



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA

SISTEMA DE MEDICIÓN Y ANÁLISIS DEL TIEMPO DE ESTABLECIMIENTO DE LLAMADAS

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN REDES DE
COMUNICACIONES

MARCELO ANDRÉS MARÍN SOTO

PROFESOR GUÍA:

JORGE SANDOVAL ARENAS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN

JOSÉ GONZÁLEZ ARANCIBIA

SAMUEL RODRÍGUEZ CARDEMIL

SANTIAGO, CHILE

2017

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA
OPTAR AL TÍTULO DE:** Magister en Redes
de Comunicaciones

POR: Marcelo Andrés Marín Soto

FECHA: Noviembre 2017

PROFESOR GUIA: Jorge Sandoval Arenas

SISTEMA DE MEDICIÓN Y ANÁLISIS DEL TIEMPO DE ESTABLECIMIENTO DE LLAMADAS

Desde el año 2009 los servicios móviles han experimentado un crecimiento en Chile debido a un gran despliegue de redes móviles en zonas urbanas y rurales, esto sumado a los cambios regulatorios impulsados por el estado de Chile en los últimos años ha facilitado el acceso a los servicios tradicionales de telefonía móvil a los usuarios de todo el país

Este escenario ha iniciado la transformación de los servicios que ofrece el operador móvil, sin embargo el servicio de telefonía móvil, que hasta la década pasada era la piedra angular del negocio de los operadores, hoy en día se ofrece casi sin costo para los usuarios. Esto trae la consecuencia que el servicio debe encontrarse dentro de estándares de calidad, los que son regulados internacionalmente y fiscalizados por la subsecretaría de telecomunicaciones cada trimestre.

De este modo el concepto de calidad de servicio (QoS) y experiencia del usuario (QoE) juegan un papel transcendental. La calidad de servicio se encarga de establecer y mantener los parámetros claves en los servicios, los que son necesarios mantener dentro de rangos determinados para asegurar una buena experiencia del usuario. Estos parámetros fueron definidos por la ITU en la recomendación E.800.

El tiempo de establecimiento de llamadas es uno de estos parámetros de calidad en la red. Los esfuerzos realizados por los operadores para mantener este parámetro dentro de los rangos requeridos son importantes, las herramientas de medición costosas en tiempo y la capacitación del personal de alto valor.

En este trabajo se estudia el tiempo de establecimiento de llamadas para las diferentes tecnologías de acceso móviles presentes en el país. Se analizan la interacción de éstas en los diferentes flujos de llamadas y se establecen los puntos de medición para obtener este parámetro. Esto permite proponer un sistema alternativo de medición de este parámetro con teléfonos comerciales de bajo costo.

Dentro del desarrollo del sistema se utiliza la plataforma Android para acceder a diferentes parámetros de red con el fin de obtener un módulo para el futuro desarrollo de un sistema de medición de diversos servicios en las redes móviles.

Finalmente se compara el sistema estadísticamente con un instrumento de medición profesional y se analizan los datos obtenidos con mediciones realizadas anteriormente en la red.

Dedicatoria

A mi familia por todo su apoyo y que siempre ha estado junto a mí. A Ditha, quien día a día me impulsa a mejorar y recorreremos juntos el camino de la vida. A Maite que con su llegada lleno de felicidad nuestro hogar y nuestras vidas entregándonos un impulso de vitalidad.

Agradecimientos

Mis sinceros agradecimientos a Jorge Sandoval por sus aportes, discusiones, su guía y permitirme el desarrollo de este tema. A Cristian Donoso por su apoyo durante el desarrollo de las aplicaciones y la entrega de su visión en terminales móviles y aplicaciones web. A Patricia Rodríguez por su aporte en la redacción de este trabajo. A mi Universidad por brindarme la visión y abrir mi mente hacia la tecnología. A todas las personas de ENTEL que brindaron apoyo y respuestas a las diversas problemáticas durante el desarrollo de este tema.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|------|
| TABLA DE CONTENIDO..... | iv |
| INDICE DE TABLAS | vii |
| INDICE DE ILUSTRACIONES..... | viii |
| CAPITULO 1. INTRODUCCION..... | 1 |
| 1.1 Motivacion | 1 |
| 1.2 Aportes | 1 |
| 1.3 Objetivos | 2 |
| 1.3.1 Objetivo General | 2 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos..... | 2 |
| 1.4 Metodologia | 2 |
| 1.5 Descripcion | 2 |
| CAPITULO 2. ANTECEDENTES | 3 |
| 2.1 Evolución de las Redes Móviles a Nivel Mundial | 4 |
| 2.2 Evolución de los Servicios en Redes Móviles | 8 |
| 2.2.1 Evolución de Servicios Móviles en el Mundo | 8 |
| 2.2.2 Estado Actual de los Servicios Móviles en Chile | 9 |
| 2.3 Concepto de Calidad de Servicio | 12 |
| 2.3.1 Calidad de Servicio en Redes Móviles..... | 12 |
| 2.3.2 Calidad de Servicio Orientado a Servicio de Voz Móvil | 14 |
| 2.4 Introduccion a Android | 16 |
| 2.4.1 Arquitectura y funcionamiento de Android | 16 |
| 2.4.2 Capa de Interfaz de Radio en Android | 18 |
| 2.5 Llamadas en Redes Móviles..... | 20 |
| 2.5.1 Tiempo de Establecimiento de Llamadas..... | 23 |
| 2.5.2 Llamada MO 2G | 23 |
| 2.5.3 Llamada MO 3G | 25 |
| 2.5.4 Llamada MO LTE..... | 26 |
| CAPITULO 3. METODOLOGIA | 28 |
| 3.1 Breve Descripcion Basica del Sistema..... | 29 |
| 3.2 Introduccion a Tems™ Pocket | 30 |
| 3.2.1 Medición del Tiempo de Establecimiento de Llamadas en TEMS™ Pocket | 31 |
| 3.3 Analisis del Sistema de Medicion (MSA)..... | 31 |
| 3.3.1 Parámetros Relacionados a la Ubicación | 32 |
| 3.3.2 Parámetros Relacionados al Ancho..... | 33 |

| | |
|---|----|
| 3.4 Tamaño Muestral | 34 |
| 3.4.1 Determinación del Tamaño de la Muestra en Investigación Cuantitativa..... | 35 |
| 3.5 Escenario de Validacion..... | 36 |
| 3.5.1 Determinación del Tamaño de Muestra | 36 |
| 3.5.2 Validación de Exactitud contra TEMS™ Pocket Escenario Bajo Techo..... | 37 |
| 3.5.3 Validación de Exactitud contra TEMS™ Pocket Escenario Aire Libre | 38 |
| CAPITULO 4. DESCRIPCION DEL SISTEMA | 39 |
| 4.1 Descripción del Sistema..... | 40 |
| 4.2 Aplicación Maestra | 41 |
| 4.2.1 Hilo Central..... | 41 |
| 4.2.2 Servicio Loop-Call | 43 |
| 4.2.3 Servicio Estatus..... | 44 |
| 4.2.4 Observador de Parámetros Básicos | 45 |
| 4.2.5 Observador de Parámetros de Red | 45 |
| 4.2.6 Observador de Parámetros de Ubicación | 46 |
| 4.3 Aplicación Esclava..... | 46 |
| 4.3.1 Hilo Central..... | 46 |
| 4.4 Servidor..... | 48 |
| 4.4.1 Cálculo del Tiempo de Establecimiento de Llamadas y Categorización | 49 |
| 4.4.2 Cálculo de Estadísticas..... | 51 |
| 4.5 Dashboard | 52 |
| 4.5.1 Sección Central o Home..... | 52 |
| 4.5.2 Sección Casos | 54 |
| CAPITULO 5. VALIDACION DEL SISTEMA Y ANALISIS DE RESULTADOS | 56 |
| 5.1 Presentacion de Resultados | 57 |
| 5.1.1 Resultados Escenario Bajo Techo Tecnología de Acceso 3G..... | 57 |
| 5.1.3 Resultados Escenario al Aire Libre..... | 63 |
| 5.2 Analisis de Resultados | 67 |
| 5.2.1 Análisis del Sesgo | 67 |
| 5.2.2 Análisis de la Estabilidad | 68 |
| 5.2.3 Corrección de pruebas escenario bajo techo 3G | 70 |
| 5.3 Mejoras..... | 71 |
| 5.3.1 Nuevas Funcionalidades Android | 71 |
| 5.3.2 Detección Estado de Red y Envío a Base de Datos Remota..... | 71 |
| 5.3.3 Sincronismo Servidor NTP | 71 |
| CONCLUSIONES | 72 |

| | |
|--------------------|----|
| GLOSARIO | 74 |
| BIBLIOGRAFIA | 78 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 2-1 Tecnologías de acceso de segunda generación | 4 |
| Tabla 3-1 Dispositivos de prueba de validación | 36 |
| Tabla 3-2 Valores de probabilidad según nivel de confianza | 36 |
| Tabla 3-3 Valores de determinación tamaño muestral..... | 37 |
| Tabla 4-1 Tiempo de establecimiento de llamadas SubTel..... | 42 |
| Tabla 5-1 Resultados de correlación escenario bajo techo tecnología de acceso 3G..... | 57 |
| Tabla 5-2 Resultado del sesgo escenario bajo techo tecnología de acceso 3G | 59 |
| Tabla 5-3 Cuadro resumen escenario bajo techo tecnología de acceso 3G..... | 60 |
| Tabla 5-4 Resultados de correlación escenario bajo techo tecnología de acceso 4G..... | 60 |
| Tabla 5-5 Resultado del sesgo escenario bajo techo tecnología de acceso 4G | 62 |
| Tabla 5-5 Cuadro resumen escenario bajo techo tecnología de acceso 4G..... | 63 |
| Tabla 5-6 Resultados de correlación escenario al aire libre..... | 64 |
| Tabla 5-7 Resultado del sesgo escenario al aire libre | 65 |
| Tabla 5-8 Cuadro resumen escenario al aire libre..... | 66 |
| Tabla 5-9 Tiempo promedio por prueba | 67 |
| Tabla 5-10 Tabla resumen índice de correlación | 68 |

INDICE DE ILUSTRACIONES

| | |
|--|----|
| Figura 2-1 Evolución de UMTS a HSPA+ | 6 |
| Figura 2-2 Evolución de redes móviles..... | 7 |
| Figura 2-3 Despliegue LTE..... | 7 |
| Figura 2-4 Evolución de los servicios de telecomunicaciones en Chile 2009-2016 | 10 |
| Figura 2-5 Evolución de usuarios 4G en Chile | 11 |
| Figura 2-6 Evolución de abonados servicio de voz móvil en Chile..... | 11 |
| Figura 2-7 Evolución de minutos cursados por año..... | 12 |
| Figura 2-8 Calidad de servicio jerárquico..... | 13 |
| Figura 2-9 Calidad de servicio en aplicaciones..... | 13 |
| Figura 2-10 Estudio SubTel Calidad de Servicio Julio 2017 | 15 |
| Figura 2-11 Arquitectura de Android..... | 17 |
| Figura 2-12 Sistema de telefonía en Android..... | 19 |
| Figura 2-13 Señalización de llamadas en red fija | 21 |
| Figura 2-14 Señalización de llamadas en red móvil | 22 |
| Figura 2-15 Flujo de llamada 2G MO..... | 24 |
| Figura 2-16 Traza llamada 2G MO | 24 |
| Figura 2-17 Flujo de llamada 3G MO..... | 25 |
| Figura 2-18 Traza llamada 3G MO..... | 25 |
| Figura 2-19 Flujo llamada CSFB MO..... | 26 |
| Figura 2-20 Traza llamada CSFB MO | 27 |
| Figura 3-1 Esquema Básico Sistema CST | 29 |
| Figura 3-2 Software TEMS para dispositivos Android..... | 30 |
| Figura 3-3 Script tiempo de establecimiento de llamadas TEMS™ Pocket | 31 |
| Figura 3-4 Enfoque de comparación MSA | 32 |
| Figura 3-5 Definición de sesgo | 32 |
| Figura 3-6 Definición estabilidad..... | 33 |
| Figura 3-7 Definición linealidad | 33 |
| Figura 3-8 Definición repetibilidad..... | 34 |
| Figura 3-9 Definición reproducibilidad | 34 |
| Figura 3-10 Rutas de validación escenario al aire libre u outdoor | 38 |
| Figura 4-1 Funcionamiento Básico Sistema CST | 40 |
| Figura 4-2 Diagrama de Flujo CST..... | 40 |
| Figura 4-3 Diagrama aplicación maestra | 41 |
| Figura 4-4 Interfaz aplicación maestra..... | 41 |

| | |
|---|----|
| Figura 4-5 Esquema hilo central aplicación maestra | 42 |
| Figura 4-6 Esquema servicio Loop-Call | 43 |
| Figura 4-7 Esquema servicio Estatus | 44 |
| Figura 4-8 Diagrama aplicación esclava | 46 |
| Figura 4-9 Interfaz aplicación esclava | 47 |
| Figura 4-10 Esquema hilo central aplicación esclava | 47 |
| Figura 4-11 Esquema servidor | 48 |
| Figura 4-12 Esquema de cálculo del tiempo de establecimiento de llamadas | 49 |
| Figura 4-13 Tiempo de establecimiento de llamadas máximo..... | 50 |
| Figura 4-14 Categorización de llamadas..... | 50 |
| Figura 4-15 Esquema cálculo de estadísticas..... | 51 |
| Figura 4-16 Sección home | 53 |
| Figura 4-17 Tramos del indicador de tiempo vs desviación estándar | 53 |
| Figura 4-18 Sección casos..... | 55 |
| Figura 5-1 Histograma CST 3G vs TEMS™ Pocket 3G | 57 |
| Figura 5-2 Gráfica de estabilidad escenario bajo techo tecnología de acceso 3G..... | 58 |
| Figura 5-3 Sesgo y linealidad escenario bajo techo tecnología de acceso 3G | 59 |
| Figura 5-4 Histograma CST 3G vs TEMS™ Pocket 4G | 60 |
| Figura 5-5 Gráfica de estabilidad escenario bajo techo tecnología de acceso 4G..... | 61 |
| Figura 5-6 Sesgo y linealidad escenario bajo techo tecnología de acceso 4G | 62 |
| Figura 5-7 Ruta de validación según intensidad de señal | 63 |
| Figura 5-8 Histograma CST 3G vs TEMS™ Pocket 4G al aire libre | 64 |
| Figura 5-9 Gráfica de estabilidad escenario al aire libre..... | 65 |
| Figura 5-10 Sesgo y linealidad escenario al aire libre | 66 |
| Figura 5-11 Situación de medición del tiempo de establecimiento de llamadas..... | 67 |
| Figura 5-12 Traza reselección de celda..... | 69 |
| Figura 5-13 Traza retorno red de circuitos..... | 70 |
| Figura 5-14 Corrección de muestra escenario bajo techo 3G. | 70 |

CAPITULO 1. INTRODUCCION

El crecimiento de las redes móviles en el mundo ha traído consigo la irrupción en el mercado de nuevas tecnologías de acceso, como LTE, que permiten alcanzar mayores velocidades y una mejor experiencia en los servicios, sobre todo en los basados en datos móviles. Según la Subsecretaría de Telecomunicaciones (SubTel), en su “Informe del Sector Telecomunicaciones” del primer semestre del 2016 señala que entre los años 2015 y 2016 aumentaron en 1,5 millones los nuevos accesos a la red móvil alcanzando 73,8 accesos por cada 100 habitantes.

Si bien este incremento tiene su origen en los servicios basados en datos móviles, la voz móvil no está en retirada como se podría suponer sino que este servicio se mantiene presente para todos los nuevos accesos, alcanzando 158 minutos promedio al mes por habitante entre los años 2006 y 2016. Según datos entregados por la SubTel, el total de usuarios con servicio de voz móvil y fija alcanzaba los 26 millones al primer semestre de 2017.

Dada la movilidad de los usuarios y la cantidad de llamadas que se efectúan diariamente, mantener la calidad de servicio de voz móvil se transforma en una tarea que requiere continuo monitoreo y detección de las zonas en donde el servicio puede verse degradado. Para esto la ITU, en la recomendación E.800, ha definido una serie de parámetros de red como indicadores de la calidad del servicio.

En este trabajo se analiza el tiempo de establecimiento de llamadas para las diferentes tecnologías de acceso implementadas en Chile y como estas interactúan entre ellas. La hipótesis consiste en que el tiempo de establecimiento de llamadas es posible medirlo a través de teléfonos comerciales valiéndose de la sincronización horaria que se efectúa a través de la red y midiendo la diferencia entre la hora de ejecución y recepción de la llamada. Con esta información se propone un sistema que permita la medición y el análisis del tiempo de establecimiento de llamadas de bajo costo.

Finalmente se presenta una interfaz web diseñada para efectuar el análisis estadístico de la información proporcionada por los dispositivos móviles.

1.1 MOTIVACION

El tiempo de establecimiento de llamadas es un parámetro que se mide continuamente en las redes móviles, ya que es exigido por muchos organismos reguladores nacionales para establecer la calidad mínima de los servicios de voz móvil.

Existen diversas soluciones para la medición de este parámetro. Por lo general implican la adquisición de instrumentación costosa y el uso de personal altamente calificado para la manipulación del instrumento. Estas soluciones, además, permiten el análisis de algunos de los casos que se pueden observar hoy, y no reflejan necesariamente la experiencia que está obteniendo un usuario en la red.

Se requiere de un alto tiempo de postprocesamiento de la información obtenida desde los instrumentos de medición profesional, ya que estos obtienen los datos en forma de trazas y hace que el tiempo de respuesta ante mal funcionamiento de la red sea relativamente alto, y que las problemáticas relacionadas a mala percepción del servicio por parte de los usuarios sean evidenciadas por las áreas comerciales o centro de reclamos.

1.2 APORTES

Los principales aportes de este trabajo pueden ser resumidos en los siguientes puntos:

- Generación de un módulo java para la medición de parámetros de red en teléfonos móviles basados en Android.
- Generación de una plataforma de análisis para tiempo de establecimiento de llamadas.

- Desarrollo de un modelo de medición para el tiempo de establecimiento de llamadas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

El objetivo general de esta tesis de grado es desarrollar un método de bajo costo para la medición del tiempo de establecimiento de llamadas en redes móviles

1.3.2 Objetivos Específicos

Los objetivos específicos de este trabajo son los siguientes:

- Analizar el tiempo de establecimiento de llamadas en diferentes casos de uso.
- Establecer los parámetros que afectan al tiempo de establecimiento de llamadas para los diferentes casos.
- Validar la exactitud del sistema desarrollado comparando contra una herramienta profesional de medición.
- Confeccionar una herramienta de bajo costo para la medición del tiempo de establecimiento de llamadas para teléfonos móviles basados en Android.

1.4 METODOLOGIA

La metodología y estrategia utilizada para el desarrollo del trabajo de grado de forma generalizada, considero las siguientes actividades:

- Investigación y recopilación de información acerca del flujo de llamadas en redes móviles.
- Comprobación del flujo de llamadas en redes móviles para diferentes tecnologías de acceso.
- Investigación y recopilación de información acerca del sistema operativo Android y teléfonos inteligentes.
- Investigación y aprendizaje de lenguajes de programación como Java, PHP, Javascript.
- Desarrollo de aplicaciones móviles.
- Validación del sistema de medición desarrollado.

1.5 DESCRIPCION

En el siguiente capítulo se presentan los antecedentes, los cuales están enfocados hacia los aspectos más relevantes en el desarrollo del sistema, como lo son los conceptos de calidad de servicio, estructura de la plataforma Android y el flujo de señalización en el establecimiento de llamadas.

En el capítulo tercero se realiza la descripción del sistema. En este se aborda el modelo para la obtención del tiempo de establecimiento de llamadas, en donde se detalla la función de cada uno de los dispositivos en el sistema.

En el capítulo cuarto se analizan los resultados, validándolos con respecto a un instrumento de medición profesional que es normalmente utilizado para estos fines.

Finalmente se entregan las conclusiones de las diversas problemáticas abordadas durante el desarrollo del sistema.

CAPITULO 2. ANTECEDENTES

En la primera parte del capítulo se presentará la evolución de las tecnologías móviles a nivel mundial desde la primera generación de tecnologías móviles a la tecnología LTE, que representa la tecnología de acceso de cuarta generación.

Continuando con el capítulo se hace una breve reseña de la evolución de los servicios móviles en Chile hasta el primer semestre de 2017, presentando un análisis de la información pública entregada por la SubTel acerca de dichos servicios.

En cuanto a calidad de servicio, en primer lugar se entrega una visión y definición de este concepto, para cerrar el apartado con un enfoque hacia los servicios de voz móvil, definiendo parámetros de interés y mostrando los esfuerzos realizados en Chile por parte del regulador.

Posteriormente se hace una reseña de los aspectos más relevantes de la plataforma Android para este proyecto, en el cual se analiza la estructura de funcionamiento y se hace hincapié en la etapa de radio, desglosando la comunicación de la banda base hacia las capas manipulables por el desarrollador común.

Además se entregan antecedentes acerca del tiempo de establecimiento de llamadas, realizando un análisis de los procedimientos en red fija y comprobando el flujo de llamada teórico para diferentes tecnologías de acceso móvil presentes en Chile.

2.1 EVOLUCIÓN DE LAS REDES MÓVILES A NIVEL MUNDIAL

Las telecomunicaciones móviles, en especial la telefonía celular, han revolucionado la industria de las telecomunicaciones. Desde su irrupción en el ámbito comercial a principios de los años ochenta, la industria celular en el mundo ha crecido de forma acelerada, con especial dinamismo en la década de los noventa y las primeras dos décadas del siglo XXI. En este último periodo el crecimiento de las redes móviles ha sido espectacular

A pesar que la telefonía celular fue concebida para brindar servicio de voz únicamente, debido a las limitaciones tecnológicas de esa época, la tecnología celular de hoy es capaz de entregar otros tipos de servicios, tales como transmisión de datos, llegando actualmente a permitir la transferencia de audio y video en alta calidad. Se espera que las redes móviles del futuro permitan aplicaciones basadas en realidad aumentada y realidad virtual, en donde los requerimientos de baja latencia y alta capacidad de descarga son inalcanzables con la tecnología actual.

La primera generación de un sistema de telecomunicaciones móviles fue conocida como AMPS (*Advanced Mobile Phone System*), desarrollado por los laboratorios Bell a finales de la década de los 70 y lanzado comercialmente en Japón en el año 1979 y en Estados Unidos en el año 1983. AMPS es un sistema de telecomunicaciones analógico que tiene por características la utilización de acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA) para acceder al medio, portadoras de 30 [kHz] y modulación FM. Este sistema fue concebido estrictamente para brindar servicios de voz en la banda 900 [MHz] en modo FDD (*Full Division Duplex*), sin embargo, la calidad del servicio y velocidad de transferencia de datos de esta tecnología era muy baja. En el año 1985 se lanza comercialmente la versión europea de AMPS en el Reino Unido, conocido como TACS (*Total Access Communication System*). Conceptualmente ambos sistemas eran muy similares, siendo la principal diferencia que TACS implementa una portadora de 25 [kHz], lo que permite una mayor capacidad obteniendo como resultado una mayor cantidad de llamadas simultáneas.

La aparición de la segunda generación de telefonía móvil fue alrededor de los años 90 y a diferencia de la primera generación se caracterizó por ser principalmente digital y comienza a observarse una tendencia hacia los primeros servicios basados en datos. Los sistema de segunda generación utilizan protocolos de codificación más sofisticados, y las tecnologías de acceso predominantes se muestran en la tabla 2-1.

| Tecnología | Año Lanzamiento | Tecnología de Acceso al Medio | Ancho de Banda Canales [kHz] | Velocidad de Transferencia [kbps] | Modulación |
|-------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|-------------|
| CDMA IS-95A | 1993 | CDMA | 1250 | 14.4 | BPSK - QPSK |
| GSM | 1991 | TDMA | 200 | 14.4 | GMSK |
| PDC / PDC-P | 1991 | TDMA | 25 | 30.0 | |
| TDMA | 1991 | TDMA | 30 | 14.4 | DQPSK |

Tabla 2-1 Tecnologías de acceso de segunda generación

En la actualidad se espera que la tecnología 2G desaparezca en los próximos años, ya que no hace uso eficiente del espectro y la operación de ésta es cada vez costosa haciéndola poco atractiva para los operadores red móvil.

A pesar que no existe ningún estándar o tecnología de 2.5G o 2.75G, comúnmente se denominan así a algunos sistemas basados en la segunda generación, que introducen modificaciones para obtener una tecnología más flexible y eficiente. Estas modificaciones se basan principalmente en dos sistemas anteriores: CDMA IS-95A y GSM. La evolución de CDMA IS-95A tuvo un paso intermedio denominado CDMA IS-95B, el cual permitía alcanzar velocidades de transmisión de datos de alrededor de 115 [kbps] e introdujo un cambio importante en su implementación: la conmutación de paquetes, reemplazando la conmutación de circuitos del estándar anterior. El siguiente paso en la evolución de IS-95B fue CDMA 2000 1x, este sistema duplica la capacidad de voz y alcanza velocidades de 307 [kbps]. Los principales

cambios realizados fueron en la capa de enlace de datos, donde se introdujeron protocolos de control de acceso a enlaces y control de QoS para permitir el mejor uso de los servicios de datos IS-2000.

GPRS y EDGE fueron las redes que sucedieron a GSM. GPRS (*General Packet Radio Service*), introduce la conmutación de paquetes para las redes basadas en GSM lo que se traduce en un uso más eficiente de los recursos de la red para la transferencia de información y permite al operador diferenciar entre volumen de datos y tiempo de utilización de los recursos de red. Las velocidades que permite alcanzar una red GPRS al usuario final están en torno de los 144 [kbps].

El siguiente paso en la evolución de GSM fue la tecnología denominada EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*). Los principales aportes de EDGE a la evolución de GSM son la introducción de la modulación 8-PSK y la redundancia incremental. La utilización de 8-PSK produce una palabra de 3 bits por cada símbolo transferido al receptor. Con esto se triplica la capacidad que brinda GSM. La redundancia incremental implica que en vez de retransmitirse los paquetes de información alterados, se envía más información redundante que se combina en el receptor, lo cual aumenta la probabilidad de decodificación correcta. Con esto las velocidades percibidas por el usuario final son de alrededor de 384 [kbps].

A finales de la década de los 90 la ITU (*International Telecommunications Union*), estableció los requisitos que deben tener los sistemas de tercera generación en una norma denominada IMT-2000. Fueron básicamente 3 asociaciones las que enviaron propuestas para este nuevo sistema de telecomunicaciones. En Europa, el Instituto Europeo de Telecomunicaciones (ETSI) propuso la norma paneuropea de tercera generación UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*). En Estados Unidos el Instituto Americano de Estándares (ANSI) propuso una evolución de los sistemas AMPS/IS-136 y CDMA/IS-95 denominado CDMA 2000 EV-DX. Por otra parte, en Japón la Asociación de Industrias de la Radio y Radiodifusión (ARIB) continuaron trabajando en CDMA para la elaboración de normas de tercera generación. La ITU recibió tres propuestas FDD (WCDMA, CDMA 2000 y UWC 136) y tres propuestas TDD (UTRA /TDD, TDD-SCDMA y DECT).

En 1998 los organismos regionales de normalización ETSI (Europa), TIPI (EUA), ARIB (Japón) y TTA (Corea) fundaron la asociación 3GPP, *3rd Generation Partnership Project*, la que actualmente se encarga de estandarizar y generar las recomendaciones para los sistemas de telecomunicaciones de red móvil a nivel mundial.

Los requerimientos de una red de tercera generación que establece la IMT-2000 son los siguientes:

- Alta velocidad en transmisión de datos: hasta 144 [kbps], velocidad de datos móviles (vehicular); hasta 384 [kbps], velocidad de datos móviles (peatonal) y hasta 2 [Mbps], velocidad de datos fijos (terminal estático).
- Transmisión de datos simétrica y asimétrica.
- Servicios de conmutación de paquetes y en modo circuito, tales como tráfico Internet y video en tiempo real.
- Calidad de voz comparable con la calidad ofrecida por sistemas alámbricos.
- Mayor capacidad y mejor eficiencia del espectro con respecto a los sistemas actuales.
- Capacidad de proveer servicios simultáneos a usuarios finales.
- Incorporación de sistemas de segunda generación y posibilidad de coexistencia e interconexión con servicios móviles por satélite.
- Itinerancia internacional entre diferentes operadores (Roaming Internacional).

Como sucesor natural de la tecnología CDMA 2000 1x surgió EV-DO y posteriormente EV-DV. Esta tecnología fue desarrollada por Qualcomm en 1999 e implementada por primera vez en 2000 en Corea del sur EV-DO en su concepción fue diseñado para la transmisión de datos sin considerar llamadas de voz a través de circuitos. En revisiones posteriores de este sistema se incluye la voz y se renombra al sistema

como EV-DV. Las principales características de este sistema son: utiliza una portadora dedicada de 1.25 [MHz], proporciona tasas de datos de 2.4 [Mbps] (Rev.0), 3.1 [Mbps] (Rev.A), 46.5 [Mbps] (Rev.B) en el enlace de descarga y 153.6 [Mbps] (Rev.0), 1.8 [Mbps] (Rev.A), 27 [Mbps] (Rev.B) en el enlace de subida. Uno de los elementos clave que permite alta tasas de transferencia es el mecanismo de petición de retransmisión automática (HARQ) utilizado por el protocolo RLC (*Radio Link Control*), para determinar cuándo un paquete requiere de retransmisión. Además, en sus revisiones incorpora modulación adaptable al medio de hasta 64QAM (Rev.A), lo que implica una mayor de transmisión de bits por símbolo transmitido, y agregación de portadoras (Rev.B).

UMTS es un intento por unificar tanto los servicios de voz móvil como de datos en una sola red incorporando un *core* para datos y otro de voz. Las principales características de UMTS son: integra ambos modos de duplexación (FDD y TDD), con tasas de transferencia de hasta 2 [Mbps], utiliza portadoras con ancho banda de 5 [MHz], y emplea como método de acceso al medio WCDMA, solo por nombrar algunas de las muchas características de UMTS, ya que fue ideado originalmente como un sistema universal de telecomunicaciones independiente del tipo de dispositivo con el que se tenga acceso a la red.

UMTS sentó las bases para el posterior desarrollo de HSPA (*High Speed Packet Access*) y su evolución HSPA+. Actualmente HSPA+ es la tecnología de banda ancha móvil más ampliamente desplegada en el mundo según la GSMA y es la evolución de tercera generación de la familia de tecnologías 3GPP. HSPA es el término empleado para referirse al despliegue en una red de tecnología HSDPA (3GPP *Release 5*) como así también HSUPA (3GPP *Release 6*). HSPA Plus (HSPA+ en el 3GPP *Release 7* y posteriores) es también parte de la tecnología HSPA y proroga la inversión de un operador en la red antes de dar el siguiente paso a 3GPP *Long Term Evolution* (Evolución para el Largo Plazo o LTE, según la sigla en inglés, o 3GPP *Release 8* y posteriores). HSPA se desarrolla a partir de UMTS/WCDMA de tercera generación (3G) y está fuertemente posicionada como la tecnología de datos móviles líder para el futuro previsible. En la figura 2-1 se muestra la evolución desde UMTS a HSPA+. [10]

| 2000 | | 2002 | | 2004 | | 2007 | | 2013 | | 2014 | |
|--------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|---------|---------|----------|---------|----------|---------|
| R99 | | R5 | | R6 | | R7 | | R10 | | R11 | |
| UMTS | | HSDPA | | HSUPA | | HSPA+ | | HSPA+ | | HSPA+ | |
| 2 Mbps | 384 kbps | 14.4 Mbps | 384 kbps | 14.4 Mbps | 5.76 Mbps | 42 Mbps | 11 Mbps | 168 Mbps | 23 Mbps | 336 Mbps | 69 Mbps |

Figura 2-1 Evolución de UMTS a HSPA+

A octubre de 2016 existían 601 redes comerciales con HSPA y/o HSPA+ en más de 200 países. Las redes HSPA iniciales ofrecían tasas máximas de 3.6 [Mbps] en el enlace descendente, mientras que la mayoría de las otras ofrecían 7.2 [Mbps]. Sin embargo, el avance continuo de parte de proveedores y operadores innovadores líderes permite la evolución a HSPA+. Las primeras redes HSPA+ utilizaban modulación de 64 QAM y ofrecían 21 [Mbps]. El uso de esquemas de modulación de un orden mayor (de 16 QAM hasta 64 QAM), junto con tecnología MIMO, que convierte a HSPA en HSPA+, se desarrolló en el 3GPP *Release 7*. [10]

En la figura 2-2 se muestra un cuadro resumen con la evolución de las redes móviles. Este cuadro no diferencia de tecnologías de acceso 3GPP o non- 3GPP, sino que muestra la evolución a modo histórico de cómo ha sido la evolución de las tecnologías de acceso a la fecha. Si bien se tiende a pensar que las tecnologías de acceso no pertenecientes a la 3GPP no tienen cabida en el mundo actual, cabe señalar que estas tecnologías y sobre todo CDMA tiene una fuerte presencia en Estados Unidos. Según la *CDMA Development Group* en la actualidad existen más de 314 operadores en 120 mercados de todo el mundo que suman en su totalidad casi 543 millones de usuarios que utilizan esta línea de desarrollo para desplegar redes móviles.

