirá a su VLR. Esta interfaz NO debe ser externa.	NO	MAP/B
C	HLR - GMSC	Es la interfaz utilizada por los gateways GMSC, para enrutar las llamadas hacia el MSC destino. La GMSC no necesita contar con un VLR, se trata de un nodo que solo transmite llamadas.	NO	MAP/C
D	HLR - HLR	Permite intercambiar información entre ambas bases de datos, esta información se encuentra relacionada con la posición del móvil y la gestión del servicio contratado por el usuario.	NO	MAP/D
E	MSC - MSC	Permite intercambiar la información necesaria para iniciar y realizar un intercambio Inter-MSC cuando el móvil cambia de área de influencia de un MSC a otro.	SI (64 Kbps)	MAP/E, RDSI, ISUP
F	MSC - EIR	Utilizada cuando el MSC desea comprobar el IMEI de un equipo.	NO	
G	VLR - VLR	Utilizada para permitir la interconexión entre dos VLRs de diferentes MSCs	NO	MAP/G
H	MSC - SMS G		SI	MAP/H
I	MSC - MS	Permite el intercambio transparente de datos entre el MSC y el MS a través del BSS		

Um	BSS - MS	Es la interfaz de radio, se encuentra entre la estación móvil y el BSS	Voz: 13Kbps Datos: 9.6 Kbps	LAPDm
----	----------	--	--------------------------------	-------

En la Tabla 1 se muestra una tabla con los protocolos de señalización utilizados para comunicarse entre la estación móvil (MS) y la estación base (BTS), a su vez la estación base (BTS) con la controladora de estaciones base (BSC) y finalmente la controladora de estaciones base (BSC) y el centro de conmutación de móviles (MSC).

En la ilustración 2 se visualizan tres niveles: CM (*communication management*) encargado de la gestión de las llamadas a solicitudes de los usuarios. MM (*Mobility management*) Es el encargado del mantenimiento de la información de localización de los usuarios y finalmente el RR (*radio resource*) el cual está encargado del establecimiento del enlace de comunicación entre el MS y el MSC, los cuales serían referentes al nivel 3 del modelo OSI (nivel de enlace). A su vez los protocolos LAPD y LAP serían análogos con el nivel dos del modelo OSI (nivel de red). El protocolo BTSM (*base transceiver station management*) es el encargado de la comunicación y transferencia de información entre la RR y la BSC. Finalmente, los protocolos SCCP (*Signalling connection control part*) y MTP (*message connection control*) hacen parte del sistema de señalización 7 (SS7).



CM: Connection Management
 MM: Mobility Management
 RR: Radio Resource Management
 LAPDm: Link Access Protocol on Dm Channel
 BTSM – BTS Management
 BSSAP: Base Station System Application Part

SCCP: Signaling Connection Part
 TCAP: Transaction Capabilities Application Part
 MAP: Mobile Application Part
 ISUP - ISDN Part User
 TUP: Telephone User Part
 MTP: Message Transfer Part

Ilustración 2: Niveles encargados de la comunicación, movilidad y recursos de radio.

Una red celular posee estaciones móviles o (MS) por parte del usuario y las estaciones base (BTS) por parte del operador de telefonía, estos se conectan de manera inalámbrica para acceder a la red de telefonía de circuitos público (PSTN), el servicio de cobertura por parte de las estaciones base están divididas en pequeñas áreas a las cuales se les denomina celdas.

Cada una de estas celdas es servida por una estación base (BTS), la estación es fija y está conectada con un control maestro de conmutación (MSC), el control maestro está a cargo de un grupo de estaciones base por lo general de 3 a 5 estaciones base (BTS).

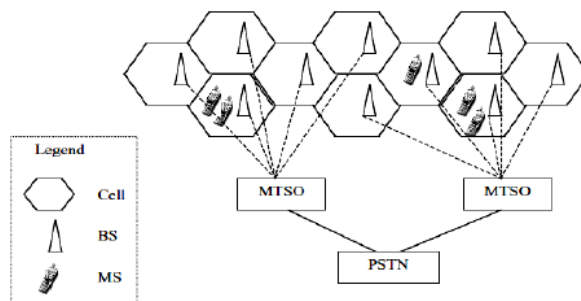


Ilustración 3 Típica red celular con las estaciones base por celda (Arefin, 2011)

De la ilustración 3 se desprende un fenómeno que ayuda a GSM para que fuera una tecnología escalable, dado que el espectro de frecuencia para las telecomunicaciones es bastante limitado, se utiliza el concepto de reutilizar las frecuencias, por esta razón es que la cobertura se divide en celdas más pequeñas, a cada estación base (BTS) se le asigna una banda de frecuencia o canales de tal manera que se interrumpa la interferencia co-canal que pueda existir.

Un grupo de canales deben ser diferentes de un grupo de celdas con sus celdas vecinas, pero el mismo grupo de canales pueden ser asignados a dos celdas que están suficientemente separadas para suprimir la interferencia co-canal y evitar otro fenómeno de salto de frecuencias (hopping).

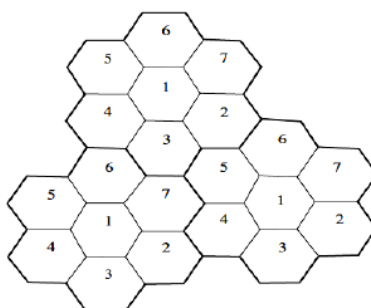


Ilustración 4 Reutilización de las frecuencias. (Arefin, 2011)

Como se aprecia en la ilustración 4, se hace uso de la reutilización de frecuencias por sectores, en GSM se tienen dos tipos de celdas;

- Macro celdas (radio de cobertura de 15 a 30 Km)
- Micro celdas (radio de cobertura de 5 a 15 Km)

Los componentes esenciales en GSM para la gestión de Handover los podemos encontrar en la estación base (BTS), el control maestro de conmutación (MSC) y la estación móvil (MS), estos son los responsables de mantener la calidad de servicio, control de llamadas, mensajes de

señalización, manejo de la movilidad y posteriormente en el manejo de la paquetería de datos ofrecido por cada operador.

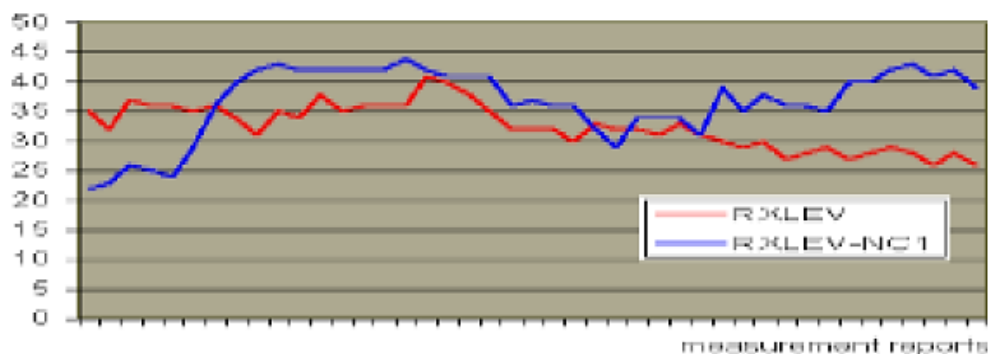


Ilustración 5 Parámetro RxLev para gestionamiento de Handover (Arefin, 2011)

Entre los parámetros que se miden en GSM para realizar handover se tiene, RXLEV, RSSI, C/I entre otros, el grafico anterior el parámetro que está involucrado en el proceso de handover, es el RXLEV, en GSM los reportes de mediciones son realizados por la BSS servidora, este reporte contiene la calidad de señal de radio en el enlace descendente (Downlink) desde la MSC hacia el BTS. Luego la BTS hace las mediciones hacia el MSC o enlace ascendente (Uplink) y envía este reporte a BSS.

De esta manera se decide si se debe realizar un handover hacia otra celda vecina o a otra estación base, estos reportes son periódicamente asignados al canal de control SACCH, el intercambio de mensajes ocurre en un tiempo estimado de 480 ms y como se aprecia en la figura anterior en un momento la estación servidora es la línea roja pero luego decae su medición y la nueva estación servidora se convierte en la línea azul.

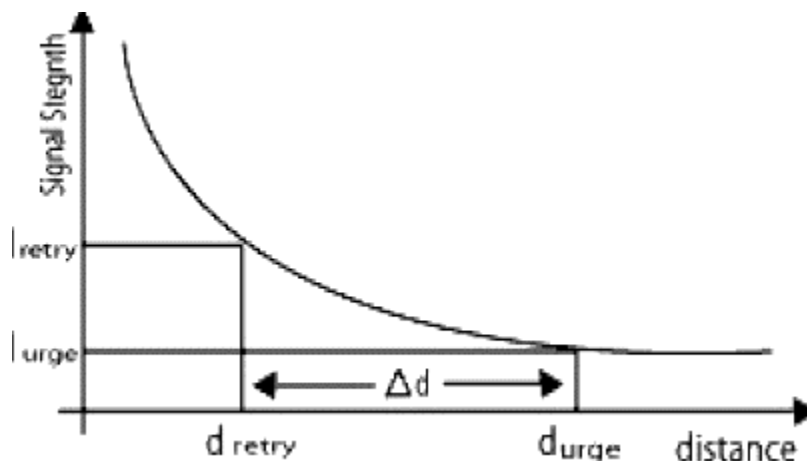


Ilustración 6 Niveles de señal para handover (Handover management in GSM celular system)

GSM tiene un esquema para el manejo de las llamadas muy parecido al grafico anterior, donde la estación móvil y el BTS toman mediciones regularmente, la estación móvil envía estos reportes hacia la BTS, este detecta la caída de la señal de radio y bajo un nivel mínimo (d_{urge}) este inicia la petición de handover y la BTS le informa a BSS el cual debe verificar si el proceso de handover se puede realizar y la conmutación de circuitos ocurre aproximadamente en 0.48s. A continuación, se presenta los procesos de handover en la tecnología GSM.

Proceso de Handover en GSM

El fenómeno denominado handover en la primera generación (1G) se encontraba en sus inicios, la técnica no era la más óptimo de tal manera que las llamadas realizadas por el usuario en movimiento producía una desconexión abrupta del móvil, el mecanismo de handover en la generación de GSM se conduce a partir del criterio de la red, esta realiza mediciones de la red y a su vez la estación móvil (MS) realiza mediciones de las celdas vecinas, estos son reportadas a la celda servidora, se adoptan dos tipos de handover dentro de la tecnología 2G para asegurar que la

conexión entre la estación móvil (MS) se mantenga aun cuando este en movimiento de un sistema de estación base (BSS). Además de contar con el cambio generacional hacia UMTS.

Los casos que se consideran en la especificación técnica TS 23.009 en GSM son:

- Handover entre estaciones base (BS) que esta conectadas al mismo conmutador de circuitos (MSC), este se le denomina *Intra-MSC handover*.
- Handover entre estaciones base (BS) conectadas a diferentes conmutadores de circuitos (MSC) a este se le denomina *Inter-MSC handover*.
- **Handover GSM a UMTS**

Procedimiento de Handover para Intra-MSC

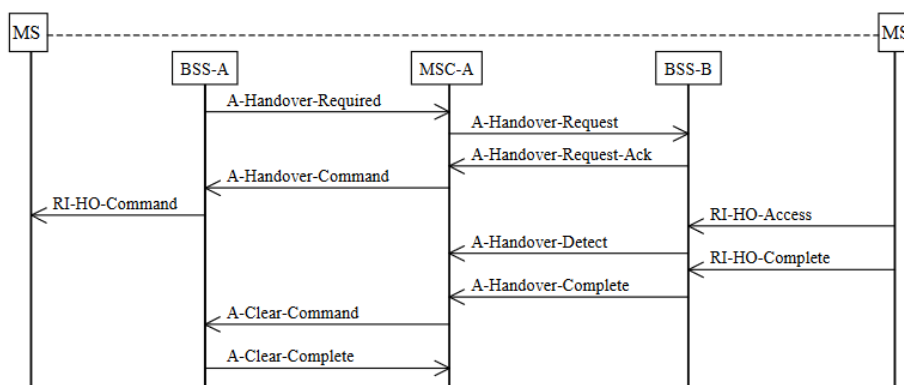


Ilustración 7: Procedimiento realizado para el handover de forma intra (3GPP, 2011).

Previamente la estación móvil (MS) ha realizado la selección de candidatos dentro de BSS basado en los criterios de distancia, calidad, nivel de tráfico por celda, etc. El procedimiento anteriormente se explica de la siguiente manera, cuando la BSS que está soportando al MS, determina que se necesita realizar el procedimiento de handover, este mandara un mensaje de **A-Handover-Requerido** al MSC-A, este mensaje deberá contener una lista de celdas o al menos una celda para que este pueda ser manejado. *Los Criterios no son especificados y es en base*

determinado al operador. Cuando el MSC-A recibe este mensaje comienza el proceso de trasladar el MS hacia BSS-B y genera un mensaje de **A-Handover-Petición** hacia el BSS-B, cuando BSS-B recibe el mensaje este tomara las acciones necesarias para que la MS pueda acceder a los recursos de radio.

Una vez los recursos han sido reservados, BSS-B retorna un mensaje **A-Handover-Petición Admitida** hacia MSC-A, comienza el proceso de instruir al MS para sintonizar el nuevo canal de radio. Un mensaje **A-Handover-Comando** será enviado a BSS-A, una vez recibido, BSS-A enviara un mensaje de interfaz de radio **RI-Handover-Comando** que contiene un numero correlativo que este alojado en BSS-B. De esta manera el MS accede al nuevo recurso de radio usando el número de referencia contenido en el mensaje de **RI-Handover-Acceso**.

El número será chequeado por la BSS-B para asegurar que el MS ha sido conectado. Si es correcto la BSS-B enviara un mensaje **A-Handover-Detectado** hacia MSC-A. Una vez el MS se está comunicando satisfactoriamente con el BSS-B, este enviara un mensaje **RI-Handover-Completado** hacia BSS-B, luego BSS-B enviara un mensaje de **A-Handover-Completado** hacia MSC-A. Una vez recibido el mensaje, MSC-A enviará un mensaje **A-Comando-Liberar** para liberar los recursos de radio alojados en BSS-A y este responderá con otro mensaje de **A-Handover-Completado**.

En caso exista un error en el intento de realizar handover el mensaje que aparecerá será **A-Handover-Fallo** retornado ya sea por BSS-A o BSS-B, de esta manera MSC-A terminara el proceso de handover y optara por alguna de las siguientes opciones:

- Repetir handover hacia la misma celda

- Seleccionar la siguiente ceda de la lista contenida en el mensaje de **A-Handover-Requerido**
- Esperar el siguiente mensaje de **A-Handover-Requerido**
- Envira un mensaje de **A-Handover-Rechazo-Requerido** hacia BSS-A si en dado caso no se ha enviado previamente el mensaje de **A-Handover-Comando**

Procedimiento de Handover para Inter-MS

Aquí se desprende dos opciones para la forma básica y la subsecuente de handover, primero encontramos la conexión de circuitos entre MSC-A y MSC-B y luego se describe el proceso de handover sin necesidad de la conexión de circuitos entre MSC-A y MSC-B.