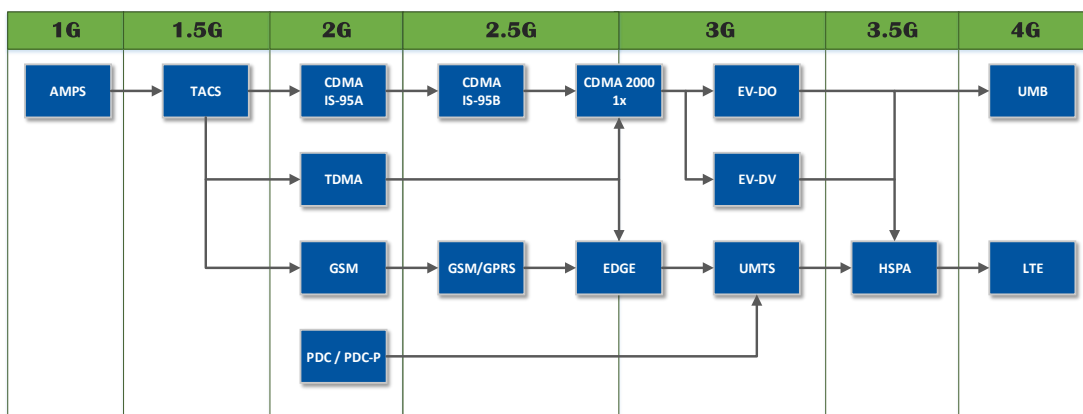


Figura 2-2 Evolución de redes móviles

LTE (*Long Term Evolution*) es un sistema de telecomunicaciones de cuarta generación y es estandarizado en el *Release 8* de la 3GPP. LTE utiliza un método de acceso al medio denominado OFDMA en el enlace descendente y SC-FDMA en el enlace ascendente. Además el ancho de banda de la portadora puede variar entre los 1.4 [MHz] y 20 [MHz], situación que le entrega gran adaptabilidad en países en donde no se cuenta con disponibilidad de espectro radioeléctrico. Las tasas de transferencia son de hasta 100 [Mbps] para el enlace descendente y 50 [Mbps] para el enlace ascendente considerando MIMO. Las modulaciones utilizadas por el LTE son QPSK, 16QAM y 64QAM en el enlace descendente, mientras que en el enlace ascendente QPSK y 16QAM. La modulación adaptable, el sistema de retransmisión HARQ y OFDMA hacen de LTE un sistema robusto en contra de las interferencias y condiciones adversas de propagación de la señal.

Desde su primer despliegue en Estocolmo en el año 2009, ya existen alrededor de 500 redes comerciales a enero de 2017. En la figura 2-3 se muestra el despliegue de LTE a nivel de bandas de frecuencia. Se observa la versatilidad de LTE para el uso del espectro y por otro lado se puede ver que las bandas de mayor utilización son 1800 (B3), 2600 (B7) y 800 (B20), esto es debido al gran impulso que ha brindado Europa al despliegue de esta tecnología, ya que esta combinación de bandas es utilizada normalmente en ese continente. [2]

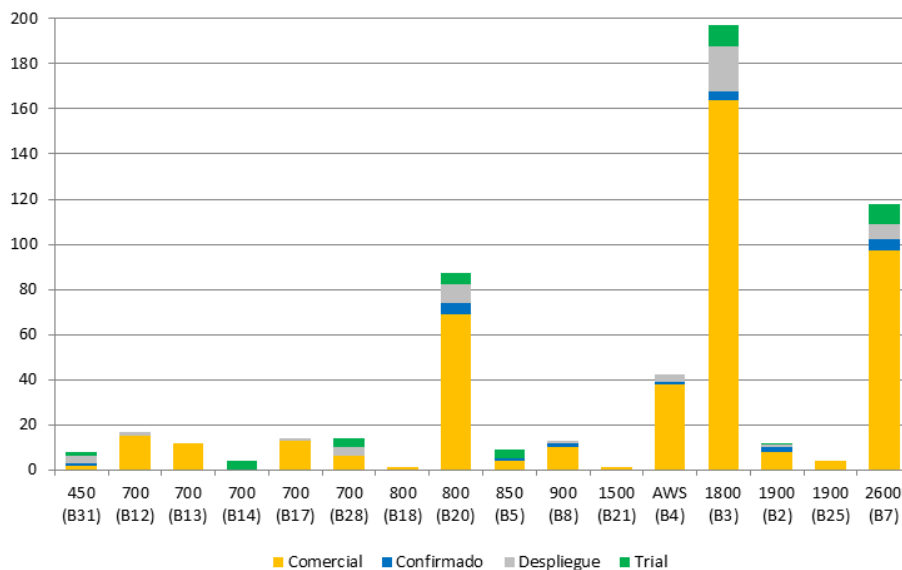


Figura 2-3 Despliegue LTE

2.2 EVOLUCIÓN DE LOS SERVICIOS EN REDES MÓVILES

En general, la introducción de mejoras y nuevas características en la evolución de las redes móviles busca adaptarse a las nuevas necesidades de los usuarios y proveer de servicios cada vez más exigentes en sus requisitos manteniendo una calidad de experiencia de acuerdo con las expectativas de éstos. Es así que desde el surgimiento de la primera generación de redes móviles hasta la cuarta generación se ha observado que cada vez aumenta la necesidad de obtener mejores velocidades de transferencia en el usuario final, sin embargo desde la introducción del estándar 3G se requiere además menor latencia en la transmisión de datos con la finalidad de brindar servicios en tiempo real. Si bien ambos parámetros se han transformado en requisitos mandatorios de mejora continua en los nuevos estándares, las redes de quinta generación (5G) requieren además mantener una masividad de conexiones simultáneas, la utilización de esquemas multiantenas para la transmisión de la información, direccionar la potencia de la antena hacia el usuario, utilizar bandas ubicadas en zonas cada vez más altas del espectro electromagnético, entre otras.

La evolución de redes móviles siempre ha estado muy ligada con el desarrollo de los dispositivos móviles. Esta sinergia se produce, ya que la integración de nuevas características y capacidad de procesamiento en los últimos permite el desarrollo de nuevos servicios y las redes móviles por lo general deben adaptarse a estos requerimientos.

2.2.1 Evolución de Servicios Móviles en el Mundo

La primera generación de telefonía móvil, como se ha mencionado anteriormente operaba por medio de comunicaciones analógicas y dispositivos relativamente grandes. Por lo tanto el servicio que ofrecía era exclusivamente voz. Cabe señalar que a partir de sistema 1G los terminales podían ser utilizados de forma individual.

Con la llegada de la segunda generación de sistemas de telefonía móvil, se incorporaron una serie de tecnologías para mejorar las comunicaciones móviles. Un cambio importante fue la digitalización de los sistemas, con lo que el servicio de voz logró alcanzar una excelente calidad de voz, realmente superior en comparación con los sistemas analógicos. Se habla de un sistema de comunicación global, ya que éste fue implementado en Europa y Estados Unidos utilizando las bandas 900 [MHz] y 1800 [MHz] en el primer caso, mientras que se utilizaba 1900 [MHz] y 850 [MHz] en el segundo. Los dispositivos contaban con soporte para las cuatro bandas antes mencionadas se denominaban cuatribanda. Son numerosos los servicios suplementarios que se introdujeron con la tecnología 2G, entre ellos se tiene:

- Identificación del abonado que genera la llamada.
- Llamada en espera.
- Terminación de llamadas de usuarios ocupados.
- Grupos cerrados de usuarios.
- Tarificación.
- Mantenimiento de llamada.
- Conferencia.
- Bloqueo de llamadas entrantes de un determinado abonado.
- Mensajería.

Las diversas mejoras en los sistemas de segunda generación tiene como consecuencia la denominación de sus sucesores como redes 2.5G y 2.75G. Estas redes trajeron consigo la introducción de nuevos servicios como el internet móvil y la mensajería multimedia (MMS). Es así como GPRS y IS-95B introducen la conmutación de paquetes permitiendo, por parte del operador, la tarificación de los recursos de red utilizados por el usuario. Además la evolución de los teléfonos móviles fue notable durante la década de los 90 integrando cámara fotográfica y reproducción de audio y video en estos dispositivos. Esta capacidad multimedia integrada a los equipos abrió un nuevo mercado en el mundo de las telecomunicaciones, en donde ya no sólo se buscaba la comunicación de los dispositivos, sino que también las operadoras evolucionaron a servicios de entretenimiento y personalización de los dispositivos. Es así como muchos operadores abren tiendas con tonos de llamada y fondos de pantalla con el fin de personalizar los dispositivos y canales privados de chats y llamadas temáticas.

En 1997 Nokia lanza el primer teléfono inteligente, dos años más tarde también lo haría Blackberry. Estos dispositivos integran muchas de las características que hoy vemos como las mínimas requeridas para considerar a un dispositivo como teléfono inteligente o *smartphone*. Estas características son:

- Libreta de direcciones
- Agenda
- Calendario
- Lista de tareas
- Block de notas
- Navegador
- Aplicaciones de redes sociales
- Cámara fotográfica
- Correo electrónico
- Teclado QWERTY

La capacidad de integrar correo electrónico a un dispositivo móvil hizo de Blackberry una de las empresas más importantes en el desarrollo de dispositivos móviles a fines de los 90 y los primeros años de 2000 convirtiendo a los dispositivos Blackberry en un símbolo del hombre de trabajo moderno y eficiente.

Desde el 2001 se iniciaron las primeras implementaciones de las redes de tercera generación en Asia y el 2003 en Europa. En los primeros años el despliegue de este tipo de redes fue bastante lento, ya que no se generaban las economías de escala en la integración de esta tecnología a los terminales móviles, esta situación se refleja en el lanzamiento del primer Apple Iphone en 2007, el que solo integraba EDGE como tecnología de acceso. Este dispositivo fue el que inicio la gran revolución de la telefonía móvil, ya que integraba por primera vez una pantalla táctil y solucionando el gran problema hasta ese momento de los teléfonos móviles que era el teclado. Sumado a esto, en abril de 2007 Blackberry sufre una caída de su sistema lo que trae como consecuencia la caída de los servicios móviles que ellos ofrecían a sus usuarios. Esto produjo una rápida migración de los usuarios de Blackberry a otras plataformas. En este escenario en 2008 aparece el primer dispositivo móvil con Android en el mercado. La gran revolución vino de la mano del lanzamiento de las primeras tiendas de aplicaciones en 2008 tanto para dispositivos Apple y Android.

Hasta ese momento los servicios móviles estaban basados en voz, mensajería, correo electrónico y algunas incursiones por entregar servicios de video, por ejemplo en las llamadas. Sin embargo con la introducción de las tiendas virtuales de aplicaciones, los servicios pasan a ser parte de las posibilidades que puedan ofrecer los desarrolladores de las aplicaciones, quitándoles parte del negocio a los operadores de red móvil, convirtiéndose éstos últimos en solo el canal para la transferencia de la información. Actualmente a este modelo de entregar servicios se le conoce como OTT (*Over The Top*), y se ofrecen servicios como video en alta calidad, video vigilancia, mensajería, telefonía IP, seguimiento, servicios de ubicación, entre otros.

2.2.2 Estado Actual de los Servicios Móviles en Chile

La penetración de los servicios móviles en Chile puede dividirse en dos grandes categorías. La primera categoría hace referencia a los servicios de voz móvil que según la SubTel alcanzan una penetración del 127%. La segunda categoría es el acceso a Internet móvil en donde la penetración en Chile alcanza un 73,8%, ambos datos al primer trimestre de 2016. La penetración en Chile es alta en comparación con el contexto regional, especialmente si se considera que la penetración regional es entorno al 40% para los servicios basados en datos. Ésta tiene su origen en la constante innovación de los servicios y la baja de los precios debido a los cambios regulatorios en el país. Dentro de los cambios más destacados están la reducción de precios por cargo de acceso, la portabilidad numérica y la entrada de nuevos operadores en el mercado, que han hecho de Chile el país con más penetración en servicios móviles de la región. En la figura 2-4 se muestra una evolución de los servicios desde 2009 a 2016. [19]

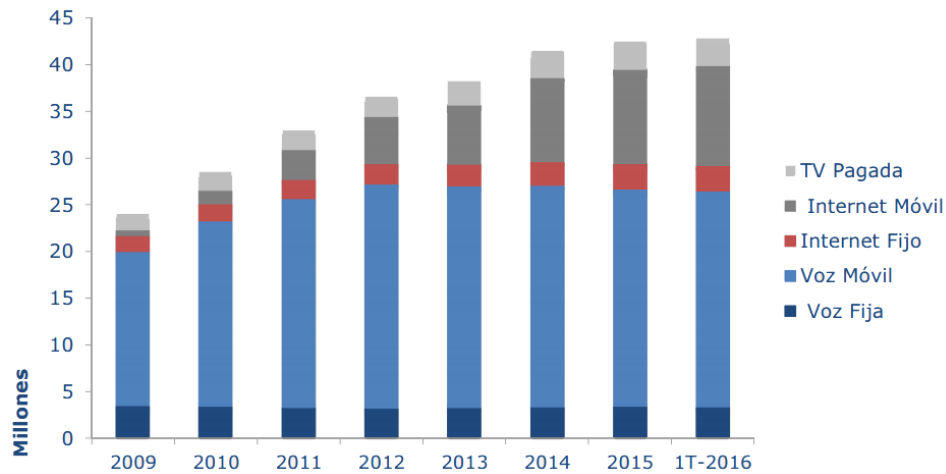


Figura 2-4 Evolución de los servicios de telecomunicaciones en Chile 2009-2016

Sin duda los grandes cambios de la penetración del internet móvil en Chile tienen sus bases en la implementación de redes cada vez más avanzadas. La tasa de crecimiento en el periodo 2010-2011 corresponde a alrededor de 10% y tiene su origen en el lanzamiento de la red 3G en Chile. Esta tasa de crecimiento alcanza el 18% con el lanzamiento de LTE en 2014.

El lanzamiento de la red 3G abrió las puertas para el desarrollo de nuevos servicios, ya que hasta ese momento los servicios no habían evolucionado de la telefonía tradicional y la mensajería. Es así como aparecen en el mercado los servicios de banda ancha móvil apoyados por módems con conectividad USB, pensados para que el usuario acceda en cualquier lugar a internet desde su computador móvil. Este servicio alcanzó un 7,1% de penetración en el 2015, sin embargo actualmente se encuentra a la baja debido a la alta disponibilidad de alternativas de conexión como WIFI y la compartición de Internet desde los dispositivos móviles. Otro tipo de servicio que comenzó a ver luces durante el 2010 fue el de M2M (*Machine to Machine*). Por M2M se entiende comunicaciones entre máquinas, siendo los terminales de pago (POS) y seguimiento vía GPS los principales servicios M2M que se prestan hoy en día alcanzando casi 1 millón de equipos entre ambos. [19]

La introducción de dispositivos cada vez con mayor capacidad de procesamiento y mayor cantidad de sensores integrados abrieron el mercado para la introducción de nuevos servicios, el usuario ya no solo tenía la necesidad de servicios de voz y mensajería sino que el mercado daba un giro hacia las redes sociales, transferencia de fotografía, audio y video de alta calidad. Además el impulso que han brindado Apple y Google para el desarrollo de aplicaciones a sus plataformas ha permitido el surgimiento de servicios denominados comúnmente como OTT (*Over The Top*). Entre los casos más emblemáticos de estos tipos de servicios en cuanto a audio y video tenemos Youtube, Netflix, Spotify. Además el servicio de mensajería ha evolucionado al popular Whatsapp, que promueve un sistema de mensajería muy similar al que comúnmente se encontraba en computadoras de escritorio a inicios del 2000, sepultando al servicio de mensajería corta SMS, al cual muchos operadores ya no dan soporte por encontrarse obsoleto en la mantención de las plataformas.

Esto produjo un alto crecimiento en el consumo de datos y la necesidad de redes cada vez más eficientes, dada la densidad de conexiones por celda de servicio. En 2014 se lanzan en Chile las primeras redes 4G con la promesa de alcanzar velocidades de descarga de 20 [Mbps], el doble de lo que en aquella época se ofrecía en un plan comercial. La evolución de los usuarios 4G en Chile se muestra en la figura 2-5. [19]

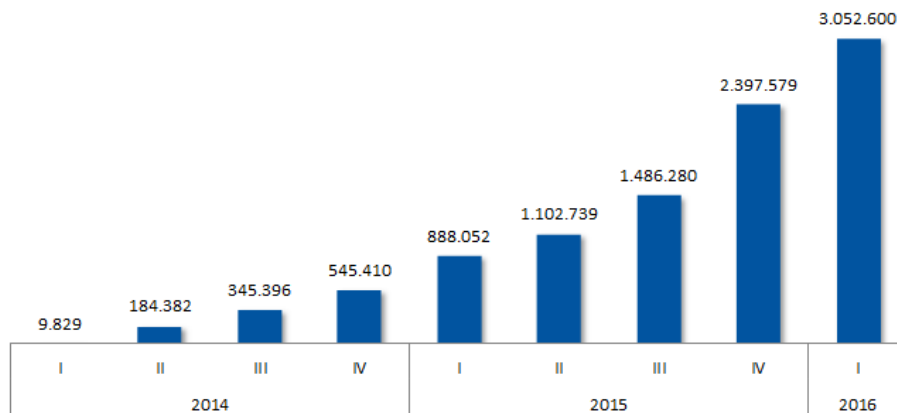


Figura 2-5 Evolución de usuarios 4G en Chile

Actualmente el servicio de datos móviles ha evolucionado hacia la segmentación de los tráficos móviles, de manera de categorizar el tipo de tráfico según la aplicación que se utiliza. Así en la oferta comercial de los operadores en Chile se observan ofertas con tráfico ilimitado o una cuota de tráfico para un tipo de aplicación en particular. Dependiendo de la interpretación de la ley de neutralidad esta categorización del tráfico puede estar en contra del espíritu de la ley, ya que se favorecen algunos servicios en detrimento de aplicaciones con una menor cantidad de tráfico o menos populares dentro de los usuarios. [20]

En cuanto al servicio de voz móvil según la figura 2-6 entre 2009 y 2011 aumenta la cantidad de abonados en alrededor de cinco millones. Sin embargo a contar de ese año se observa que las suscripciones de voz móvil se encuentran sin evolución manteniéndose en alrededor de los 23 millones de usuarios. Es interesante observar que la penetración del servicio de voz móvil en Chile en los últimos años es entorno a al 130%, lo que indica que al menos el 30% de los abonados tienen más de un dispositivo móvil, sin embargo a partir de 2012 se ve una constante disminución de la penetración que puede ser explicada en la introducción de la capacidad de compartir el acceso a la red desde un *smartphone*, lo que se traduce en que los usuarios ya no necesitan de un dispositivo adicional para el acceso móvil. Además la portabilidad ha permitido un mayor control en la generación de MSISDN o números telefónicos, por lo que la información entregada por los operadores es más fidedigna.

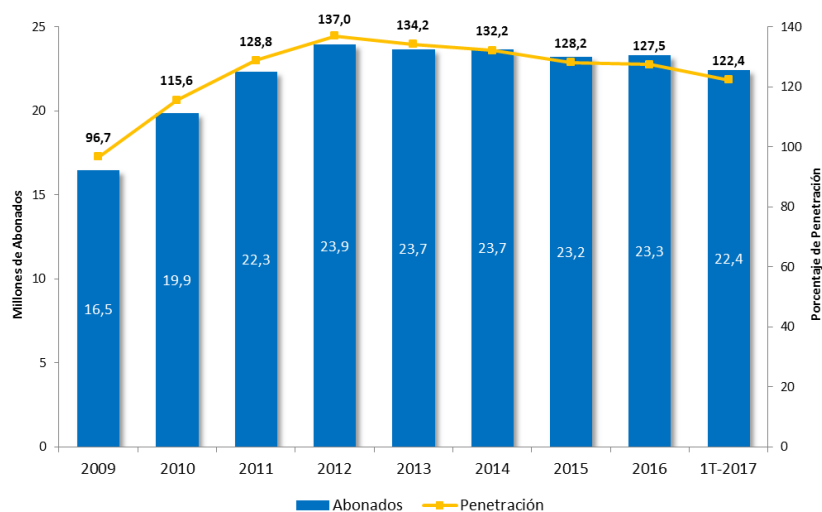


Figura 2-6 Evolución de abonados servicio de voz móvil en Chile

En la figura 2-7 se muestra la cantidad de minutos cursados a través de la red móvil y fija. En este análisis se muestra que los primeros años del siglo XXI las llamadas eran principalmente efectuadas a través de la red fija, en donde los servicios de voz móvil se realizaban a través de la red 2G. Si bien hasta el año 2007 el crecimiento de minutos cursados en la red móvil es más bien constante, en 2007 se produce un punto de inflexión que es consolidado en 2008. Es importante señalar que este cambio se debe a la aparición en el mercado de dispositivos móviles más atractivos para los usuarios, con mejores prestaciones e incorporando una de las principales innovaciones como lo es la pantalla táctil y la reducción de tarifas por parte de los operadores móviles. El siguiente punto de inflexión ocurre en 2012, en donde los servicios de voz móviles alcanzan su peak con 36,7 miles de millones de minutos anuales. A partir de 2013 a la fecha la voz móvil es ofrecida como un agregado a los planes comerciales, ya que los usuarios le entregan más valor a los servicios basados en tráfico de datos (mensajería, audio y video) y ha dejado de ser el eje del negocio para los operadores móviles.

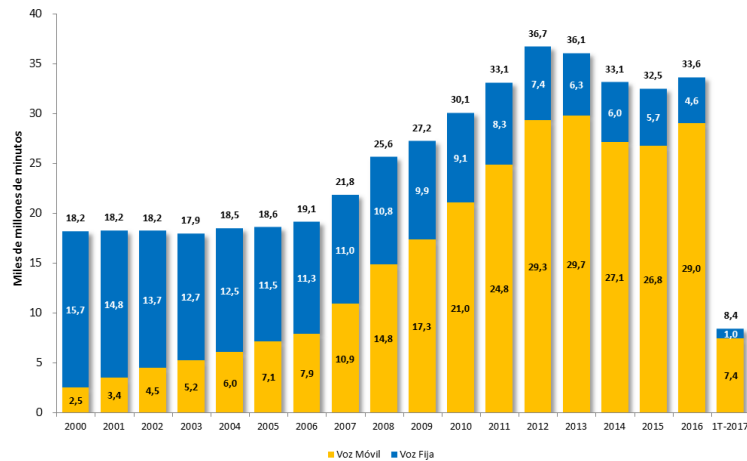


Figura 2-7 Evolución de minutos cursados por año

2.3 CONCEPTO DE CALIDAD DE SERVICIO

En el siguiente apartado se aborda el tema de la calidad de servicio en redes móviles, haciendo una reseña de dos métodos utilizados comúnmente para el tratamiento de paquetes de datos y posteriormente en la siguiente subsección se explica el enfoque que se realiza a la calidad de servicios en telefonía móvil y los parámetros que normalmente son de interés.

2.3.1 Calidad de Servicio en Redes Móviles

La comunicación en Internet se basa en la transferencia de datos entre los usuarios. La comunicación de datos sin ninguna estrategia de regulación puede causar un efecto de “cuello de botella” en el flujo de datos, en este caso cada paquete es tratado de igual manera. Esto causa problemas, porque las aplicaciones con un alto uso de ancho de banda y con baja prioridad pueden consumir ancho de banda de otros servicios con alta prioridad como video o telefonía IP.

El concepto calidad de servicio (QoS) ha sido propuesto para definir en términos cuantitativos los parámetros para entregar una experiencia adecuada desde el proveedor de servicios al usuario. Además cubre aspectos como los parámetros y métodos necesarios para administrar la interacción entre aplicaciones, que típicamente se ejecutan entre los terminales de los usuarios y la red. Parámetros como tasa de datos, retrasos, pérdida de paquetes, tasa de error, entre otros, son utilizados para caracterizar a cada uno de los servicios. También la calidad de servicio puede ser definida en términos de acuerdos de nivel del servicio (SLA) entre el operador móvil y el usuario para entregar determinada calidad de servicio, por ejemplo la entrega de cierta velocidad garantizada al acceso a Internet en la redes hogar. [13]

La calidad de servicio define los límites para un determinado servicio, por ejemplo el ancho de banda para una descarga de archivos HTTP o la latencia en un juego online. En contraste con el tráfico al que no se le hace ningún tratamiento, la calidad de servicio toma control sobre el programador de paquetes de manera que la distribución de recursos asignados a los diferentes tipos de servicios sea la adecuada para garantizar una buena experiencia en el usuario final. Además, la estrategia de regulación de paquetes en la calidad de servicio divide los recursos de red disponibles de manera de administrar éstos en canales para diferentes aplicaciones, basándose en las teorías y modelos matemáticos de encolamiento.

La figura 2-8 muestra un ejemplo de calidad de servicio con una estrategia jerárquica. En este escenario la estrategia de calidad de servicio divide la línea de comunicación verde para diferentes usuarios, a cada usuario se le entrega un ancho de banda garantizado. La estrategia de calidad de servicio en este caso garantiza al usuario 1 un ancho de banda de 400 [Mbps] a pesar del hecho que el canal principal puede entregar hasta 1 [Gbps]. Esta estrategia tiene como objetivo garantizar una velocidad máxima a cada usuario y que los servicios no se afecten unos con otros.



Figura 2-8 Calidad de servicio jerárquico

La figura 2-9 muestra otra estrategia muy difundida en la actualidad en Chile es utilizar un DPI (*Deep Packet Inspection*) instalado en conjunto con el PCRF (*Policy and Charging Rules Function*) en el acceso a redes internacionales. Esta herramienta permite la clasificación de paquetes por tipo de aplicación como videos, mensajería, VOIP, por ejemplo.

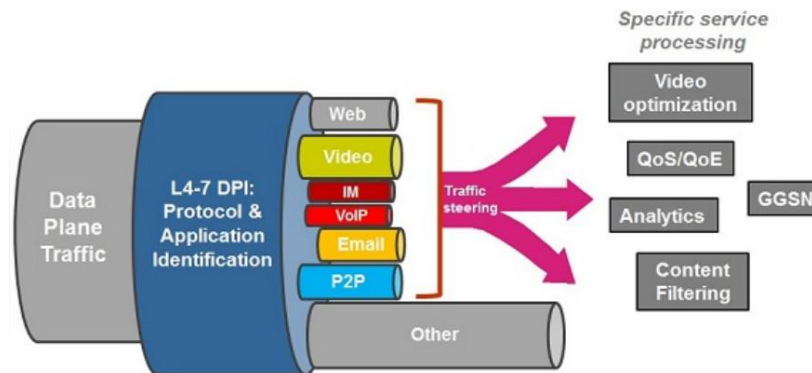


Figura 2-9 Calidad de servicio en aplicaciones

De acuerdo con esta clasificación es posible realizar una administración de la prioridad basada en el tipo de paquetes. La clasificación se realiza mediante el análisis de paquetes, ya que por lo general los paquetes de aplicaciones utilizan marcas de algunos protocolos, o por el puerto de origen, el que puede variar por cada tipo de aplicación. Como resultado, el canal es regulado por la prioridad que se le asigna a la aplicación o ajustando el ancho de banda mínimo y máximo dedicado para una determinada aplicación. Además es posible recolectar información como ancho de banda utilizado o latencia en horas peak, manera de realizar alguna mejora en el tratamiento de los protocolos y obtener una mejor experiencia de usuario.

2.3.2 Calidad de Servicio Orientado a Servicio de Voz Móvil

Las normas y parámetros establecidos para medir la calidad de servicio son propuestos por entidades internacionales como la ITU, la ETSI y la 3GPP, las cuales indican aspectos relevantes de la calidad de servicio que son valorados para los usuarios y proponen indicadores respectivos como su forma de medición. Estos organismos estudian aspectos técnicos, de explotación, tarifarios y publican recomendaciones sobre los mismos, en vista a la normalización de las telecomunicaciones en el ámbito mundial.

A continuación se presentan las definiciones más relevantes de los términos que utilizan la ITU y la ETSI para definir los parámetros de calidad en el servicio de telefonía móvil: [12]

- **Cobertura de red:** Es uno de los parámetros más importantes, ya que provee la intensidad de potencia en donde el usuario puede hacer uso del servicio. El radio de cobertura es definida por la estación base.
- **Calidad de señales vocales:** Expresa la satisfacción del usuario con la transmisión de la conversación.
- **Calidad de las conexiones:** La calidad de las conexiones se expresa en la recomendación ITU E.770 como el grado de servicio (GOS). Los parámetros GOS son el tiempo de señalización en el tiempo de establecimiento de la comunicación y la demora de la liberación de la llamada.
- **Retenibilidad del servicio:** En la recomendación UIT-T E.800 se define como la probabilidad de que un servicio una vez establecido, continúe siendo prestado durante la comunicación en ciertas condiciones.

Estos organismos realizan una segmentación en el tratamiento de las llamadas de forma de establecer dos hitos de relevancia, el establecimiento de llamadas y la progresión de llamadas.

Para el establecimiento de llamadas se determinan los siguientes parámetros de interés:

- **Tiempo de establecimiento de llamada:** Es la medición de un periodo que comienza cuando la red recibe la información de dirección necesaria para establecer una llamada y termina cuando la parte llamante recibe un tono de ocupado, un tono de llamada o una señal de respuesta. Han de incluirse las llamadas locales, nacionales y de servicio, pero no las efectuadas a otros operadores con licencia, pues el operador de origen no puede controlar la calidad de servicio proporcionada por otra red.
- **Calidad de accesibilidad del servicio:** Capacidad para obtener un servicio, dentro de determinados límites y otras condiciones, cuando así lo solicita el usuario.
- **Retardo medio de acceso al servicio:** Duración prevista del periodo que transcurre entre el momento en que el usuario solicita utilizar un servicio y el momento en que tiene acceso a él, obteniéndose el servicio dentro de ciertos límites y en función de otras condiciones operativas dadas.
- **Probabilidad de error del usuario del servicio:** Probabilidad de que el usuario cometa un error al intentar utilizar el servicio.
- **Probabilidad de error de marcación:** Probabilidad de que el usuario de una red cometa errores de marcación en los intentos de llamada.
- **Probabilidad de abandono de llamadas:** Probabilidad de que un usuario abandone un intento de llamada en una red.

Para la progresión de llamadas se determinan los siguientes parámetros de interés:

- **Interrupción, caída del servicio:** Incapacidad temporal del servicio durante más de un periodo determinado, que se caracteriza por un sobrepaso de alguno de los parámetros.

En Chile la resolución N°1490 exenta de 2006 establece un enfoque de calidad de servicio desde el punto de vista de la accesibilidad y retenibilidad a la red estableciendo dos parámetros de interés:

- Proporción de llamadas establecidas con éxito
- Proporción de llamadas finalizadas con éxito

Estos parámetros son medidos mensualmente en 4 operadores móviles del país a través de 346 comunas en 15 regiones y posteriormente publicados en la página web de la SubTel como información pública. En la figura 2-10 se muestra los resultados de este estudio a julio de 2017. Si bien el estudio no mide parámetros de calidad mínimos como el MOS (*Mean Opinion Score*) o el tiempo de establecimiento de llamadas, si entrega información referente a la accesibilidad y confiabilidad de las redes móviles en Chile a lo largo de todo el país. Sin embargo, no se entregan datos sobre en qué condiciones radio u horarios de mayor utilización de la red en que se generan las llamadas, por lo que el estudio puede estar sesgado en este sentido. No existen mayores diferencias entre los 4 operadores del país que poseen infraestructura móvil y se establece que la accesibilidad a la red es del 99%. La confiabilidad de la red hace referencia a que no suceda un corte en la comunicación entre los dispositivos y se finalice la llamada de forma abrupta e involuntaria. De los datos entregados por la SubTel se desprende que en el 98,8% de las ocasiones la llamada es finalizada con éxito.

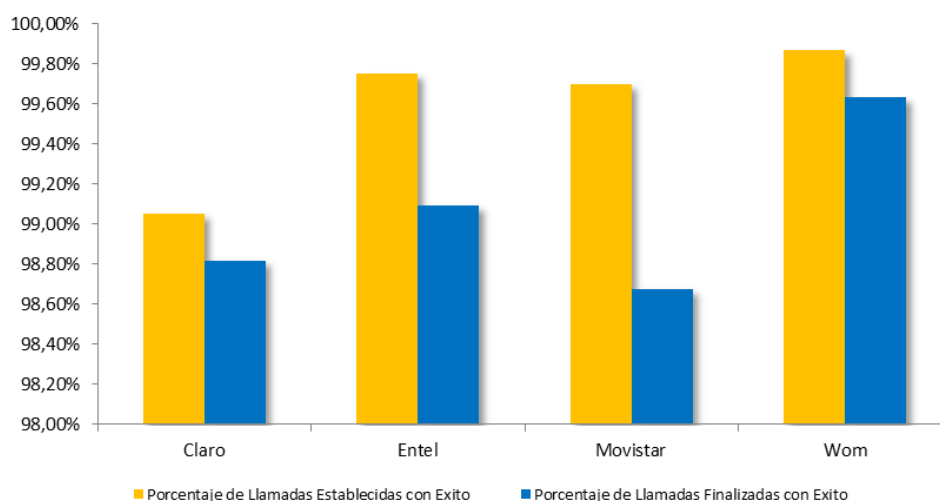


Figura 2-10 Estudio SubTel Calidad de Servicio Julio 2017

A raíz de la publicación del modelo de competencia por calidad de servicio, a partir del año 2013 se extiende esta medición realizando un ranking de calidad de servicio considerando a todos los operadores móviles que cuentan con infraestructura, en donde a los parámetros anteriormente mencionados se añade la medición del tiempo de establecimiento de llamadas en lo que se refiere a servicios de voz móvil y extendiendo las mediciones a los servicios de datos como navegación web y descarga. Estas mediciones son realizadas por la SubTel en la Región Metropolitana realizando alrededor de 400 mediciones para voz, mensajería y navegación web. No existen mayores datos de las condiciones y periodo de tiempo en que se realizan estas mediciones.

Un punto interesante a destacar es la incorporación de una encuesta de satisfacción a los usuarios, la que incluye preguntas referentes a la resolución de problemas y el tipo de problemas que han presentado durante los últimos 12 meses. Esta encuesta incluye la evaluación de los usuarios recomendada por la ITU. [13]

2.4 INTRODUCCION A ANDROID

En los últimos años los teléfonos móviles han experimentado una gran evolución, desde los primeros dispositivos, grandes y pesados, los cuales sólo se utilizaban para acceder al servicio de voz móvil, a los modelos actuales, con los que el término “medio de comunicación” se queda bastante pequeño.

La gran cantidad de fabricantes de dispositivos móviles, llevó a que se impulsara una gran cantidad de soluciones propietarias en la implementación de servicios operativos móviles, entre ellos tenemos Nokia (Symbian), Apple (iOS) o RIM (Blackberry OS). Esto se convertía en una barrera de entrada para nuevos usuarios y tenía como resultado una baja compatibilidad de las aplicaciones entre un sistema operativo y otro.

En este escenario nace Android, que es fundada en 2003 con el objetivo de diseñar un sistema operativo basado en Linux para dispositivos móviles. En julio de 2005 Google adquiere esta compañía. Posteriormente en 2007 se funda la *Open Handset Alliance*, un conglomerado de fabricantes y desarrolladores de hardware, software y operadores de servicio. El mismo año se anuncia la primera versión de Android, sin embargo los dispositivos comerciales no estuvieron disponibles hasta 2008 alcanzando una cuota de mercado del 46% en los Estados Unidos durante el año 2010.