Handover básico utilizando la conexión de circuitos entre MSC-A y MSC-B

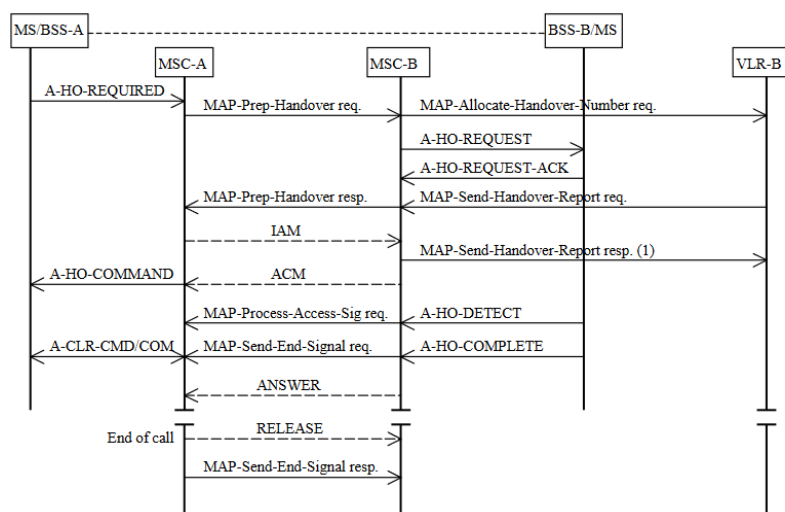


Ilustración 8 Procedimiento realizado para el handover de forma inter (3GPP, 2011)

El procedimiento es el siguiente, una vez ha sido enviado el mensaje de **A-HO-Requerido** por MS/BSS-A, MSC-A deberá enviar un mensaje de **MAP-Preparar de solicitud-Handover** hacia MSC-B incluyendo el mensaje de **A-HO-Petición**. El mensaje MAP request deberá contener en el mensaje de **A-HO- Petición** toda la información necesaria por el MSC-B para la reservación

del canal de radio además identificar la celda donde será trasladada. MSC-B enviara un mensaje de **MAP-Respuesta de preparacion-Handover** luego de haber obtenido el número de handover asociado a VLR donde se intercambian mensajes de **MAP-Numero de petición asignado-HO** y **MAP-Peticion reportado de HO enviada**, este número deberá ser usado para el enrutamiento de la conexión de la llamada desde MSC-A hacia MSC-B. Si hay una canal de tráfico disponible en MSC-B, el mensaje **MAP-Preparacion de respuesta HO** que será enviado a MSC-A contendrá la información completa de **A-HO-Peticion Admitida** que es recibida de BSS-B/MS, conteniendo los recursos de radio. Una vez recibido este mensaje se establecerá un circuito entre MSC-A y MSC-B por procedimiento de señalización soportado por la red, estos mensajes de señalización son IAM (Mensaje de dirección inicial) y ACM (Mensaje de dirección completa).

MSC-B transfiere a MSC-A el conocimiento que ha recibido el MS correcto por medio de **A-HO-Detectado**, una vez recibido este mensaje, es transferido a MSC-A usando el mensaje de **MAP-Petición de proceso de acceso**, luego de haber recibido el MS correcto se envía un mensaje de **A-Ho-Completado** a MSC-A por medio de **MAP-Enviar solicitud de fin**, una vez ocurre esto y MSC-A recibe el mensaje de **A-Ho-Completado** el canal de radio es liberado y los recursos de BSS-A deberán ser limpiados. MSC-A deberá mantener el control de la llamada hasta que el MS indique que se necesitan hacer más ajustes.

Handover GSM a UMTS

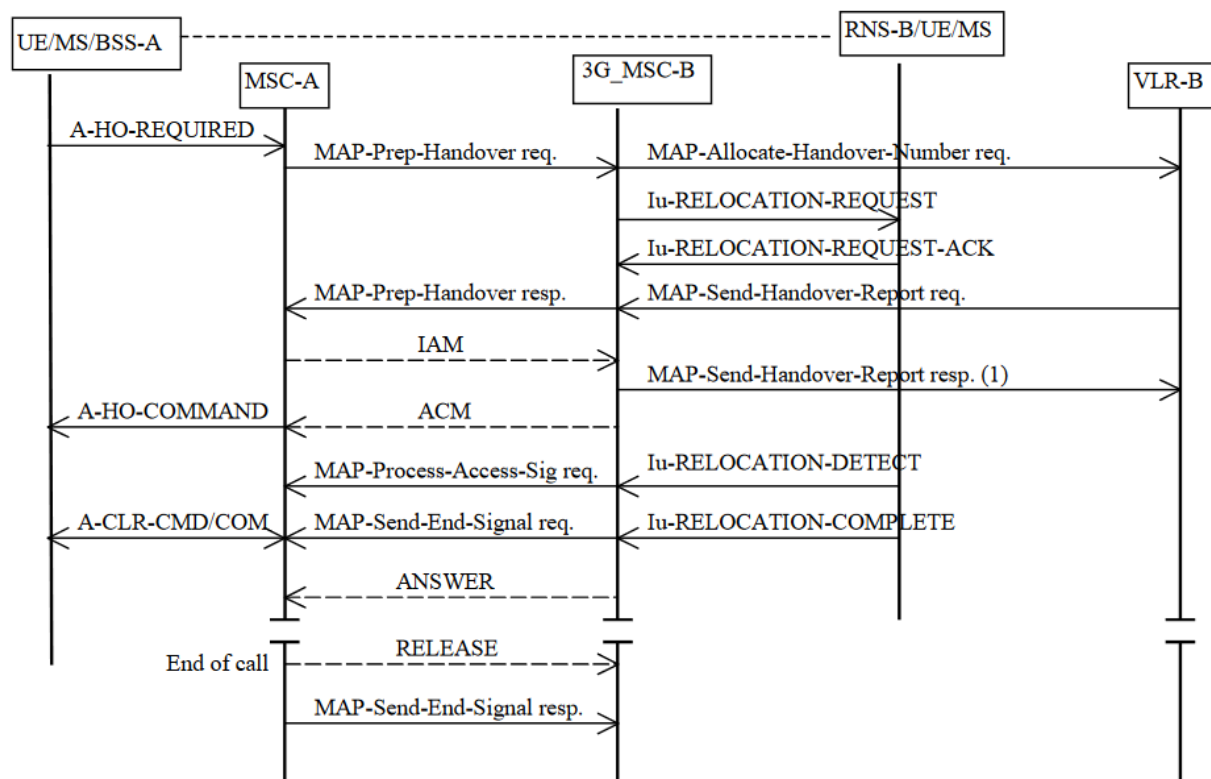


Ilustración 9 Procedimiento realizado para el handover (3GPP, 2011)

Existen varios procedimientos para la ejecución de handover desde GSM a UMTS, la figura 7 ilustra esto de la manera básica de como realizar este procedimiento. Este procedimiento hace uso de elementos de la segunda y tercera generación de telefonía móvil, el intercambio de mensajes es más enriquecido y de igual manera que los procedimientos previos se especifican paso a paso cada uno de los mensajes intercambiados entre cada elemento de la red en la especificación técnica TS 23.009.

Tercera generación UMTS

Para finales de 2001 dentro de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT, por sus siglas en inglés) se ha creado un grupo llamado Telecomunicaciones Móviles Internacionales 2000 (IMT-2000, por sus siglas en inglés) cuyo objetivo era desarrollar las interfaces entre las redes de

tercera generación y las redes que habían evolucionado desde las redes GSM. Entre tanto el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI, por sus siglas en inglés) y un grupo de organismos en asociación determinaron crear un proyecto llamado 3GPP (Third Generation Partnership Project) Cuyo objetivo era crear un estándar para un sistema móvil de tercera generación en el cual su núcleo estuviera basado en la evolución de GSM y que su red estuviera basada en todas las tecnologías de radio acceso existentes (FDD y TDD). Desde el momento del inicio del desarrollo de estos estándares 3GPP comenzó a denominar estos estándares como Servicio Internacional de Telecomunicaciones Móviles. UMTS fue definido como el final de la convergencia entre los sistemas de comunicaciones móviles e internet, permitiendo a los usuarios de esta tecnología acceder a contenidos multimedia de banda ancha sin importar el lugar donde se encuentre ubicado.

El desarrollo de UMTS se definió en varias fases cuyo objetivo final era crear una red de servicios multimedia sin importar la posición del usuario. La primera fase de desarrollo que fue denominada versión 1999, en esta fase se propuso un desarrollo lógico de evolución de las arquitecturas de segunda generación. En la segunda fase denominada versión 2000 fue modificada a Release 4, se propuso un cambio total de la conmutación de circuitos que era usada hasta Release 1999 por una conmutación netamente de paquetes denominada UMTS todo-IP (ALL-IP UMTS network-architecture) Esta propuesta logro que el protocolo IP tomara gran importancia hasta llegar a ser propuesto como el protocolo que se encargaría del transporte de la información de usuario (contenido multimedia) como también para ser el encargado de la información de control y señalización.

UMTS proporciona servicios de voz y datos a diferentes tasas, dependiendo del ámbito en que sean entregados, para servicios satelitales y rurales en exteriores se entrega una tasa de 144

Kbps; para servicios urbanos en exteriores la tasa que se entrega es 384 Kbps; entre tanto para servicios exteriores e interiores de bajo rango de distancias alcanza hasta 2 Mbps.

Arquitectura

Según las especificaciones de la versión-99 (Release-99) se dividen los elementos de red en tres categorías: en la primera están los elementos de núcleo de red GSM como el centro de conmutación de servicios móviles (MSC, por sus siglas en ingles), además de los registros EIR, VLR, HLR y finalmente el centro de autenticación (AuC, por sus siglas en ingles). En la segunda están los elementos de red GPRS, entre ellos SGSN y GGSN. Finalmente, en la tercera están los elementos específicos de la red UMTS: el equipo de usuario (UE, por sus siglas en ingles) y la red de acceso terrestre UMTS (UTRAN, por sus siglas en ingles). En la figura 4 se observa la arquitectura de UMTS, conformada por tres bloques, definidos de la siguiente manera: la red troncal o núcleo (CN, por sus siglas en inglés) la red de acceso a radio (UMTS Terrestrial Radio Access Network) y las terminales móviles (UE, por sus siglas en inglés). La red núcleo (core, en inglés) está basada en la topología de red de GPRS/GSM, encargada de enrutamiento, transporte y bases de datos para el tráfico de la red, compuesta de elementos de conmutación de circuitos MSC, VLR Y GSMC, elementos de conmutación de paquetes como SGSN Y GGSN y otros elementos que soportan ambos tipos de conmutación entre los cuales están el HLR, EIR y AuC, la separación de dominios de circuitos y paquetes es necesaria por la evolución de las redes, claro está que el objetivo final es la convergencia a una única red troncal “todo IP” además también incluiría a la red de acceso, toda esta información se ve más detalladamente en la figura.

La red de radio de acceso terrestre UMTS-UTRAN, considera la inclusión de dos nuevos elementos el controlador de radio de la red (RNC, por sus siglas en ingles) y el nodo B. UTRAN está compuesta por varios radios network systems (RNSs, por sus siglas en ingles) y cada uno de

estos RNS está controlada por un RNC, que permite conectar varios nodos B, y cada uno de estos nodos B presta servicios a múltiples celdas. El RNC y el Nodo B cumplen funciones análogas a las funciones de los BTS y BCS en las redes GSM/GPRS, lo que permite compartir la infraestructura civil, no obstante, en el caso de UMTS para lograr cobertura es necesario adicionar emplazamientos, además se puede compartir la red de núcleo de GSM según la versión que tenga el operador, todas estas posibilidades permiten a los operadores conservar la inversión realizada previamente.

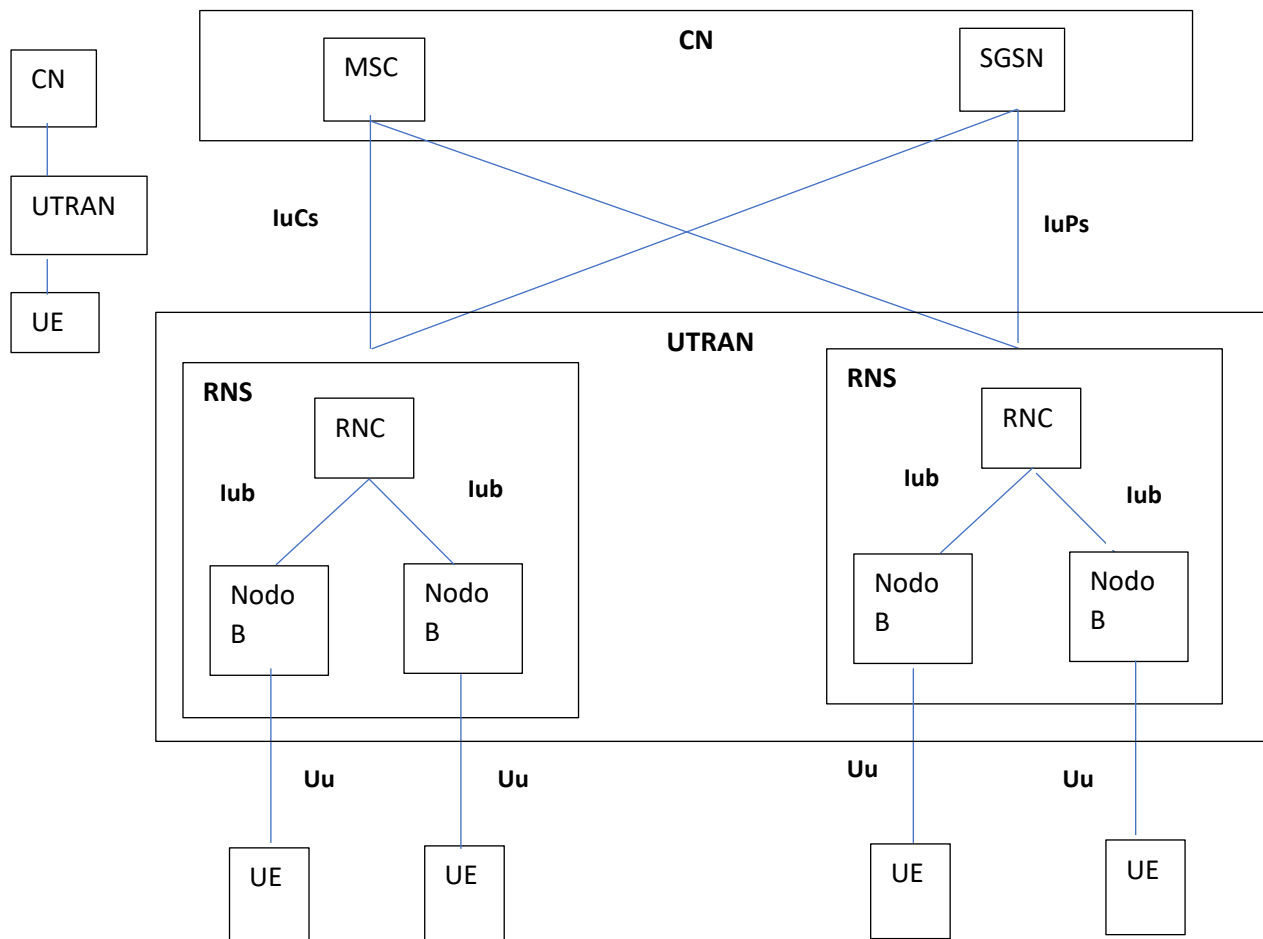


Ilustración 10: Arquitectura de la red UMTS. (3GPP, 2011)

Interfaces

UMTS considera nuevas interfaces que se pueden observar en la siguiente tabla.

Tabla 2: Nuevas interfaces presentadas en la red UMTS

Interfaz		Situada entre
Uu		Equipo de usuario (UE) y NodoB
Iu	Iu-CS	Interfaz para conmutación de circuitos (RNC-MSC/VLR)
	Iu-PS	Interfaz para conmutación de paquetes (RNC-SGSN)
Iub		RNC a NodoB
Iur		RNC a RNC

Como se vio en GSM, los componentes involucrados en realizar el procedimiento de handover se encuentran en UTRAN y CN en UMTS, al igual que en GSM el entramado de celdas es más extenso debido a la adición de los servicios de paquetería de datos y de suscriptores, con la multiplicación de estaciones base que deben prestar el servicio y la conmutación debe ser más transparente hacia el usuario, surge el concepto de división de celda, esto con el fin de reutilizar la frecuencia que es tan limitada y así surgen celdas más pequeñas conocidas como Micro celdas como en GSM y Pico celdas las cuales poseen un radio de cobertura no mayor a 5 Km.