Actualmente el sistema operativo Android es el más popular y utilizado en Chile, según datos de ENTEL la participación de mercado de este sistema operativo alcanza el 82%. El otro 18% de las soluciones se reparten entre el sistema operativo IOS de Apple y Windows Mobile de Microsoft a Septiembre de 2017. Dentro de las principales compañías que implementan Android en sus teléfonos inteligentes tenemos: Samsung, Huawei, Alcatel, Motorola, etc.

Una de las claves de la popularidad de Android es que es una plataforma de código abierto, lo que permite a fabricantes, operadores y desarrolladores dar mayor funcionalidad a sus teléfonos inteligentes. Android es un sistema gratuito y multiplataforma. Por multiplataforma entendemos que el sistema operativo puede ser usado en distintas plataformas, y por plataforma entendemos que es una combinación de hardware y software usada para ejecutar aplicaciones. En su forma más simple consiste únicamente de un sistema operativo, una arquitectura, o una combinación de ambos.

2.4.1 Arquitectura y funcionamiento de Android

En general la arquitectura de Android es denominada “Java en Linux”, sin embargo esto puede ser engañoso y puede no reflejar completamente la complejidad arquitectónica de la plataforma. La arquitectura general consiste en componentes que se categorizan en cinco capas principales que incluyen aplicaciones, máquina virtual Dalvik, *framework*, entre otros, según muestra la figura 2-11. [14]

Las aplicaciones Android permiten a los desarrolladores extender y mejorar la funcionalidad de un dispositivo sin tener que alterar los niveles más bajos. A su vez, el *framework* de Android provee a los desarrolladores de una API que les entrega acceso a todas las capacidades que un dispositivo basado en Android puede entregar. Esta API hace a su vez de interfaz entre las aplicaciones y la máquina virtual Dalvik, que permite la ejecución de código Java en Android. Esto incluye la creación de bloques habilitados por los desarrolladores para ejecutar tareas comunes como administrar los elementos de la interfaz de usuario, acceso a los datos almacenados y hacer de interfaz para el traspaso de información entre aplicaciones. Google ha desarrollado un software denominado Android Studio que permite la interacción de esta API con emuladores o teléfonos comerciales facilitando el desarrollo de aplicaciones.

Las aplicaciones y *framework* de Android son desarrollados sobre Java y ejecutados al interior de una máquina virtual Dalvik (DalvikVM). Esta máquina virtual ha sido especialmente diseñada para proveer de una capa de abstracción para el sistema operativo y tiene la capacidad de administrar diferentes aplicaciones de forma independiente.

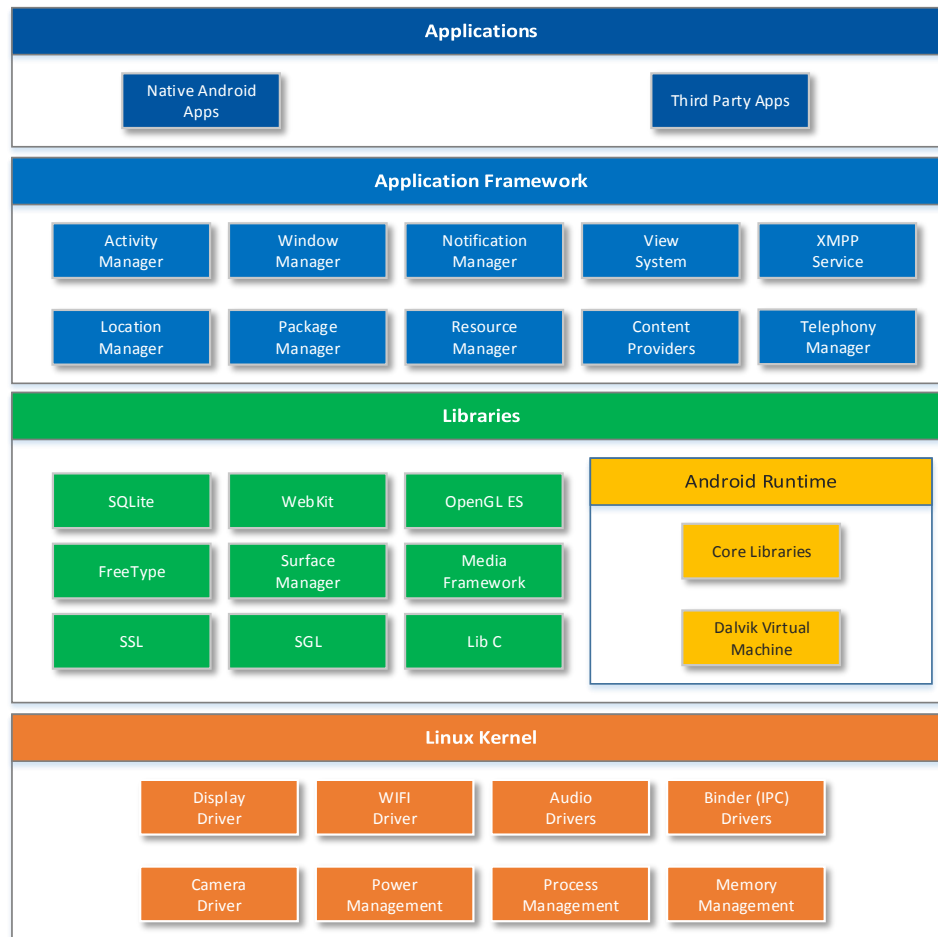


Figura 2-11 Arquitectura de Android

En cuanto a las librerías, éstas se dividen en dos categorías: basadas en Java y basadas en C/C++. Las librerías basadas en Java proveen soporte para tareas de propósito común como: networking y manipulación de ficheros, por ejemplo. Un resumen de las librerías más importantes disponibles en Android son las siguientes:

- **Android.app:** Provee acceso al modelo de aplicaciones y es pieza fundamental de todas las aplicaciones en Android.
- **Android.content:** Facilita el acceso al contenido, publicación y mensajería entre aplicaciones o componentes de aplicaciones.
- **Android.database:** Es utilizado para acceder a la información proporcionada por los proveedores de contenidos e incluye el administrador de base de datos SQLite.
- **Android.graphics:** Es una API de graficas2D incluye colores, puntos, filtros y rectángulos.
- **Android.hardware:** Esta API provee de acceso al hardware tales como acelerómetro y sensor de luminosidad.
- **Android.openGL:** Es la interfaz java para la renderización graficas 3D basadas en OpenGL.
- **Android.os:** Entrega a la aplicaciones acceso a los servicios del sistema operativo estándar incluyendo mensajería, servicios del sistema y procesos de intercomunicación de aplicaciones.
- **Android.media:** Provee de la capacidad de reproducción de audio y video.

- **Android.net:** Es un set de API's que proveen acceso a procesos relacionados con la red, incluye procesos relacionados con la conectividad WIFI.
- **Android.print:** Entrega la capacidad de enviar contenido a impresoras configuradas al interior de aplicaciones.
- **Android.provider:** Es un set de API's que entregan acceso a las bases de datos de los proveedores de contenido como calendario y contactos.
- **Android.text:** Usado para renderizar y manipular texto en la pantalla del dispositivo.
- **Android.util:** Es un conjunto de API's para ejecutar tareas como convertir texto a número, manejo de ficheros XML, manipulación de fecha y hora.
- **Android.view:** Es fundamental para la creación de bloques en la interfaz de usuario.
- **Android.widget:** Es un conjunto de componentes de interfaz prediseñados tales como botones, etiquetas, administradores de diseño, etc.
- **Android.webkit:** Es un conjunto de API's que permiten la navegación en el Internet embebida en aplicaciones.

Las librerías Runtime de Android descritas anteriormente proporcionan las API's principales para los desarrolladores, sin embargo estas bibliotecas no realizan en gran parte el trabajo real y son esencialmente adaptadores de un conjunto de librerías basadas en C/C++.

Las librerías C/C++ son incluidas para cumplir con diversas tareas y funciones como dibujo de gráficos 2D y 3D, comunicación SSL, administración de base de datos SQLite, reproducción de audio y video, entre otros.

El núcleo de Linux entrega un nivel de abstracción entre el hardware del dispositivo y las capas superiores de software. Esta capa provee de multitarea, servicios de bajo nivel del sistema como administración de la memoria, administración de energía, protocolos de red, drivers para pantalla, audio y WIFI.

Es importante notar que Android utiliza solamente el núcleo de Linux. El núcleo de Linux fue desarrollado originalmente para su uso en computadoras de escritorio y servidores. De hecho, Linux es actualmente el sistema operativo más ampliamente implementado en servidores de empresa de misión crítica. Es un testimonio tanto de la potencia de los dispositivos móviles actuales, la eficiencia y el rendimiento del núcleo de Linux que se encuentra en el corazón de Android. [14]

2.4.2 Capa de Interfaz de Radio en Android

La capa de interfaz de radio o en inglés RIL (*Radio Interface Layer*), es el componente central de Android que administra la etapa de banda base a bajo nivel para proveer de servicios móviles al dispositivo. Esta capa es diseñada para operar de forma independiente del sistema y crea una capa de abstracción entre el servicio de telefonía y Android.

La capa de interfaz de radio está diseñada para administrar los tipos de radio utilizados actualmente como GSM, CDMA, HSPA, LTE, por ejemplo. Ella administra todos los aspectos de las comunicaciones inalámbricas basadas en telefonía móvil tales como registro, llamadas de voz, mensajería, paquetes de datos. Es por esto que esta capa tiene un rol muy importante, ya que esta capa es la que permite la comunicación del dispositivo móvil con el exterior.

Actualmente la capa de interfaz de radio no está limitada a teléfonos móviles o teléfonos inteligentes sino que cada vez es más integrada a tabletas o lectores de libros electrónicos para el acceso a Internet y es esta capa la responsable de gestionar y administrar la conexión.

El funcionamiento de los servicios de telefonía en Android está separado en cuatro capas. El esquema de funcionamiento se muestra en la figura 2-12. Estas cuatro capas son las siguientes: aplicaciones de llamadas y mensajería, el *framework* de aplicaciones, la capa de interfaz de radio y el núcleo de Linux.

Según se ha mencionado en la sección anterior la plataforma Android está diseñada en Java y C/C++, por tanto la capa de aplicaciones de mensajería y llamadas se ejecutan en la máquina virtual Dalvik mientras que la capa de interfaz de radio y los *drivers* hacia la banda base se ejecutan de forma nativa.

En la capa de aplicación incluye el software de alto nivel que implementa un número importante de funcionalidades. Estas funcionalidades incluyen as aplicaciones de mensajería y el marcador de número telefónico. Podemos distinguir el siguiente conjunto de aplicaciones:

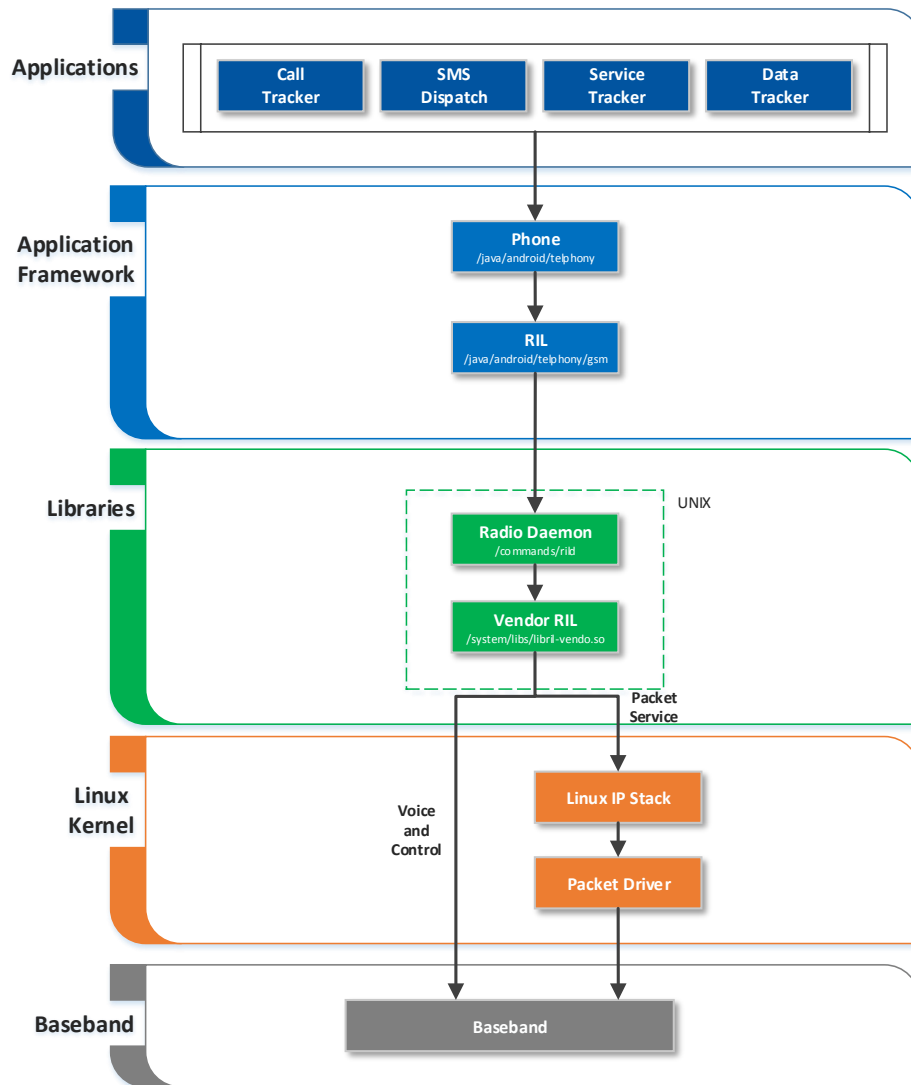


Figura 2-12 Sistema de telefonía en Android

- **Call tracker:** Administra las llamadas de voz.
- **SMS dispatcher:** Administra los mensajes SMS y MMS.
- **Service tracker:** Administra la conectividad con redes móviles (tipo de red, nivel de potencia, roaming, etc.).
- **Data tracker:** Es responsable de la conectividad con redes IP.

Los componentes de la capa de interfaz de radio sirven para dos propósitos al framework de aplicaciones. En primer lugar permite a la capa de aplicaciones comunicarse con la capa de interfaz de radio. En segundo lugar provee de una capa de abstracción para los parámetros de red entre las diferentes tecnologías de acceso. [18]

La capa de interfaz de radio se divide en 2 partes, el Radio Daemon y Vendor RIL. El Radio Daemon es directamente alcanzable por el exterior. Tanto el Radio Daemon y el Vendor RIL son desarrollados en C/C++ y compilados en código nativo.

La principal función que tienen ambos es proveer de la interconexión entre el Framework de aplicaciones y el hardware específico del dispositivo. Google ha puesto especial énfasis en el desarrollo, ya que es una implementación genérica para los dispositivos y debe interpretar la información entregada por el Vendor RIL. Esta interconexión con el Vendor RIL se realiza en el inicio del sistema y es reiniciado en caso de presentar inestabilidades.

La implementación del Vendor RIL depende completamente del fabricante, esto implica que la lectura de parámetros de radio desde Android puede entregar errores o el acceso a éstos se realiza mediante comandos Hayes no estandarizados produciendo incompatibilidades con capas superiores. La banda base es propiedad de cada uno de los fabricantes, es por esto que existen acuerdos de no divulgación entre Google y los fabricantes para efectuar modificaciones en caso de existir problemas de compatibilidad con la API de desarrollo. Además, el Vendor RIL es modificado continuamente para ajustar parámetros de RF en los dispositivos móviles con el fin de mitigar problemas de comunicación con la red móvil.

Un punto importante a destacar es que la comunicación con la banda base se realiza mediante comandos Hayes enviados desde el Radio Daemon. Si bien existe una serie de comandos Hayes estandarizados para la industria, existen comandos que no están estandarizados y por lo tanto la información no puede ser adquirida desde la capa de aplicaciones y se obtienen lecturas erróneas de los parámetros. Por ejemplo en la implementación de Android 7.0 se implementa la capacidad de obtener el parámetro ARFCN desde la estación base. El ARFCN¹ es un código que entrega tanto la banda de subida como de bajada para un sistema de telecomunicaciones, por lo tanto según especificación del sistema operativo se tendría acceso a obtener la banda en que se está generando tráfico. Sin embargo, muchas implementaciones actuales de este sistema operativo no son capaces de entregar la información, debido a diferencias en los comandos Hayes. El detalle de este último punto no se encuentra disponible.

El núcleo de Linux contiene los *drivers* para el hardware de banda base. Los *drivers* entregan una interfaz para comunicar a la capa de aplicaciones con la banda base.

2.5 LLAMADAS EN REDES MÓVILES

La medición del tiempo de establecimiento de llamadas tiene su origen en las primeras redes fijas. Para comprender como se compone este tiempo es necesario analizar la señalización a través de diferentes nodos de red para el establecimiento de las llamadas. A modo de ejemplo se muestra la figura 2-13, en donde se muestra un diagrama de la señalización que se realiza para establecer una llamada en una red fija utilizando una red SS7 (*Signalling System N°7*). Para aclarar el diagrama los nodos SSP (*Service Switching Point*) hacen referencia a las centrales telefónicas mientras que el nodo STP (*Signal Transfer Point*) es un conmutador de paquetes que recibe y enruta mensajes de señalización hacia el destino adecuado.

¹ Es un código que especifica la frecuencia en que se centran las portadoras de radio en sistemas de telecomunicaciones

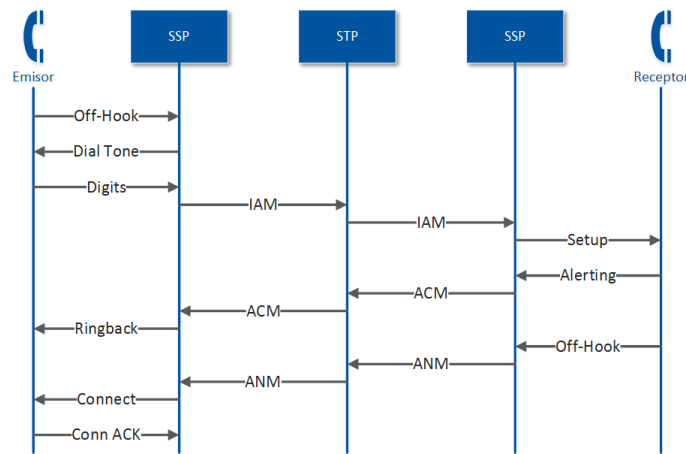


Figura 2-13 Señalización de llamadas en red fija

El proceso inicia con el descuelgue del teléfono de origen (*off-hook*) y la red envía un tono de invitación de marcado (*dial tone*), que es un indicador que la red se encuentra preparada para llamar. Posterior a esto se ingresa el número telefónico de destino y este es transferido hacia la central telefónica más cercana. Con esta información la central telefónica envía un mensaje de dirección inicial (IAM, *Initial Answer Message*). Este mensaje contiene información del número llamante, el numero llamador y el tipo de servicio. El STP se encarga de enrutar el IAM hacia la central telefónica donde se encuentra el receptor de la llamada. Una vez que es ubicado el dispositivo receptor y éste se encuentra disponible para la llamada, se envía un mensaje de *alerting* a la central telefónica del receptor. Esto genera un mensaje de direccionamiento completo (ACM, *Address Complete Message*) que se enruta a través del STP y hasta la central telefónica generando el tono de “llamando” en el emisor.

En el momento que sucede esa acción el circuito ya se encuentra establecido. Cuando el receptor descuelga el dispositivo se envía un mensaje de respuesta (ANM, *Answer Message*) que es enrutado a través de la red y se inicia la conversación en el momento del envío del “connect acknowledge”

En cuanto a la señalización de llamadas a través de la red móvil en general sigue el mismo esquema de funcionamiento, salvo que es necesario incluir algunos procesos para establecer el canal de comunicación a través de la red móvil. La figura 2-14 muestra la señalización de llamadas para una red móvil. [4]

El esquema hace referencia a una red 3G. A diferencia de la red fija no es necesario esperar un tono de invitación a marcar para efectuar la llamada sino que se ingresa el número telefónico antes de iniciar la llamada. Una vez iniciada la llamada, el dispositivo emisor solicita recursos de radio al RNC (*Radio Network Controller*), que es básicamente solicitar recursos para la iniciar la solicitud del administrador de llamadas (*CM Service Request*). Según la 3GPP esta asignación de recursos puede tardar en el mejor de los casos alrededor de 610 [ms]. Este retraso tiene por un lado una dependencia del programador de paquetes del RNC y por otro lado del estado que se encuentre el terminal en el momento de efectuar la llamada. [4]

El siguiente paso en términos simples es entregar seguridad al canal con algún tipo de algoritmo de cifrado, ya que al igual que en la red fija en el procedimiento de configuración (*Setup*) se enviará tanto el número telefónico del emisor y el receptor.

Con la información entregada por el procedimiento de configuración el nodo VLR (*Visitor Location Register*) básicamente hace una búsqueda a través de los MSC (*Mobile Switching Station Center*) de la red para encontrar la estación base en donde se encuentra registrado el dispositivo de destino. Este procedimiento es denominado *paging* y en redes móviles es una composición de procedimientos y contadores con el fin de determinar la ubicación del receptor. [3]

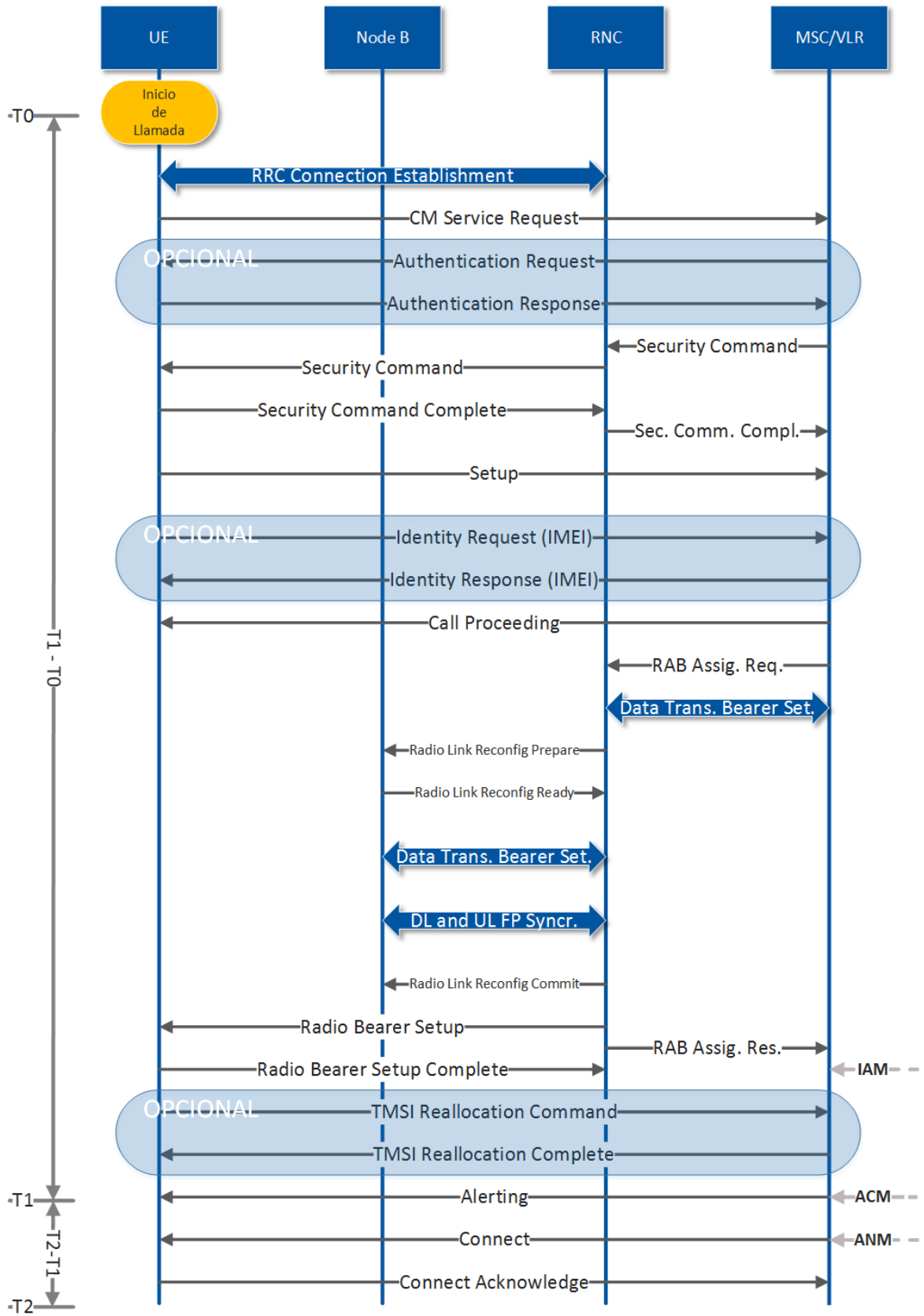


Figura 2-14 Señalización de llamadas en red móvil

Una vez obtenido el MSC que contiene al dispositivo receptor se envía un mensaje de confirmación al equipo emisor indicando que la llamada se realiza, se rechaza o se desvía al buzón de voz. El establecimiento del circuito se inicia con una solicitud por parte del MSC, en donde se ejecuta una configuración de la portadora entre en el RNC y Node B que entrega servicios al dispositivo emisor. Una vez establecido el canal entre estos nodos se procede a comunicar al dispositivo emisor y receptor que la red está preparada para el establecer el circuito de comunicación.

Al momento de completar la configuración del circuito se reconoce en el procedimiento de establecimiento de llamadas el mensaje de dirección inicial (IAM) y en el mensaje de *alerting* que activa el *ring backtone* en el dispositivo emisor se reconoce como el mensaje de direccionamiento completo (ACM).

Finalmente se acepta la conexión en el receptor, y se indica al emisor que la conversación se iniciará. Con este procedimiento final se reconoce el mensaje de respuesta (ANM) al momento de respuesta por parte del receptor.

2.5.1 Tiempo de Establecimiento de Llamadas

Para determinar el proceso de establecimiento de llamadas para las diferentes tecnologías de acceso disponibles en Chile y visualizar efectivamente el proceso que sucede durante el establecimiento, se habilita un dispositivo para tomar trazas entre éste y la estación base, posteriormente se realizan llamadas a través de la red móvil. Se utiliza un escenario bajo techo con condiciones de radio entre -90 a -100 [dBm] y para tomar las trazas se utiliza un software llamado QXDM desarrollado por Qualcomm para la interpretación de la información de radio proveniente del dispositivo que origina la llamada. Las llamadas a analizar son las siguientes:

- MO (Mobile Origin) 2G: Llamada originada en la red 2G.
- MO (Mobile Origin) 3G: Llamada originada en la red 3G.
- MO (Mobile Origin) LTE: Llamada originada en la red LTE.

Se debe considerar que el dispositivo que recibe la llamada no ha sido manipulado, por lo que este se encuentra registrado en la red LTE, ya que la red envía requerimientos de registro hacia la red de mayor tecnología de acceso, lo que provocará que el tiempo de establecimiento de llamadas aumente debido al retorno a la red de circuitos que debe realizar éste durante el proceso de establecimiento de la llamada.

Con esto se puede determinar el inicio, el fin de la llamada y el tiempo de establecimiento de llamada para las diferentes tecnologías en primer momento. A continuación se hace una reseña de los resultados obtenidos durante esta experiencia, en donde se muestra el flujo teórico del proceso de establecimiento de llamada y se presenta la traza obtenida desde el dispositivo que origina ésta para las tecnologías listadas anteriormente

2.5.2 Llamada MO 2G

Una vez que se ha marcado el número de destino la llamada se origina con una solicitud de recursos de radio (*Channel Request*) a la estación base (BSS) y el terminal queda a la espera de la confirmación de la asignación de recursos de radio a través del canal *Access Grant Channel* (AGCH). Dentro de la información que contiene el canal AGCH se encuentran la frecuencia y la posición al interior de una trama GSM, además de la corrección de frecuencia y de tiempo para mitigar el efecto Doppler. Con esto ya se ha establecido el canal de comunicación. Posteriormente el terminal envía un *Call Manager Request* a la estación base. Ésta envía una confirmación de servicio al terminal e inicia el proceso de autenticación con el HLR. Este proceso se muestra en la figura 2-15.

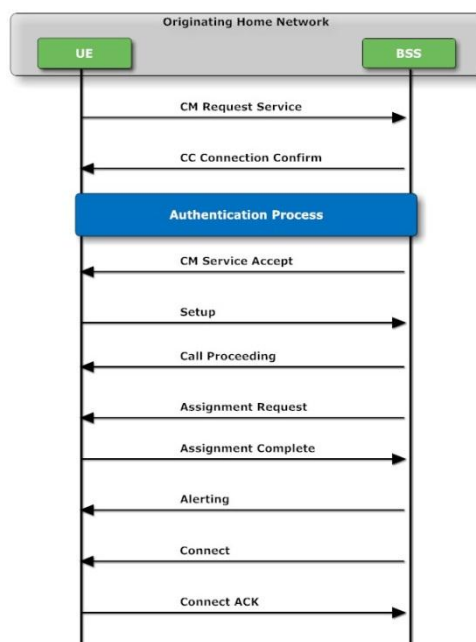


Figura 2-15 Flujo de llamada 2G MO

Una vez que el usuario se encuentra autenticado en el HLR, se inicia un proceso de aseguramiento del canal enviando los parámetros al terminal para realizar el cifrado de la comunicación. Posterior al aseguramiento del canal la BS envía un *Call Manager Service Accept* y el terminal responde con el *Call Setup*. Dentro de la información que contiene este mensaje se encuentra el MSISDN o el número telefónico de destino para establecer la comunicación. Cuando la estación base envía el mensaje de *Call Proceeding* en el terminal se visualiza la interfaz de llamada en curso. Los mensajes de *Assignment* se utilizan para establecer los circuitos de voz para conectar a ambos usuarios. Esta interconexión se gestiona entre el MSC y la estación base (BSS). Posteriormente el terminal recibe el mensaje de *Alerting*, en donde éste activa el *ring backtone* para señalar que al usuario de destino se le está enviando la alerta de llamada. Finalmente la BSS envía al terminal de origen un mensaje indicando que la llamada ha sido contestada y éste último responde con un *ACK* para establecer la comunicación.

En la figura 2-16 se muestra un extracto de la traza tomada en el dispositivo que origina la llamada.

```

22:02:45.965 Call statistic: Mobile initiated normal voice call attempted
22:02:45.965 Message ID: CM_SERVICE_REQUEST Message Set: PD_MM Channel: 0
22:02:46.082 1 11568 MO_FULL_SPEECH
22:02:46.170 IMMEDIATE_ASSIGNMENT
22:02:46.180 CM_SERVICE_REQUEST
22:02:46.637 CIPHERING_MODE_COMMAND
22:02:46.642 CIPHERING_MODE_COMPLETE
22:02:46.643 SETUP
22:02:47.580 CALL_PROCEEDING
22:02:47.580 Message ID: CALL_PROCEEDING Message Set: PD_CC Channel: 8
22:02:51.110 ASSIGNMENT_COMMAND
22:02:51.170 ASSIGNMENT_COMPLETE
22:02:52.490 ALERTING
22:02:52.490 Message ID: ALERTING Message Set: PD_CC Channel: 8
22:02:55.651 CONNECT
22:02:55.652 Call statistic: Mobile initiated call - connected
22:02:55.653 Message ID: CONNECT_ACK Message Set: PD_CC Channel: 0
22:02:55.653 CONNECT_ACK
22:02:55.655 Conversation
  
```

Figura 2-16 Traza llamada 2G MO

En la traza se observa claramente el proceso antes descrito desde el origen de la llamada desde el *CM Service Request* hasta el mensaje de *Alerting*, en donde la llamada se encuentra finalmente establecida. Con esto se determina que el tiempo de establecimiento de llamada 2G es de 9,69 [s] para este caso.

2.5.3 Llamada MO 3G

Una vez que se ha marcado el número de destino la llamada se origina con una solicitud de recursos de radio (*RRC Connection Request*) al RNC y éste acepta la solicitud de conexión. Luego el RNC genera el canal de tráfico e inicia la señalización para establecer la portadora enviando un mensaje al terminal. El terminal responde con el mensaje *RCC Connection Setup Complete* y con esto finaliza la configuración de la portadora. En la figura 2-17 se muestra el flujo de la llamada 3G MO.

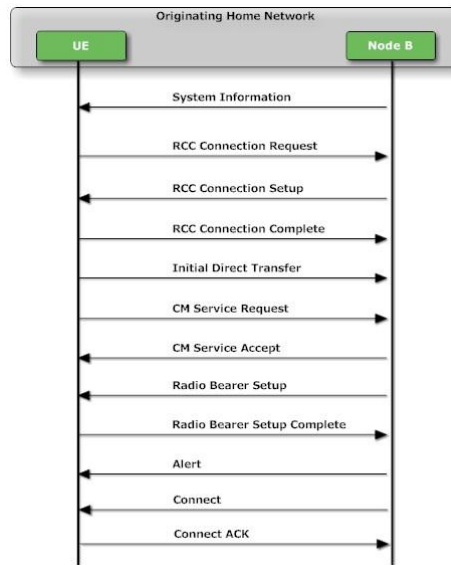


Figura 2-17 Flujo de llamada 3G MO

Una vez establecida la señalización de la portadora el terminal envía una solicitud de servicio de voz a través del CM Service Request. A nivel de *core* de red el *CM Service Request* es el primer mensaje que recibe entre el RNC y el MSC por lo que configura una conexión a través de SCCP (*Signal Connection Control Part*) para iniciar el establecimiento de la señalización por la interfaz Iu.

La autenticación se realiza desde el MSC hacia el terminal enviando un mensaje *Downlink Direct Transfer*. El terminal responde con el envío de la IMSI de la SIMCard hacia el MSC. Posteriormente el MSC inicia el proceso de aseguramiento del canal enviando los parámetros necesarios para cifrar la comunicación. Finalizando el aseguramiento del canal el MSC envía al RNC y este al terminal un mensaje aceptando el servicio *CM Service Accept*. El terminal envía el MSISDN para establecer la comunicación hacia el MSC y este responde con un *Call Proceeding* para dar inicio al establecimiento de la portadora, el cual contiene parámetros de calidad de servicio en su interior. Una vez que el terminal responde con un *Radio Bearer Setup Complete* se establece la portadora de voz. Finalmente se comunica al terminal de origen un mensaje de *Alerting*, en donde éste da inicio al *ring backtone* para indicar que el terminal se encuentra a la espera de la comunicación. Recibe un mensaje de *Connect* y este responde con un *Connect ACK*. En la figura 2-18 se muestra una reseña de la traza obtenida en el terminal.

```
21:14:23.075 Call statistic: Mobile initiated normal voice call attempted
21:14:23.075 Message ID: CM_SERVICE_REQUEST Message Set: PD_MM Channel: 0
21:14:23.076 Logical Chan: UL DCCH Signal Msg Type: INITIAL_DIRECT_TRANSFER_MSG
21:14:23.261 Logical Chan: DL DCCH Signal Msg Type: SECURITY_MODE_COMMAND_MSG
21:14:23.262 Logical Chan: UL DCCH Signal Msg Type: SECURITY_MODE_COMPLETE_MSG
21:14:23.701 Logical Chan: UL DCCH Signal Msg Type: UPLINK_DIRECT_TRANSFER_MSG
21:14:23.422 Message ID: SETUP Message Set: PD_CC Channel: 0
21:14:24.101 Logical Chan: DL DCCH Signal Msg Type: DOWNLINK_DIRECT_TRANSFER_MSG
21:14:24.101 Message ID: CALL_PROCEEDING Message Set: PD_CC Channel: 8
21:14:28.542 Logical Chan: DL DCCH Signal Msg Type: RADIO_BEARER_SETUP_MSG
21:14:28.620 Logical Chan: UL DCCH Signal Msg Type: RADIO_BEARER_SETUP_COMPLETE_MSG
21:14:29.765 Logical Chan: DL DCCH Signal Msg Type: DOWNLINK_DIRECT_TRANSFER_MSG
21:14:29.766 Logical Chan: UL DCCH Signal Msg Type: UPLINK_DIRECT_TRANSFER_MSG
21:14:29.766 Message ID: ALERTING Message Set: PD_CC Channel: 8
21:14:33.566 Message ID: CONNECT Message Set: PD_CC Channel: 8
21:14:33.566 Call statistic: Mobile initiated call - connected
21:14:33.567 Message ID: CONNECT_ACK Message Set: PD_CC Channel: 0
21:14:33.570 Conversation
```

Figura 2-18 Traza llamada 3G MO

En la traza se observa claramente el proceso antes descrito desde el origen de la llamada con el *RCC Connection Request* hasta el mensaje de *Alerting*, en donde la llamada se encuentra finalmente establecida. Con esto se determina que el tiempo de establecimiento de llamada 3G es de 10,5 [s] para este caso particular.

2.5.4 Llamada MO LTE

Una vez que se ha marcado el número de destino la llamada se origina con una solicitud de servicio extendido (*Extended Service Request*) al eNodeB, en donde éste reenvía la solicitud al MME. El MME se encarga de gestionar la movilidad al interior de la red LTE, por lo que reenvía una solicitud de modificación de contexto hacia el eNodeB, con lo que se inicia el proceso de *Handover* hacia una celda 2G/3G adyacente a la celda LTE. Una vez realizado el *Handover*, el Terminal envía una solicitud de servicio de voz (*CM Service Request*). El terminal envía un *Routing Area Update Request* a través del protocolo *GPRS Mobility Management* (GMM), con el fin de determinar la ruta necesaria para establecer la comunicación. El flujo de la llamada MO LTE se detalla en la figura 2-19.

Posteriormente en el proceso de autenticación se validan las credenciales del terminal que está solicitando el servicio. Una vez realizado este proceso se asegura el canal de comunicación enviando los parámetros necesarios para cifrar el canal. Cuando el *Routing Area Update* ha terminado se envía un mensaje al terminal de origen de la llamada, validando el área de conexión donde éste se encuentra.

Con estos procesos ya finalizados, se realiza la llamada como una llamada normal a través de la red 3G. Se establece la portadora de voz a través de la red 3G (*Radio Bearer Setup Complete*) y se comunica al terminal de origen un mensaje de *Alerting*, en donde éste da inicio al *ring backtone* para indicar que el terminal se encuentra a la espera de la comunicación. Recibe un mensaje de *Connect* y este responde con un *Connect ACK*.

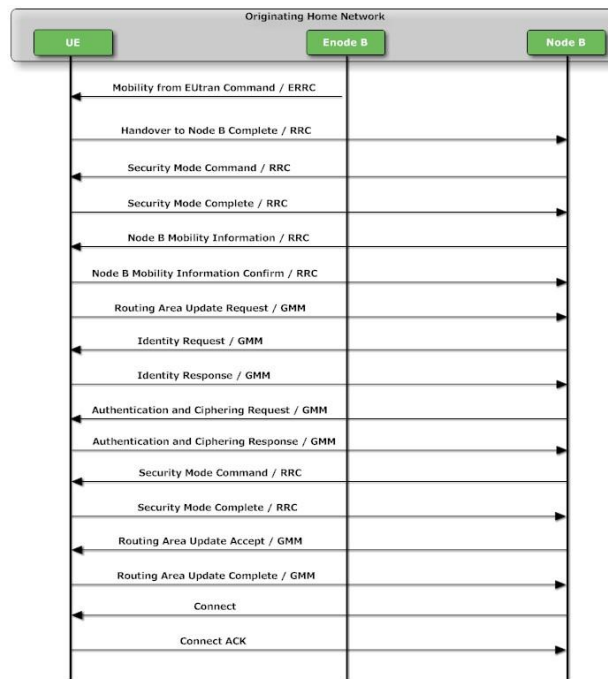


Figura 2-19 Flujo llamada CSFB MO

En la figura 2-20 se observa claramente el proceso antes descrito desde origen de la llamada con la solicitud de *Handover* hasta el mensaje de *Alerting*, en donde la llamada se encuentra finalmente establecida. Con esto se establece que el tiempo de establecimiento de llamada MO LTE es de 11,47 [s] para este caso particular.

```

15:40:14.600 Call statistic: Mobile initiated normal voice call attempted
15:40:14.600 UL Channel Type = UL CCCH, Message Type = RRC Connection Request
15:40:14.681 DL Channel Type = DL CCCH, Message Type = RRC Connection Setup
15:40:14.683 UL Channel Type = UL DCCH, Message Type = RRC Connection Setup Complete
15:40:14.730 DL Channel Type = DL DCCH, Message Type = Security Mode Command
15:40:14.730 UL Channel Type = UL DCCH, Message Type = Security Mode Complete
15:40:14.907 RAT = WCDMA
15:40:14.920 Active = CM Inactive
15:40:15.326 Active RAT: SYS_RAT_UMTS_RADIO_ACCESS, Prev RAT: SYS_RAT_LTE_RADIO_ACCESS
15:40:15.328 Connection Request Cause = Originate Conversation Call
15:40:15.597 Message ID: CM_SERVICE_REQUEST Message Set: PD_MM Channel: 0
15:40:15.598 Message ID: GMM_ROUTING_AREA_UPDATE_REQUEST Message Set: PD_GMM Channel: 0
15:40:15.960 Message ID: AUTHENTICATION_REQUEST Message Set: PD_MM Channel: 0
15:40:15.970 Message ID: GMM_IDENTITY_REQUEST Message Set: PD_GMM Channel: 0
15:40:15.970 Message ID: GMM_IDENTITY_RESPONSE Message Set: PD_GMM Channel: 0
15:40:16.870 Logical Chan: DL DCCH Signal Msg Type: SECURITY_MODE_COMMAND_MSG
15:40:16.870 Logical Chan: UL DCCH Signal Msg Type: SECURITY_MODE_COMPLETE_MSG
15:40:17.000 Message ID: GMM_ROUTING_AREA_UPDATE_ACCEPT Message Set: PD_GMM Channel: 0
15:40:17.003 Message ID: GMM_ROUTING_AREA_UPDATE_COMPLETE Message Set: PD_GMM Channel: 0
15:40:17.130 Message ID: CALL_PROCEEDING Message Set: PD_CC Channel: 8
15:40:20.800 Logical Chan: DL DCCH Signal Msg Type: RADIO_BEARER_SETUP_MSG
15:40:21.145 Logical Chan: UL DCCH Signal Msg Type: RADIO_BEARER_SETUP_COMPLETE_MSG
15:40:22.110 Message ID: ALERTING Message Set: PD_CC Channel: 8
15:40:26.070 Message ID: CONNECT Message Set: PD_CC Channel: 8
15:40:26.071 Call statistic: Mobile initiated call - connected
15:40:26.071 Message ID: CONNECT_ACK Message Set: PD_CC Channel: 0
15:40:26.073 Conversation

```

Figura 2-20 Traza llamada CSFB MO

CAPITULO 3. METODOLOGIA

En el siguiente capítulo se aborda la metodología utilizada para el desarrollo del sistema de medición y se abordan conceptos necesarios para efectuar la validación del sistema.

En la primera del parte capítulo se realiza una breve descripción del sistema indicando la estrategia para obtener la información desde los dispositivos. Posteriormente se introduce el dispositivo de medición profesional y alguna de sus características con el fin de validar el sistema desarrollado contrastando las mediciones de ambos sistemas.

Luego se muestran los conceptos utilizados para hacer la comparación del sistema. Estos conceptos introducen los parámetros que son necesarios medir con el fin de comparar ambos sistemas de medición.

Continuando con el capítulo se abordan los conceptos relacionados al tamaño muestral y concluyendo este apartando se presenta la fórmula utilizada para el tamaño de la muestra utilizada para efectuar la validación del sistema, la que posteriormente será analizada y aclarados los diferentes parámetros en relación al número de llamadas en Chile durante el último año.

En el siguiente capítulo se abordan los conceptos que se utilizarán para realizar la validación del sistema.

Para finalizar el capítulo se muestra la metodología utilizada para validar el sistema, en donde se explican las condiciones de borde que pueden existir durante la medición y se establecen los diferentes escenarios que se utilizarán en la comparación de ambos sistemas.

3.1 BREVE DESCRIPCION BASICA DEL SISTEMA

En el capítulo anterior se ha comprobado el flujo teórico que sucede durante la generación de llamadas desde el lado del emisor de la llamada. Analizando el flujo de llamadas se puede concluir que es posible desarrollar un sistema que permita la medición del tiempo de establecimiento de llamadas utilizando una aplicación que genere llamadas automáticamente desde el lado del emisor y configurando un dispositivo que reciba esta llamada sin establecer la comunicación y finalizando la llamada. Esto se evidencia en las trazas, ya que en cada uno de los casos efectuados en el capítulo anterior, la llamada se inicia cuando el emisor decide efectuar la llamada y por el lado del receptor existe un mensaje a través de la red que indica la ejecución del *ring backtone* del dispositivo. Si es posible capturar estos dos instantes y realizar la diferencia de estos tiempos, se podría obtener el tiempo de establecimiento de llamada.

Para esto se propone un sistema que consta de dos aplicaciones, una aplicación que genere llamadas automáticamente a un número telefónico en particular y una aplicación que rechace llamadas provenientes de la numeración con que cuenta el dispositivo emisor. De esta manera es posible obtener los dos instantes señalados en el párrafo anterior.

Con esto se ha solucionado la problemática de obtener los instantes de tiempo, no obstante la problemática yace en centralizar esta información en una base de datos, con el fin de efectuar la diferencia de estos tiempos, porque ninguno de los dispositivos conoce los instantes de tiempo del otro dispositivo. Las aplicaciones implementan una interface que permite el envío de la información hacia esta base de datos, en el momento en que la llamada ha finalizado por el lado del receptor.

La base de datos efectúa cálculos automáticamente y consolida la información, obteniendo el tiempo de establecimiento de la llamada que se ha efectuado. Un esquema básico del sistema se muestra en la figura 3-1.

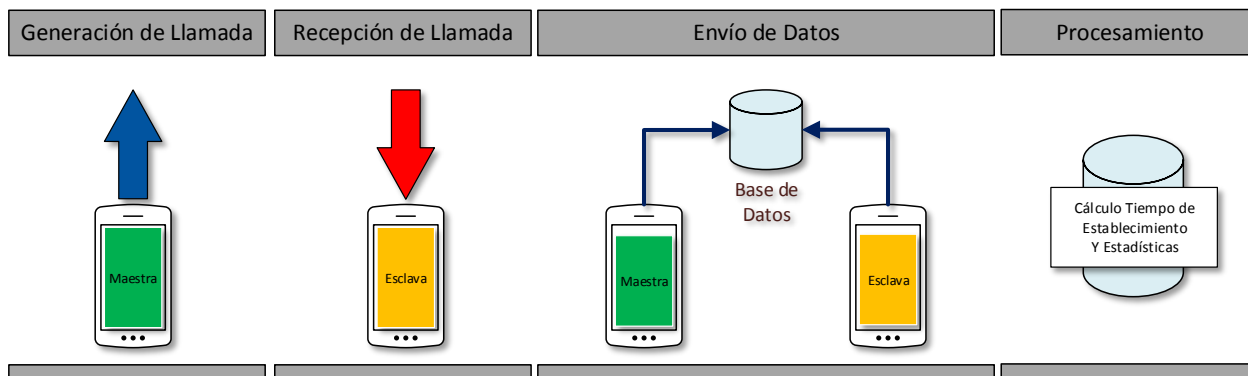


Figura 3-1 Esquema Básico Sistema CST

Debido a que el sistema que se propone pretende medir la experiencia del usuario y detectar las zonas en que el tiempo de establecimiento de llamadas es alto, ya sea por mal funcionamiento de la red o el usuario final se encuentra en una zona de alta congestión. Las aplicaciones tanto del lado del emisor como del receptor, además de medir el instante de tiempo que se menciona anteriormente, contienen un módulo que permite obtener información adicional de red y ubicación de los dispositivos. Este módulo se ejecuta en segundo plano una vez que inicia la primera llamada y solo se detiene una vez que la cantidad de llamadas ingresadas por el usuario ya han sido ejecutadas. Este módulo no entrega información en pantalla acerca de los datos que obtiene desde la red.

En el siguiente capítulo se realizará una descripción detallada del sistema completo, en el cual se explicará el funcionamiento de ambas aplicaciones denominada como maestra y esclava. Además se muestra el funcionamiento del módulo de obtención de parámetros adicionales que se encuentra incorporada en ambas aplicaciones y los procesos que realiza la base de datos para consolidar la información. Finalmente se detalla la interfaz web para la visualización de la información en línea que propone el sistema.

3.2 INTRODUCCION A TEMS™ POCKET

TEMS™ Pocket es una de las herramientas más utilizadas en el mercado de las telecomunicaciones para realizar optimizaciones y verificaciones de red, ya que esta herramienta ha sido diseñada por ingenieros de radiofrecuencia y adaptada a las diferentes necesidades que se presentan en este mercado. Este *software* es utilizado tanto para la verificación, mantención y solución de problemas en redes móviles como también para tareas básicas de planificación de red. Esta herramienta utiliza teléfonos comerciales con sistema operativo Android y permite acceder a mensajería de capa 3 según el modelo OSI para las diferentes tecnologías de acceso soportadas por el dispositivo. Algunas de las informaciones que proporciona este *software* son nivel de señal, calidad de la señal, interferencia, parámetros de la celda de servicio y aledañas, etc. Esta información es recolectada, clasificada, almacenada y presentada en pantalla según muestra la figura 3-2.

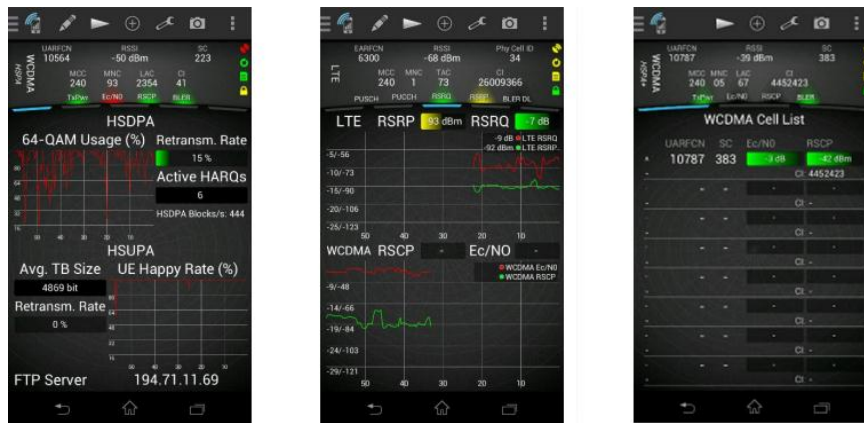


Figura 3-2 Software TEMS para dispositivos Android

Dentro de las diversas funciones y tareas que permite realizar TEMS™ Pocket una de las más interesantes es la configuración de rutinas para la ejecución de pruebas de forma automática. Las pruebas acceden a la mensajería de capa 3 y recolectan la información, la que es almacenada directamente en el dispositivo, para su posterior análisis con herramientas informáticas como Actix. Las pruebas que son configurables en la actual versión son las siguientes:

- FTP Upload / Download
- HTTP Get / Post
- Email
- SMS
- Ping
- Voice MO (Mobile originated CS or VoLTE)
- Voice MT (Mobile terminated CS or VoLTE)
- AQM (Voice with audio quality measurement)
- Control function (applies one or more control functions)
- IP Capture
- Mobile Network Scanning
- WIFI Scanning
- Logfile Recording
- Logfile Upload
- Wait

Esta función se utilizará configurando un dispositivo como originador de llamadas (MO) para la generación de llamadas automáticamente y capturar el tiempo de establecimiento de llamadas. Esta información se utilizará como patrón para realizar la comparación en términos estadísticos de ambos sistemas. [5]

3.2.1 Medición del Tiempo de Establecimiento de Llamadas en TEMS™ Pocket

Para realizar la medición del tiempo de establecimiento de llamadas se configura un script en el TEMS™ Pocket según muestra la figura 3-3.

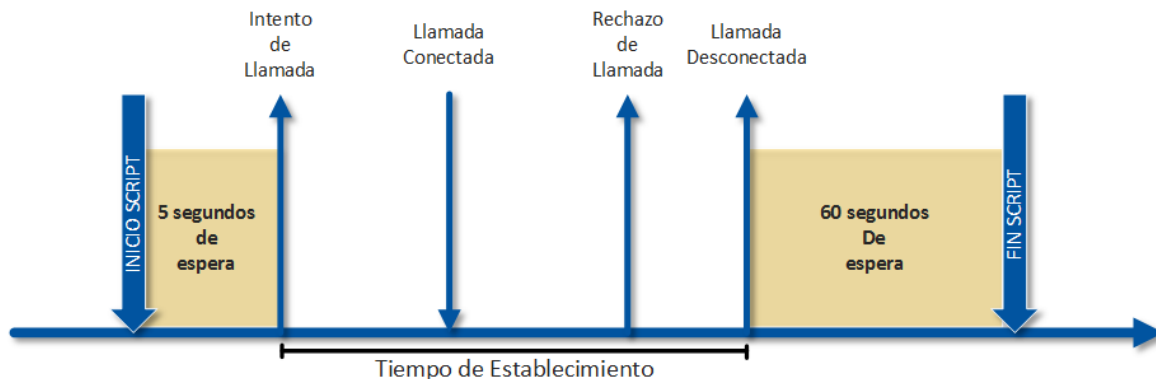


Figura 3-3 Script tiempo de establecimiento de llamadas TEMS™ Pocket

Para la configuración del script es necesario incorporar dos intervalos de guarda, de manera que las llamadas no se superpongan una con otra. Según muestra la figura 3-3 se configura una preguarda de 5 [s] y otra postguarda de 60 [s]. El dispositivo que recibe la llamada al interior de la misma red se configura mediante la aplicación que viene por defecto en el sistema Android para que rechace las llamadas provenientes de la numeración de origen. De este modo se evita que conecte la llamada y que el equipo efectúe mediciones de calidad de voz, permitiendo solamente la medición del tiempo de establecimiento de llamadas.

Desde el punto de vista de la señalización el intervalo de tiempo que se mediría sería entre el *RRC Connection Request* hasta mensaje de *Alerting* que activa el *ringbacktone* en el dispositivo que origina la llamada. Este intervalo corresponde a la *T1-T0* según la figura 2-14 y según la definición del tiempo de establecimiento de llamadas de la ITU sería efectivamente válido.

Es importante señalar que TEMS™ Pocket realiza la medición del tiempo de establecimiento de llamadas a nivel de capa de aplicación por lo que el tiempo de procesamiento entre capas se suma al valor medido. Si bien este último punto puede ser discutible y el tiempo que se añade a la medición despreciable, esta situación estaría reflejando efectivamente el comportamiento que observa el usuario durante la ejecución de una llamada y por lo tanto reflejando la experiencia que tiene el usuario desde la red.

3.3 ANALISIS DEL SISTEMA DE MEDICION (MSA)

El Análisis del Sistema de Medición (MSA) es un experimento de diseño especial que busca identificar los componentes de la variación en la medición. Así como los procesos que producen un producto pueden variar, el proceso de obtención de las mediciones y los datos que se obtienen pueden tener variaciones y producir defectos.

Un Análisis de Sistemas de Medición evalúa el método de ensayo, instrumentos de medición, y todo el proceso de obtención de medidas para asegurar la integridad de los datos utilizados para el análisis (por lo general el análisis de calidad) y para entender las implicaciones del error de medición de las decisiones tomadas sobre un producto o proceso. MSA es un elemento importante de la metodología Seis Sigma y de otros sistemas de gestión de calidad. [1]

MSA analiza el conjunto de equipos, operaciones, procedimientos, software y personal que afecta a la asignación de un número a una característica de medición. Un Análisis de Sistemas de Medición normalmente toma en cuenta lo siguiente:

- Selección de la medida correcta y el enfoque.
- Evaluar el dispositivo de medición.
- Evaluación de los procedimientos y los operadores.
- La evaluación de las interacciones de medición.
- Cálculo de la incertidumbre de la medición de los dispositivos de medición individual y / o sistemas de medición.

Herramientas y técnicas comunes de análisis de sistemas de medición incluyen: estudios de calibración, análisis de varianza de efectos fijos, los componentes de la varianza, el estudio de atributos Gage, Gage R & R, ANOVA Gage R & R, Análisis de Ensayos No Destructivos y otros. La herramienta seleccionada es generalmente determinada por las características del sistema de medición en sí.

El enfoque utilizado por MSA para efectuar los análisis estadísticos está basado en realizar un conjunto de mediciones y compararlos contra un patrón proveniente de un sistema de mediciones validado con anterioridad. Se asume que la distribución de mediciones sigue una probabilidad normal, la que es evaluada con respecto a la ubicación y al ancho de la distribución según muestra la figura 3-4. Ambos análisis entregan diferentes características del sistema de forma de identificar errores en el instrumento de medición evaluado. [1]

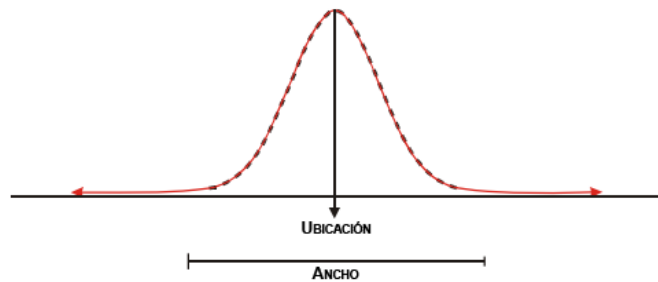


Figura 3-4 Enfoque de comparación MSA

3.3.1 Parámetros Relacionados a la Ubicación

Por lo general los parámetros que se relacionan con la ubicación están en concordancia con la exactitud del sistema de medición. La exactitud es un concepto genérico de lo exacto en relación a qué tan cerca se encuentra el promedio de uno o más resultados medidos y un valor de referencia. Son tres las pruebas que se desarrollan para determinar la exactitud:

- **Sesgo:** es la medida del error sistemático del sistema de medición como muestra la figura 3-5. Es la contribución del error total integrado por los efectos combinados de todas las fuentes de variación, conocidas o no conocidas, cuya contribución al error total tiende a compensar en forma consistente y predecible todos los resultados de aplicaciones repetidas del mismo proceso de medición.

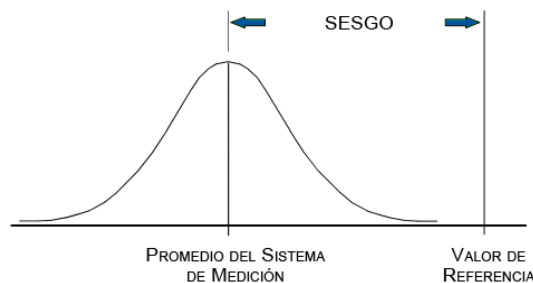


Figura 3-5 Definición de sesgo

- **Estabilidad:** Es la medición total en las mediciones obtenidas con un sistema de medición sobre el mismo master o partes cuando se mide la misma característica sobre un periodo de tiempo extenso. Esto es, la estabilidad es el cambio del sesgo en el tiempo como muestra la figura 3-6.

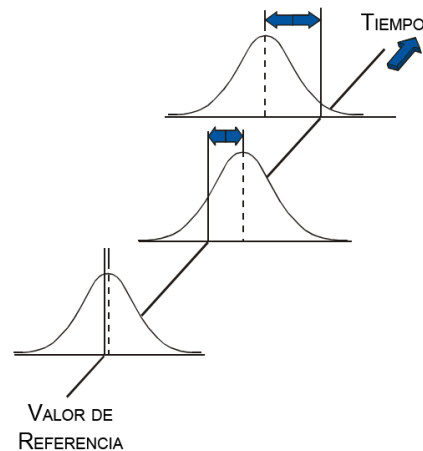


Figura 3-6 Definición estabilidad

- **Linealidad:** La diferencia de sesgo a través del rango de operación esperado del equipo es llamada linealidad. La linealidad, se muestra en la figura 3-7, puede tomarse como un cambio de sesgo con respecto al tamaño.

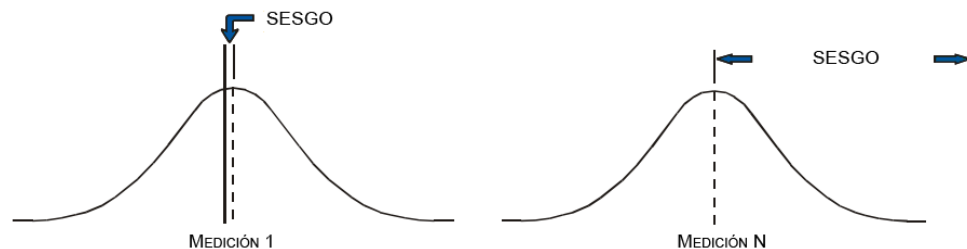


Figura 3-7 Definición linealidad

3.3.2 Parámetros Relacionados al Ancho

Tradicionalmente, los parámetros relacionados con el ancho de la muestra están en concordancia con la precisión que describe el efecto neto de la discriminación, sensibilidad y repetibilidad sobre un rango de operaciones del sistema de medición. En algunas organizaciones la precisión se usa en forma intercambiable con la repetibilidad. De hecho, la precisión es muy a menudo usada para describir la variación esperada de las mediciones repetidas sobre el rango de medición; tal rango puede ser tamaño o tiempo. Se puede definir la precisión como qué tan repetible la linealidad es con respecto al sesgo. Son dos las pruebas que se desarrollan para determinar la exactitud: [1]

- **Repetibilidad:** Es tradicionalmente definido como variabilidad “dentro del mismo evaluador” según se observa la figura 3-8. La repetibilidad es la variación en las mediciones obtenida con un instrumento de medición cuando se utiliza varias veces por un evaluador para medir la misma característica y sobre la misma parte. Esta es la variación o habilidad inherente del equipo mismo. Repetibilidad es comúnmente referida como la variación del equipo (EV), aunque esto puede ser dudoso. De hecho, repetibilidad es una variación de causa común (error aleatorio) de intentos sucesivos y bajo condiciones definidas de medición.

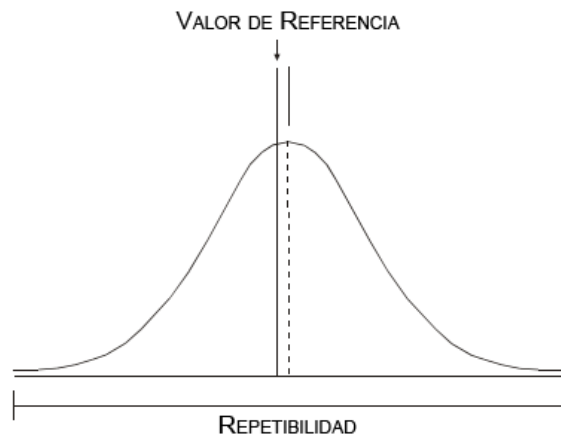


Figura 3-8 Definición repetibilidad

- **Reproducibilidad:** Se refiere a la variabilidad “entre evaluadores”. La reproducibilidad es típicamente definida como la variación en el promedio de las mediciones hechas por diferentes evaluadores usando el mismo equipo de medición cuando se mide la misma característica y sobre la misma parte. Esto a menudo es verdad para instrumentos manuales influenciados por la habilidad del operador. Sin embargo, para procesos de medición automatizados donde el operador no es una fuente principal de variación no es aplicable.

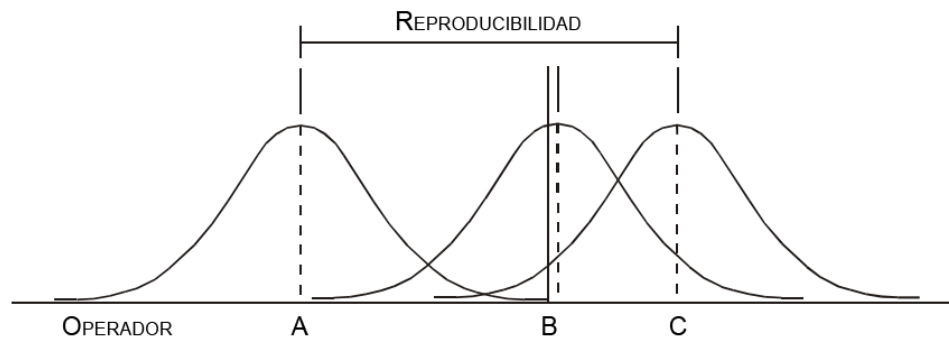


Figura 3-9 Definición reproducibilidad

3.4 TAMAÑO MUESTRAL

En ocasiones en que no es posible o conveniente realizar un censo para analizar a todos los elementos de una población se selecciona una muestra, entendiendo por tal una parte representativa de la población. El muestreo es por lo tanto una herramienta de la investigación científica, cuya función básica es determinar qué parte de una población debe examinarse, con la finalidad de hacer inferencias sobre dicha población. La muestra debe lograr una representación adecuada de la población, en la que se reproduzcan de la mejor manera los rasgos esenciales de dicha población que son importantes para la investigación. Para que una muestra sea representativa, y por lo tanto útil, debe de reflejar las similitudes y diferencias encontradas en la población, es decir ejemplificar las características de ésta. [21]

Existen los siguientes tipos de muestras:

- **Probabilísticas:** Las unidades de análisis tienen que estar dispuestas de modo tal que el proceso de selección dé una equiprobabilidad de selección a todas y cada una de las unidades que figuran en la población. Cada uno de los elementos de la población tiene la misma probabilidad de integrar parte de la muestra.

- **No probabilísticas:** La elección de los elementos no depende de la probabilidad sino de las causas relacionadas con las características de la investigación o de quien establece la muestra. Aquí el procedimiento no es mecánico, ni con base en fórmulas de probabilidad, sino que depende del proceso de toma de decisiones de una persona o de un grupo de personas y, desde luego, las muestras seleccionadas obedecen a otros criterios de investigación. Desde el enfoque cuantitativo y para determinado diseño, la utilidad de una muestra no probabilística reside no tanto en una “representatividad” de elementos, sino en una cuidadosa y controlada elección de sujetos con ciertas características definidas previamente en el planteamiento del problema.

3.4.1 Determinación del Tamaño de la Muestra en Investigación Cuantitativa

Los factores que determinan el tamaño de la muestra son la distribución de la población, el nivel de confianza y el margen de error permitido, las que se definen a continuación:

- **Distribución de la población:** La población puede ser homogénea o heterogénea, se puede realizar un estudio piloto para tener alguna medida estadística descriptiva como la media y la desviación estándar. Si no se poseen datos previos, se pueden adoptar los supuestos de posición conservadora, esto es, considera un universo infinito por lo tanto los valores de la proporción en máxima incertidumbre son $p=q=0,50$ con desviación estándar igual a 0,5.
- **Nivel de confianza:** Se refiere a la probabilidad de que la estimación efectuada se ajuste a la realidad. Niveles de confianza: 0,90; 0,95; 0,99. Si se considera una distribución normal el valor de la probabilidad de acuerdo al nivel de confianza son: 1,28; 1,64 y 2,33 respectivamente. Cuanto más grande es el nivel de confianza, mayor será la garantía de que la estimación realizada a través de la muestra se aproxime a la realidad.
- **Error de muestreo permitido:** Para fijar el tamaño de muestra adecuado a cada investigación es preciso determinar el porcentaje de error que estamos dispuestos a tolerar. El error es el porcentaje de incertidumbre, es el riesgo estimado de que la muestra elegida no sea representativa. A medida que se incrementa el tamaño de la muestra, el error muestral tiende a reducirse.

Se establece el tamaño de la muestra utilizando muestreo proporcional teniendo como restricciones el conocimiento del tamaño de la población y adoptando una mirada conservadora para establecer los valores de p y q. [21]

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 * N * p * q}{\varepsilon^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

En donde:

n = tamaño necesario de la muestra

Z = margen de confiabilidad

p = probabilidad de que el evento ocurra

q = probabilidad de que el evento no ocurra

ε = error de estimación

N = tamaño de la población

3.5 ESCENARIO DE VALIDACION

La metodología de trabajo para validar el sistema de medición propuesto se realizará en dos partes. El objetivo es validar la exactitud del sistema comparando contra un TEMS™ Pocket, midiendo un conjunto de llamadas simultáneamente para tecnologías de acceso 3G/4G en escenarios bajo techo y al aire libre. En un escenario bajo techo se obtendrán datos forzando los equipos a 3G y 4G, mientras que en el escenario al aire libre se configurarán los dispositivos para que tengan libre acceso a la tecnología de red que se encuentra disponible en la zona.