En adición a los parámetros que se miden en GSM, UMTS utiliza EC/No y el Troughoutput, este último medido en los canales de downlink así como también en uplink, ya que los nuevos servicios de paquetería de datos hace evidente que deben realizar nuevas mediciones, en este caso relacionadas al tráfico de datos que se intercambia en la red.

En las siguientes ilustraciones 11 y 12 se logra apreciar la velocidad de descarga de archivos que se lleva a cabo en una zona de estudio, así se puede determinar si en una zona cuenta con una buena cobertura y que la calidad del servicio no se vea afectada en cuanto a la paquetería de datos que es el nuevo servicio prestado en esta tecnología y que es analizado en el drive test.

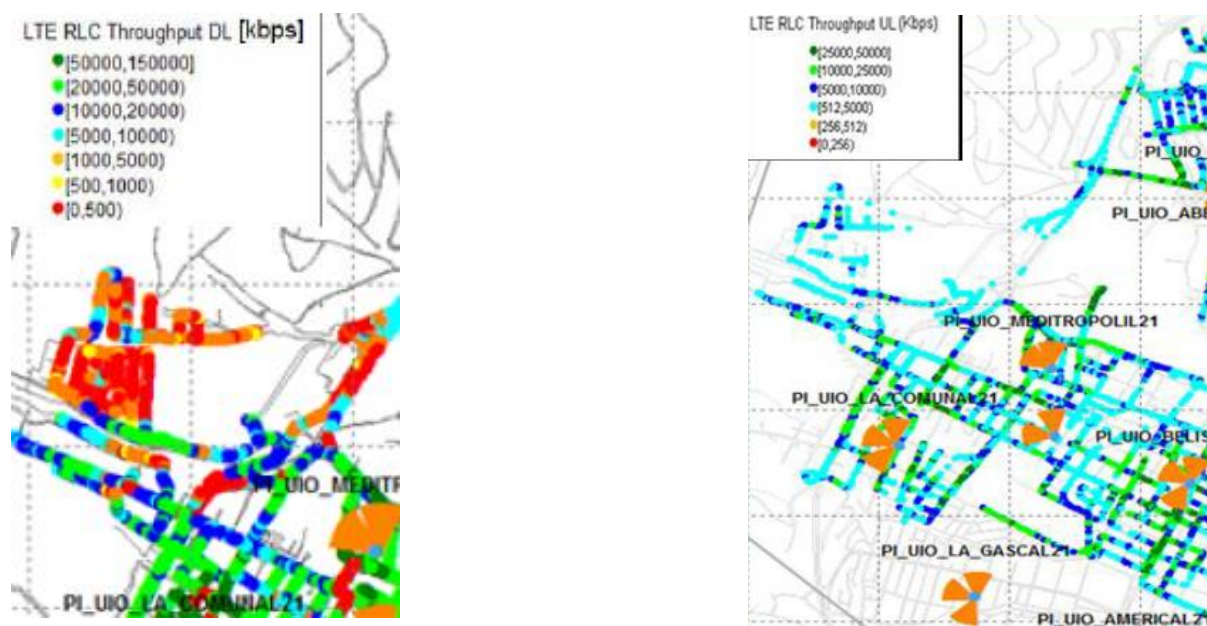


Ilustración 11 Mapa de calor de throughput en el canal de Downlink lado izquierdo y del lado derecho mapa de calor del canal de UL (Arefin, 2011)

Proceso de handover UMTS

La adopción y mejora de los procesos de handover en la tecnología 3G se presentan los siguientes casos:

1. Handover entre estaciones bases conectadas a la misma MSC, conocida como **Intra-MSC handover**.
2. Handover entre subsistemas de redes de radio (RNS) conectadas a la misma 3G_MSC, conocida como **Intra-3G_MSC handover/relocation**.

3. Handover entre estaciones base conectadas a diferentes MSC's, conocida como **Inter-MSC handover**
4. Handover entre subsistemas de redes de radio conectadas a diferente 3G_MSC, conocida como **Inter-3G_MSC handover/relocation**
5. Handover de UMTS a GSM

Procedimiento para Intra-MSC handover

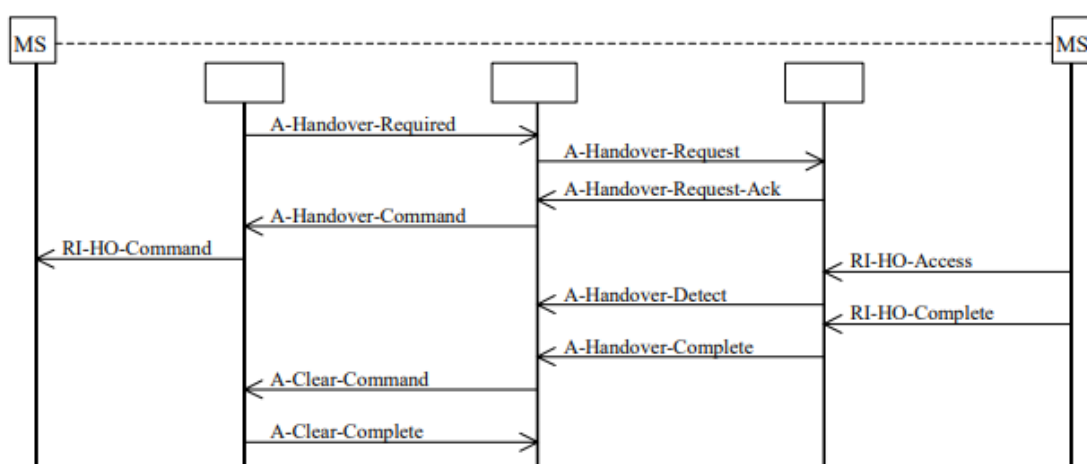


Ilustración 12 Procedimiento de handover Intra.. (3GPP, 2011)

El procedimiento es el siguiente, cuando la BSS-A determina que es necesario hacer un cambio de BSS, este mandara un mensaje de A-Handover-Required hacia MSC-A, este mensaje contiene una o varias celdas donde puede alojar a MS/UE. Una vez recibido el mensaje de BSS-A por MSC-A este comenzara el proceso de trasladar el MS/UE hacia la nueva BSS-B por medio de un mensaje de A-Handover-Request, el nuevo BSS-B tomará las medidas necesarias para que el MS/UE pueda acceder a los recursos de radio de BSS-B, una vez resuelto el alojamiento del MS/UE en BSS-B este dará paso a que efectivamente se realizó la reserva de los recursos de radio por medio de un mensaje A-Handover-Request-Acknowledge hacia MSC-A.

Cuando el MSC-A recibe este mensaje de que se tiene conocimiento, el MSC-A comenzara a instruir a MS/UE sobre el nuevo recurso de radio, un mensaje de A-Handover-Command que detalla que efectivamente se ha realizado la reserva de los medios de radio para que este pueda acceder al BSS-B, luego BSS-A enviara a MS/UE un mensaje en el cual detalla un numero de referencia de handover que otorga BSS-B por medio de RI-HO-Command, luego MS/UE accede al recurso de BSS-B y envía un mensaje de acceso a BSS-B RI-HO-Access, luego la BSS-B analiza si efectivamente el MS/UE es el correcto, una vez detectado el BSS-B envía un mensaje de A-Handover-Detect hacia MSC-A, una vez que se ha entablado la comunicación entre el BSS-B y el MS/UE el BSS-B retorna un mensaje de que el handover ha sido exitoso por medio del mensaje A-Handover-Complete hacia el MSC-A.

El MSC-A es el encargado de finalizar y limpiar el recurso que ha sido utilizado mediante el mensaje de A-Clear-Command hacia el BSS-A y este responde con la liberación de los recursos y envía de nueva cuenta a MSC-A que ha sido liberada.

Descripción del procedimiento de Inter-3G_Handover sin el requerimiento de conexión de circuito entre 3G_MSC-A y MSC-B

El proceso es similar al procedimiento anterior, pero la diferencia radica en 3G_MSC-A no especifica a MSC-B que requiere un numero en cola de handover que se envía a través del mensaje de señalización MAP-Prepare-Handover request.

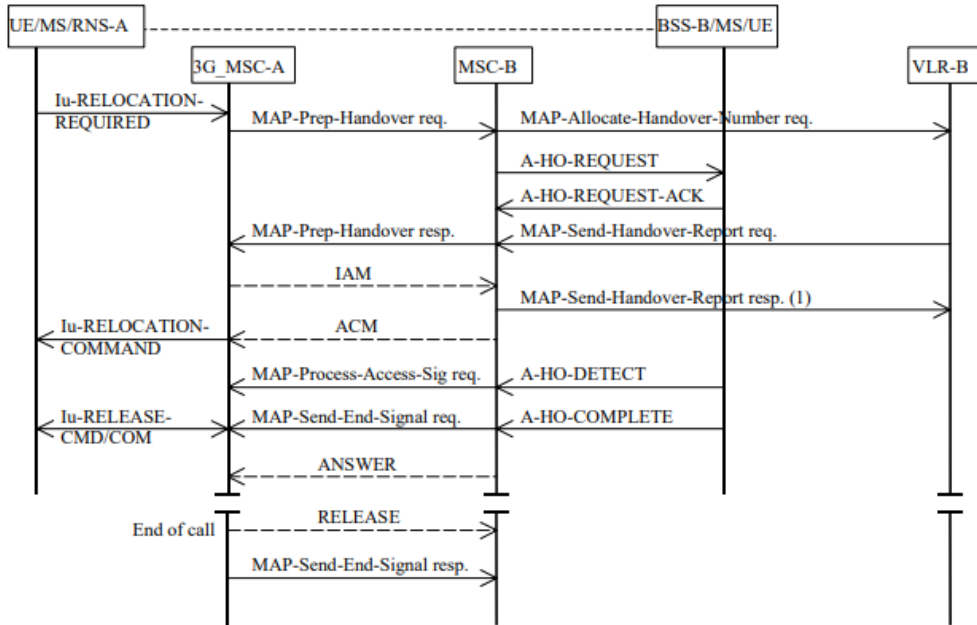


Ilustración 13 Procedimiento de handover Inter_3G_MSC (3GPP, 2011).

Procedimiento básico que requiere conexión de circuitos entre 3G_MSC-A y MSC-B UMTS a GSM.

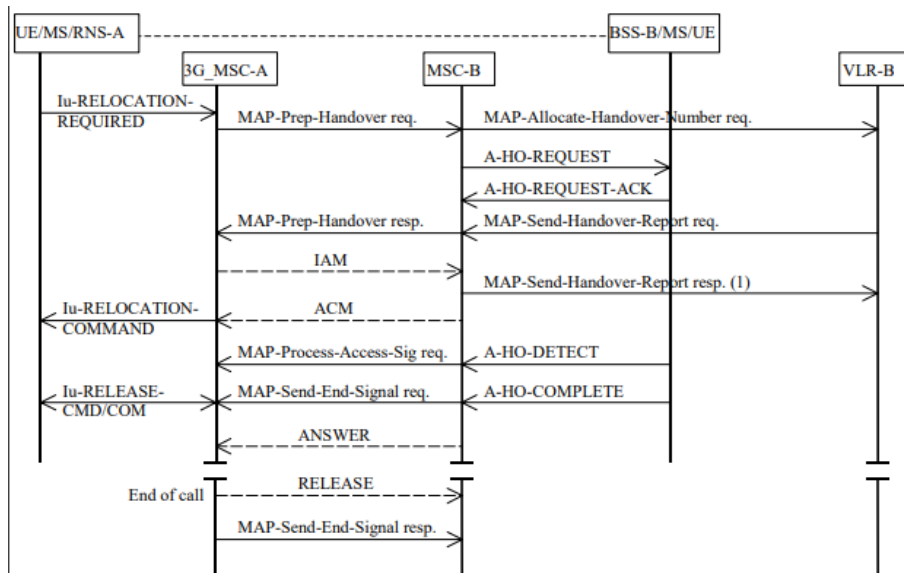


Ilustración 14: Procedimiento de handover entre 3G_MSC-A y MSC-B. (3GPP, 2011)

El procedimiento es el siguiente, UE/MS manda un mensaje de Relocation a 3G_MSC-A, este le envía un mensaje MAP-Prepare-Handover-request que indica la relocalización de los recursos de radio en VLR-B, cuando este mensaje lo recibe MSC_B este manda un mensaje en el cual aloja un número de identificación a VLR-B y otro mensaje de Request a UE, una vez ha detectado el intento de traslado, UE envía un mensaje de Rquest-Acknowledge y VLR-B envía un mensaje MAP-Send-Handover-Report request a MSC-B.

Una vez que ha recibido la información MSC-B este responde con MAP-Prepare-Handover response hacia MSC-A, a partir de haber recibido este mensaje MSC-A inicia la conexión entre 3G-MSC-A MSC-B por medio de IAM, luego MSC-B responde que se ha iniciado la conexión y envía MAP-Send-Handover-Report response VLR-B y responde también a 3G_MSC-A con ACM que le indica que se ha completado la conexión entre estos dos, MSC-B, este a su vez envía un mensaje de MAP-Process-Access-Signalling request y MAP-Send-End-Signal-request para que sea limpiado el recurso de que existía en 3G_MSC-A.

Cuarta Generación

LTE

Durante muchos años, las llamadas de voz dominaron el tráfico en las redes de telecomunicaciones móviles. El crecimiento de los datos móviles fue inicialmente lento, pero en los años posteriores a 2010 su uso empezó a aumentar drásticamente. La figura 20 ilustra como fue el crecimiento del tráfico de datos [en petabytes], contra el crecimiento del tráfico de voz en las telecomunicaciones en los años comprendidos entre 2013 – 2019.

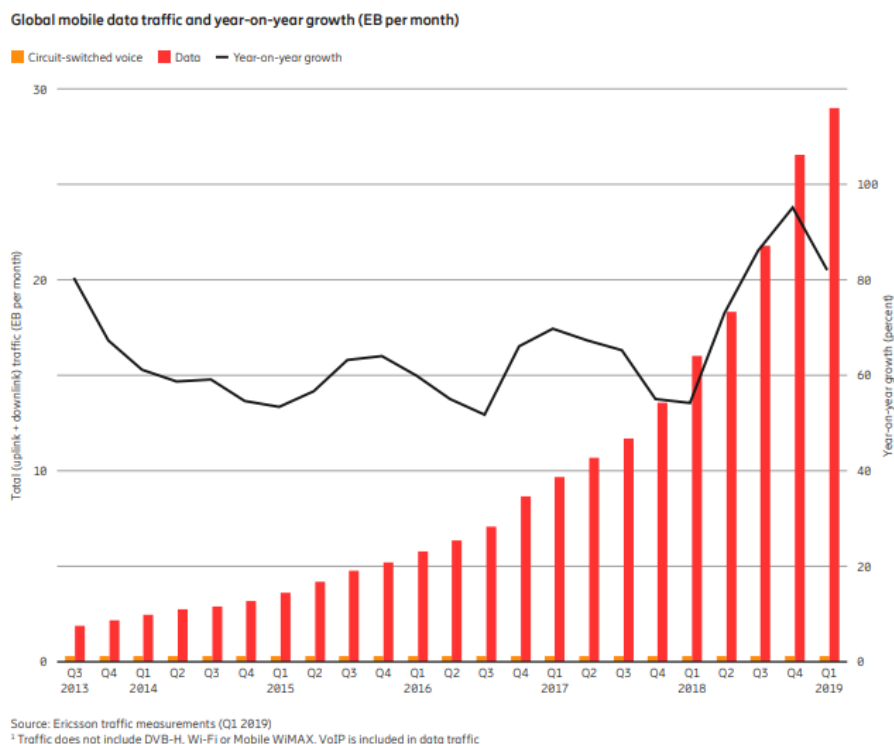


Ilustración 15: Representación del crecimiento de tráfico de datos móviles desde el año 2013 hasta el 2019

Esta tendencia al alza del uso de datos contra las llamadas de voz continuara creciendo con el paso de los años, ya que, las tecnologías cada vez más se enfocan más en mejorar la velocidad de transmisión de datos, su seguridad, su movilidad, su capacidad de usuarios, etc., lo cual provoca que el aumento en petabytes por mes sea mayor cada año, como se puede apreciar en la figura 18 en donde se muestra las previsiones de Analysys Mason sobre el crecimiento del tráfico móvil en el periodo de 2013 a 2018.