Se utilizarán dos pares de dispositivos para efectuar las llamadas, de los que se muestra el detalle en la tabla 3-1. Es importante que los dispositivos sean los mismos para la prueba para que no existan desviaciones en lo que respecta al módulo de banda base de éstos, ya que es el encargado de la administración de la etapa de radio.

| Marca | Modelo | Tipo | Versión Android | Número de Versión de Software | Banda Base |
|---------|-----------|------|-----------------|-------------------------------|--|
| Samsung | Galaxy S5 | MO | 4.4.2 | G900IZTU1ANE3 | G900IZTU1ANE2 |
| LG | G3 | MT | 5.0 | V20a-730-01 | MPSS.DI.2.0.1.c1.13-00048-M8974AAAAANPZM-1 |

Tabla 3-1 Dispositivos de prueba de validación

Además es importante destacar que la columna Tipo hace referencia al rol en la ejecución de llamadas que tendrán los dispositivos. MO hace referencia al terminal que origina la llamada y MT hace referencia al terminal que recibe la llamada.

3.5.1 Determinación del Tamaño de Muestra

Según la teoría del muestreo en estadística los factores que determinan el tamaño de la muestra son la distribución de la población, el nivel de confianza y el nivel de error permitido.

Para determinar el tamaño de la población se utiliza el Boletín de Transporte y Telecomunicaciones del primer trimestre del 2017 en donde se promedian la cantidad de llamadas durante este trimestre obteniendo alrededor de 1.400.000.000 llamadas. Considerando una distribución de llamadas homogénea, dado que se desconoce la concentración de éstas y adoptando un enfoque conservador se puede suponer la desviación estándar de la muestra como 0.5. [11]

El intervalo de confianza se refiere a que la estimación efectuada se ajuste a la realidad. Cuanto más grande sea el intervalo de confianza, mayor será la garantía de que la estimación realizada se ajuste a la realidad. Utilizando una distribución normal se tiene la siguiente tabla:

| Nivel de confianza | Valor de Z |
|--------------------|------------|
| 75,0% | 0,67 |
| 80,0% | 0,84 |
| 85,0% | 1,04 |
| 90,0% | 1,28 |
| 95,0% | 1,64 |
| 97,5% | 1,96 |
| 99,0% | 2,33 |

Tabla 3-2 Valores de probabilidad según nivel de confianza

El nivel de error permitido es el porcentaje de incertidumbre, es el riesgo estimado de que la muestra no sea representativa. A medida que aumenta la muestra, el error muestral tiende a reducirse.

Considerando un intervalo de confianza del 90% y un nivel de error permitido del 10% se confecciona la siguiente tabla:

| Parámetros | Valor |
|--|---------------|
| Número de Llamadas Telefonía Móvil 1-T 2017 Promedio Mensual | 1.400.000.000 |
| Número de Llamadas Telefonía Móvil 1-T 2017 Mensuales por Operador | 350.000.000 |
| Nivel de Confianza | 90% |
| Error Permitido | 10% |
| Z | 1,280 |
| P | 0,5 |
| Q | 0,5 |

Tabla 3-3 Valores de determinación tamaño muestral

El valor del número promedio de llamadas efectuadas a durante el primer trimestre de 2017 se divide por 4 para obtener el número de llamadas promedio por operador, éste número igual a 4 es considerando los operadores móviles que tienen infraestructura de red propia en el país. De esta manera se obtiene un valor de 350.000.000 llamadas mensuales por operador móvil. Los valores de P y Q son los que maximizan la varianza y según la mirada conservadora ambos son igual 0.5.

En estadística la fórmula de muestreo proporcional es la siguiente:

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 * N * p * q}{\varepsilon^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

Reemplazando los valores:

$$n = \frac{1,28^2 * 350.000.000 * 0,5 * 0,5}{0,1^2(350.000.000 - 1) + 1,28^2 * 0,5 * 0,5} = 40,960 \cong 41$$

De esta manera se determina que con muestras mayores de 41 llamadas es posible obtener un 90% de certeza en la estimación.

En la siguiente sección se detallarán los experimentos a realizar.

3.5.2 Validación de Exactitud contra TEMS™ Pocket Escenario Bajo Techo

La metodología que se utilizará para verificar la exactitud del sistema propuesto contra un TEMS™ Pocket es la siguiente:

- Se evalúa en escenario con cobertura bajo techo o indoor.
- Se realizan un conjunto de llamadas por tecnología de acceso 3G y 4G.
- Se efectúan 5 conjuntos o set de llamadas con un tamaño mayor de 41.
- Se efectúan llamadas desde los terminales denominados MO en ambos sistemas de forma sincronizada con una preguarda de 5 [s] y una postguarda 55 [s]. Así cada 1 minuto se realizan llamadas.
- Se considera como llamada válida para el análisis si la diferencia entre ambos sistemas no supera los 30 [s].
- Se utiliza la metodología utilizada por MSA para la evaluación de la estabilidad, sesgo y linealidad del sistema considerando las mediciones del TEMS™ Pocket como patrón.

De esta manera se obtienen 5 conjuntos de llamadas con un tamaño mayor a 41 por tecnología de acceso 3G y 4G, por lo que el tamaño de total de la muestra tiene que ser superior a 205 llamadas.

3.5.3 Validación de Exactitud contra TEMS™ Pocket Escenario Aire Libre

La metodología que se utilizará para verificar la exactitud del sistema propuesto contra un TEMS™ Pocket es la siguiente:

- Se evalúa en escenario al aire libre u outdoor considerando dos rutas que posteriormente serán detalladas
- Se realizan un conjunto de llamadas con libre acceso a tecnologías 3G/4G según se encuentre disponible en la zona de la ruta.
- Se efectúan 5 conjuntos o set de llamadas con un tamaño mayor de 41.
- Se efectúan llamadas desde los terminales denominados MO en ambos sistemas de forma sincronizada con una preguarda de 5 [s] y una postguarda 55 [s]. Así cada 1 minuto se realizan llamadas.
- Se considera como llamada válida para el análisis si la diferencia entre ambos sistemas no supera los 30 [s].
- Se utiliza la metodología utilizada por MSA para la evaluación de la estabilidad, sesgo y linealidad del sistema considerando las mediciones del TEMS™ Pocket como patrón.

De esta manera se obtienen 5 conjuntos de llamadas con un tamaño mayor a 41, por lo que el tamaño de total de la muestra tiene que ser superior a 205 llamadas.

En la figura 3-10 se muestran las rutas utilizadas para realizar la validación en escenario al aire libre. Cabe señalar que este escenario es considerado denso urbano y es una zona rodeada por edificios por lo que los efectos de desvanecimiento de la señal y multicaminos (*multipath*) hacen que la densidad de antenas sea considerable.

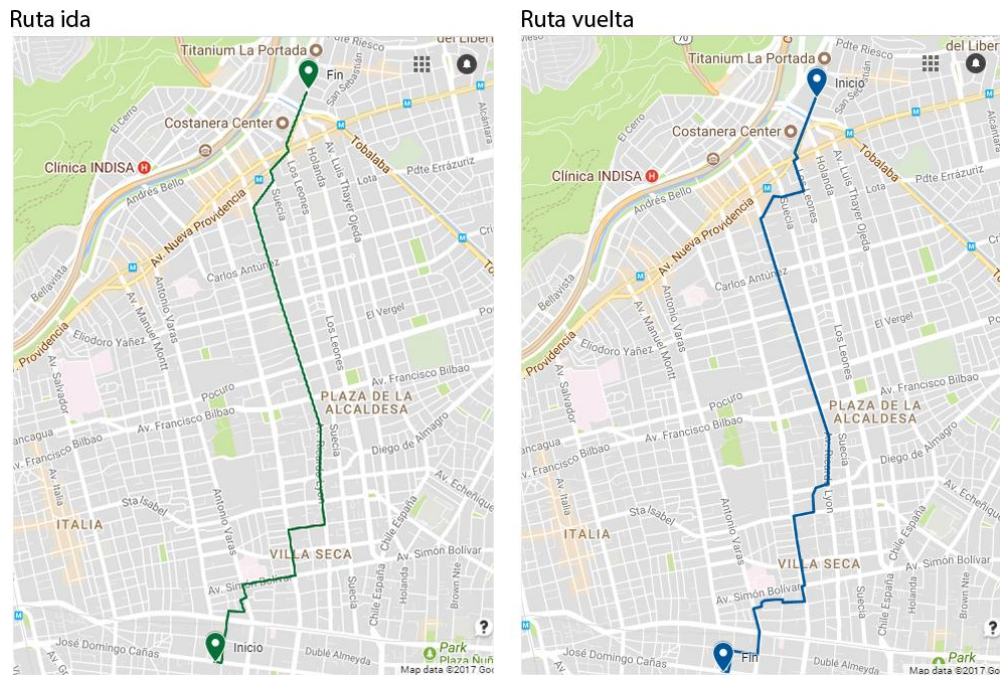


Figura 3-10 Rutas de validación escenario al aire libre u outdoor

CAPITULO 4. DESCRIPCION DEL SISTEMA

En este capítulo se realizará una descripción acerca del funcionamiento del sistema de medición del tiempo de establecimiento de llamadas.

En la primera parte se describirá de forma amplia la arquitectura y el funcionamiento de las aplicaciones desarrolladas estableciendo un esquema de maestro-esclavo para la obtención de datos de las llamadas. Además se describirán los diferentes diagramas y módulos que participan en la obtención de parámetros temporales, de ubicación y de red.

Continuando con el capítulo se explica cómo el servidor realiza tareas fundamentales para el sistema en la obtención del tiempo de establecimiento de llamadas y cómo este interactúa con el sitio web diseñado para presentar las estadísticas recopiladas en la muestra.

Finalmente se presenta el sitio web para mostrar la información, en donde se detallan los diferentes módulos diseñados en la interfaz web y el objetivo que buscan al momento de ser visualizadas por el usuario final.

4.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sistema de medición del tiempo de establecimiento de llamadas consta de cuatro etapas para su funcionamiento según muestra la figura 4-1.

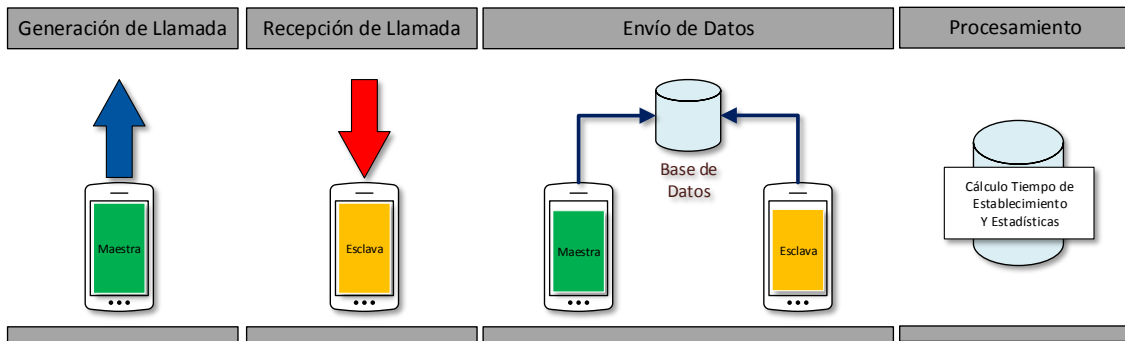


Figura 4-1 Funcionamiento Básico Sistema CST

La generación y recepción de la llamada se realizan mediante dos aplicaciones que denominaremos como aplicación maestra y esclava, siendo la maestra la que ejecuta la llamada y la esclava la que recibe la llamada. Posteriormente la información recopilada por ambos teléfonos es enviada a un servidor, en donde se calcula el tiempo de establecimiento de llamadas y estadísticas del sistema.

Tanto la aplicación maestra como la esclava están diseñadas para ser utilizadas en teléfonos inteligentes o *smartphones* con sistema operativo Android desde su versión 4.0 (Gingerbread) hacia adelante. Por otro lado el servidor está compuesto por una base de datos MYSQL para el almacenamiento de los datos y lenguaje de programación PHP en la etapa de postprocesamiento. En la figura 4-2 se presenta el diagrama de flujo del sistema, en ella se muestra que cada aplicación se encuentra compuesta por un hilo principal y un servicio. En el área del servidor se ven los procesos más importantes para la obtención de los parámetros generados por cada llamada. A continuación se realizará una descripción detallada de cada uno de los 3 grandes pilares del sistema.

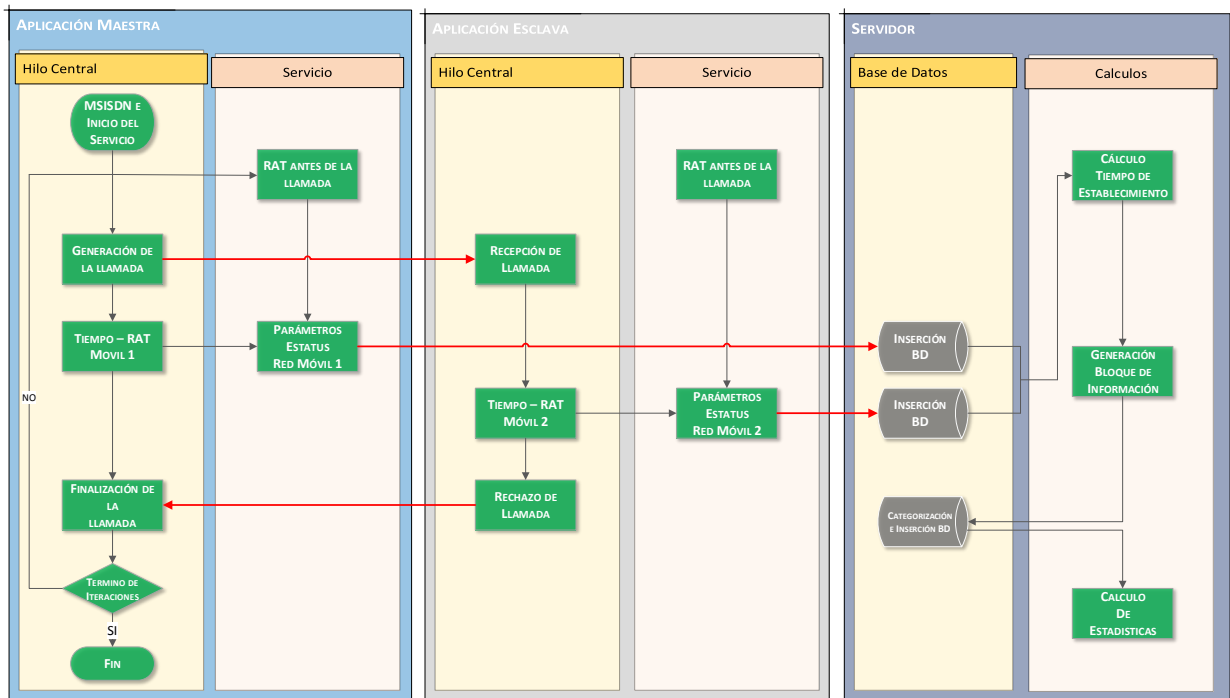


Figura 4-2 Diagrama de Flujo CST

4.2 APLICACIÓN MAESTRA

La aplicación maestra es la encargada de generar las llamadas (MO) al móvil de destino (MT). Esta aplicación está compuesta de dos servicios y un hilo central como se muestra en la figura 4-3. El hilo central es la interfaz de interacción con el usuario y en ella se obtienen los datos de entrada para el funcionamiento del sistema. Además gestiona los servicios "Loop-Call" y "Estatus", que se encuentran en permanente funcionamiento durante la generación de las llamadas. El servicio de "Loop-Call" se encarga de gestionar el bucle de llamadas y la adquisición de datos referentes a la generación de las llamadas. El servicio de "Estatus" se centra en la obtención de parámetros referentes al terminal, la red y la ubicación en donde se generan las llamadas. Finalmente el hilo central envía los datos obtenidos desde los servicios hacia la base de datos externa. Estos datos conforman parámetros del terminal de origen.

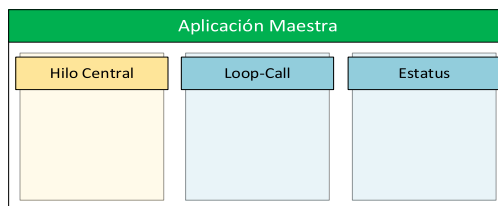


Figura 4-3 Diagrama aplicación maestra

4.2.1 Hilo Central

El hilo central es la interfaz con el usuario final de la aplicación maestra. En ella se introducen parámetros de entrada para el funcionamiento del sistema y se muestra en la figura 4-4.

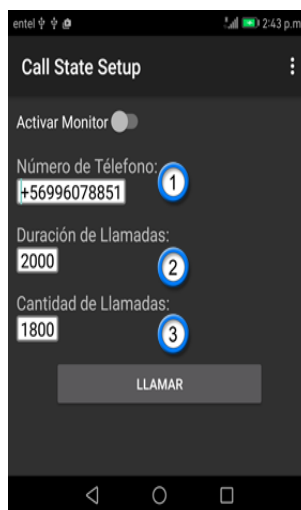


Figura 4-4 Interfaz aplicación maestra

Los parámetros de entrada se detallan a continuación:

- **Número de Teléfono:** Es el número de teléfono en donde se encuentra funcionando la aplicación esclava y hacia donde se realizará la llamada.
- **Cantidad de Llamadas:** Es requerido para establecer la duración del bucle de llamadas, con esto se calcula el tiempo de espera entre llamadas.
- **Duración de Llamadas:** Es requerido para establecer la duración del bucle de llamadas, con esto se calcula el tiempo de espera entre llamadas según la siguiente formula:

$$Duracion\ Bucle = 15 + \frac{Duracion\ de\ llamadas}{Repeticion\ de\ llamadas} [s]$$

Cabe señalar que los 15 [s] se han establecido como el tiempo mínimo de espera entre llamadas. En el informe de medición de calidad de servicio móvil de la SubTel se muestra una tabla en donde se indica el tiempo promedio de establecimiento de llamadas y la desviación estándar de la muestra. Esta tabla se muestra en la tabla 4-1. [19]

| Operador | Promedio (s) | Desviación Estándar |
|----------|--------------|---------------------|
| Claro | 3,02 | 5,7 |
| ENTEL | 3,81 | 7,04 |
| Movistar | 3,18 | 5,11 |

Tabla 4-1 Tiempo de establecimiento de llamadas SubTel

Esto indica que el tiempo de establecimiento máximo visto en esta muestra corresponde a 10,85 [s]. Dado este dato muestral, establecer un tiempo de espera entre llamadas de 15 [s], entrega un margen de 4 [s] para reducir la probabilidad de errores en el sistema.

La tarea principal que realiza el hilo central de la aplicación es unificar los servicios Loop-Call y Estatus, de manera que la información proporcionada por ambos es empaquetada y enviada al servicio de envío a la base de datos externa. Cabe señalar que en el dispositivo móvil no se realizan validaciones en los parámetros obtenidos, sino que esta validación se realiza en el servidor una vez ingresados los parámetros. Esto se ha realizado de esta manera para evitar procesamiento en el dispositivo, ya que en el sistema el dispositivo es el que cuenta con la menor cantidad de recursos en el sistema. El esquema de este hilo se muestra en la figura 4-5.

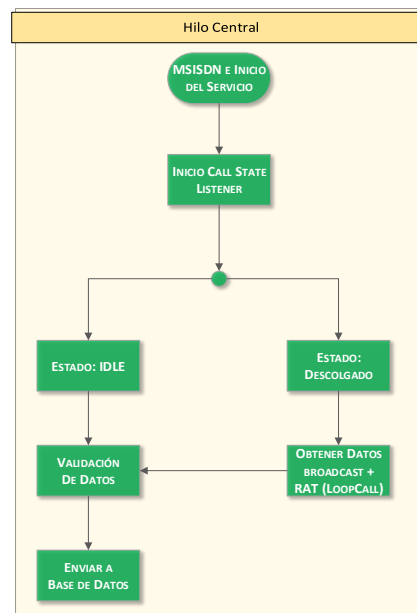


Figura 4-5 Esquema hilo central aplicación maestra

El Hilo principal implementa un observador de estado de llamadas de manera de detectar cuando el dispositivo se prepara a efectuar una llamada, cuando se encuentra en descolgado o con una llamada en curso. Los estados que son implementados en el hilo central son los siguientes:

- **Modo IDLE o en reposo:** este modo se implementa de manera que cuando el equipo ha efectuado una llamada y obtenido los parámetros de red ésta envía estos datos al servicio de base de datos para su envío. El servicio de base de datos valida que efectivamente se encuentren todos los datos para el envío, sin embargo este no valida el valor de éstos.

- **Modo Offhook o descolgado:** se implementa este modo, ya que es un paso requerido para efectuar una llamada telefónica y corresponde a la preparación de la llamada. En el momento que se realiza el discado del número telefónico se obtienen los parámetros de red desde el servicio de Estatus y Loop-Call.

La interfaz utilizada para efectuar las llamadas es la que proporciona cada una de las versiones de Android, si bien esta interfaz introduce un tiempo adicional en la medición de los tiempos de las llamadas, en este trabajo se considera despreciable. El motivo por el cual se ha realizado de esta manera es producto que al interior de Android existen permisos que no son accesibles por el desarrollador común sino que solo tienen acceso los desarrolladores pertenecientes a los fabricantes de dispositivos móviles y es necesaria una firma digital para acceder a éstos.

4.2.2 Servicio Loop-Call

El Servicio Loop-Call como se ha mencionado anteriormente se encarga de gestionar el bucle de llamadas. El servicio se inicia una vez que se realiza la primera llamada. Los parámetros requeridos de este servicio son los descritos en la sección anterior.

El esquema de este servicio se muestra en la figura 4-6. Antes de iniciar cada una de las llamadas este servicio determina la fecha, la hora y la tecnología de acceso del terminal en ese momento. La tecnología de acceso se determina con el fin de verificar si se ha realizado un retorno a la red de circuitos (CS Fallback) hacia una red 3G o 2G.

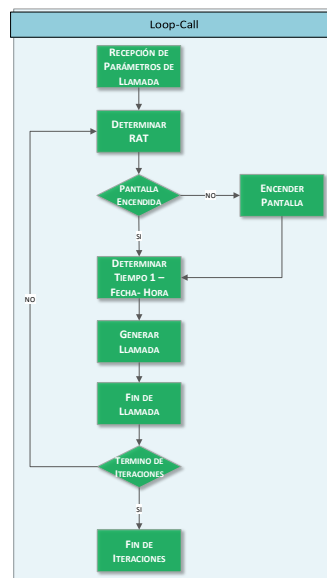


Figura 4-6 Esquema servicio Loop-Call

Se corrobora además si la pantalla del terminal se encuentra encendida, debido a que los terminales basados en Android detienen la obtención de parámetros de potencia de la señal, si el dispositivo se encuentra con la pantalla apagada. Esto se realiza así por razones eficiencia energética en los terminales.

En cuanto a la hora, se obtiene en dos formatos, los cuales son detallados a continuación:

- **HHmmssSSS (CS TIME):** En este formato de hora se utiliza como parámetro de entrada para determinar el tiempo de establecimiento de llamadas. En este formato “HH” hace referencia a la hora, “mm” hace referencia a los minutos, “ss” a los segundos y “SSS” a la milésima de segundo. Esto permite determinar el tiempo de establecimiento de llamadas con una precisión de 3 cifras. Se realiza un procesamiento en el terminal con el fin de obtener esta cifra en la misma unidad, es decir, se transforma el formato completo a segundos según la siguiente formula:

$$Hora = \frac{(HH * 3600 + mm * 60 + ss + SSS)}{1000}$$

- **HH:mm:ss (Hora):** Este formato se utiliza para ingresar la hora en la cual se realiza la llamada en la base de datos remota.

Cabe señalar que el sistema de establecimiento de llamadas registra la hora y fecha cuando la llamada se origina y no se realiza ningún registro de este tipo en la recepción de la llamada.

Luego de recolectar los parámetros anteriormente descritos se genera la llamada al MSISDN ingresado como parámetro. La aplicación esclava continuamente está rechazando la llamada proveniente de este MSISDN, esto se explicará en detalle en la próxima sección. Finalmente se verifica si se ha llegado al término de las iteraciones.

4.2.3 Servicio Estatus

El Servicio Estatus se compone básicamente de 3 observadores del sistema operativo Android. Un observador como se ha explicado en el capítulo anterior, posee la capacidad de sensar continuamente los parámetros para los cuales han sido diseñados, obteniendo los valores de éstos cuando ocurra un cambio en el parámetro que se encuentra censando. La composición del servicio estatus se muestra en la figura 4.7.

Este servicio se encuentra constituido básicamente por:

- Observador de Parámetros Básicos.
- Observador de Parámetros de Red.
- Observador de Parámetros Ubicación.

Cada uno de estos observadores actúa de forma independiente y la información entregada por cada uno de éstos se almacena en una función denominada “broadcast”. Esta función tiene la capacidad de obtener la información de los observadores y enviarla desde el servicio al hilo principal, cuando este último lo requiera. De esta manera el hilo principal de la aplicación es capaz de orquestar la obtención de la información, la generación de llamadas y el envío de la información hacia la base de datos remota.

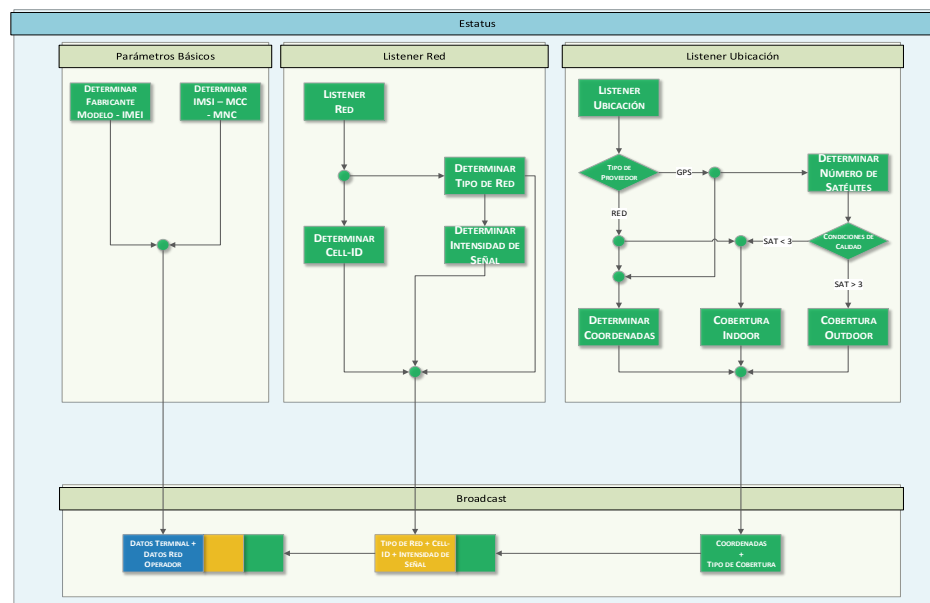


Figura 4-7 Esquema servicio Estatus

4.2.4 Observador de Parámetros Básicos

El observador de parámetros básicos está encargado de determinar parámetros del terminal y de la red que son considerados básicos para el sistema. Dentro de los parámetros del terminal se identifica el fabricante, el modelo y el IMEI. El IMEI (*International Mobile Station Equipment Identity*) es el identificador universal con el cual se individualiza el equipo y es posible reconocerlo en una red móvil. El IMEI se compone de la siguiente manera:

- **TAC:** corresponde a los 6 primeros dígitos e identifica al país de fabricación del terminal.
- **FAC:** corresponde a los 2 dígitos después del TAC e indica el fabricante del terminal.
- **SNR:** corresponde a los 6 dígitos después del FAC y es el número de serie del terminal.

Por el lado de los parámetros de la red se identifican parámetros como el *Mobile Country Code* (MCC) y el *Mobile Network Code* (MNC). Ambos parámetros se utilizan normalmente para la identificación internacional de la red. El MCC hace referencia al país en el cual opera la red móvil y el MNC es utilizado para identificar al operador de red móvil. El último parámetro que se identifica como básico de la red es la IMSI (*International Mobile Subscriber Identity*). Es utilizado para identificar a un usuario en la red móvil y este identificador es portado a todas las redes en donde se conecte el usuario, por ejemplo roaming nacional o internacional. Este identificador es un número de 64 bit que se compone de:

- **MCC:** corresponde a los 3 primeros dígitos.
- **MNC:** corresponde a los 2 dígitos posteriores al MCC.
- **MSIN:** corresponde a los 10 dígitos posteriores al MNC y es el número de identificación del usuario.

Para el caso de redes GSM, UMTS y LTE es almacenado directamente en la SIMCard.

4.2.5 Observador de Parámetros de Red

Este observador se encarga de determinar la tecnología de acceso en la cual se encuentra registrado el terminal, es decir, es capaz de distinguir entre redes GSM, UMTS, HSPA, LTE. Una vez que se obtiene la tecnología de acceso se determina la celda de servicio y la potencia que recibe el terminal desde ésta. El observador recibe la información de la celda en formato hexadecimal por lo que es necesario realizar la conversión a sistema decimal para interpretar la información de forma correcta. Por otro lado la unidad de potencia que se obtiene desde el observador va a depender de la tecnología de acceso. Para redes 2G y 3G el observador entrega la información con unidad ASU (*Arbitrary Strength Unit*). Para el caso de redes LTE la información de potencia se entrega directamente en dBm.

La fórmula de conversión de esta unidad a dBm varía según la tecnología de acceso. En redes GSM, el valor ASU se mapea directamente en el RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) con rango entre 0 y 31. Su fórmula de conversión a dBm es la siguiente:

$$RSSI = 2 * ASU - 113 [dBm]$$

En redes UMTS, el ASU se mapea directamente en el RSCP (*Received Signal Code Power*) con rango entre -5 y 91. Su fórmula de conversión a dBm es la siguiente:

$$RSCP = ASU - 116 [dBm]$$

En redes LTE, el ASU se mapea directamente en el RSRP (*Reference Signal Received Power*) con rango entre 3 y 95. Su fórmula de conversión a dBm es la siguiente:

$$RSRP = ASU - 140 [dBm]$$

Cabe señalar que en el sistema de medición del tiempo de establecimiento de llamadas la información de potencia se muestra en dBm.

4.2.6 Observador de Parámetros de Ubicación

El observador de parámetros de ubicación de encarga principalmente de determinar las coordenadas de posición, es decir, latitud y longitud en donde se efectúan y se reciben las llamadas. En primer lugar se determina el tipo de proveedor a utilizar, si el GPS del equipo se encuentra apagado se utilizan las coordenadas que entrega la red para determinar la ubicación y se establece que la cobertura es bajo techo (indoor) por simplicidad. En caso de que el GPS del terminal se encuentre encendido, se determina en primer lugar la cantidad de satélites en uso por el terminal. A este valor se agrega una condición de calidad de la señal recepcionada de $SNR > 20$ [dBm], este valor se selecciona basado en observaciones realizadas durante el desarrollo del módulo. De esta manera es posible determinar el tipo de cobertura en que se encuentra el equipo, dado que son necesarios 3 satélites para determinar la posición con una precisión de 5 [mt] se ha establecido este valor para verificar si el equipo se encuentra en una cobertura bajo techo (indoor) o al aire libre (outdoor). Finalmente se determinan las coordenadas de posición del terminal.

4.3 APLICACIÓN ESCLAVA

La aplicación esclava es la encargada de recepcionar la llamada generada por la aplicación maestra. Se compone de un hilo central, un observador de red y el servicio de estatus. Éste último corresponde al que ha sido descrito en la sección anterior. Este servicio de estatus no contiene ninguna modificación con respecto al implementado en la aplicación maestra, por lo que los datos obtenidos en la aplicación esclava son exactamente los mismos. El esquema de la aplicación esclava muestra en la figura 4-8.

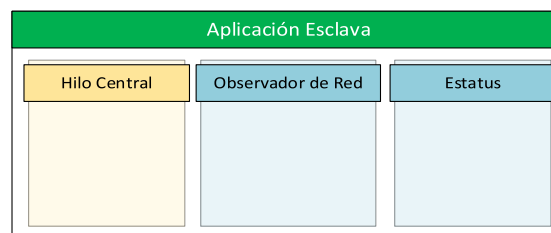


Figura 4-8 Diagrama aplicación esclava

El observador de red ha sido implementado como un servicio, ya que se requiere sensar continuamente el tipo de tecnología de acceso en la que se encuentra registrado el dispositivo móvil para detectar un retorno a la red de circuitos (*CS Fallback*). De esta manera se obtiene la tecnología de acceso antes de la llamada y durante la misma, haciendo posible la detección del retorno, ya que el servicio estatus es capaz de sensar también la tecnología de acceso.

4.3.1 Hilo Central

El hilo central de la aplicación esclava corresponde a la interfaz de usuario para el ingreso de los parámetros de entrada para el funcionamiento de ésta. Básicamente el parámetro de entrada corresponde al número de teléfono a bloquear (MSISDN). De esta manera cada vez que ingrese una llamada, el dispositivo móvil verificará el número telefónico que efectúa la llamada y si este corresponde al parámetro, se procederá a rechazar la llamada. En la figura 4-9 se muestra la interfaz de la aplicación.

El hilo central de la aplicación se encarga de coordinar la obtención de la información del servicio de “Estatus” y el envío de la información hacia la base de datos remota. Para esto el hilo central implementa un observador de estados de llamada, de manera de detectar el ingreso de las llamadas y cuando se encuentra en estado IDLE o reposo. Los estados que son implementados en el hilo central son los siguientes:

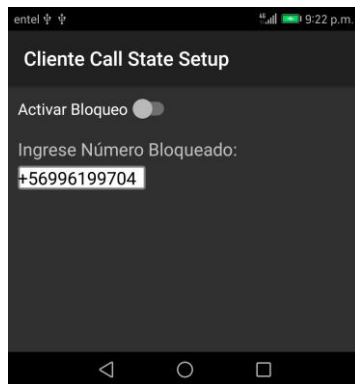


Figura 4-9 Interfaz aplicación esclava

- **IDLE o reposo:** este estado se implementa para detectar que la llamada ya ha ocurrido y se efectuará el envío de la información a la base de datos remota. Cuando una llamada ha sido realizada una variable cambia de estado de manera de evitar envíos a la base de datos en falso.
- **Ring o alerta de llamada:** este estado se implementa para detectar el ingreso de la llamada. Cuando se detecta el ingreso de la llamada se procede a obtener la información entregada por el servicio “Estatus” y posteriormente se efectúa el rechazo de la llamada.