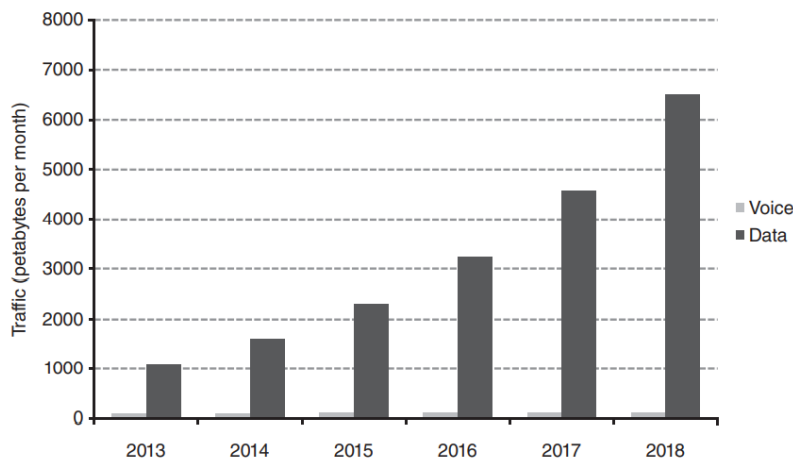


Ilustración 16: Pronostico del tráfico de voz y datos en las telecomunicaciones a nivel global para los años 2013 hasta el 2018 (Ericsson, 2019)

En parte, este crecimiento fue impulsado por la mayor disponibilidad de las tecnologías de comunicación 3,5G. Sin embargo, lo más importante fue la introducción del iPhone de Apple en 2007, seguido por los dispositivos basados en el sistema operativo Android de Google a partir de 2008. Estos teléfonos inteligentes eran más atractivos y fáciles de usar que sus predecesores y fueron diseñados para soportar la de aplicaciones por parte de desarrolladores externos. El resultado fue una explosión en el número y el uso de aplicaciones móviles, que se refleja en los diagramas. Como factor coadyuvante los operadores de redes habían intentado previamente fomentar el crecimiento de los datos móviles mediante la introducción de planes de tarifas planas que permitían descargas de datos ilimitadas.

Esto llevó a una situación en la que ni los desarrolladores ni los usuarios estaban motivados para limitar su consumo de datos. Como resultado de estos problemas, las redes 2G y 3G empezaron a congestionarse en los años alrededor de 2010, lo que llevó a la necesidad de aumentar la capacidad de la red.

Aumento de la capacidad

Existen distintas formas de poder aumentar la capacidad del sistema en una comunicación móvil, siendo el uso de células más pequeñas la primera de ellas, es decir, a mayor número de estaciones base, menor tamaño de célula, aumenta el número de células juntas aumentando así la capacidad de la red.

La segunda forma se basa en aumentar el ancho de banda, pero este proceso es limitado ya que el creciente uso de telecomunicaciones en las redes 2G y 3G ha llevado a usar mas espectros del espectro radioeléctrico, esto gestionado por la UIT y otros entes nacionales, sin embargo, este espectro es limitado y se tiene que dejar espacio para comunicaciones militares y radioastronómicas.

La tercera forma se basa en mejorar la tecnología de comunicación utilizada, de esta forma se aportaría distintas ventajas tales como: acercamiento de la capacidad teórica del canal, explotar la mayor SINR. Esta mejora progresiva de la tecnología ha sido una de las principales razones para la introducción a la tecnología LTE

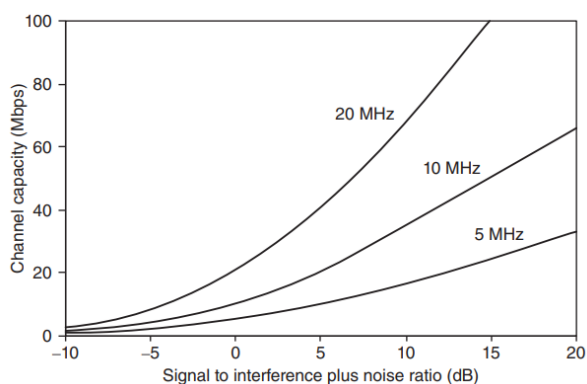


Ilustración 17: Capacidad del canal en Megabits por segundo (Mbps) en los anchos de banda de 5, 10 y 20 MHz. (Cox, 2014)

De UMTS a LTE

En 2004, el 3GPP dio inicio a un estudio sobre la evolución del UMTS a largo plazo, con el objetivo de mantener los sistemas de comunicaciones móviles, ya que estos resultar ser competitivos en un plazo aproximado de 10 años, la ilustración 19 muestra la arquitectura de esta nueva tecnología y como esta fue desarrollada a partir de la red UMTS.

En esta nueva arquitectura, el EPC sustituye de forma directa al dominio de conmutación de paquetes presente en UMTS y GSM (3G y 2G respectivamente), y al no existir un equivalente del dominio de conmutación de circuitos, permite a la nueva red LTE optimizarse para la entrega de tráfico de datos, pero esto implica que, a partir de ahora las llamadas de voz sean tratadas con diferentes técnicas.

La E-UTRAN es la nueva encargada de las comunicaciones radioeléctricas del EPC con el móvil, por lo que, este es un sustituto directo de la red UTRAN

La nueva arquitectura se ha diseñado en el marco de dos temas de trabajo de la 3GPP:

- Evolución de la arquitectura del sistema (SAE)
- Evolución a largo plazo (LTE)

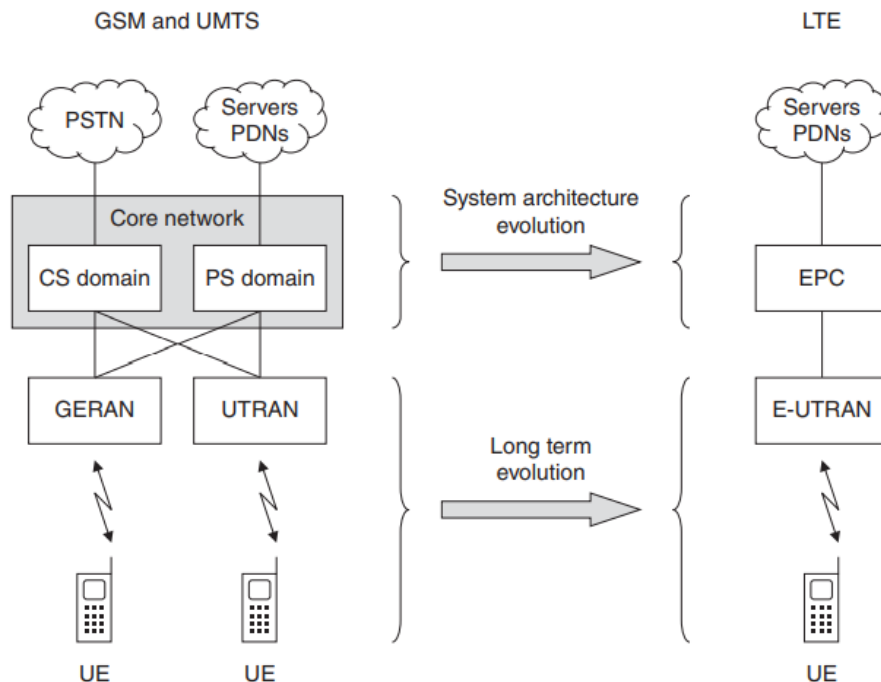


Ilustración 18: Evolución de la arquitectura utilizada en 2G y 3G hacia 4G. (Cox, 2014)

LTE (Long-Term Evolution)

El principal resultado del estudio sobre la evolución a largo plazo fue una especificación de requisitos para la interfaz aérea, en la que los requisitos más importantes eran los siguientes.

LTE debía ofrecer una velocidad de datos máxima de 100 Mbps en el enlace descendente y de 50 Mbps en el enlace ascendente. Este requisito se superó en el sistema final, que ofrece velocidades de datos máximas de 300 Mbps y 75 Mbps respectivamente. A modo de comparación, la velocidad de datos máxima de WCDMA, en la versión 6 de las especificaciones 3GPP es de 14 Mbps en el enlace descendente y de 5,7 Mbps en el ascendente.

Sin embargo, nunca se insistirá demasiado en que estas velocidades máximas de datos sólo pueden alcanzarse en condiciones idealizadas, y son totalmente inalcanzables en cualquier escenario realista. Una medida mejor es la eficiencia espectral, que expresa la capacidad típica de

una célula por unidad de ancho de banda. LTE debía soportar una eficiencia espectral entre tres y cuatro veces mayor que la de la versión 6 WCDMA en el enlace descendente y de dos a tres veces mayor en el enlace ascendente.

La latencia es otra cuestión importante, sobre todo para las aplicaciones de tiempo crítico, como la voz y los juegos interactivos. Esto tiene dos aspectos. En primer lugar, los requisitos establecen que el tiempo que tardan los datos en viajar entre el teléfono móvil y la red fija debe ser inferior a 5 ms, siempre que la interfaz aérea no esté congestionada. En segundo lugar, veremos que los teléfonos móviles pueden funcionar en dos estados: un estado activo en el que se comunican con la red y un estado de espera de bajo consumo. Los requisitos establecen que un teléfono debe pasar del estado de espera al activo, tras una intervención del usuario, en menos de 100 ms.

También hay requisitos de cobertura y movilidad. LTE está optimizado para tamaños de celda de hasta 5 km, funciona con un rendimiento degradado hasta 30 km y admite tamaños de celda de hasta 100 km.

De igual manera, está optimizado para velocidades móviles de hasta 15 km h⁻¹, funciona con alto rendimiento hasta 120 km h⁻¹ y soporta velocidades de hasta 350 km h⁻¹. Por último, LTE está diseñado para trabajar con unos diferentes anchos de banda, que van desde 1,4 MHz hasta un máximo de 20 MHz.

Arquitectura LTE

La arquitectura de una red LTE es basada en IP plana, es decir, una arquitectura bien estructurada con su diseño “desde cero”. Esto implicó la desaparición del dominio de circuitos, la señalización SS7 y los controladores de radio. Esta nueva arquitectura se subdivide en dos partes:

- Red de acceso (E-UTRAN)

- Núcleo de Red (EPC)

Red de Acceso E-UTRAN (Evolved-UTRAN) presenta un elemento funcional denominado e-NodeB, que es un híbrido entre la estación base y controlador, todo esto interconectado al núcleo EPC mediante una red IP y es transportado por las interfaces S1 y X2.

Núcleo de Red (EPC), constituido por conmutadores de paquetes, servicios de control y bases de datos conectado a través de IP.







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

Ilustración 19: Elementos presentes en la arquitectura de 4G.

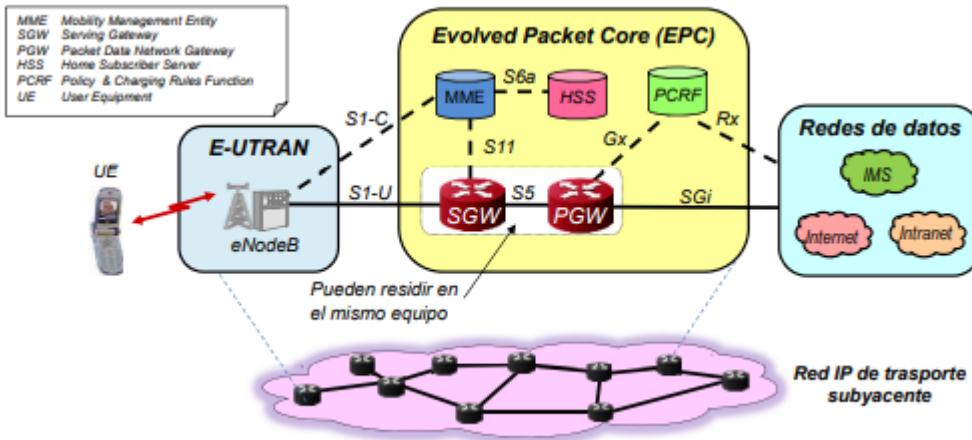


Ilustración 20: Representación de la estructura de la arquitectura de la red 4G.

Protocolos E Interfaces

Interfaz de Radio

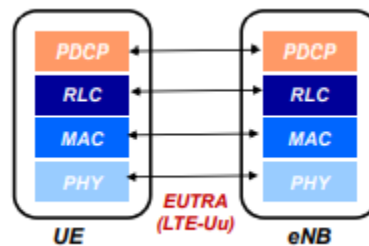


Ilustración 21: Protocolos de interfaces entre un equipo de usuario (UE) y un nodo (eNB)

En la ilustración 22 se aprecia los protocolos de la interfaz de radio presentes en la comunicación entre el equipo del usuario y el eNB, los cuales son:

- PDCP (Protocolo de Convergencia de Paquete de Datos), el cual brinda un cifrado basado en la norma 3GPP TS 35.291 y una compresión de cabeceras IP según los datos a transportar basados en IETF RFC 4995

- RLC (Control de Radio Enlace), en el cual se encuentra el protocolo de enlace entre el móvil y eNB; el cual posee varios modos de operación.
- MAC (Control de Acceso al Medio), este gestiona los recursos físicos en canales compartidos tales como UL-SCH y DL-SCH; así como también retransmisiones híbridas H-ARQ.
- PHY (Capa Física), el cual se encarga de la modulación, codificación del canal, etc.

Interfaz S1

Presenta dos tipos diferentes de interfaces según el plano a considerar, S1-C (plano control) y S1-U (plano usuario).

- Interfaz S1-C: presenta la señalización S1-AP, la cual gestiona los recursos de radio, avisos, handover, etc.; así como también un transporte fiable con SCTP.
- Interfaz S1-U: aquí se realiza el tráfico de usuario entre eNB y SGW.

Protocolo del Núcleo de Red

Este se divide en dos, siendo estos el plano de usuario y el plano de control. El plano de control se encarga del establecimiento y liberación de túneles GTP, y el plano de usuario del transporte de paquetes IP sobre túneles GTP

Handover

El Handover en LTE puede ser dividido en tres fases: Preparación, Ejecución y Finalización.

- Preparación: Esta fase incluye mensajes como el control de las mediciones, el cual define los parámetros de medición del UE y el envío del reporte de estas mediciones de acuerdo al criterio de activación establecido.
- Ejecución: Esta fase es iniciada cuando el eNB fuente envía un comando de Handover al UE, el cual necesita sincronizarse con el eNB objetivo para obtener información de este eNB y sus parámetros.
- Finalización: En esta fase el eNB objetivo informa al MME que el camino del usuario ha cambiado, cambiando así el flujo de datos en el SGW, para finalmente liberar los recursos del eNB fuente.

Para LTE se tiene unas condiciones predefinidas de Handover o definiciones de umbrales en la red para activar el procedimiento de Handover, así, la decisión de activar el handover es un componente crucial en el diseño del proceso de handover ya que el éxito de un handover eficiente depende de la precisión y del tiempo de estas decisiones. A continuación se presentan algunos de estos criterios:

- Minimizar el número de handover fallidos: Debe de evitarse la terminación de la llamada debido al Handover, es decir que, la conversación debe permanecer sin interrupciones cuando los móviles se mueven de una eNB a otra eNB realizando el Handover.
- Minimizar el número de handovers innecesarios: Siempre es deseable minimizar los handovers innecesarios ya que un exceso de ellos incrementa la carga de la conmutación disminuyendo la calidad de la comunicación, y la capacidad de tráfico del sistema.
- Minimizar el número absoluto de handovers iniciados: El número de iniciaciones de Handover aumenta significativamente si se produce el efecto Ping-Pong o si ocurre una selección incorrecta de eNB destino.