El esquema del hilo central se muestra en la figura 4-10. En este esquema se muestra el flujo del hilo central, en donde el proceso se inicia con la entrega del MSISDN del dispositivo que efectúa la llamada y el inicio de los servicios. Una vez iniciados los servicios, el dispositivo se bloquea sin permitir el ingreso de información adicional. El MSISDN de origen, como se ha explicado anteriormente es necesario para realizar el rechazo de la llamada. Cuando ingresa una llamada al dispositivo, éste detecta el ingreso de la llamada a través del observador de estado de llamadas obteniendo los parámetros del observador de red y el servicio “Estatus”. Posterior a este proceso se rechaza la llamada y en el momento que se modifica el estado a IDLE o reposo se valida que los parámetros existan y se envían a la base de datos remota. Cabe señalar que la validación de los valores de los datos se efectúa en el servidor, ya que los recursos en los dispositivos son más limitados. Además si alguno de los datos no existe los parámetros no son enviados.

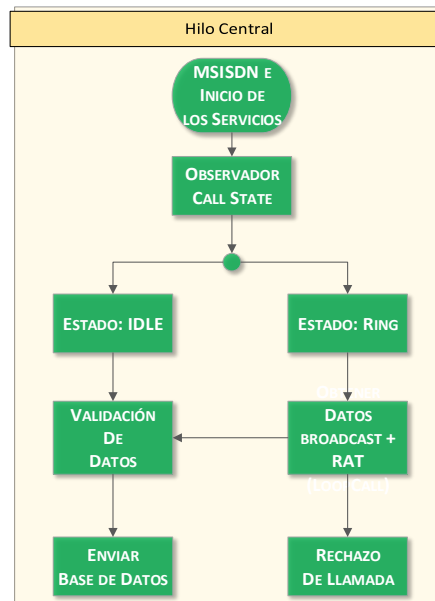


Figura 4-10 Esquema hilo central aplicación esclava

4.4 SERVIDOR

El servidor es un sistema que recibe la información de los dispositivos móviles, la almacena y procesa la información para ser mostrada en una interfaz basada en web. El servidor está compuesto por una base de datos MySQL y un servidor web, este último implementa PHP para los scripts de procesamiento en la inserción de datos, la generación del bloque de información y la categorización e inserción en la base de datos. El esquema del funcionamiento del servidor se muestra en la figura 4-11.

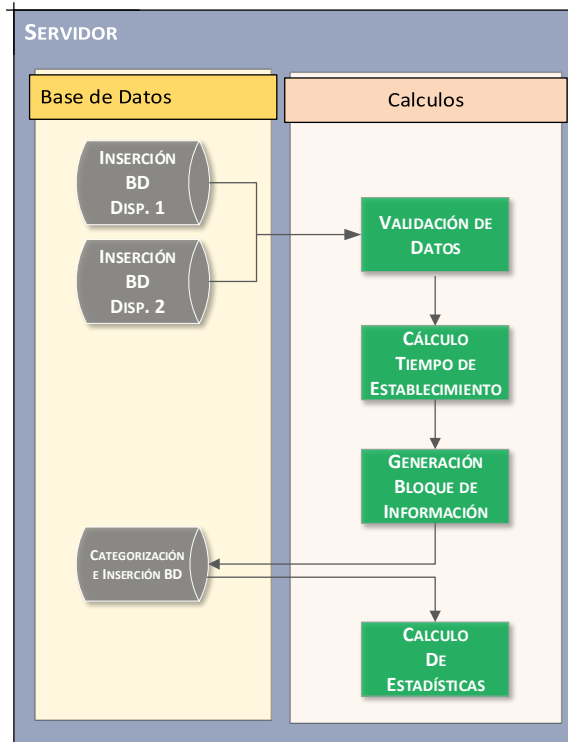


Figura 4-11 Esquema servidor

Como se muestra en el esquema la información proveniente de los dispositivos se almacena en una tabla, en donde cada fila corresponde a uno de los dispositivos. Esta tabla contiene la información de forma temporal y ésta se reescribe con la ejecución de cada una de las llamadas. Inmediatamente después de la inserción de la información del dispositivo 2 se ejecuta la validación de los datos. En este proceso se valida que la intensidad de señal obtenida desde los dispositivos se encuentre dentro de parámetros que normalmente se observan en una red móvil.

$$2G: -50 [dBm] \leq RSSI \leq -120 [dBm]$$

$$3G: -50 [dBm] \leq RSCP \leq -120 [dBm]$$

$$4G: -50 [dBm] \leq RSRP \leq -120 [dBm]$$

Luego se realiza el cálculo del tiempo de establecimiento de llamadas y se genera el bloque de información consolidado. Este bloque de información consolidado representa una llamada con la información de ambos dispositivos. Se explicará en detalle este proceso en la sección posterior. Luego se categoriza el tipo de llamada efectuado mediante el retorno a la red de circuitos que se ha determinado en ambos dispositivos y se inserta en la base de datos consolidada. Finalmente se ejecuta el cálculo de estadísticas, que es la información que se visualiza en el *dashboard*.

4.4.1 Cálculo del Tiempo de Establecimiento de Llamadas y Categorización

El tiempo de establecimiento de llamadas se calcula extrayendo la información que entregan los dispositivos, CS TIME, almacenada en la tabla temporal y restando la información del dispositivo 2 al valor del dispositivo 1. El esquema de este cálculo se muestra en la figura 4-12.

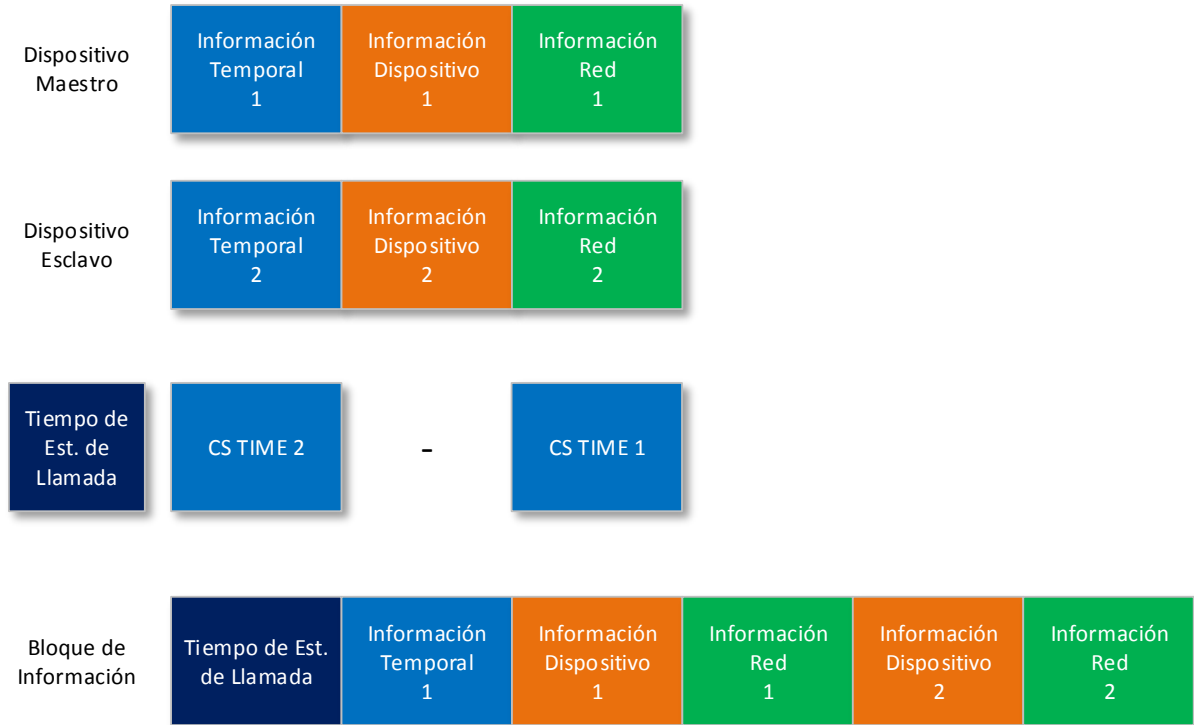


Figura 4-12 Esquema de cálculo del tiempo de establecimiento de llamadas

Se establece como factor de validación que la diferencia entre ambos números no supere a 1 minuto o 60 segundos. Esta condición se ha establecido de esta manera por dos razones a saber:

La primera hace relación a que en una red móvil destinada a entregar servicios de voz, se configura un tiempo de espera para rechazar la llamada y ser redirigido al buzón de voz del dispositivo móvil. Este tiempo de espera hace referencia al *paging* de la red, el cual es el proceso que hace la búsqueda del dispositivo al cual se dirige la llamada. El *paging* es una composición de contadores e intentos de búsqueda configurados en la red, ya que la búsqueda se encuentra segmentada en zonas o áreas locales y si bien los contadores se configuran con un valor fijo, el tiempo de *paging* puede variar significativamente según el estado en el que se encuentre el dispositivo móvil en el momento de la búsqueda.

La segunda razón hace referencia a valores históricos medidos en la red móvil. El tiempo de establecimiento de llamada es un parámetro de interés para los operadores, ya que se relaciona directamente a la experiencia que obtienen los usuarios, es por esto que éste se mide mensualmente en Santiago y trimestralmente en regiones. Esta medición considera mediciones bajo techo y al aire libre con un tamaño muestral de 4.400 llamadas. Cabe señalar que los lugares en los que se realizan las mediciones son siempre los mismos por razones estadísticas y de homogeneidad de la información a lo largo del tiempo. Según estas mediciones se pueden obtener valores de alrededor de los 20 [s] en algunas ocasiones, esta situación se muestra en la figura 4-13. Con estos antecedentes se ha optado por incluir una guarda de 30 [s] adicionales a los valores máximos obtenidos en mediciones en terreno.

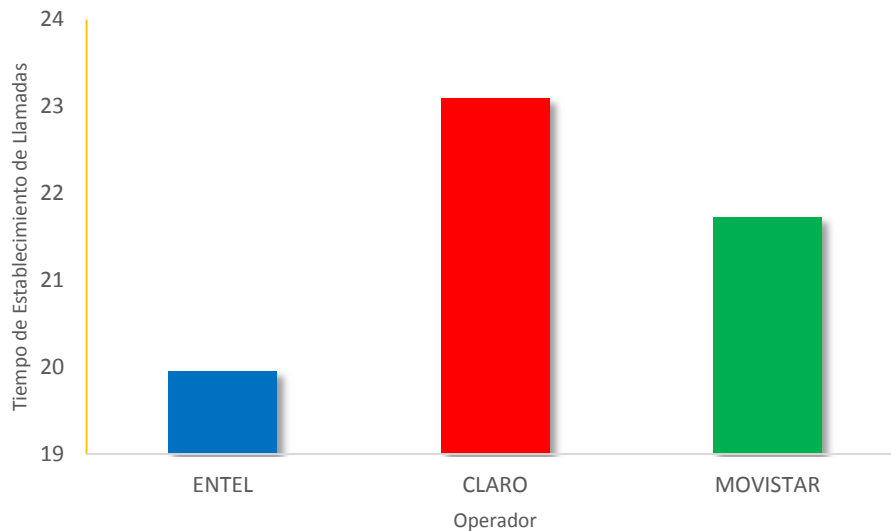


Figura 4-13 Tiempo de establecimiento de llamadas máximo

Posterior al cálculo del tiempo de establecimiento de llamadas se realiza la categorización de las llamadas según la información de red del dispositivo 1. Considerando esta información se evalúan los valores obtenidos desde el terminal y se inserta en una tabla según el tipo de llamada observado. Cabe señalar que una vez categorizada la llamada la información de red antes y durante la llamada es eliminada del bloque de información final.

Si bien se obtiene de igual manera la información del dispositivo 2 en este trabajo se ha optado por simplicidad abordar los 4 casos que más frecuentemente ocurren en la red. Si se quisieran abordar todos los casos es necesario considerar todas las tecnologías de acceso implementadas en la red móvil obteniendo 10 casos de análisis.

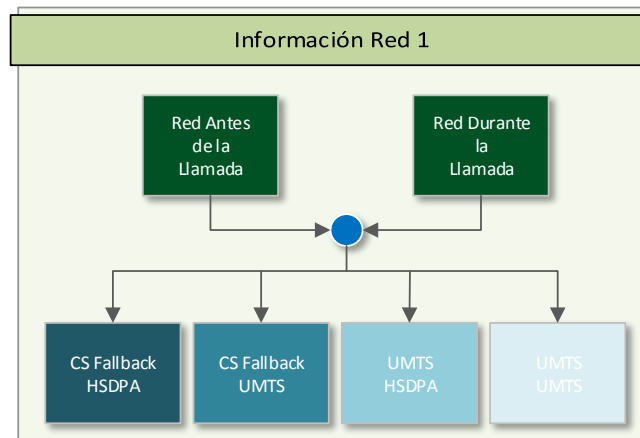


Figura 4-14 Categorización de llamadas

Finalmente una vez realizado los procesos descritos anteriormente se obtiene el bloque de información final en cada una de las tablas de la figura 4-14. Cabe señalar que el bloque de información temporal en la información insertada en las tablas corresponde solamente a la información proporcionada por el dispositivo que origina la llamada, descartando la información entregada por el dispositivo 2. Si bien se descarta esta información, ésta es requerida por el sistema para mantener la integridad de la tabla en donde se almacena temporalmente la información proveniente del dispositivo receptor de la llamada.

4.4.2 Cálculo de Estadísticas

El cálculo de estadísticas se realiza directamente en la base de datos MYSQL a través de procedimientos almacenados. Este proceso almacenado se realiza a través de un evento, el cual se dispara cada 24 horas, por simplicidad se ha establecido a las 00:00 para realizar el proceso. Los parámetros que se calculan son los siguientes:

- Total Diario
- Total Muestral
- Tiempo Promedio Diario
- Tiempo Promedio Semanal
- Tiempo Promedio Muestral
- Número de Llamadas con Respecto al Promedio
- Tiempo Máximo Diario
- Tiempo Máximo Promedio
- Desviación Estándar
- Llamadas por Tramo según Desviación Estándar
- Histograma

Estos datos a excepción del histograma son almacenados en una tabla por caso para que el acceso a la información en la confección de los gráficos sea más simple y se traduzca en una selección de datos desde la base de datos sin realizar algún cálculo antes de la transferencia de la información en el *dashboard*. Además, esta estrategia permite que los usuarios visualicen una información homogénea y sin cambios. En el caso del histograma se calcula una nueva tabla por caso considerando todos los datos. El esquema de funcionamiento de muestra en la figura 4-15.

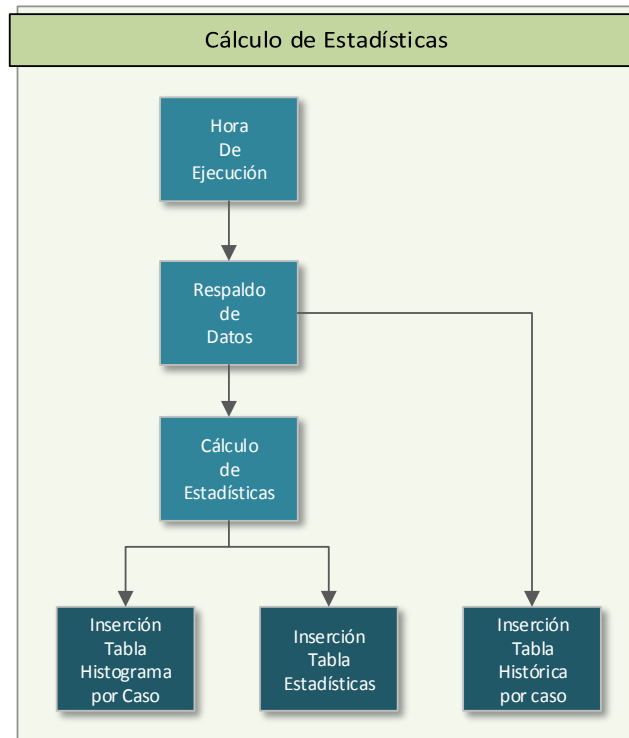


Figura 4-15 Esquema cálculo de estadísticas

Una vez que se dispara el evento se realiza el respaldo de los datos y se almacena en una tabla histórica por caso. Con esto es posible calcular valores semanales y volcar la información en un gráfico que indica el comportamiento en los últimos 7 días.

4.5 DASHBOARD

El *dashboard* es una página web basada en HTML5, Javascript, PHP y CSS3 en donde se muestra la información almacenada en las tablas MYSQL descritas en la sección anterior. Esta página web está diseñada de manera responsiva, es decir, se adapta a cualquier tamaño de pantalla, por lo que es accesible desde un computador de escritorio, un teléfono móvil o una tableta.

La estructura básica y diseño de la página web está realizada con HTML y CSS. HTML permite dar la estructura de contenidos y la jerarquía al interior de los contenedores de información. CSS permite el manejo de los contenedores para ubicarlos al interior de la página web y añadir estilo a cada uno de los contenedores. Además CSS tiene la capacidad de adaptar el contenido en la página web para los distintos tamaños de pantalla mediante el establecimiento de umbrales medidos en pixeles, de esta manera se logra que la página web tenga la capacidad de ser responsiva. [8]

El procesamiento de la información desde el servidor se realiza mediante PHP. El código central del procesamiento de datos realiza 2 consultas por cada gráfico desplegado en pantalla. La primera es para obtener parámetros y el comando para efectuar la segunda consulta. Esta segunda consulta es donde finalmente se obtienen la información para ser graficados en la página web. Finalmente esta información se adapta en el servidor a los distintos módulos Javascripts que generan los gráficos en la página web.

La página web se compone básicamente de dos secciones:

- Central o Home
- Casos

Ambas secciones abordan diferentes problemáticas, sin embargo la idea central es no entregar rápidamente la información sino que en primer lugar se acceda a una vista general del tiempo de establecimiento de llamadas para luego profundizar en los casos, cuando se observa algún comportamiento anómalo en los valores. En las siguientes secciones se detalla la información que entrega cada una de las secciones.

4.5.1 Sección Central o Home

La sección central o home de la página web como se ha mencionado anteriormente presenta un resumen general del estado de los diferentes casos. En cuanto a los casos analizados en la página web, se han seleccionado en base a mediciones realizadas con anterioridad y frecuencia de ocurrencia de cada uno de ellos. Los casos abordados en la página web son los siguientes:

- **CS Fallback – HSDPA:** hace referencia a que el dispositivo MO se encontraba en LTE y en el momento en que se realiza la llamada hace un handover a la red HSDPA.
- **CS Fallback – UMTS:** hace referencia a que el dispositivo MO se encontraba en LTE y en el momento en que se realiza la llamada hace un handover a la red UMTS.
- **HSDPA – UMTS:** hace referencia a que el dispositivo MO se encontraba en HSDPA y en el momento en que se realiza la llamada hace un handover a la red UMTS.
- **UMTS – UMTS:** hace referencia a que el dispositivo MO se encontraba en UMTS y en el momento en que se realiza la llamada hace un handover a la red UMTS.

En la figura 4-16 se muestra la disposición de los elementos en la sección central. Los puntos 1 y 2 son elementos de navegación, el primero permite acceder a los diferentes casos y al home del sitio web, lo que se traduce en navegar a través del sitio. El segundo permite gestionar la sesión que se ha iniciado en el momento del autenticación del usuario en el sitio web.

El punto tres es una barra en donde se muestra el total de llamadas validas realizadas y categorizadas según los casos mencionados anteriormente, posteriormente en base a este número se obtienen diferentes estadísticas de los valores obtenidos por caso.

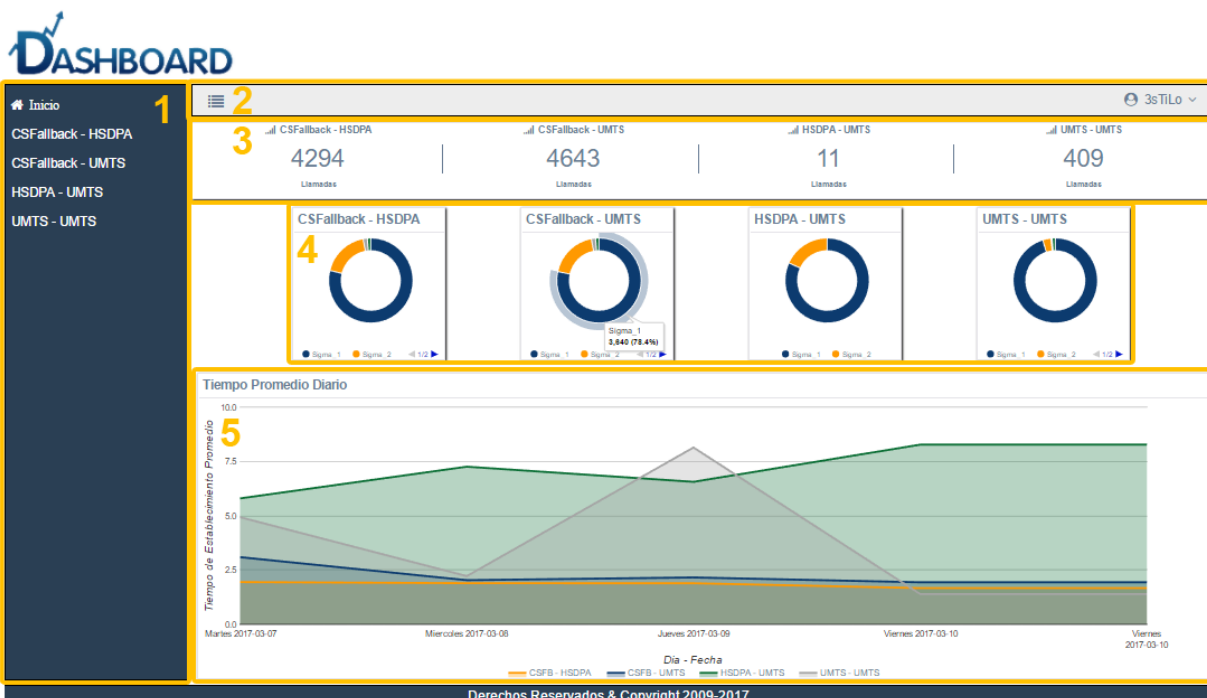


Figura 4-16 Sección home

Los indicadores de esta sección son calculados en base a los resultados obtenidos el día anterior, ya que el cálculo de las estadísticas según está definido en el sistema se realiza a las 00:00 horas. Cualquier valor que sea ingresado durante el día no tendrá incidencia en los resultados estadísticos de la sección central.

En el punto cuatro se aborda el primer indicador del sistema. Este indicador es confeccionado en base a el valor promedio y la desviación estándar de la muestra. Con estos valores se definen 4 tramos diferentes en base a la distancia definida por multiplicadores de la desviación estándar con respecto al valor promedio de la muestra total. En la figura 4-17 se muestran los tramos con respecto a una distribución normal. El tramo 1 indica que los valores se encuentran dentro de un intervalo considerado como bueno, el tramo 2 indica que los valores se encuentran en una situación intermedia o regular. Los tramos 3 y 4 indican que los valores tienden a ser malos y que es necesario revisar el servicio de voz móvil.

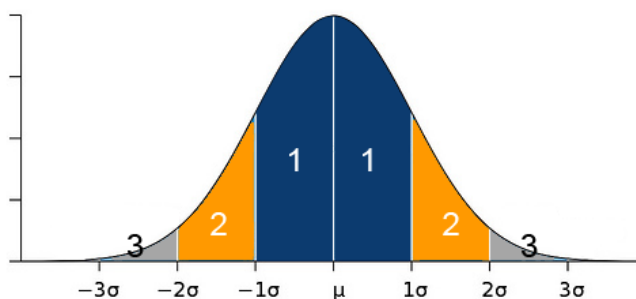


Figura 4-17 Tramos del indicador de tiempo vs desviación estándar

El punto 5 corresponde al tiempo promedio diario. Este indicador muestra el historial del tiempo promedio por caso de los últimos 7 días en segundos, por lo cual permite visualizar la experiencia que están percibiendo los usuarios en la última semana. Cabe señalar que el indicador está diseñado de forma que si no se perciben llamadas en el caso en algún día, se asigna el valor promedio al valor diario, de manera de no percibir un efecto de reducción del tiempo de establecimiento de llamadas.

Estos indicadores entregan una visión general y de alto nivel de cómo se distribuyen las llamadas en torno al valor promedio y establece una especie de semáforo determinando la cantidad de llamadas que se

encuentran en cada uno de los tramos. Esto permite determinar también en qué caso se está produciendo la mayor cantidad de tiempos de establecimiento de llamadas excesivos, de manera de entender y replicar las causas de éste.

4.5.2 Sección Casos

En la sección de casos del sitio web se presenta la información en detalle por cada uno de los casos. En la figura 4-18 se muestra la distribución en pantalla de cada uno de los gráficos. Los puntos 1 y 2 son elementos de navegación, el primero permite acceder a los diferentes casos y al home del sitio web, lo que se traduce en navegar a través del sitio. El segundo permite gestionar la sesión que se ha iniciado en el momento de la autenticación del usuario en el sitio web.

El punto 3 corresponde a una barra en donde se muestran distintos valores para establecer el último día en el que se calcularon las estadísticas del sistema. En primer lugar se hace referencia a la información temporal señalando la semana del año, el día y la fecha en que se realizaron los cálculos. En segundo lugar se muestra el número de llamadas totales de la muestra, con esto se establece la cantidad de llamadas involucradas en los cálculos. Posteriormente el aporte de llamadas por caso del día anterior a la muestra total. El cuarto valor involucrado en esta barra de estado es el valor promedio con respecto a la muestra de forma de establecer en torno a qué valores se encuentran los valores del tiempo de establecimiento de llamadas. En quinto lugar se señala el valor máximo registrado el día anterior. Finalmente se muestra el valor máximo percibido en el total de la muestra, para establecer el peor caso de incidencia.

El punto 4 corresponde a un gráfico en tiempo real con el tiempo de establecimiento de llamadas registrado con respecto a la información temporal que ha sido realizada. Este gráfico se ha diseñado mediante PHP, JAVASCRIPT y AJAX. El código JavaScript verifica cada minuto a través de AJAX y PHP si es que ha ingresado una llamada categorizada según corresponda el caso, si este ha verificado un nuevo valor los despliega en pantalla. El gráfico de tiempo real despliega no solo el valor en tiempo de real del tiempo de establecimiento de llamadas sino que también el valor máximo y el promedio del total de la muestra, de manera de obtener un estado inmediato del valor del tiempo. [7]

El punto 5 corresponde a una categorización de las llamadas con respecto al promedio, considerando el total de la muestra. Este indicador permite obtener una proporción del número de llamadas que pueden encontrarse en malas o buenas condiciones. Si bien este indicador no es suficiente por sí solo para determinar la cantidad de registros en condiciones de mala calidad, si permite acotar la muestra e indicar la incidencia de llamadas con mala experiencia.

El siguiente grupo de indicadores corresponde al punto 6, en donde se elaboran dos rankings con los 6 tiempos de establecimientos máximos y mínimos registrados en el total de la muestra. Además se incluye en el ranking la información temporal de incidencia de los valores.

El punto 7 hace referencia a un histograma considerando todos los valores de la muestra. Este histograma se ha diseñado de forma de obtener 10 pasos, los cuales se calculan automáticamente. El histograma permite determinar la distribución probabilística de la muestra y obtener la frecuencia de ocurrencia de los valores determinados en los pasos.

Finalmente en el punto 8 se presenta una tabla y un mapa, los cuales se encuentran interconectados. La tabla muestra la información recopilada de los últimos 200 registros con la siguiente información:

- Fecha
- Hora
- Modelo Dispositivo MO
- Modelo Dispositivo MT
- Señal Registrada Dispositivo MO
- Señal Registrada Dispositivo MT
- Tiempo de Establecimiento de Llamadas (CST)

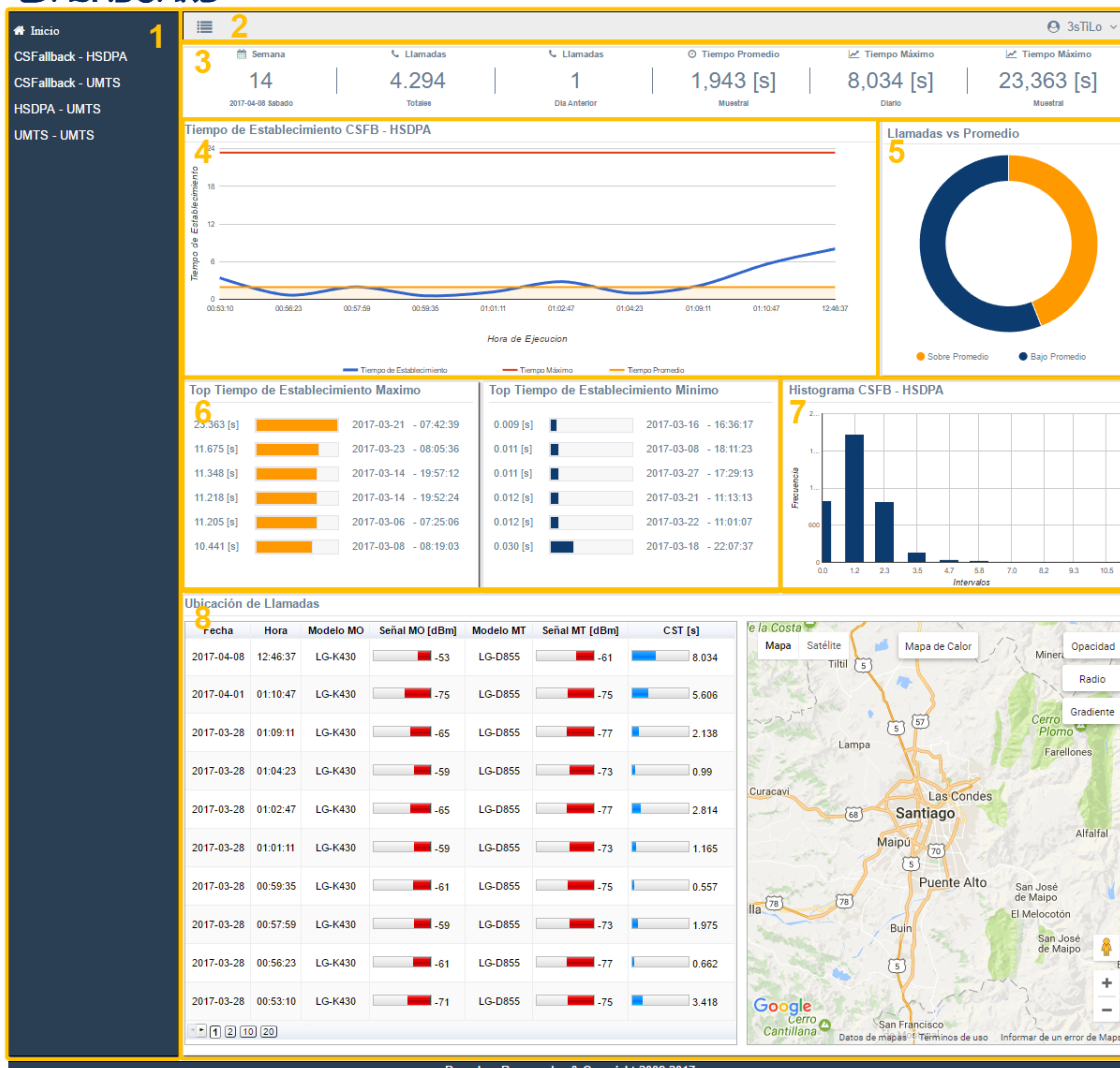


Figura 4-18 Sección casos

En la tabla cada una de las filas corresponde a una llamada. Cuando el usuario selecciona una de las filas se realiza una consulta a través de PHP para obtener la latitud y longitud del emisor y del receptor de la llamada, la que luego es presentada en el mapa. Con este módulo se establece la ubicación en donde se realizan las llamadas para determinar la zona que puede estar presentando tiempos de establecimiento de llamadas excesivamente altos. La información de potencia registrada por el dispositivo además, indica si los dispositivos se encuentran en un borde de celda o si la llamada fue efectuada en condiciones adversas de radio.

Se está trabajando en una capa en el mapa para que las zonas que presentan mediciones con un tiempo de establecimiento de llamadas elevado sean diferenciadas mediante distintos colores de manera de presentar la información en forma de un mapa de calor. El principal problema es que la cantidad de datos aumentan rápidamente y no es viable mantener la implementación que se encuentra hoy en día en el mapa, porque la transferencia de datos hacia el mapa afecta el rendimiento del navegador.

CAPITULO 5. VALIDACION DEL SISTEMA Y ANALISIS DE RESULTADOS

En el siguiente capítulo se presentan los resultados en los tres casos determinados anteriormente en el capítulo referente a la metodología para la evaluación de estos en términos de exactitud según lo que establece la metodología MSA.

Posteriormente se discuten los resultados obtenidos en el capítulo anterior. En primer lugar se analiza el sesgo de la muestra y se establecen las razones por las cuales existen diferencias en el sesgo entre ambos sistemas.

Continuando con el capítulo se analiza la estabilidad del sistema y se discuten los resultados obtenidos en términos del índice de correlación y se analizan tanto los valores del límite inferior y límite superior estableciendo en este último los motivos de estos valores.

Posteriormente se realiza una corrección de valores obtenidos para el escenario bajo techo 3G considerando la existencia de errores durante las mediciones en la red utilizada.

Finalmente se establecen los ámbitos en donde se pueden introducir mejoras en el sistema propuesto de forma hacerlo más robusto en alguna de sus características.

5.1 PRESENTACION DE RESULTADOS

La presentación de resultados se realizará en primer lugar considerando el conjunto total de muestras presentando la correlación con respecto al TEMS™ Pocket y luego el histograma de ambos sistemas de medición. Posteriormente se presenta los resultados según el método planteado en MSA que analiza la exactitud del sistema con respecto a un patrón. Estas pruebas se refieren a la estabilidad, sesgo y linealidad de los datos.

5.1.1 Resultados Escenario Bajo Techo Tecnología de Acceso 3G

La correlación mide el grado de dependencia entre dos variables, es decir, como se ve afectada una variable determinada conociendo la variación de una segunda variable o variable dependiente. En este caso se utiliza para evaluar si el sistema de medición propuesto reacciona de la misma manera que el sistema patrón frente al estímulo, es decir, frente a la medición del tiempo de establecimiento de llamadas. En la tabla 5-1 se muestra la correlación obtenida por conjunto de llamadas y además se muestra la correlación total de la muestra.

| Parámetro | Prueba 1 | Prueba 2 | Prueba 3 | Prueba 4 | Prueba 5 | Total |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|
| Número de Muestras | 51 | 52 | 59 | 47 | 60 | 269 |
| Correlación | 0,739 | 0,749 | 0,681 | 0,818 | 0,747 | 0,757 |

Tabla 5-1 Resultados de correlación escenario bajo techo tecnología de acceso 3G

En la tabla 5-1 se observa que la correlación total de la medición tiene un valor de 0,757, esto indica que ambos sistemas tiene una correlación positiva alta y el sistema propuesto presenta pequeñas variaciones. Sin embargo en el detalle se observa que la correlación en la pruebas 1,2 y 5 se encuentra en torno al valor de la muestra total. En las prueba 3 y 4 se observa un valor muy por debajo o sobre la media, esto puede explicarse por el horario en que fueron tomadas las muestras, ya que existe una influencia en el tiempo de establecimiento de llamadas según la carga que presente la celda de servicio. Esta carga hace referencia a la cantidad de solicitudes de llamadas generadas a la celda por los usuarios.

En la figura 5-1 se presenta el histograma considerando el total de la muestra, es decir, 269 llamadas. En el histograma se observa que las medias de ambos sistemas están en torno a los 4,410 [s] y la curva de ajuste de la distribución normal es similar para ambos casos, sin embargo la curva CST 3G es más achatada en la zona central, esto es debido a que la desviación estándar para el sistema propuesto es mayor, con un valor de 0,7542. Esto se ha realizado considerando el valor promedio de la muestra correspondiente al TEMS™ Pocket como valor de referencia y realizando la diferencia de valores.

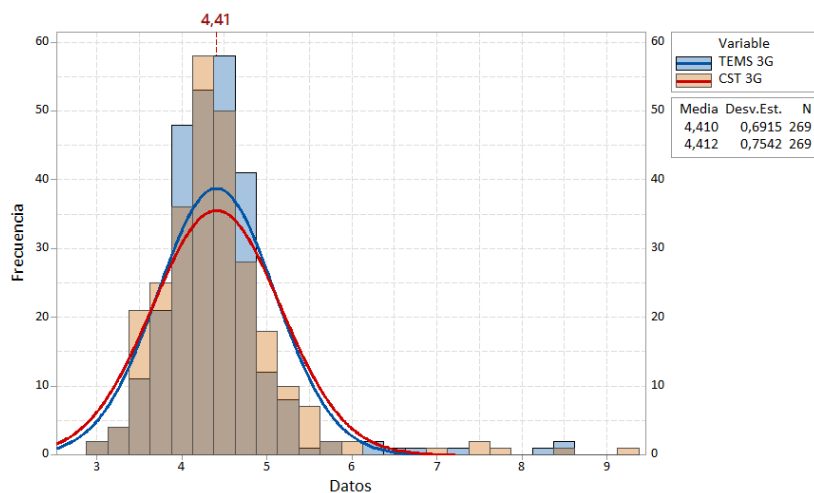


Figura 5-1 Histograma CST 3G vs TEMS™ Pocket 3G

Para la presentación de resultados de la estabilidad se utilizan gráficos X Barra/R aplicados a los cinco conjuntos de muestras. Estos gráficos representan el valor de las muestras en torno al valor medio de la muestra e indicando dos valores de control, uno inferior y otro superior. Estas gráficas para los cinco casos se muestran en la figura 5-2.

En cuanto a las medias de las diferentes mediciones no se observan mayores diferencias entre el sistema propuesto y el TEMS™ Pocket. Además los límites de control no son los mismos para cada pareja de muestras, ya que estos son calculados según el tipo de distribución y representan la desviación estándar que tiene cada una de las muestras.

Es interesante señalar que en la prueba 2 se observa una inestabilidad en la muestra debido a cambios en las condiciones en la celda de servicio, la cual es reflejada en ambos sistemas. Esto se ve reflejado entre el rango 1-11. Además en el rango 26-41 se observa una desincronización de ambos sistemas, ya que las mediciones son totalmente diferentes y hacia el final de la distribución se observa una vuelta al sincronismo de valores. Es importante señalar que este comportamiento no se percibe en el índice de correlación.

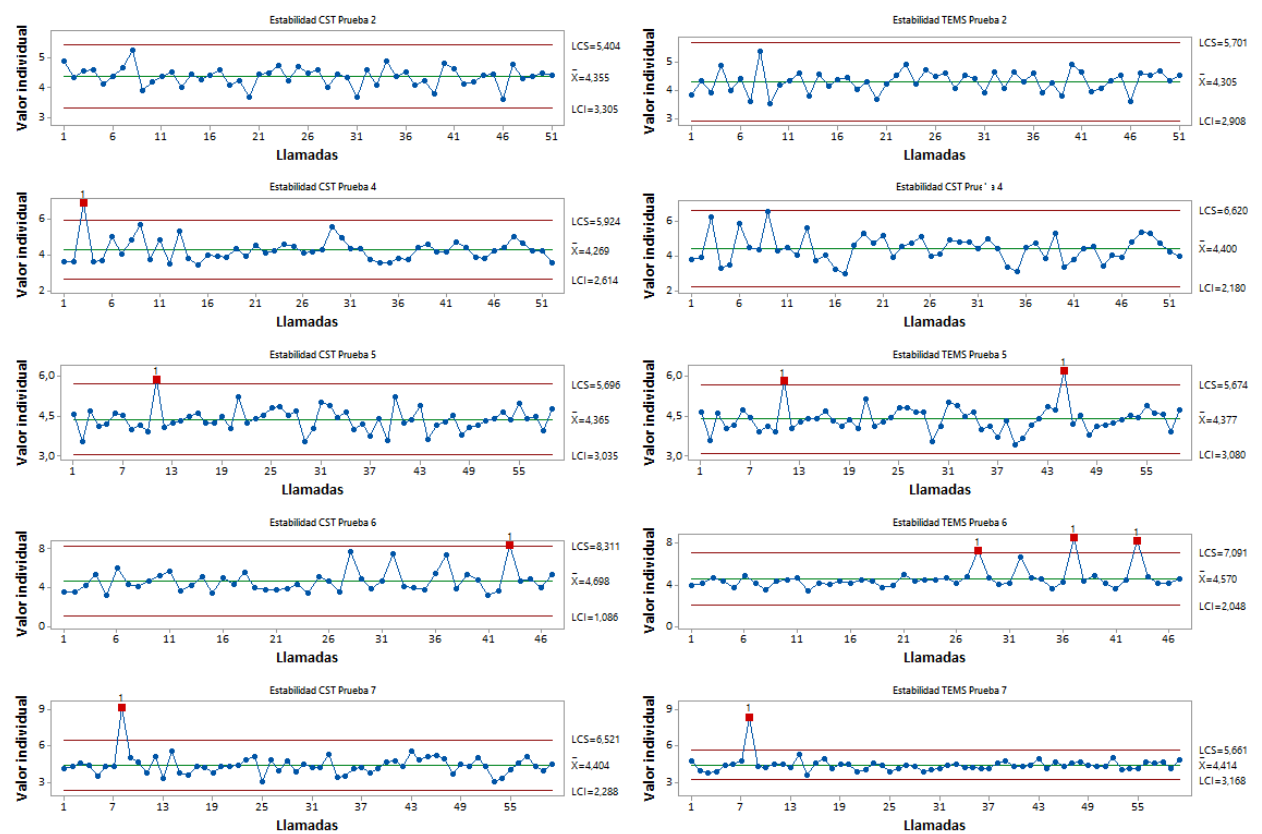


Figura 5-2 Gráfica de estabilidad escenario bajo techo tecnología de acceso 3G

Otro punto a destacar que según esta distribución de llamadas existe un límite inferior en el tiempo de establecimiento de llamadas para la tecnología de acceso 3G de 3 [s], ya que no se observan valores por debajo de este valor. En cuanto al límite superior existen valores por encima del rango del control que representan anomalías en las mediciones, las que en el siguiente apartado serán analizadas.

Como se ha señalado el sesgo indica la desviación existente entre el valor medio de la muestra y los valores de la muestra. Esto se ha realizado considerando el valor promedio de la muestra correspondiente al TEMS™ Pocket como valor de referencia y realizando la diferencia de valores. En la tabla 5-2 se muestran los resultados referentes al sesgo de la muestra

| Pruebas | Sesgo Promedio | Intervalo de confianza del 90% del Sesgo | |
|----------|----------------|--|----------|
| | | Inferior | Superior |
| Prueba 1 | -0,050 | -0,129 | 0,029 |
| Prueba 2 | -0,131 | -0,290 | 0,028 |
| Prueba 3 | -0,012 | -0,112 | 0,088 |
| Prueba 4 | 0,128 | -0,176 | 0,433 |
| Prueba 5 | -0,010 | -0,208 | 0,188 |

Tabla 5-2 Resultado del sesgo escenario bajo techo tecnología de acceso 3G

Se observa que la muestra correspondiente a la prueba 2 presenta el mayor sesgo en las pruebas mientras que la prueba 1 y 5 el menor sesgo. Esto es debido a que la prueba 2 presenta una desincronización de los valores producto de inestabilidades en la celda de servicio producto de la carga en el momento de la medición.

El intervalo de confianza del sesgo al 90% es producto que la muestra fue considerando un intervalo de confianza con este valor. Considerando que todos los valores del intervalo de confianza cruzan por cero se puede considerar que el sesgo tiene un comportamiento lineal como se puede corroborar en la figura 5-3, en donde se representan todos los valores del sesgo de la muestra para los 5 casos representados por las líneas de valores que conforman entorno a los valores de referencia.

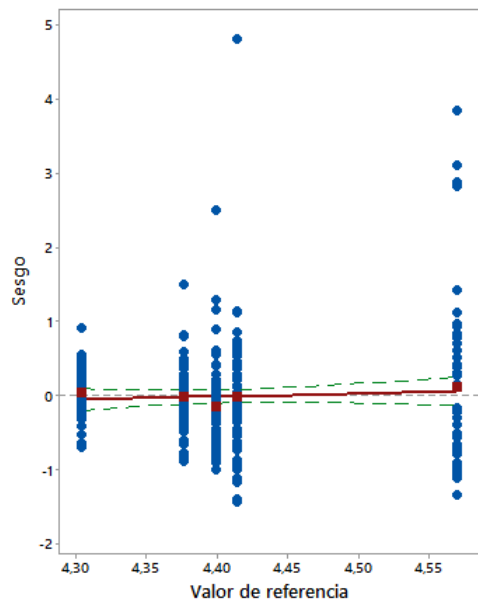


Figura 5-3 Sesgo y linealidad escenario bajo techo tecnología de acceso 3G

Finalmente se muestra un cuadro en la tabla 5-3 con un resumen de los valores más importantes estadísticamente de la muestra total. En este cuadro se presenta además la variación total del sistema correspondiente al 9,07%, valor que ha sido calculado considerando la desviación estándar correspondiente al TEMSTM Pocket como valor de referencia. El valor error de la media hace referencia al error de la desviación estándar para ambos sistemas, ya que por lo general en estimaciones de población la desviación estándar de las muestras es desconocida y en este caso corresponde a un error de alrededor del 5%.

| Resumen | | |
|--|-----------|-----------|
| Parámetro | CST | TEMS |
| Número de Muestras | 269 | |
| Nivel de Confianza | 90% | |
| Tiempo Promedio | 4,412 [s] | 4,410 [s] |
| Error de la media | 0,046 | 0,042 |
| Desviación Estándar | 0,754 | 0,691 |
| Coefficiente de Correlación | 0,757 | |
| Sesgo | | |
| Variación Total | 9,07% | |
| Sesgo Promedio | 0,002 | |
| Des. Est. Repetibilidad | 0,754 | |
| Intervalo de confianza del 90% del Sesgo | Inferior | Superior |
| | -0,079 | 0,083 |

Tabla 5-3 Cuadro resumen escenario bajo techo tecnología de acceso 3G

5.1.2 Resultados Escenario Bajo Techo Tecnología de Acceso 4G

En la tabla 5-4 se muestran los resultados de la correlación para las pruebas efectuadas en escenario bajo techo con equipos forzados a tecnología de acceso 4G.

| Parámetro | Prueba 1 | Prueba 2 | Prueba 3 | Prueba 4 | Prueba 5 | Total |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|
| Número de Muestras | 46 | 51 | 46 | 51 | 75 | 269 |
| Correlación | 0,835 | 0,912 | 0,893 | 0,906 | 0,947 | 0,904 |

Tabla 5-4 Resultados de correlación escenario bajo techo tecnología de acceso 4G

Se observa que en general los valores de la correlación se encuentran en torno a la media del total de muestras, sin embargo la correlación más baja se observa en la prueba 1. Existen factores de red que son inmanejables en el momento de realizar las pruebas. Uno de ellos es la carga de la celda. En esta prueba se observa una mayor correlación con respecto a la prueba 3G, dado el horario en que fue realizada la muestra, el que correspondía a un horario con carga baja o nula en la celda de servicio.

El histograma del total de la muestra se presenta en la figura 5-4. Las curvas de ajuste de la distribución normal del histograma son bastante cercanas al igual que la media. En cuanto a la desviación estándar existe mayor dispersión de los datos en el sistema propuesto.

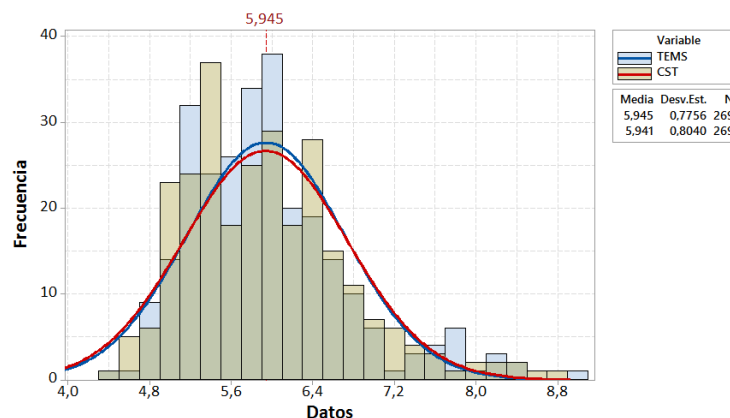


Figura 5-4 Histograma CST 3G vs TEMS™ Pocket 4G

La concentración de valores medidos del sistema propuesto se centra en torno a un valor menor que el sistema patrón y se debe a la forma en que ambos sistemas miden el tiempo de establecimiento de llamadas. Esto será analizado y expuesto en el capítulo referente al análisis de resultados.

Los gráficos de estabilidad del sistema se presentan en la figura 5-5. En cuanto a esta, en primer lugar no se observan grandes diferencias en la media en los cinco conjuntos de llamadas y el comportamiento es muy similar, sin embargo es importante recalcar que, si bien los comportamientos de ambos sistemas son similares se observa que en el sistema propuesto la amplitud de la respuesta en torno a la media es ligeramente más amplia que en el caso de los valores de referencia, esto se observa con claridad dado que los valores de control, tanto inferior como superior presentan un mayor rango que en el caso del sistema patrón. Con esto se puede inferir que el sesgo en el caso de la tecnología de acceso 4G presenta una mayor amplitud.

Nuevamente, al igual que el caso anterior, se observa que existe un límite inferior en el tiempo de establecimiento de llamadas que se encuentra entorno a los 4 [s]. En el histograma del total de la muestra en la figura 5-4, el límite inferior se ve desplazado en 1 [s] con respecto a 3G, debido al proceso del retorno a la red de circuitos tanto de los dispositivos MO y MT. En cuanto a los límites superiores se observan en ambos casos valores que sobrepasan los rangos de control, los que se encuentran en torno a los 8 [s], lo que se traduce en 3 [s] de diferencia entre los valores superiores de una llamada efectuada con ambos dispositivos en la red 3G.

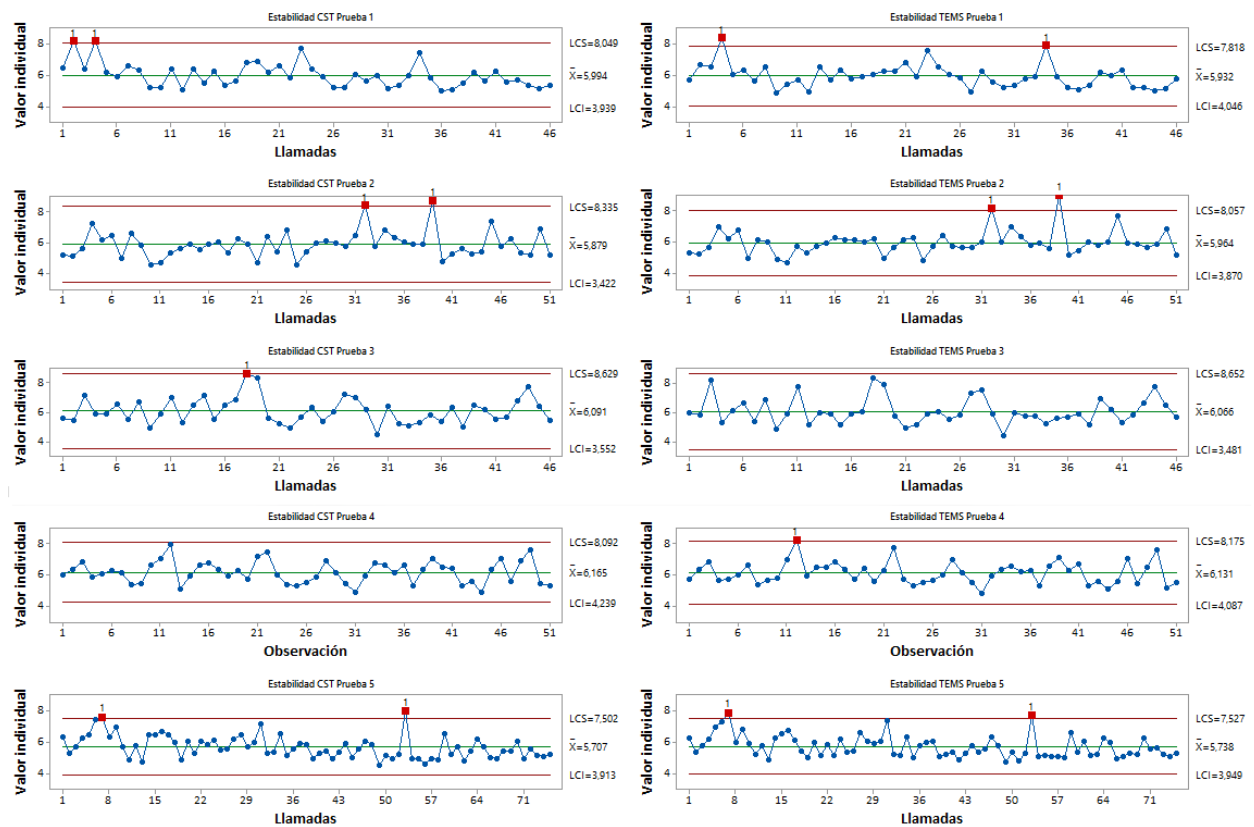


Figura 5-5 Gráfica de estabilidad escenario bajo techo tecnología de acceso 4G

Para el análisis del sesgo se procede con la misma metodología que en el caso anterior utilizando el promedio de los valores patrones con fin de efectuar una diferencia con el valor del sistema propuesto. En la tabla 5-5 se muestran los resultados del análisis del sesgo.

| Pruebas | Sesgo Promedio | Intervalo de confianza del 90% del Sesgo | |
|----------|----------------|--|----------|
| | | Inferior | Superior |
| Prueba 1 | 0,062 | -0,140 | 0,264 |
| Prueba 2 | -0,085 | -0,296 | 0,127 |
| Prueba 3 | 0,024 | -0,210 | 0,258 |
| Prueba 4 | 0,034 | -0,142 | 0,211 |
| Prueba 5 | -0,031 | -0,179 | 0,117 |

Tabla 5-5 Resultado del sesgo escenario bajo techo tecnología de acceso 4G

Considerando los valores del sesgo promedio para todas las pruebas se observa que la prueba 3 presenta la mayor desviación promedio y se corresponde con la prueba que posee la menor correlación de todas las muestras. Cabe señalar que el signo del sesgo promedio indica si el sesgo tiende a ser más negativo o positivo. Esto se observa en el intervalo de confianza del sesgo en donde los valores del sesgo promedio que tienen signo negativo tienden a inclinarse más hacia la zona de números negativos en el eje. Por otro lado la desviación máxima de la muestra comprende un intervalo de 0.5 [s]. El sesgo de la muestra presenta una amplitud similar que la observada en la muestra realizada con llamadas 3G y es posible corroborar que el sesgo tiene un comportamiento lineal según muestra la figura 5-6. Este comportamiento indica que el grado de incertidumbre es semejante en ambas tecnologías de acceso.

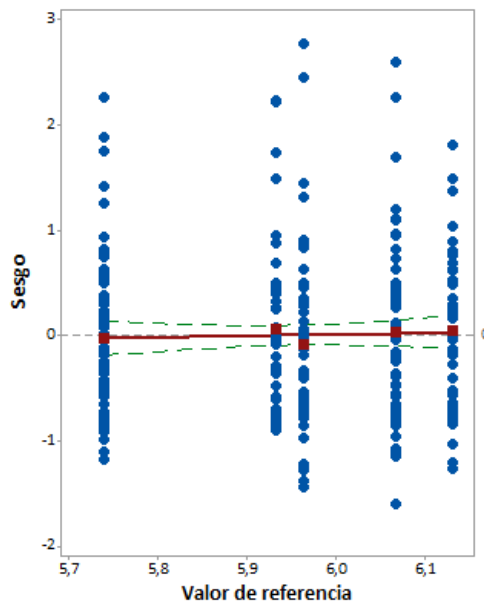


Figura 5-6 Sesgo y linealidad escenario bajo techo tecnología de acceso 4G

Finalmente se muestra un cuadro en la tabla 5-5 con un resumen de los valores estadísticos más importantes de la muestra total. En este cuadro se presenta además la variación total del sistema correspondiente al 3,67%, valor que ha sido calculado considerando la desviación estándar correspondiente al TEMS™ Pocket como valor de referencia. El valor error de la media hace referencia al error de la desviación estándar para ambos sistemas, ya que por lo general en estimaciones de población la desviación estándar de las muestras es desconocida y en este caso corresponde a un error de alrededor del 5%.

| Resumen | | |
|--|-----------|-----------|
| Parámetro | CST | TEMS |
| Número de Muestras | 269 | |
| Nivel de Confianza | 90% | |
| Tiempo Promedio | 5,941 [s] | 5,945 [s] |
| Error de la media | 0,049 | 0,047 |
| Desviación Estándar | 0,804 | 0,776 |
| Coefficiente de Correlación | 0,904 | |
| Sesgo | | |
| Variación Total | 3,67% | |
| Sesgo Promedio | -0,003 | |
| Des. Est. Repetibilidad | 0,804 | |
| Intervalo de confianza del 90% del Sesgo | Inferior | Superior |
| | -0,090 | 0,083 |

Tabla 5-5 Cuadro resumen escenario bajo techo tecnología de acceso 4G

5.1.3 Resultados Escenario al Aire Libre

En la figura 5-7 se muestra los resultados en cuanto a potencia de las rutas que se realizaron para efectuar la validación en el escenario al aire libre. En general las condiciones de intensidad de señal en la ruta propuesta se encuentran entre los -60 [dBm] y los -80 [dBm] lo que en términos de cobertura se refiere a buenas condiciones de radio, salvo algunas excepciones en donde la cobertura es en torno a los -100 [dBm]. La figura contempla alrededor de 89 mediciones realizadas cada 1 minuto en la ruta de vuelta. Cabe señalar que no es posible controlar la intensidad de potencia que experimentan los equipos y se deja como una variable a considerar en el análisis de la prueba.

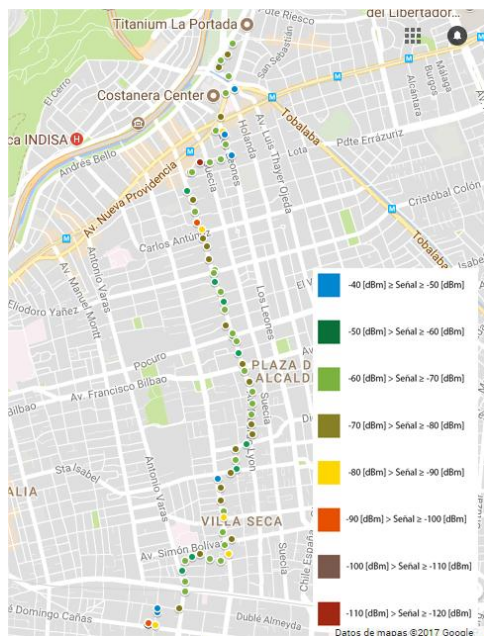


Figura 5-7 Ruta de validación según intensidad de señal

En lo que se refiere a la correlación de las pruebas el total de la muestra se encuentra entorno a los 0,716 según la tabla 5-6, lo que indica una correlación positiva fuerte del sistema propuesto con respecto al sistema patrón. En lo que respecta al detalle por prueba de la correlación se observa que en las pruebas 2, 3 y 5 la correlación en promedio está en torno a los 0,77 y por otro lado en la prueba 1 y 3 los valores menores de correlación indican que las condiciones de radio observadas por ambos sistemas difieren en estas pruebas.

| Parámetro | Prueba 1 | Prueba 2 | Prueba 3 | Prueba 4 | Prueba 5 | Total |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|
| Número de Muestras | 54 | 89 | 41 | 59 | 48 | 291 |
| Correlación | 0,683 | 0,779 | 0,796 | 0,653 | 0,755 | 0,716 |

Tabla 5-6 Resultados de correlación escenario al aire libre

En la figura 5-8 se presenta el histograma de datos considerando el total de la muestra que alcanza un total de 291 llamadas. Se observa que la media de ambas muestras es ligeramente diferente y alcanzan el 2% de diferencia. Por otro lado la desviación estándar se puede considerar la misma entre ambas muestras. En cuanto al ajuste de la distribución normal se encuentra desplazada ligeramente hacia la derecha, debido al efecto del desplazamiento de la media. Sin embargo, la distribución de frecuencias proporcionada por el sistema propuesto está claramente desplazada hacia la derecha indicando un aumento en el valor del sesgo promedio para este escenario.

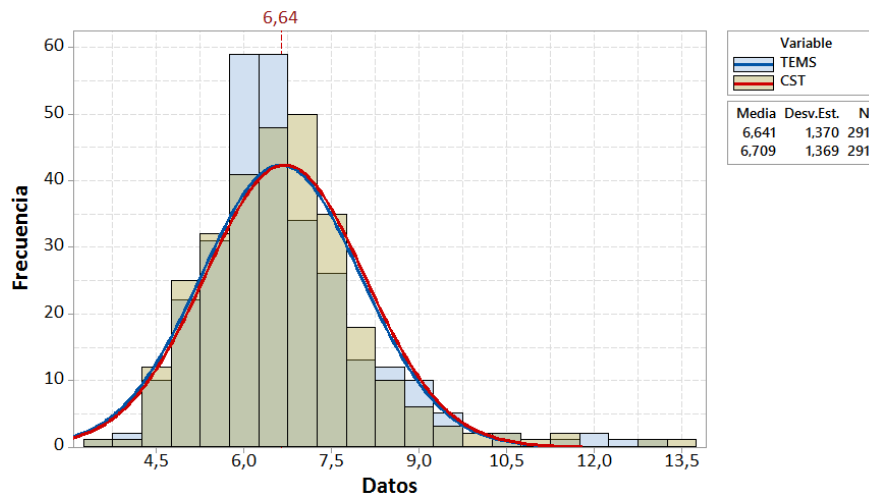


Figura 5-8 Histograma CST 3G vs TEMS™ Pocket 4G al aire libre

La estabilidad del sistema se presenta en la figura 5-9, en general la muestra se observa estable sin mayores variaciones en las muestras con alta correlación, lo que se puede verificar en las medias de las pruebas. Por otro lado, las pruebas que obtuvieron una baja correlación, es por causa de desincronizaciones entre ambos sistemas, por ejemplo en caso de la prueba 4 que en el rango 7 al 41 presenta este síntoma. Cabe señalar que en el escenario de movilidad es más complejo mantener la sincronización en la toma de muestras, dado que el escenario es cambiante en las condiciones de radio, lo que produce un grado de incerteza en las muestras obtenidas, ya que se desconoce si los equipos están ejecutando llamadas en la misma red de forma sincronizada.

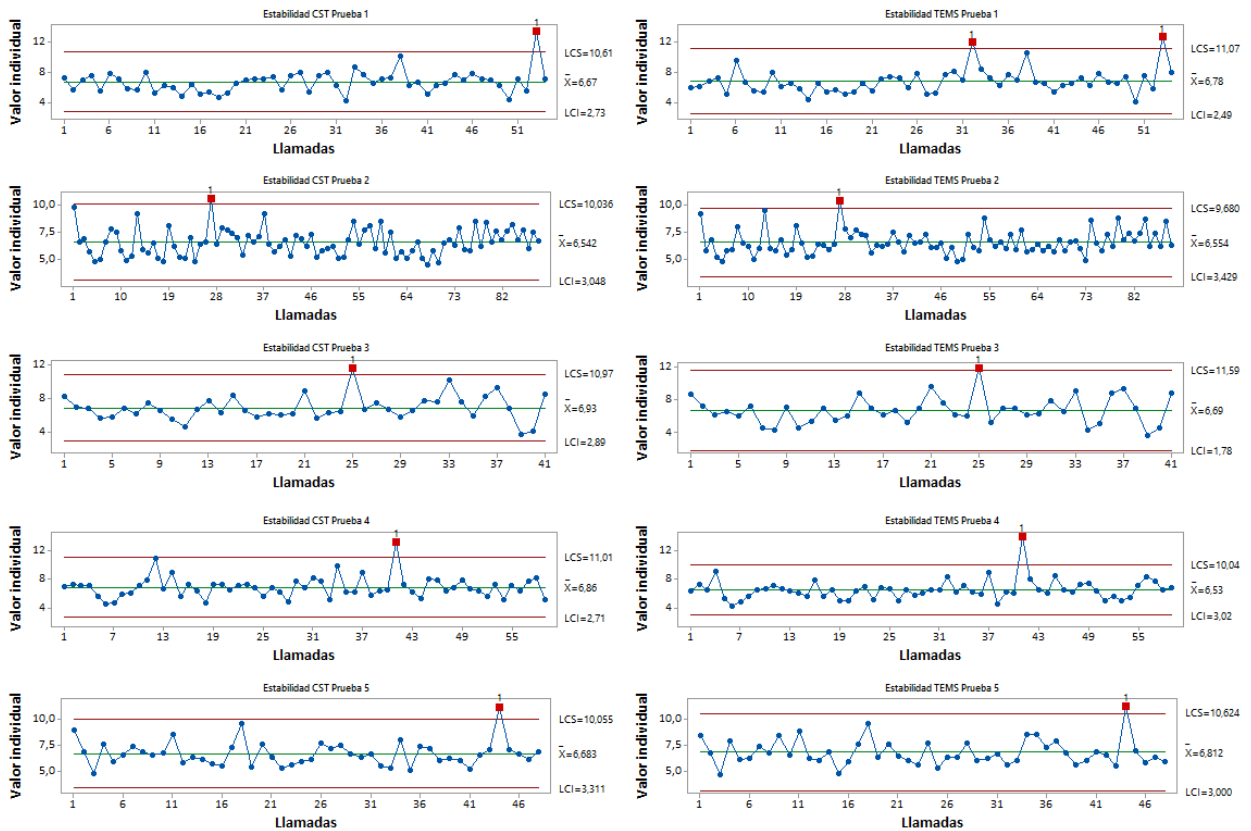


Figura 5-9 Gráfica de estabilidad escenario al aire libre

En este escenario se observa nuevamente que existe un límite inferior en torno a los 3[s]. Por el lado del límite superior se observa en torno a los 10 [s] y existen valores que se encuentran por encima de este límite de control, los que serán analizados en el próximo apartado.

El sesgo promedio en este escenario presenta un claro aumento según muestra la tabla 5-7 y en el peor caso presenta un valor de 0,327 [s] y como en el caso anterior el sesgo tiende a ser más negativo que positivo según se ve en el intervalo de confianza del sesgo.

| Pruebas | Sesgo Promedio | Intervalo de confianza del 90% del Sesgo | |
|----------|----------------|--|----------|
| | | Inferior | Superior |
| Prueba 1 | -0,111 | -0,463 | 0,241 |
| Prueba 2 | -0,012 | -0,242 | 0,217 |
| Prueba 3 | 0,243 | -0,175 | 0,661 |
| Prueba 4 | 0,327 | -0,012 | 0,666 |
| Prueba 5 | -0,128 | -0,441 | 0,184 |

Tabla 5-7 Resultado del sesgo escenario al aire libre

En este caso la linealidad de la muestra se puede corroborar, ya que el intervalo de confianza del sesgo pasa por cero, por lo que es posible no obtener errores en el sistema propuesto según muestra la figura 5-10. La tendencia negativa del sesgo es posible de corroborar en esta figura, ya que la curva de ajuste presenta esta tendencia.