- Minimizar el retraso de Handover: El Handover debe de ser rápido para que el usuario no experimente una degradación de la comunicación o una interrupción.

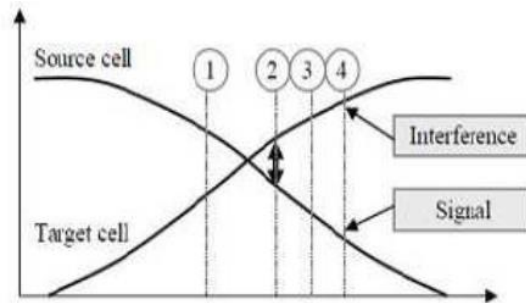


Ilustración 22: Tiempo de Handover

En donde:

1. El UE identifica el eNB objetivo
2. Informe de rangos completado
3. Después de que el UE ha promediado la medida, envía un reporte al eNB fuente
4. eNB fuente envía un comando de Handover al UE

Parámetros de Handover

El procedimiento de handover tiene diferentes parámetros los cuales son utilizados para mejorar su rendimiento y ajustar estos parámetros a sus valores optimos es una importante tarea. Para LTE, el activador de handover se encuentra basado usualmente en la medición de la calidad del enlace entre otros. A continuación, se presentan algunos de los más importantes:

- Inicio de Handover por nivel de umbral de RSRP y RSRQ: Cuando el umbral de handover decrece, la probabilidad de un handover tardío decrece y aumenta la probabilidad de que el efecto ping-pong surja.

- Margen de Histéresis: También llamado HOM es el parámetro que gobierna el algoritmo del Handover entre dos eNB's. El Handover es iniciado si la calidad del enlace de otra eNB es mejor que la eNB servidora por medio de un valor de histéresis.
- Time-to-Trigger (TTT: Tiempo de disparo): Cuando este parámetro es aplicado, el Handover es iniciado solo si el requisito de activación es satisfecho por un intervalo de tiempo.

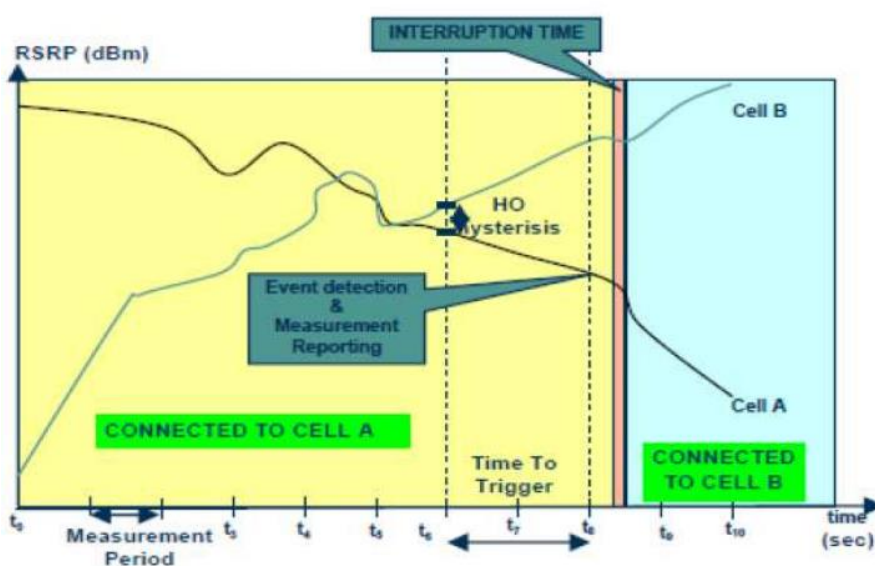


Ilustración 23: Procedimiento de Activación de Handover

Handover en LTE

Dentro del EPC puede producirse varios tipos de handover, el handover intra E-UTRAN es producido dentro de la red de LTE, este tipo de handover se produce a través de la interfaz X2 o S1 mientras que el handover inter-RAT tiene lugar entre E-UTRAN y otras redes.

En la práctica se supone que un UE siempre se encuentra desplazándose, realizando handover entre distintas eNB, cuando un UE se desplaza de una zona a otra puede producirse los siguientes tipos de traspaso:

- Handover entre eNB conectado a la misma MME.
- Handover entre eNB con cambio MME.
- Handover en eNB con cambio en MME y SGW.

Dentro de la red, el MME tiene un enlace directo con el S-GW, para todo tráfico perteneciente al plano de usuario. Cuando un handover es producido entre eNB, es posible que se tenga que realizar un handover del SGW, teniendo en cuenta dos protocolos para diferentes nodos en la red; S1- AP y X2-AP, en donde el primero es utilizado para la comunicación entre dos MME y el segundo para dos eNB.

Los tres tipos de traspaso que se producen en LTE pueden resumirse como:

- Traspaso basado en X2: sin cambio de SGW
- Traspaso basado en X2: con cambio de SGW.
- Traspaso basado en S1: con cambio de eNB, MME y SGW.

Handover basado en X2 sin cambio de S-GW

En este procedimiento el MME no cambia. En este caso, el UE se desplaza desde el eNB de origen al eNB de destino. Dado que el plano de control (entre el UE y el MME - no hay cambios en el MME) ya está establecido. Esto se muestra en la ilustración 24.

1. El eNB destino envía un mensaje de solicitud de cambio de ruta para informar que el UE ha cambiado de celda, el MME recibe el mensaje y determina que el SGW puede continuar sirviendo al UE.
2. El MME envía una solicitud de modificación del portador.
3. Si la información es aceptada, el SGW aceptara el mensaje MBR y comenzara a enviar paquetes de enlace descendente al eNB destino.
4. Para reordenar el eNB, el SGW envía paquetes de "end marker" en el antiguo trayecto.
5. El MME confirma el mensaje de solicitud de cambio de ruta con el mensaje 'Path Switch Request Ack'.
6. Al enviar el recurso de liberación, el eNodeB de destino informa del éxito del traspaso al eNodeB de origen y activa la liberación de recursos.

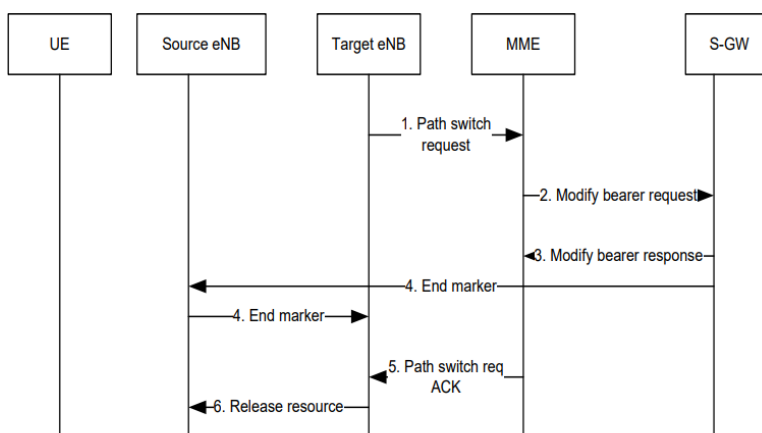


Ilustración 24: Handover basado en X2 sin la recolocación de S-GW (Namakoye, 2011)

Handover basado en X2 con cambio de S-GW

En este tipo de handover, el procedimiento es similar al anterior, con la excepción de que en este caso se elimina la sesión en el SGW origen y se crea una nueva en el destino. Este se muestra en la ilustración 25.

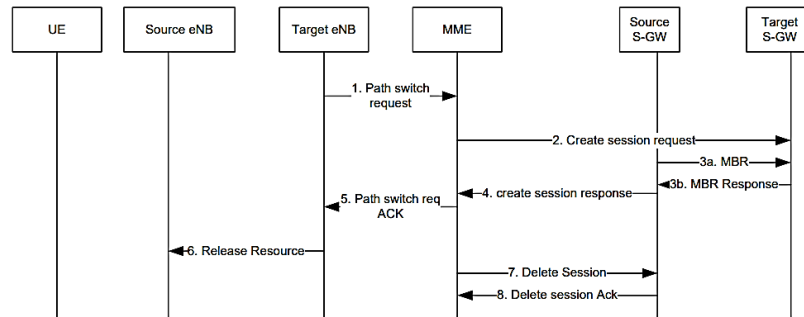


Ilustración 25: Handover basado en X2 con cambio en S-GW. (Namakoye, 2011)

Handover basado en S1

Este tiene lugar en la interfaz S1. El procedimiento se resume en la ilustración 26 y se explica cómo sigue:

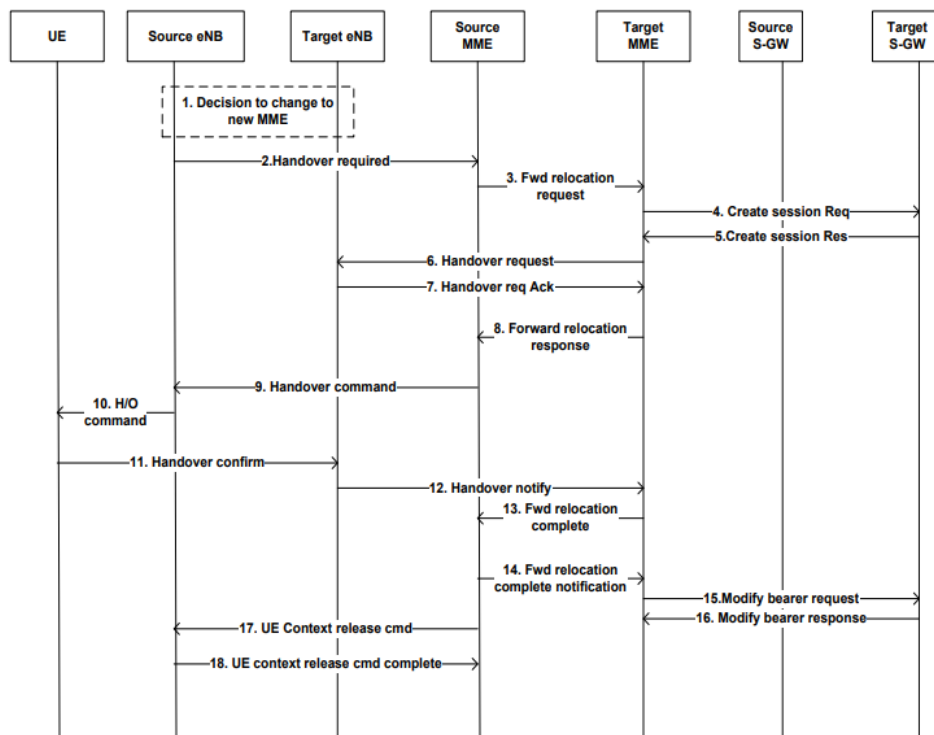


Ilustración 26: Handover basado en S1 (Namakoye, 2011)

1. El eNB origen decide iniciar el proceso de handover al eNB destino.

2. El eNB de origen envía "Handover Required" al MME de origen.
3. El MME origen envía una solicitud de reubicación al MME destino, este último determinara si es necesaria una reubicación del SGW.
4. Si es seleccionado un nuevo SGW, el MME destino envía un mensaje de crear sesión al SGW destino, luego este nuevo SGW asigna las direcciones necesarias.
5. El GW servidor de destino envía un mensaje "Create Session Response" de vuelta al MME de destino.
6. El MME de destino envía el mensaje "Handover Request" al eNB de destino.
7. El eNB de destino envía un mensaje de confirmación de solicitud de traspaso al MME de destino
8. El MME de destino envía un mensaje "Forward Relocation Response" al MME de origen.
9. El MME de origen envía un mensaje "Handover Command" al eNodeB de origen.
10. El "comando de traspaso" se envía al UE
11. Una vez sincronizados el UE con el eNB destino, se envía un mensaje de confirmación de handover.
12. El eNB de destino envía un mensaje "Handover Notify" al MME de destino.
13. Si el MME ha sido reubicado, el MME de destino envía un mensaje de "Reubicación completa Notificación" a la MME de origen.
14. El MME origen envía un mensaje de confirmación de reubicación completa al MME destino.
15. El MME envía un mensaje de solicitud de modificación de portadora al SGW destino.
16. El SGW destino envía un mensaje "Modify Bearer Response" al MME de destino.
17. Cuando ha pasado un tiempo, el MME origen envía un mensaje de liberación al eNB origen.

18. El eNB origen libera sus recursos relacionados con el UE y envía un mensaje de confirmación.

Handover entre UMTS y LTE

Inter-RAT handover en el EPC

Con la introducción del EPC, la retrocompatibilidad con la tecnología 3GPP es posible, es decir que, si un UE llega al final de la zona de cobertura de 4G, los servicios pueden pasar a una red de 3G o de 2G y viceversa, conforme se vaya movilizandando el UE. Es importante entender el traspaso inter-RAT dentro del dominio PS antes de pasar a otros dominios.

Para que este traspaso sea posible, la UTRAN y E-UTRAN deben de estar interconectadas, tal como se muestra en la ilustración 28; en donde la pasarela PDN sustituye al GGSN, proporcionando un handover más rápido y sin problemas desde y hacia LTE, mientras que el traspaso de UTRAN a E-UTRAN es gestionado por la MME y el SGW en la interfaz S3

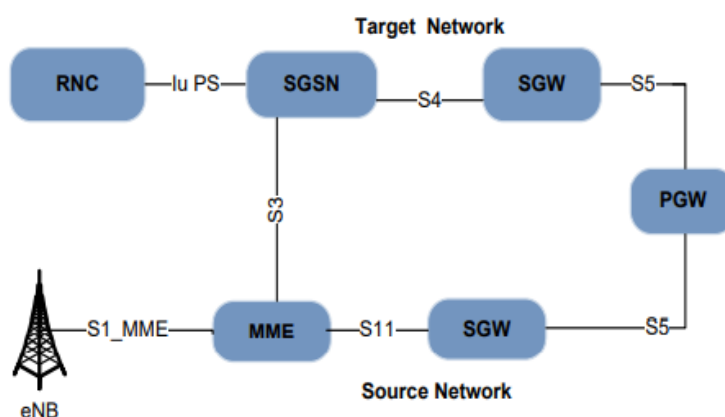


Ilustración 27: Representación de un handover realizado en la capa física entre la EUTRAN y UTRAN (Namakoye, 2011)

E-UTRAN to UTRAN Inter RAT handover

Para que se produzca este tipo de handover, es necesaria una condición previa y es que el UE se debe de encontrar en un estado en el cual se establece la conexión de señalización entre US y MME.

El SGSN de destino se comunica con el MME por medio de la interfaz S3, esto significa que, el SGSN está utilizando la interfaz S4 para poder comunicarse con el SGW, esto se aprecia en la ilustración 29 como un resumen del flujo de llamadas.

Este tipo de traspaso es similar al traspaso basado en S1 en LTE excepto por la comunicación adicional entre el RNC y el SGSN.

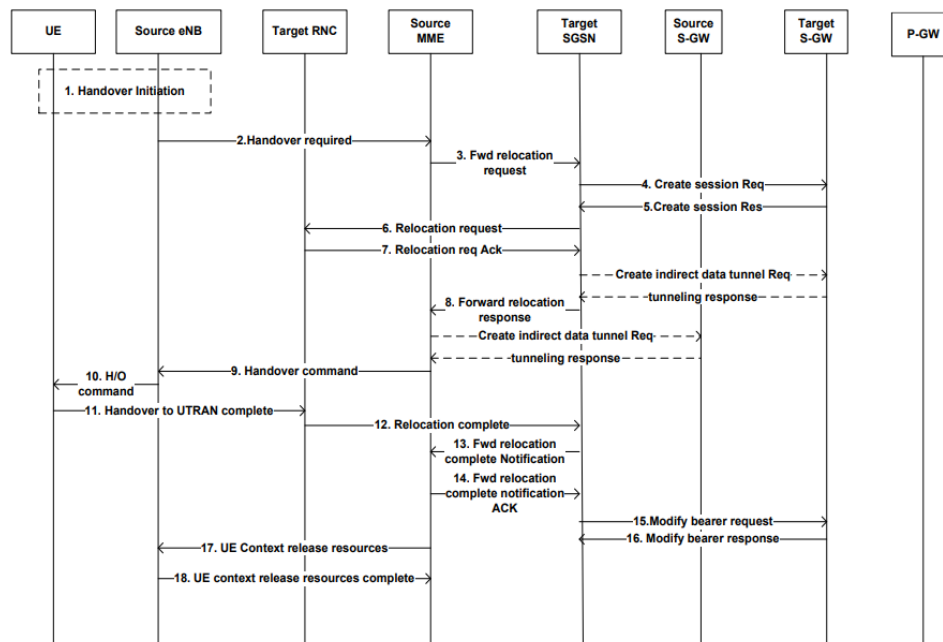


Ilustración 28: Resumen del flujo de llamadas en un handover entre E-UTRAN y UTRAN.

(Namakoye, 2011)

Requisitos para el interfuncionamiento de LTE Y UMTS

En el 3GPP se especifican los requisitos para este interfuncionamiento, basados en la ilustración anterior, los requisitos para un handover entre LTE y UMTS son los siguientes.

- Los terminales de la E-UTRAN que soporten la operación de UTRAN tienen que ser capaces de soportar la medición de handover hacia el sistema UTRAN y desde el sistema UTRAN sin afectaciones en el rendimiento de la red,
- La red E-UTRAN debe ser capaz de soportar eficazmente las mediciones relacionadas en el inter-RAT, sin afectar la red, por ejemplo, proporcionando a los UE oportunidades de medición a través de la programación del enlace descendente y ascendente.
- El tiempo de corte de servicio o interrupción debe ser menor a 300 ms durante un handover realizado en tiempo real.
- El tiempo de interrupción durante un traspaso de servicios no en tiempo real entre E-UTRAN y UTRAN debe ser inferior a 500 ms (como máximo).
- El tiempo de interrupción durante un traspaso entre un flujo de difusión E-UTRA y un flujo unicast UTRAN que proporciona el mismo servicio (por ejemplo, el mismo canal de televisión).
- El tiempo de interrupción durante un traspaso entre un flujo de difusión E-UTRA y un flujo de difusión UTRAN que proporciona el mismo servicio.

CAPITULO 2.

Sistema profesional de medición de parámetros de handover por medio de drive test

Sistema de drive test

Con la constante evolución de la tecnológica y el uso masivo de dispositivos electrónicos, los entes regulatorios se ven forzados a utilizar nuevas técnicas para controlar a las empresas que brindan servicios de radiodifusión, de televisión, de telefonía celular y de otros servicios.

Una técnica muy utilizada para verificar la calidad del servicio de telefonía celular es la técnica denominada Drive Test¹, la cual consiste en una prueba de calidad de una red móvil, esta prueba se realiza mediante un software instalado en una computadora que se dedica a analizar los datos que recibe de un GPS y un teléfono celular en modo de ingeniería, que se encarga de recoger los datos más relevantes de los canales y los eventos generados por la red. Adicionalmente se utiliza un vehículo para recorrer una determinada zona.

En general, las pruebas de Drive Test son realizadas para optimizar la cobertura de una red móvil. Así, se pueden resolver problemas reportados por los usuarios debido a caídas de llamadas en curso en una zona determinada o mejorar la calidad de señal cumpliendo con las normas técnicas y de salud especificadas por los debidos entes regulatorios.

Para realizar las pruebas de Drive Test, se utiliza un equipamiento como se muestra en la figura que consta de:

- Un computador portátil con el software para Drive Test
- Fuente de alimentación portátil para automóvil
- Un módulo receptor GPS que proporciona la posición

- Un vehículo
- Dos terminales móviles: uno en modo ingeniería (field test) y otro en modo normal

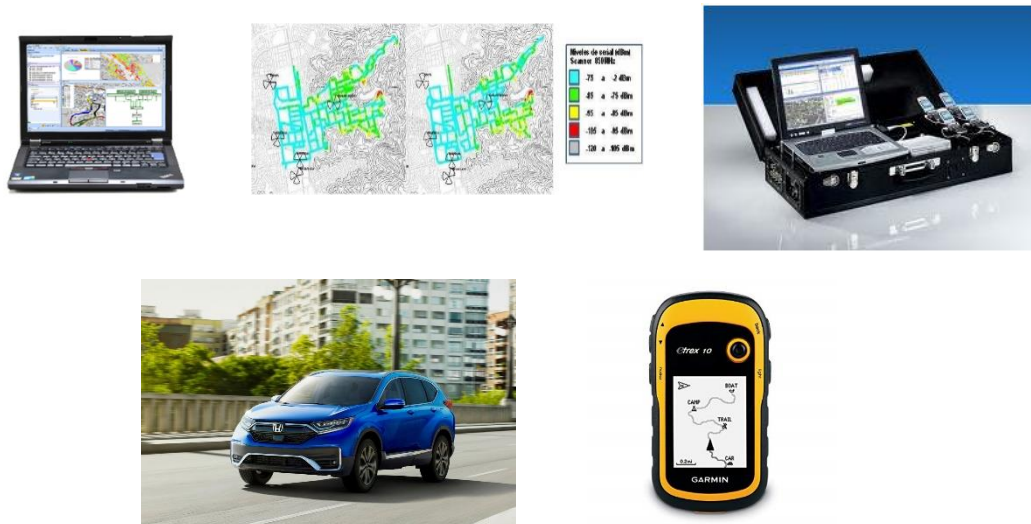


Ilustración 29: Equipo usualmente utilizado para realizar un drive test

Los terminales móviles, se utilizan de la siguiente manera. El primer teléfono celular en modo normal, se usa para realizar las llamadas, mientras que el segundo teléfono aprovecha la característica field test (prueba de campo), que está disponible en la mayoría de modelos celulares Nokia y Motorola, para medir varios parámetros y eventos que ocurren cuando el celular está en reposo y durante una llamada.

Además, existen equipos que integran en un solo equipo el computador y el módulo GPS, así como, soportes para colocar los dispositivos en una parte cómoda del auto.

Tipos de Drive Test

La calidad de una red celular, es determinada por el grado de satisfacción del usuario de la red. Para determinar los distintos parámetros de la red, se hace uso de las siguientes tres clases de Drive Test:

- Scanning
- Benchmarking
- Drive Test Simple

Scanning

Es el Drive Test más simple y consiste en la medición del nivel de potencia de las portadoras que atienden una región. Este tipo de medición se utiliza para determinar las zonas donde se presenta interferencia co-canal e interferencia de canal adyacente. El Scanning se puede desarrollar a cualquier hora del día, ya que no afecta el tráfico generado por los usuarios en la zona. En las ciudades este tipo de medición se debe hacer cuadra a cuadra, en lo posible, con el fin de recolectar la mayor cantidad de muestras, que permitan hacer un análisis correcto del estado de la red

Benchmarking

Este tipo de medición es muy usado por los operadores, consiste en comparar el desempeño de la red celular de un operador con sus competidores. Para realizar este tipo de medición se requiere un equipo, que cuente con un terminal para cada operador, estos se deben encontrar en igualdad de condiciones, por lo general se ubican en la parte posterior del vehículo. Los terminales son controlados por un dispositivo que genera llamadas automáticamente hacia unas líneas fijas, las cuales están conectadas a un terminal que responde automáticamente, y envía una grabación de voz la cual, es analizada y calificada por el dispositivo; los datos son almacenados en la unidad del disco duro.

Drive test simple

Consiste en la verificación de los indicadores de desempeño de la red celular. También se requiere de un teléfono móvil que genere llamadas automáticamente a otro destino, por lo general

una línea fija, para que los valores capturados no se vean afectados por un mal desempeño de la región de la red donde, se encuentra el destinatario.

Equipos que se utilizan para medición drive test

Para la realización del método Drive Test se requiere, básicamente de los siguientes dispositivos:

- Computadora Portátil
- Escáner de frecuencias diseñado para drive test
- Receptor GPS
- Vehículo
- Teléfonos Móviles

Computador Portátil

El computador portátil en sí, es uno de los dispositivos más importante que se requiere para la realización del modelo Drive Test, por las facilidades que este ofrece en el modelo de transporte de un lugar a otro, que, con el software, el escáner de frecuencias diseñado para drive test y un receptor GPS se recopila la información requerida, se almacena información, se procesa información, es capaz de manipular varios programas simultáneamente por citar algunos de las características útiles que este dispositivo aporta.

Las especificaciones técnicas de los portátiles hoy en día, sobrepasan las características mínimas recomendadas por el fabricante, para que el portátil a la hora de procesar y realizar el uso de los programas pueda completarlos sin ningún problema.

Escáner De Frecuencias Diseñado Para Drive Test

Los escáneres de frecuencia están diseñados para medir la radiación y el nivel de potencia, que se emite en un rango de frecuencias en un intervalo determinado de tiempo, de acuerdo a la configuración y a las limitaciones que el equipo presenta

Este equipo se conecta al portátil para poder manipular los datos medidos por el escáner de frecuencias y estos a su vez con el software proporcionado por el mismo escáner de frecuencias, que permite almacenar estos datos medidos, que luego son manipulados como se requiera.

Entre algunas de las marcas reconocidas especializadas en equipos escáner de frecuencias tenemos las siguientes:

- Anritsu
- Andrew
- Agilent
- Ascom
- BV System
- CP Towers
- Ericsson
- ETSA
- LMV Electronics

Las figuras muestran modelos de escáner de frecuencias que son utilizados para el drive test



Ilustración 30: Modelos de escáner de frecuencias

Los escáneres de frecuencias que se pueden adquirir actualmente en el mercado permiten realizar mediciones con mayor facilidad, exactitud, no requieren de procesos engorrosos y complicados sistemas de operación. Una característica con que cuentan los nuevos modelos de escáneres de frecuencias es la propiedad que se refiere al barrido de frecuencias, en la cual se puede presentar mediciones más puntuales en comparación con algunos de los modelos anteriores de escáneres de frecuencias, los rangos en los que se realizan las mediciones presentan muchos más puntos de análisis, en un determinado rango de frecuencias para las respectivas mediciones, estas mediciones se puede obtener datos en pasos de 200 KHz, 50 KHz y de 25 KHz.

Receptor GPS

El receptor de GPS (Sistema de Posicionamiento Global) por sus siglas en inglés, permite localizar uno o varios puntos geográficos, en un lugar donde una empresa de telefonía móvil celular brinda cobertura y se hayan reportado problemas técnicos o de salud con el servicio móvil telefónico celular.

El uso del receptor GPS con los datos del escáner de frecuencias nos ayudan a construir un mapa de niveles de potencia. El receptor GPS indica el dato de posición geográfica, mientras que el escáner de frecuencias nos indica el nivel de potencia en ese punto.

El tipo de receptor GPS que se puede utilizar para el proceso de Drive Test depende de la compatibilidad que este posee con el escáner de frecuencias o con el computador, la mayoría de los receptores tienen como una de sus propiedades la conexión con otros dispositivos.



Ilustración 31: Receptores de GPS

Vehículo

Para cubrir una zona determinada y poder trasladar los equipos que se necesitan en el proceso de obtener los datos en el sistema Drive Test; es necesario de un vehículo. En la mayoría de casos se utiliza un auto, por la facilidad que se tiene para transportar los equipos y manipular los equipos en el interior del mismo.



Ilustración 32: Imagen ilustrativa de vehículo.

Teléfonos Móviles

Los teléfonos móviles cumplen una función importante en el proceso de Drive Test. El uso de los teléfonos para un proceso de Drive Test tradicional se lleva a cabo de la siguiente manera. El teléfono en modo de ingeniería se conecta con el computador portátil y mediante una configuración adecuada del teléfono y del computador se empiezan a realizar llamadas cada cierto intervalo de tiempo, hacia uno o varios teléfonos en determinadas ruta donde se han reportado problemas en la red de telefonía móvil celular. Las llamadas se realizan para cerciorarse de un problema reportado y de hecho verificar si ese problema existe. Los datos que el teléfono recibe y envía se almacenan en el computador



Ilustración 33: Teléfonos inteligentes usados para la prueba del drive test

Con la información almacenada en el computador se hace un post procesamiento. Y se muestran los datos en gráficas en las que se puede interpretar los problemas, que se deben dar solución por parte del ente encargado de la red de telefonía móvil celular.

Definición de rutas y metodologías de medición

Para definir una ruta en la que se va a realizar las respectivas mediciones de Drive Test, se debe hacer un estudio previo en base a los reportes de los usuarios, o porque de alguna manera se haya detectado un problema en la red de telefonía móvil en un determinado sitio. También se debe tomar en cuenta del mejor camino que se debe recorrer para no tener excesos de redundancia de datos medidos.

El Drive Test se realiza en horas laborales, es decir de 8:00 de la mañana a 5:00 de la tarde, durante días hábiles para obtener una percepción de la calidad del servicio en horas en las que la red celular es más exigida, en este lapso se puede también localizar otra clase de problemas en la red de telefonía móvil celular de la operadora evaluada

Diagrama de bloques de la medición

La medición de niveles de señal de potencia mediante la técnica Drive Test



Ilustración 34: Diagrama de bloques que muestra el proceso de medición de Drive Test

Con lo que respecta a la metodología de medición, se la realiza en base a parámetros estipulados por la empresa responsable de brindar el servicio de telefonía móvil celular y de acuerdo a las políticas y normas que rigen en el país, donde se esté operando el servicio.

Carga de parámetros en los equipos

La configuración de equipos, se debe hacer a base de indicadores de calidad. Todos los dispositivos escáner de frecuencias, computador portátil, GPS y teléfonos celulares se deben adaptar, de una manera que todos los dispositivos funcionen simultáneamente y permitan almacenar información en el computador portátil, para que luego estos datos sean procesados y presentados.

Los datos más importantes que se deben tomar en cuenta en las pruebas de Drive Test son:

- Tiempo promedio de espera para establecer una llamada
- Porcentaje de llamadas logradas o completadas
- Porcentaje de llamadas caídas
- Intensidad de campo en el área de cobertura de la celda

Aplicaciones Del Modelo Drive Test²⁰

El empleo de pruebas Drive Test, es una de las mejores formas de establecer la cobertura RF real, los niveles y fuentes de interferencia que están presentes en la red. Permite al operador hacer una optimización más eficiente de la red, así como también a un ente regulador verificar el cumplimiento de las normas de la calidad del servicio, exigidos en la legislación.

Una forma de optimización de la red, se observa en la siguiente ilustración, donde se optimiza la red a través de la aplicación de Drive Test, para luego tomar las respectivas medidas y mejorar la calidad de la red.

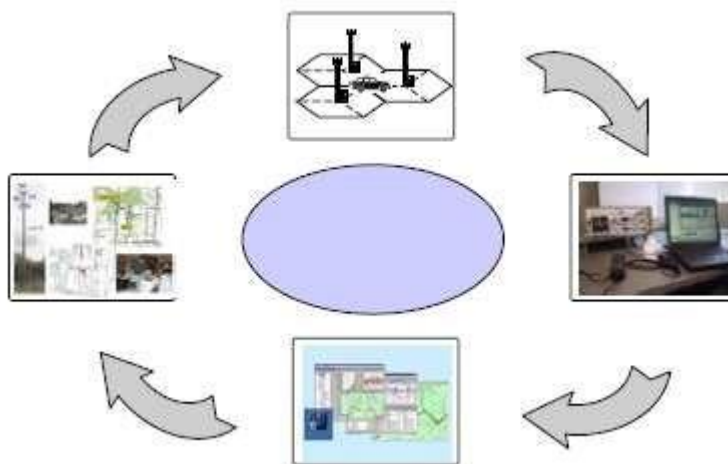


Ilustración 35: Forma de ejemplo de optimización de red.

Dentro del proceso de optimización de redes, se tienen los siguientes problemas a ser resueltos:

- Fallas de acceso excesivas
- Caídas de llamadas excesivas
- Interferencia en el enlace forward
- Velocidad de handover lenta
- Manejo óptimo de la ventana de búsqueda de canales pilotos para los procesos de handover.

El uso de la herramienta Drive Test, permite en base a sus resultados también disminuir la emisión de potencia y de ser necesario quitar antenas, para disminuir la radiación y garantizar los niveles estipulados según organismos de salud, y los entes reguladores pertinentes.

En la ilustración 37 se puede apreciar lo siguiente:

- 1) BCCH y BSC que denotan el canal de broadcast que está sirviendo al equipo móvil y el identificador de estación base.
- 2) RxLev: indica la intensidad de la señal percibida por el móvil
- 3) RxQual: representa la calidad de voz

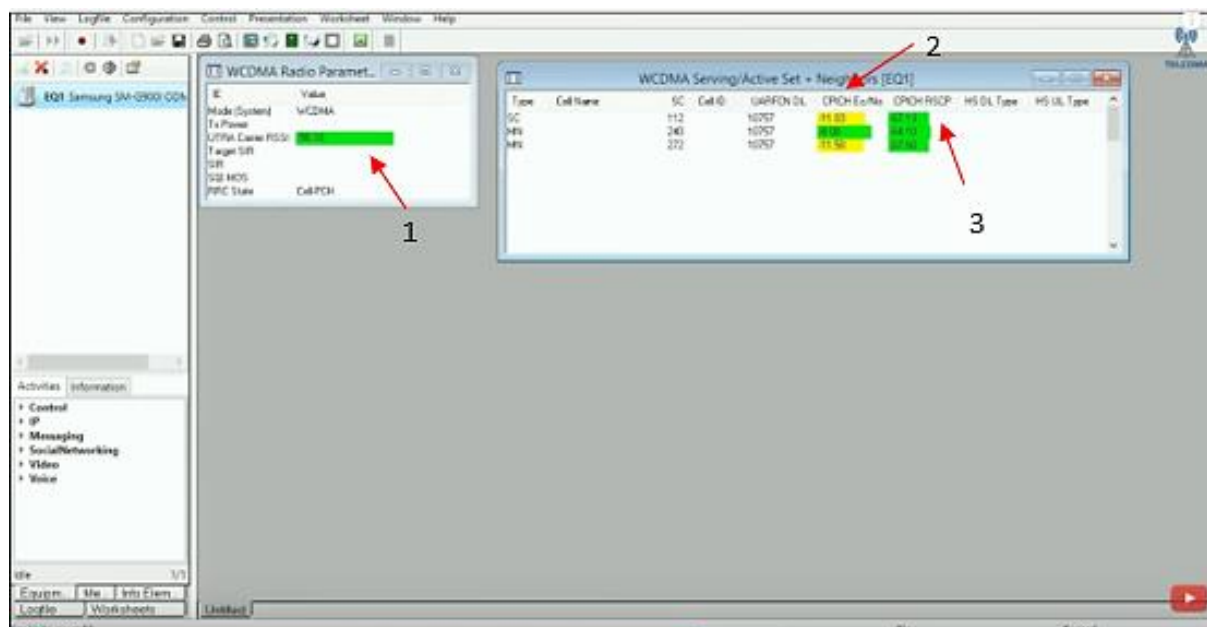


Ilustración 37: Parámetros de calidad en tecnología 3G

- 1) RSSI: Nivel de señal recibida por el móvil.
- 2) Ec/No: Energía recibida por la antena servidora entre la densidad de ruido.
- 3) RSCP: Nivel de potencia recibida de un canal de una celda

El Salvador por medio de la Superintendencia general de electricidad y telecomunicaciones (SIGET) cuenta con un “reglamento de calidad de servicio público de telefonía y transmisión de datos”, en el cual se detallan algunos parámetros que los operadores deben seguir según la recomendación de la Organización internacional de telecomunicaciones (ITU), parámetros

relacionados a Handover pero no se detallan dejando así que las operadoras sean las encargadas de realizar la medición de estos parámetros.

Herramienta de medición basado en teléfono inteligente.

Dejando de lado la aproximación teórica la cual reside en una simulación numérica de la red y emulación de herramientas, o experimentos realizados en ambientes controlados, para poder evaluar eficientemente el rendimiento de la red es necesario adoptar un experimento aproximado basado en condiciones reales.

Con el paso del tiempo, las mediciones han estado siendo realizadas en mediciones basadas en teléfonos inteligentes, desarrollando distintas aplicaciones para su propósito, demostrando los beneficios en distintas categorías esenciales en las aplicaciones populares de Android para detectar los recursos de radio y las ineficiencias energéticas.

De esta forma, el drive-test sería mediante un teléfono inteligente, midiendo su rendimiento en el escenario real de un usuario, para ello, los datos son analizados mediante métodos estadísticos para estudiar como son los diferentes tipos de rendimiento puestos en las antenas por el estándar, con la meta de poder caracterizar y modelar una red real.

A continuación, se presenta un ejemplo de los parámetros que se han capturado utilizando este método de análisis y medición de la red y sus parámetros, mediante el empleo de la aplicación AZQ para Android.



Ilustración 38: Ejemplo de evolución de SINR

En la ilustración anterior se aprecia el recorrido realizado para la prueba, mientras se tomaban datos sobre el SINR en un lapso de tiempo con la aplicación AZQ, los cuales pasan a ser almacenados en un archivo de texto dentro del dispositivo móvil para su posterior extracción y análisis de los mismos, teniendo así la siguiente imagen que describe el valor máximo, mínimo, la media, moda, etc.

SINR [dB]	PCC	SCC
Min	-11.06	-11.64
\bar{x}	7.76	7.13
Max	27.58	25.30
Median	6.90	8.08
s	7.55	7.30

Ilustración 39: Tabla de estadísticas SINR

Capítulo 3.

Captura de parámetros por medio de aplicaciones móviles.

La manera de obtener los datos se realizó a partir de algunas aplicaciones de uso gratuito en la Play-Store de Android, además se hizo un recorrido para tomar las capturas necesarias para determinar algunos de los parámetros que son de interés para la realización de handover.

Dada a la falta de recursos para un drive test profesional y la cooperación de las empresas de telecomunicaciones, se buscó una manera de bajo costo para poder realizar este tipo de prueba en campo. A continuación, se presentan las herramientas que se utilizaron para llevar a cabo un drive test.

Aplicaciones de teléfono Android para la medición de parámetros.

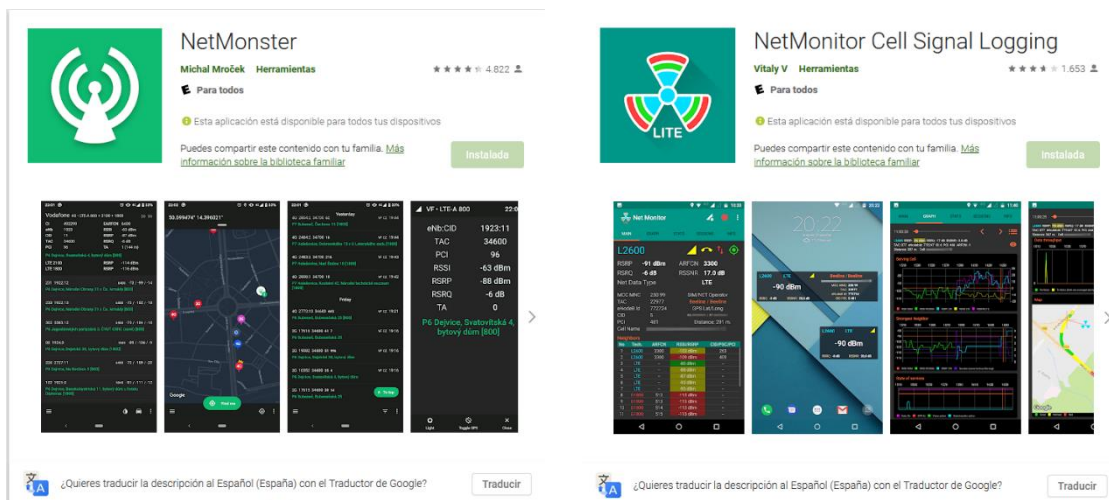


Ilustración 40: Aplicaciones almacenadas en la tienda de Google.

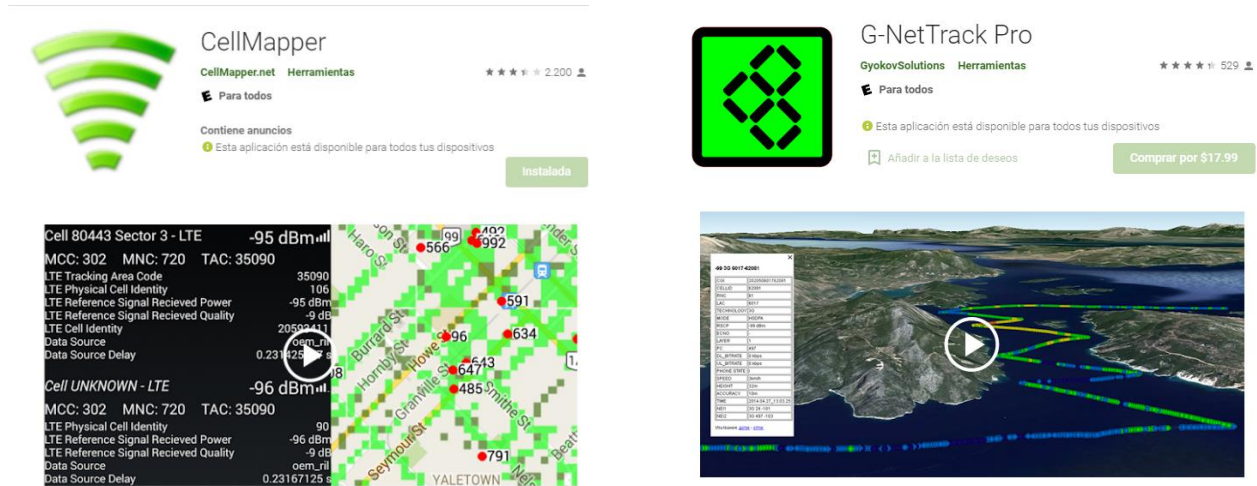


Ilustración 41: Aplicaciones almacenadas en la tienda de Google.

Las aplicaciones anteriores nos entregan algunos parámetros que son de suma importancia para analizar el fenómeno denominado handover, cada aplicación hace uso de sistema de posicionamiento global (GPS) para determinar el lugar donde el teléfono móvil se está sirviendo de la estación base en cada variante de tecnología 2G/3G/4G y muestra en tiempo real el cambio de estación base en cada una de las variantes.

Se presenta una lista de estaciones base vecinas dado que la calidad percibida en el móvil se almacena y se guarda en un log de la aplicación para luego ser consultado.



Ilustración 43: Imagen ilustrativa.

Teléfono Móvil

Ahora con el uso de smartphones, se hace evidente que el proceso de captura de datos sea más fácil ya que no se necesita otro equipo externo al móvil para capturar los datos, las aplicaciones crean un log el cual luego puede ser consultado para analizar la información y determinar en qué momento del recorrido hace cambio de los parámetros de estación base.



Ilustración 44: Imagen ilustrativa de un teléfono inteligente en la actualidad.

Presentación de capturas de datos.

A continuación, se presenta los datos recopilados por la aplicación NetMonster en la tecnología 2.75 o EDGE, cabe recalcar que las versiones de 2G hasta 2.75G se hace la medición del mismo parámetro para determinar si es necesario realizar un traspaso o handover.

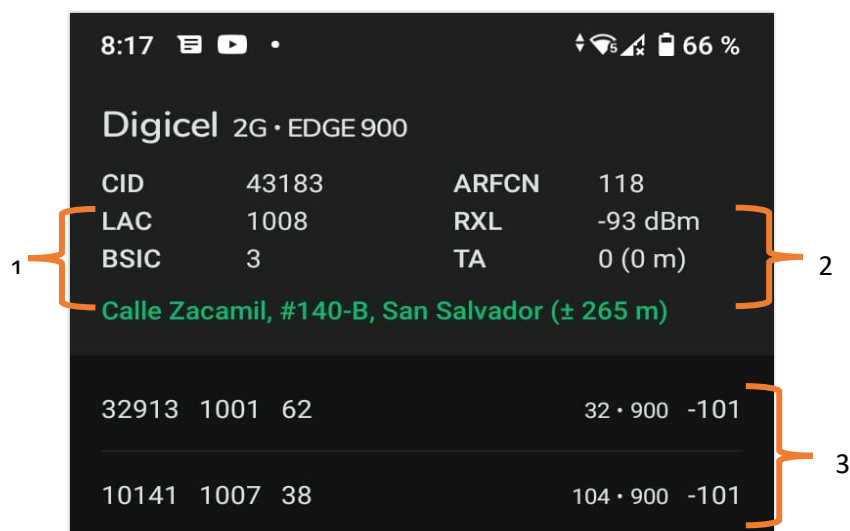


Ilustración 45: Información sobre la red 2G a la cual se encuentra conectada.

1. Como se aprecia en la figura contamos en el lado izquierdo con 3 identificadores de la estación base, estos son el identificador de celda (CID), código de área de localización (LAC) y código de identificador de estación base (BSIC).
2. Luego encontramos el número absoluto de canal de frecuencia (ARFCN) para las frecuencias de subida y de bajada, este número cambia conforme se va haciendo el salto de estación, Luego tenemos Rxlev que es uno de los parámetros que indican si se tiene que realizar handover, este es medido en dBm desde -40 hasta -100 se tiene una conexión estable siendo la mejor -40 dBm mientras que <-100 dBm se debe ejecutar una reelección de estación. Luego encontramos el parámetro de avance de tiempo (TA) que nos indica que tan lejos o cerca nos encontramos de la estación base más cercana.

3. Aquí encontramos las estaciones vecinas, siempre y cuando el umbral de la señal RxLev se encuentre por encima de los -100dBm la llamada se puede continuar sin llegar a degradarse.

Luego encontramos 3G desde el reléase 99 hasta el reléase 9 se considera que es tecnología 3G siendo HSPA el reléase 5, así mismo como en 2G la medición de los parámetros ya no solo se realiza en base a un solo parámetro como solía pasar con 2G, sino que ahora toma en cuenta más variantes como lo son el RSCP y EC/No.



Ilustración 46: Información sobre la red 3G a la cual se encuentra conectada.

1. Aquí encontramos los identificadores de la estación base como lo es el identificador de celda (CI), el controlador de radio (RNC), código de localización de área (LAC) etc.
2. En la figura tenemos 3 parámetros en tecnología 3G que determinan si es necesario realizar un cambio, en conjunto las estaciones base y el móvil entablan conversaciones con más de una estación base a la vez, mientras que en 2G no existía este mecanismo, las llamadas se caían abruptamente y poseían un delay algo mayor a los 240 ms, esto mejoró en la

tecnología 3G, desde 40 a 80ms es el delay que existe para realizar este cambio de estación base.

3. Aquí encontramos las estaciones vecinas a las cuales se puede cambiar.

Por último, tenemos la tecnología de 4G a partir del Release 10 (2011 -), se presentan nuevos parámetros de medición tales como la calidad de la señal y su potencia (RSRQ y RSRP, respectivamente).

CLARO 4G · LTE AWS			
CI	3365	EARFCN	2050
eNb	13	RSSI	-87 dBm
CID	3(7)	RSRP	-87 dBm
TAC	4011	RSRQ	-10 dB
PCI	317		
Bulevar Constitución 15, Mejicanos (± 78 m; 63°)			
319	118:3(9)	2050	-93 / -93 / -17
Calle Sierra Madre, San Salvador (± 111 m; 205°)			
315	13:3(9)	2050	-95 / -94 / -16
Bulevar Constitución 15, Mejicanos (± 78 m; 292°)			

Ilustración 47: Información sobre la red 4G a la cual se encuentra conectada.

1. En este apartado tenemos nuevos parámetros de identificación tales como eNB (Evolved Node B), TAC (Tracking Area Code) y PCI (Physical Cell Identifier).
2. En el extremo derecho se tienen dos nuevos parámetros de medición los cuales son RSRP y RSRQ, los cuales sirven para poder conocer la potencia recibida de la antena (RSRP) y la calidad del enlace entre la antena y el teléfono (RSRQ), los cuales pueden ser configurados en la eNB para que funjan como parámetros de decisión para la realización del handover.

3. Por último, en la parte de abajo se tiene información de las antenas vecinas junto con sus respectivos datos de medición (EARFCN/RSSI/RSRP/RSRQ) para el extremo derecho, en donde también se puede observar la ubicación aproximada de las antenas en servicio.

También con el uso de otra aplicación llamada CELLMAPPER se puede observar la ubicación aproximada de las antenas en un mapa, junto con su respectivo identificador de eNB.

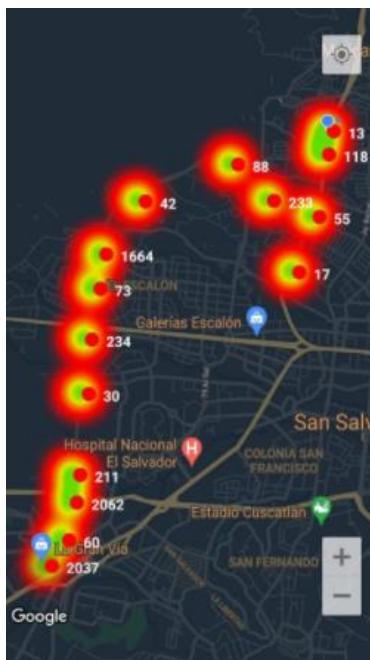


Ilustración 48: Información sobre la ubicación de las antenas gracias a la aplicación CellMapper

Donde se puede apreciar un recorrido realizado entre dos puntos y la cantidad de antenas a las cuales el dispositivo móvil se conectó al ir realizando el handover pasando por la ruta mostrada.

Tal como se puede observar en las siguientes imágenes, en donde, mediante el uso de un archivo de datos en Excel que brindan las aplicaciones anteriores, sobre los valores medidos de los parámetros como RSSI, RSRQ, RSRP, etc., logrando realizar una grafica en la cual se observa el parámetro RSSI de la antena servidora y antena vecina cambia conforme pasa el tiempo en

segundos, mientras que el UE se movilizaba dentro del entorno metropolitano de San Salvador, El Salvador.

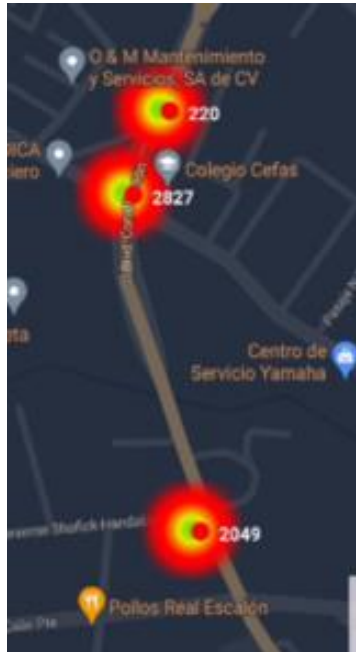


Ilustración 49: Muestra del mapa de toma de datos.

Como se muestra en la imagen anterior, se tienen 3 eNBs en las cuales dependiendo del movimiento del UE es posible el handover, así como se muestra a continuación:

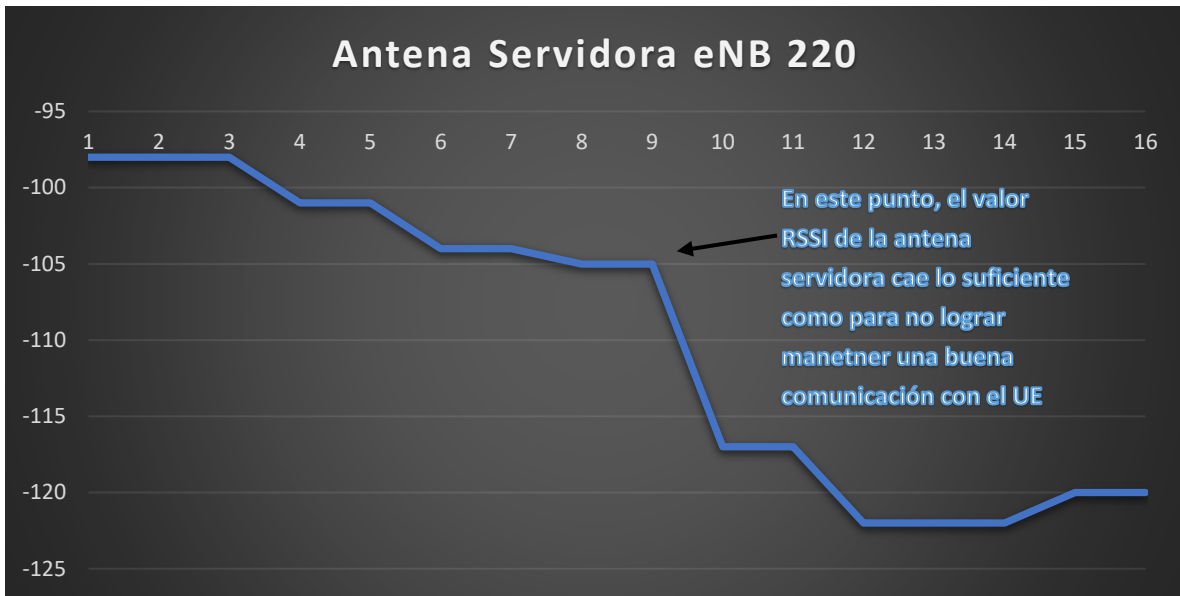


Ilustración 50: Gráfica de RSSI de eNB 220

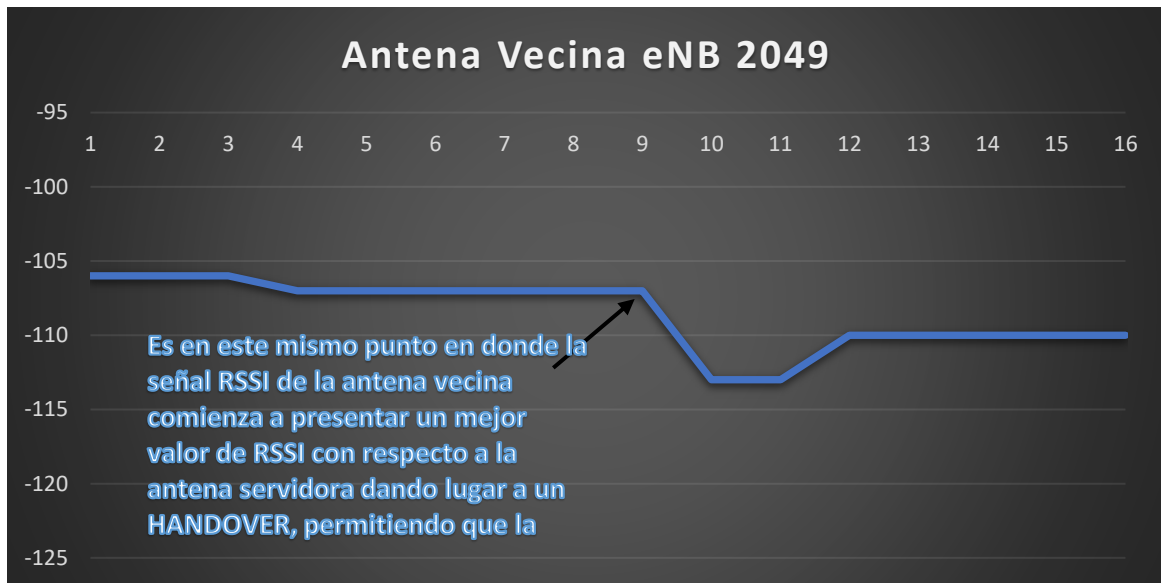


Ilustración 51: Gráfica de RSSI de eNB 2049

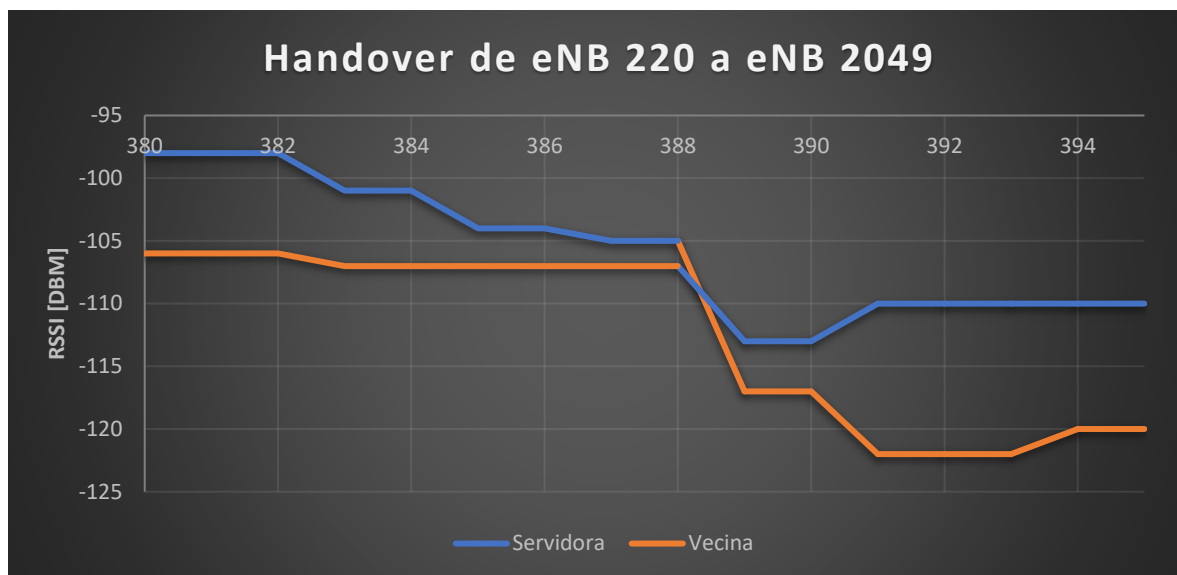


Ilustración 52: Handover entre eNB 220 y eNB 2049

Tal como se puede apreciar en la figura 53, ocurre un proceso de handover entre las eNB 220 y eNB 2049, ya que se muestra como el valor de RSSI de la eNB 220 comienza a decrecer conforme el UE se aleja de su ubicación y al mismo tiempo como el valor de RSSI de la eNB 2049 presenta una mejor intensidad de señal lo cual acciona el proceso del Handover.

Nótese como el Handover ocurre entre las eNBs 220 y 2049 y no con la eNB 2827, ya que, en el momento de toma de datos, esta antena presento valores muy bajos por lo cual no se tomó en consideración por el UE para dicho proceso de traspaso de señal.

Tabla 3. Cuadro comparativo entre generaciones para la realización de handover.

	Proceso	Tecnología celular		
		2G, 2.5G y 2.75G	3G, 3.5G	4g
Componentes de handover	Nivel de señal	(-50 hasta -95) dbm	(-50 hasta -90) dbm	(-60 hasta -100) dbm
	Velocidad de conmutación	< a 60 ms	< a 10 ms	< 1 ms
	Tipo de control	BTS y MSC (Centralizado)	Terminal de usuario, RNS y Nodo b (Decentralizado)	Terminal de usuario, eNodo b (Decentralizado)
	Carga de trafico	10 usuarios por estación base	30 - 40 usuarios por estación base	50 usuarios por estación base
	Calidad de servicio RSRQ	N/A	N/A	(-10 hasta -20) db
	Intensidad de señal desde eNodo b a el móvil	N/A	N/A	(-80 hasta -100)
	Señal a ruido	N/A	(-20 hasta 0) db	(-20 hasta 0) db
	Promedio de Throughput de descarga/subida	N/A	downlink menor que uplink	downlink menor que uplink
	Tipo de handover	Perceptible por el usuario	Transparente al usuario	Transparente al usuario
	Señalización	Menor Eficiencia	Eficiencia media	Mayor Eficiencia
	Comunicación del móvil en simultaneo a estaciones base	No mayor a 3 estaciones base	hasta un máximo de 10 estaciones base	10 o mas

Conclusiones

- A medida que evolucionaron las tecnologías de telefonía móvil, los procesos de handover también se desarrollaron volviéndolos más eficientes, brindado así un mejor servicio al usuario final.
- Como parte de la evolución de estos procesos, las metodologías de señalización incorporaron mayor cantidad de parámetros involucrados en el handover reduciendo así la ineficiencia de los primeros métodos.
- Con la evolución de las redes móviles cuyo objetivo es brindar mayores velocidades de descarga al usuario, el radio de las celdas se ha reducido considerablemente y con ello la necesidad de contar con mecanismos de handover más eficientes y transparentes al usuario.
- A pesar que estos procesos forman parte de la norma que regula los servicios de telefonía móvil, en nuestro medio aún no se incluyen en las mediciones de calidad de servicio que realiza el ente regulador.
- A lo largo del presente estudio se identificaron herramientas que permiten demostrar la metodología de trabajo asociado a los procesos de handover lo que podría utilizarse en enseñanza en este tipo de conceptos.

Bibliografía

3GPP. (2011). *Handover procedures TS 123.009*. ETSI.

Arefin, U. A. (2011). *Handover Management in GSM Cellular System*. Norther University Bangladesh.

Blandón, D., Díaz, Y., Guerrero, F. G., Cuellar, J. C., C., A. N., & A., C. O. (2010). *Medición de la calidad del servicio en Redes de Próxima Generación en Colombia*.

Chavarria, J. B. (2014). Handover in LTE. En *LTE Handover Performance Evaluation Based on Power Budget Handover Algorithm*.

Cox, C. (2014). *An Introduction to Lte: Lte, Lte-Advanced, Sae, Volte and 4G Mobile Communications*. Wiley.

ELKAMCH, A. (2017). *Planificación y Optimización de Red 3G*.

Ericsson. (2019). *Global mobile data traffic and year-on-year growth (EB per month)*.

Lin, C.-C. (2013). *Handover Mechanisms in 3GPP Long Term* .

Namakoye, J. (2011). *Performance Evaluation of Voice Handover Between LTE and UMTS*.

Rathod, N. (2013). *Efficient Handover Scheme for LTE Networks*.

Romero, J., Halonen, T., & Melero, J. (2003). *Gsm, Gprs and Edge Performance: Evolution Towards 3g/Umts*. Wiley.

Sauter, M. (2018). *From GSM to LTE-Advanced 4Ed C: An Introduction to Mobile Networks and Mobile Broadband*. John Wiley & Sons Inc.

Schulzrinne, H., & Dutta, A. (2014). *Mobility Protocols and Handover Optimization: Design, Evaluation and Application*. Wiley-IEEE Press.

Song, L., & Shen, J. (2010). *Evolved Cellular Network Planning and Optimization for Umts and Lte*. CRC Press.

Vögel, H. J., Bettstetter, C., & Eberspächer, J. (2001). *GSM Switching, Services and Protocols*. Wiley.

Zhang, B. (2018). *En Handover Control Parameters Optimisation in LTE Networks*.

Zinno, S. (2018). *Measurement and Optimization of LTE*.