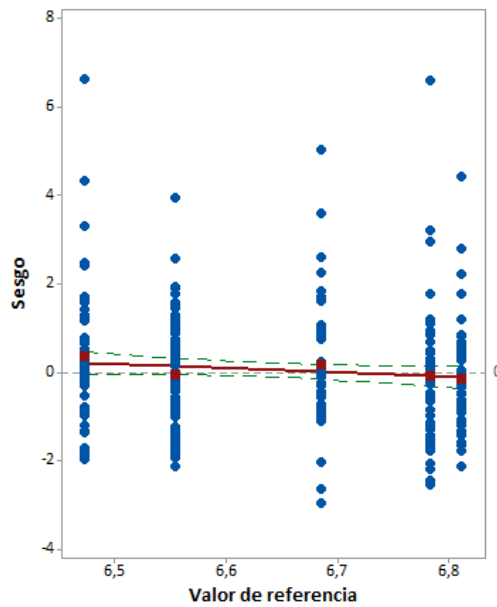


Figura 5-10 Sesgo y linealidad escenario al aire libre

Finalmente se muestra un cuadro en la tabla 5-8 con un resumen de los valores estadísticos más importantes de la muestra total. En este cuadro se presenta además la variación total del sistema correspondiente al 0,02%, este valor ha sido calculado considerando la desviación estándar correspondiente al TEMS™ Pocket como valor de referencia. El valor error de la media hace referencia al error de la desviación estándar para ambos sistemas, ya que por lo general en estimaciones de población la desviación estándar de las muestras es desconocida y en este caso corresponde a un error de alrededor del 8%.

| Resumen | | |
|--|-----------|-----------|
| Parámetro | CST | TEMS |
| Número de Muestras | 291 | |
| Nivel de Confianza | 90% | |
| Tiempo Promedio | 6,709 [s] | 6,641 [s] |
| Error de la media | 0,080 | 0,080 |
| Desviación Estándar | 1,369 | 1,370 |
| Coefficiente de Correlación | 0,716 | |
| Sesgo | | |
| Variación Total | 0,02% | |
| Sesgo Promedio | 0,067 | |
| Des. Est. Repetibilidad | 1,369 | |
| Intervalo de confianza del 90% del Sesgo | Inferior | Superior |
| | -0,074 | 0,208 |

Tabla 5-8 Cuadro resumen escenario al aire libre

5.2 ANALISIS DE RESULTADOS

5.2.1 Análisis del Sesgo

El análisis del sesgo que presenta la medición entre ambos sistemas se puede explicar por el instante en el que se generan las mediciones. En la figura 2-13 se presentó el flujo de una llamada móvil. Considerando este flujo, el sistema propuesto genera la medición de la llamada en el momento que el equipo MT rechaza la llamada y se envían los datos a la base de datos remota de forma de generar los cálculos en el servidor que da soporte a la aplicación. Esta situación según la figura 2-13 correspondería a la generación del mensaje de *Alerting*. Por otro lado en el caso del TEMS™ Pocket, este sistema realiza la medición y los cálculos en el dispositivo MO, cuando éste recibe el mensaje de *Alerting*. Esto provoca que el sistema propuesto en referencia al sistema patrón mida menos tiempo y por lo tanto aumenta el sesgo del sistema propuesto, produciendo un sesgo que tiende a ser negativo entre ambos sistemas. Esto se esquematiza en la figura 5-11.

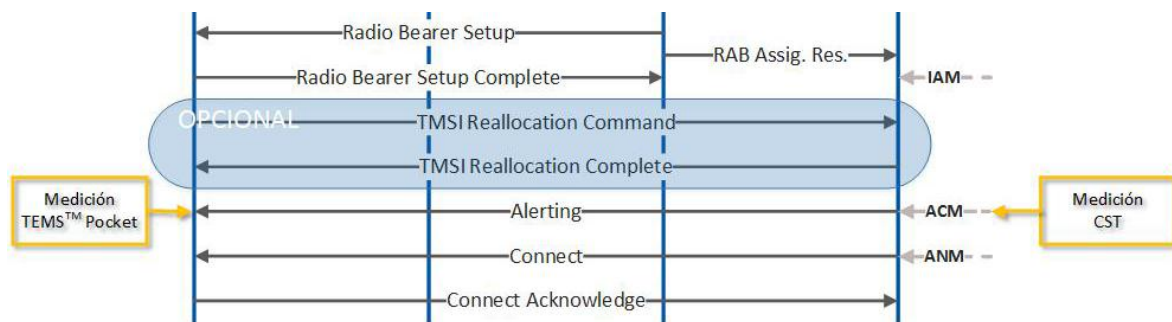


Figura 5-11 Situación de medición del tiempo de establecimiento de llamadas

El método de medición proporcionado por el TEMS™ Pocket se considera más preciso, ya que este sistema permite obtener información desde la capa 3 del modelo OSI y enviarla hacia la capa de aplicación mientras que el sistema propuesto obtiene la información directamente en la capa de aplicación y realiza la medición en un sistema externo. Sin embargo, según postulados de la física y el problema de la medición, se afirma que cuando se realiza una medición, siempre se introduce un margen de error, debido a la introducción del observador en el sistema y la alteración de éste, por lo que el sistema propuesto se puede considerar menos invasivo, ya que éste obtiene la información en capas superiores y finalmente genera el cálculo de la medición en un sistema externo. Por otro lado el sistema propuesto depende de la sincronización que exista entre los terminales con el servidor Network Time Protocol (NTP) para el sincronismo interno de los relojes del sistema. Actualmente en su versión 4 permite el sincronismo de los equipos hasta los 10 [ms], por lo que el sistema propuesto presenta un mayor grado de incerteza dada la dependencia con el servidor de sincronización. En la tabla 5-9 se muestra el tiempo promedio considerando el error de la media como el margen de error de las diferentes pruebas.

| Tipo | CST | TEMS |
|-------------------------------|---------------|---------------|
| Tiempo Promedio 3G Bajo Techo | 4,412 ± 0,046 | 4,410 ± 0,042 |
| Tiempo Promedio 4G Bajo Techo | 5,941 ± 0,049 | 5,945 ± 0,047 |
| Tiempo Promedio Aire Libre | 6,709 ± 0,08 | 6,641 ± 0,08 |

Tabla 5-9 Tiempo promedio por prueba

Esta situación de error dado el sincronismo se observa en el margen de error, ya que este se encuentra sincronizado a nivel de los milisegundos para los casos bajo techo y al aire libre para todas la tecnologías de acceso utilizadas para las pruebas.

Finalmente analizando las tablas resumen de las pruebas se puede establecer que el sesgo tiene un valor de alrededor de 200 [ms] y se puede considerar como la diferencia en promedio que existiría entre la

emisión y recepción del mensaje de *Alerting* en el escenario bajo techo, ya que en un escenario al aire libre existen factores de condiciones de red que afectarían en mayor grado a este valor.

5.2.2 Análisis de la Estabilidad

En general según los gráficos de estabilidad presentados en el capítulo referente a la presentación de resultados ésta se comporta de forma bastante similar entre ambas, lo que se puede corroborar según los resultados de correlación entre ambas pruebas. Una tabla resumen se muestra en la tabla 5-10.

| Prueba | Número de Muestras | Índice de Correlación |
|-----------|--------------------|-----------------------|
| Indoor 3G | 269 | 0,757 |
| Indoor 4G | 269 | 0,904 |
| Outdoor | 291 | 0,716 |

Tabla 5-10 Tabla resumen índice de correlación

En términos del índice se observa una correlación positiva alta. Si bien para las pruebas 3G y 4G se obtienen valores bastantes altos en las pruebas bajo techo, en la prueba al aire libre baja considerablemente. Son diversos los factores externos que afectan la ejecución de prueba y en términos de la estabilidad el sincronismo de ambos sistemas es clave en la toma de muestras y es el motivo por el cual el índice se reduce considerablemente en la prueba al aire libre. Otro punto a destacar es que para ejecutar la prueba 4G fue necesario homologar los perfiles de las SIMCard, incluyendo la configuración de modo que tengan igual prioridad en la tecnología de acceso y la banda de frecuencia a la que debe retornar el dispositivo. Con esto se puede establecer que el ambiente de pruebas 4G estuvo más controlado que el ambiente 3G y es por esto la diferencia en el índice de correlación.

Un punto a analizar son los valores fuera de control observados en los gráficos de estabilidad para todos los casos. Es interesante señalar que para las pruebas 3G y 4G se observa un límite inferior para el tiempo de establecimiento de llamadas de 3 [s] y 4 [s]. Estos valores se convierten en valor mínimo que es el posible de obtener en la red medida para las tecnologías de acceso respectivamente. En cuanto a los valores superiores estos pueden tener dos orígenes:

- Reselección de celda.
- Retorno a la red de circuitos

En cuanto a la reselección de celda se muestra una traza de las llamadas efectuadas en las pruebas en la figura 5-12. Según la figura 5-12 la petición de reselección de celda ocurre antes de la petición de recursos de radio desde el dispositivo a la estación base para efectuar la llamada, por lo que ésta última le solicita al terminal que debe cambiar la celda para efectuar el proceso solicitado, así el dispositivo obtiene el *master information block* que contiene el PLMN de la red y los parámetros de sincronización para obtener los bloques información que vienen de forma disgregada en los tipos 7, 3 y 1. Estos bloques, en términos simples, contienen parámetros de la celda y la forma en que el dispositivo se debe sincronizar con la red para efectuar la llamada. Este proceso de obtención de la información y de sincronismo toma alrededor de 10 [s] en este caso. Una vez registrado en la nueva celda se genera la petición de recursos de radio y se procede a efectuar el flujo de llamada como ya se ha descrito en el capítulo 1. En este caso se obtiene un tiempo de establecimiento de llamada de alrededor de 14 [s]. Para este estudio este caso se puede considerar como un error en la red, ya que en el ambiente de pruebas los dispositivos MO y MT para ambos sistemas se encontraban registrados en todo momento en las mismas celdas y solo puede ser explicado considerando que el momento que se genera la llamada el terminal presentaba condiciones de radio adversas o la estación base no contaba con recursos de radio para asignar a la tarea que se encontraba solicitando el dispositivo.

En el segundo caso del retorno a la red de circuitos se utiliza comúnmente en redes LTE, dado que esta red opera solamente en el dominio de paquetes y no tiene una forma nativa de manejar peticiones de acceso a la red circuitos.

| 743454 | 09:55:46.621 | UL-DCCH InitialDirectTransfer | MM CM Service Request |
|--------|--------------|--|-----------------------|
| 743499 | 09:55:47.032 | UL-DCCH MeasurementReport | |
| 743599 | 09:55:48.035 | UL-DCCH MeasurementReport | |
| 743707 | 09:55:49.011 | UL-DCCH MeasurementReport | |
| 743810 | 09:55:50.036 | UL-DCCH MeasurementReport | |
| 743914 | 09:55:51.030 | UL-DCCH MeasurementReport | |
| 744015 | 09:55:52.026 | UL-DCCH MeasurementReport | |
| 744121 | 09:55:53.026 | UL-DCCH MeasurementReport | |
| 744175 | 09:55:53.540 | UL-DCCH MeasurementReport | |
| 744245 | 09:55:54.227 | UL-DCCH MeasurementReport | |
| 744286 | 09:55:54.682 | BCCH-BCH MasterInformationBlock | |
| 744287 | 09:55:54.682 | BCCH-BCH MasterInformationBlock | |
| 744289 | 09:55:54.907 | BCCH-BCH SysInfoType7 | |
| 744290 | 09:55:54.907 | BCCH-BCH SysInfoType3 | |
| 744291 | 09:55:54.907 | BCCH-BCH SysInfoType7 | |
| 744292 | 09:55:54.920 | BCCH-BCH SysInfoType1 | |
| 744293 | 09:55:54.920 | BCCH-BCH SysInfoType1 | |
| 744335 | 09:55:56.922 | BCCH-BCH | |
| 744337 | 09:55:56.929 | BCCH-BCH | |
| 744339 | 09:55:56.930 | BCCH-BCH MasterInformationBlock | |
| 744340 | 09:55:56.930 | BCCH-BCH MasterInformationBlock | |
| 744342 | 09:55:56.936 | BCCH-BCH SysInfoType7 | |
| 744343 | 09:55:56.936 | BCCH-BCH SysInfoType3 | |
| 744344 | 09:55:56.936 | BCCH-BCH SysInfoType7 | |
| 744358 | 09:55:57.028 | UL-CCCH RRCConnectionRequest | |
| 744368 | 09:55:57.111 | DL-CCCH RRCConnectionSetup | |
| 744382 | 09:55:57.285 | UL-DCCH RRCConnectionSetupComplete | |
| 744385 | 09:55:57.324 | UL-DCCH InitialDirectTransfer | MM CM Service Request |
| 744407 | 09:55:57.513 | UL-DCCH MeasurementReport | |
| 744410 | 09:55:57.524 | UL-DCCH MeasurementReport | |
| 744411 | 09:55:57.532 | DL-DCCH MeasurementControl | |
| 744412 | 09:55:57.540 | DL-DCCH MeasurementControl | |
| 744413 | 09:55:57.542 | DL-DCCH MeasurementControl | |
| 744417 | 09:55:57.547 | DL-DCCH MeasurementControl | |
| 744419 | 09:55:57.550 | DL-DCCH SecurityModeCommand | |
| 744420 | 09:55:57.551 | UL-DCCH SecurityModeComplete | |
| 744431 | 09:55:57.740 | UL-DCCH UplinkDirectTransfer | CC Setup |
| 744432 | 09:55:57.742 | DL-DCCH ActiveSetUpdate | |
| 744434 | 09:55:57.743 | DL-DCCH DownlinkDirectTransfer | MM Identity Request |
| 744437 | 09:55:57.747 | UL-DCCH UplinkDirectTransfer | MM Identity Response |
| 744439 | 09:55:57.748 | UL-DCCH ActiveSetUpdateComplete | |
| 744441 | 09:55:57.758 | DL-DCCH MeasurementControl | |
| 744442 | 09:55:57.762 | DL-DCCH ActiveSetUpdate | |
| 744445 | 09:55:57.764 | UL-DCCH ActiveSetUpdateComplete | |
| 744454 | 09:55:57.776 | DL-DCCH DownlinkDirectTransfer | CC Call Proceeding |
| 744460 | 09:55:57.907 | UL-DCCH MeasurementReport | |
| 744469 | 09:55:57.922 | DL-DCCH MeasurementControl | |
| 744508 | 09:55:58.551 | UL-DCCH MeasurementReport | |
| 744523 | 09:55:58.768 | UL-DCCH MeasurementReport | |
| 744524 | 09:55:58.771 | UL-DCCH MeasurementReport | |
| 744525 | 09:55:58.773 | UL-DCCH MeasurementReport | |
| 744528 | 09:55:58.804 | UL-DCCH MeasurementReport | |
| 744570 | 09:55:59.704 | DL-DCCH RadioBearerSetup | |
| 744585 | 09:55:59.857 | UL-DCCH MeasurementReport | |
| 744597 | 09:55:59.898 | UL-DCCH RadioBearerSetupComplete | |
| 744614 | 09:56:00.295 | UL-DCCH MeasurementReport | |
| 744624 | 09:56:00.309 | DL-DCCH RadioBearerReconfiguration | |
| 744633 | 09:56:00.358 | UL-DCCH RadioBearerReconfigurationComplete | |
| 744650 | 09:56:00.790 | DL-DCCH ActiveSetUpdate | |
| 744653 | 09:56:00.792 | UL-DCCH ActiveSetUpdateComplete | |
| 744673 | 09:56:00.985 | DL-DCCH MeasurementControl | |
| 744676 | 09:56:01.084 | DL-DCCH DownlinkDirectTransfer | CC Alerting |
| 747000 | 09:56:38.153 | UL-DCCH MeasurementReport | |
| 747593 | 09:56:47.607 | UL-DCCH MeasurementReport | |
| 748452 | 09:57:01.342 | DL-DCCH DownlinkDirectTransfer | CC Disconnect |
| 748456 | 09:57:01.356 | UL-DCCH UplinkDirectTransfer | CC Release |
| 748474 | 09:57:01.581 | DL-DCCH DownlinkDirectTransfer | CC Release Complete |

Figura 5-12 Traza reselección de celda

El método utilizado para realizar el retorno a la red de circuitos es que en el momento en que se genera la petición de la llamada, la red le solicita al móvil que haga una reselección de red a una red de circuitos, comúnmente 3G / 2G. Por el lado del dispositivo que genera la llamada eventualmente no tiene problemas en hacer la reselección de celda, dado que los smartphones son centrados en la voz y es requisito para registrarse en la red LTE tener una red 3G que le de soporte para voz y así efectuar la reselección de celda rápidamente. La misma situación ocurre para los dispositivos MT.

La problemática surge en el momento que se realiza la búsqueda del dispositivo MT en la red. En la figura 5-13 se muestra una traza con esta situación. Si bien en esta traza no se puede ver de forma clara el proceso de búsqueda, es posible evidenciarla en el minuto 09:05:54.097 en donde sucede un reporte de condiciones de radio y posteriormente la solicitud del canal de comunicación a través del *Radio Bearer Setup*. El proceso de búsqueda o *paging* es en el cual el MME o SGSN realiza una consulta a los MSC de la red de forma de encontrar la celda de servicio del dispositivo receptor. Este proceso introduce un tiempo aleatorio en el tiempo de establecimiento de llamada. Esto no se considera como un error en este análisis, ya que es un proceso que se realiza normalmente en todas las llamadas en las cuales un terminal se encuentra en la red LTE.

| Time | Time | Message | Message |
|--------|--------------|---|-------------------------------------|
| 280327 | 09:05:52.324 | UL-CCCH RRCConnectionRequest | originatingConversationalCall |
| 280336 | 09:05:52.433 | DL-CCCH RRCConnectionSetup | |
| 280350 | 09:05:52.445 | UL-DCCH RRCConnectionSetupComplete | |
| 280354 | 09:05:52.456 | UL-DCCH InitialDirectTransfer | MM CM Service Request |
| 280355 | 09:05:52.457 | UL-DCCH InitialDirectTransfer | GPRS MM Routing Area Update request |
| 280373 | 09:05:52.924 | DL-DCCH MeasurementControl | |
| 280375 | 09:05:52.927 | DL-DCCH MeasurementControl | |
| 280377 | 09:05:52.928 | DL-DCCH MeasurementControl | |
| 280378 | 09:05:52.929 | DL-DCCH MeasurementControl | |
| 280379 | 09:05:52.930 | DL-DCCH SecurityModeCommand | |
| 280380 | 09:05:52.935 | UL-DCCH SecurityModeComplete | |
| 280389 | 09:05:52.939 | UL-DCCH UplinkDirectTransfer | CC Setup |
| 280391 | 09:05:52.944 | DL-DCCH DownlinkDirectTransfer | MM Identity Request |
| 280394 | 09:05:52.946 | UL-DCCH UplinkDirectTransfer | MM Identity Response |
| 280400 | 09:05:53.075 | DL-DCCH DownlinkDirectTransfer | CC Call Proceeding |
| 280466 | 09:05:54.097 | UL-DCCH MeasurementReport | |
| 280467 | 09:05:54.097 | UL-DCCH MeasurementReport | |
| 280772 | 09:05:58.553 | DL-DCCH RadioBearerSetup | |
| 280798 | 09:05:58.795 | UL-DCCH RadioBearerSetupComplete | |
| 280816 | 09:05:59.269 | DL-DCCH RadioBearerReconfiguration | |
| 280826 | 09:05:59.287 | UL-DCCH RadioBearerReconfigurationCo... | |
| 280872 | 09:05:59.745 | DL-DCCH DownlinkDirectTransfer | CC Alerting |
| 280878 | 09:05:59.865 | DL-DCCH DownlinkDirectTransfer | CC Disconnect |
| 280882 | 09:05:59.869 | UL-DCCH UplinkDirectTransfer | CC Release |
| 280895 | 09:05:59.971 | DL-DCCH MeasurementControl | |
| 280901 | 09:06:00.183 | DL-DCCH DownlinkDirectTransfer | CC Release Complete |

Figura 5-13 Traza retorno red de circuitos

5.2.3 Corrección de pruebas escenario bajo techo 3G

Si se considera la figura 5-2 se observan valores por encima de los 8 [s] que pueden ser considerados según el análisis de la sección anterior como errores de red, dado su origen en reelección de celda. De esta manera el histograma de la muestra se presenta en la figura 5-14

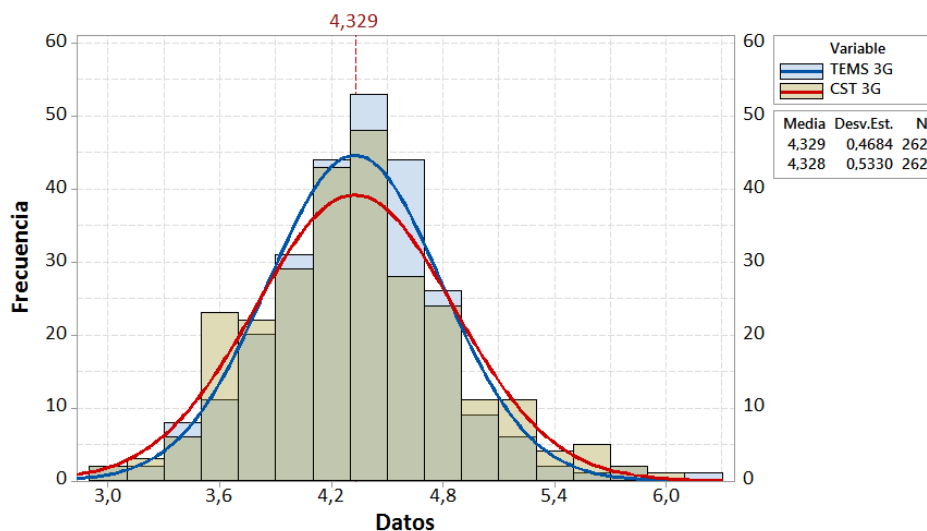


Figura 5-14 Corrección de muestra escenario bajo techo 3G.

Considerando esta corrección se valida el indicador utilizado en el *dashboard*, en donde se considera que las llamadas que se encuentren alejadas de la media en 3 o 4 veces la desviación estándar presentan un funcionamiento erróneo y es necesario examinar la señalización para establecer la causal del funcionamiento anómalo.

5.3 MEJORAS

En esta sección se abordaran diferentes funcionalidades que es posible abordar en el ámbito de desarrollo del sistema propuesto.

5.3.1 Nuevas Funcionalidades Android

Cada año es posible obtener una nueva versión de Android en los dispositivos móviles, en donde se añaden nuevas funcionalidades en todos los ámbitos del sistema operativo. En la obtención de datos de intensidad de potencia y otras características de la red LTE, la API utilizada se encuentran aún en desarrollo y se espera que ocurra una estandarización entre los fabricantes de dispositivos móviles y los desarrolladores de Android. En este escenario se ha investigado la API 25, correspondiente a la versión de Android denominada O (Android 8), en donde será posible obtener parámetros como el ARFCN desde la red y el parámetro CQI de la red LTE a nivel de la capa de aplicación. [9]

El parámetro ARFCN permite interpretar en qué banda el dispositivo está registrado y obteniendo servicios desde la red móvil. Esto toma una importancia relevante, ya que se podría eventualmente hacer un mapeo de la señal según banda con terminales comerciales y en lo referente al sistema propuesto conocer la banda en que se está realizando la llamada, lo que actualmente es posible conocer realizando un cruce con la base de datos de celdas mediante el Cell ID.

Por otro lado el parámetro CQI indica la calidad del canal que está observando el dispositivo desde la radio base y posteriormente este es reportado a la estación base para realizar el proceso denominado como modulación adaptativa. Este parámetro permitiría conocer la modulación que utiliza el dispositivo y por lo tanto determinar la máxima velocidad que podría obtener de la red en todo momento. Esto último en vista de integrar el módulo “Estatus” hacia otras aplicaciones de calidad de servicio como navegación HTTP o transferencia de archivos a través de FTP.

5.3.2 Detección Estado de Red y Envío a Base de Datos Remota

Una de las principales debilidades que presenta el sistema propuesto es el envío de datos a través de la red hacia base de datos remota, ya que en la aplicación de medición del tiempo de establecimiento de llamadas, la transición entre redes LTE y UMTS se realiza tanto al iniciar una llamada como cuando termina la llamada. Esta última situación produce que si el terminal no se encuentra registrado en alguna red y se encuentra en proceso de registro no envía los datos hacia la base de datos produciendo un error, debido a que no encuentra el host hacia donde está alojada la base de datos. Es por esto que es necesario introducir un desarrollo que permita conocer el estado de la red antes del envío de datos hacia la base de datos remota.

5.3.3 Sincronismo Servidor NTP

El sincronismo con el servidor NTP, si bien no representa un problema como se ha demostrado con las pruebas y análisis estadístico, es deseable independizar a la aplicación de este servidor. Una de las posibles soluciones es obtener directamente los valores desde el servidor en donde se encuentra alojada la base de datos remota. Otra solución viable es reformular el sistema y realizar los cálculos directamente en el servidor de forma de enviar una alerta que indique que se está originando una llamada y por otro lado que se está recibiendo la llamada de forma de realizar los cálculos directamente en el servidor.

CONCLUSIONES

La principal hipótesis de este trabajo hace referencia a que si es posible desarrollar un sistema de medición del tiempo de establecimiento de llamadas utilizando teléfonos comerciales valiéndose de la sincronización horaria que se efectúa en los dispositivos a través de la red móvil independiente de la tecnología de red.

Se ha demostrado que es posible desarrollar el sistema para la medición del tiempo de establecimiento de llamadas cumpliendo el objetivo general planteado en este trabajo y se han usado teléfonos basados en el sistema operativo Android dada su versatilidad y facilidad para la programación de aplicaciones móviles. En este contexto Google ha realizado grandes esfuerzos para entregar documentación a los desarrolladores acerca de las funcionalidades que implementa en cada una de las versiones de este sistema operativo, que por lo general es una versión anual. Además cabe señalar que la herramienta de programación que entrega Google para el desarrollo de aplicaciones móviles es muy potente en el sentido de que es posible realizar el desarrollo probando el código directamente en dispositivos comerciales o máquinas virtuales, lo que permite que los procesos de depuración sean más rápidos que comúnmente. Es por ello que la elección del sistema de desarrollo utilizado ha sido una buena elección.

En cuanto al análisis de los objetivos específicos, el objetivo de confeccionar una herramienta de bajo costo para la medición de este parámetro ha sido cumplido con éxito. Por otro lado, en cuanto al tema de los casos de uso, se ha analizado la señalización que se produce entre el dispositivo móvil y la estación base de forma de corroborar el flujo que se produce en el establecimiento de llamadas. De esta manera, se ha podido establecer el evento que ejecuta el *ring backtone* en el dispositivo de recepción es la misma en todos los casos y la posibilidad de desarrollar el sistema conociendo el tiempo de ejecución y recepción de la llamada. Por otro lado, en este trabajo solo se han desarrollado cuatro casos de usos, sin embargo esto es fácilmente extensible a los casos no abordados, ya que la lógica de funcionamiento ya se encuentra desarrollada en el servidor que realiza los cálculos y estadísticas.

Para efectuar la validación del sistema fueron abordados solo 3 casos considerando redes 3G y 4G. No se ha optado por realizar la medición en redes 2G únicamente por simplicidad y debido a la obsolescencia que tiene esta tecnología.

La utilización de la metodología MSA resultó ser adecuada para la comparación de ambos sistemas permitiendo no basarse solamente en la correlación e histograma de ambos sistemas, lo que indicaba solamente que frente a un estímulo semejante ambos sistemas reaccionan de la misma manera, es decir, cuando el tiempo de establecimiento de llamadas sube en un sistema en el otro también sube y viceversa. Esta metodología permitió comprobar adicionalmente la estabilidad, linealidad y el sesgo de sistema en comparación con la herramienta de medición profesional seleccionada. Con este análisis se puede concluir en base al sesgo y la linealidad del sistema que el tiempo de introducido por las capas es despreciable y que se encuentra entorno de los milisegundos. El análisis de la estabilidad permitió evidenciar que existe un proceso al interior de la red aleatorio que produce que el tiempo del establecimiento de llamadas aumente considerablemente.

Son diversos los factores que pueden afectar el tiempo de establecimiento de llamadas, sin embargo existe un proceso que afecta a este parámetro, la reelección de celda. Este proceso se ejecuta automáticamente cuando se realiza un retorno a la red circuitos o cuando las condiciones de radio no son adecuadas para la recepción de la información, por ejemplo cuando un dispositivo se encuentra en movimiento y se aproxima a un borde de celda. La red indica a los dispositivos que se deben registrar en otra celda para continuar percibiendo el servicio, en este escenario si una llamada ingresa cuando este proceso se está llevando a cabo o las condiciones de radio no son las adecuadas para establecer el circuito de comunicación, el tiempo de establecimiento de llamadas puede aumentar considerablemente. Durante la experiencia de validación se observó un caso con 14 [s], sin embargo durante el desarrollo del sistema propuesto fue posible observar llamadas de alrededor de 30 [s].

Finalmente esta herramienta permite la medición del tiempo de establecimiento de llamadas de forma independiente de la tecnología empleada (red de circuitos o red paquetes) para realizar la llamada, por lo que el sistema puede ser utilizado para la medición del tiempo de establecimiento de llamadas en VoLTE o WIFI, ya que desde el punto de vista del sistema, éste estaría percibiendo una llamada, sin analizar la señalización como en el caso del TEMS™ Pocket. Además el desarrollo de un módulo que permite capturar parámetros de forma remota abre la puerta para generar nuevas aplicaciones relacionadas con la calidad de servicio (*QoS*) como medición de parámetros de red durante descarga o subida de datos vía FTP, navegación web, video en línea, entre otros.

GLOSARIO

| | |
|-------|---|
| 3GPP | 3rd Generation Partnership Project |
| ACK | Acknowledge |
| ACM | Address Complete Message |
| AGCH | Access Grant Channel |
| AMPS | Advanced Mobile Phone System |
| ANM | Answer Message |
| ANSI | American National Standards Institute |
| API | Application Programming Interface |
| ARFCN | Absolute Radio Frequency Channel Number |
| ARIB | Association Of Radio Industries And Businesses |
| ASU | Arbitrary Strenght Unit |
| BSS | Base Station Subsystem |
| CDMA | Code Division Multiple Access |
| CM | Call Manager |
| CQI | Channel Quality Indicator |
| CS | Call Setup |
| CSFB | Circuit Switch Fall Back |
| CSS | Cascading Stylesheets |
| DECT | Digital Enhanced Cordless Telecommunications |
| DPI | Depp Packet Inspection |
| EDGE | Enhanced Data Rates For GSM Evolution |
| ETSI | European Telecommunications Standards Institute |
| EV-DO | Evolution-Data Optimized |
| FDD | Frecuency Duplex Division |
| FM | Frecuency Modulated |
| GMM | GPRS Mobility Management |

| | |
|--------|--|
| GOS | Grade Of Service |
| GPRS | Gloval Paket Radio Service |
| GPS | Global Postioning System |
| GSM | Global System For Mobile Communications |
| HARQ | Hybrid Automatic Repeat Request |
| HLR | Home Location Register |
| HSPA | High Speed Packet Access |
| HTML | Hypertext Markup Language |
| HTTP | Hypertext Transfer Protocol |
| IAM | Initial Address Message |
| IMEI | International Mobile Station Equipment Identity |
| IMSI | International Mobile Subscriber Identity |
| ITU | International Telecommunications Union |
| LTE | Long Term Evolution |
| M2M | Machine To Machine |
| MCC | Mobile Country Code |
| MIMO | Multiple Input Multiple Output |
| MME | Mobility Management Entity |
| MNC | Mobile Network Code |
| MO | Mobile Originated |
| MSA | Measurements System Analysis |
| MSC | Mobile Switching Centre Server |
| MSISDN | Mobile Station Integrated Services Digital Network |
| MT | Mobile Terminated |
| OFDMA | Orthogonal Frequency Division Multiple Access |
| OSI | Open System Interconnection |
| OTT | Over The Top |

| | |
|---------|---|
| PCRF | Policy And Charging Rules Function |
| PHP | Personal Home Page |
| PLMN | Public Lan Mobile Network |
| POS | Point Of Sale |
| QAM | Quadrature Amplitude Modulation |
| QoS | Quality Of Service |
| QPSK | Phase Shift Keying |
| RCC | Radio Control Controller |
| RIL | Radio Interface Layer |
| RLC | Radio Link Controller |
| RNC | Radio Network Controller |
| RSCP | Received Signal Code Power |
| RSRP | Reference Signal Received Power |
| RSSI | Received Signal Strength Indicator |
| SCCP | Skinny Call Control Protocol |
| SC-FDMA | Single Carrier Frequency Division Multiple Access |
| SGSN | Serving Grps Support Node |
| SNR | Signal To Noise Ratio |
| SSP | Service Switching Point |
| STP | Signal Transfer Point |
| TACS | Total Access Communication System |
| TDD | Time Division Duplex |
| UMTS | Universal Mobile Telecommunications System |
| UTRA | Umts Terrestrial Radio Access |
| VLR | Visitor Location Register |
| VOIP | Voice Over IP |
| VoLTE | Voice over LTE |

WCDMA Wideband Code Division Multiple Access

BIBLIOGRAFIA

- [1] Chrysler Group LLC And General Motors Corporation. *Measurement Systems Analysis*. AIAG, 2010.
- [2] (GSA), Global Mobile Suppliers Association. *Evolution to LTE Report*. Sawbridgeworth: GSA, 2017.
- [3] 3GPP. *Radio Resource Control (RRC), Protocol specification*. 3GPP, 2010.
- [4] 3GPP. *Technical Specification Group RAN TR 25.815*. 3GPP Organizational Partners, 2006.
- [5] ASCOM Testing Netowrk. *TEMS Pocket Technical Product Descripton*. ASCOM, 2014.
- [6] Burger, Jay Greenspan and Brad. *MYSQL / PHP Database Applications*. Foster City, CA: M&T Books, 2001.
- [7] Galvéz, Juan Mariano Fuentes y Sergio. *Manual de Ajax*. 2009.
- [8] Gauchat, Juan Diego. *El Gran Libro de HTML5, CSS3 y Javascript*. Barcelona: Marcombo Ediciones Técnicas, 2012.
- [9] Google. *Android Developers*. n.d. <https://developer.android.com/>.
- [10] GSA (Global Mobile Suppliers Association). *HSPA Operator Commitments*. Sawbridgeworth: GSA, 2016.
- [11] Instituto Nacional de Estadísticas. *Boletín Sectores Economicos Transporte y Comunicaciones*. Santiago: Gobierno de Chile, 2017.
- [12] ITU. *Concepto de Grado de Servicio de Tráfico en la Interconexión de Redes Móviles y Terrestres*. ITU, 1993.
- [13] ITU. *Definición de Términos Relativos a la Calidad de Servicio*. ITU, 2008.
- [14] Joshua J. Drake, Pau Oliva Fora, Zach Lanier. *Android Hacker's Handbook*. Indianapolis: John Wiley and Sons, 2014.
- [15] Marcotte, Ethan. *Responsive Web Design*. New York: A Book Apart, 2011.
- [16] Mohinder S. Grewal, Lawrence R. Weill and Angus P. Andrews. *Global Positioning Systems, Inertial Navigation and Integration*. New York / Chichester / Weinheim / Brisbane / Singapore / Toronto: John Wiley and Sons, 2001.
- [17] Place, Enrique. *Programación Orientada a Objetos para PHP5*. Surforce, 2009.
- [18] Smyth, Neil. *Android Studio Development Essentials - Android 6 Edition*. 2015.
- [19] Subsecretaría de Telecomunicaciones. *Informe Técnico de Medición de Calidad de Servicio Móvil*. Santiago: Gobierno de Chile, 2017.
- [20] Subsecretaría de Telecomunicaciones. *Ley de Neutralidad de Red*. Santiago: Gobierno de Chile, 2010.
- [21] Valdívieso, Carlos Eduardo. *Determinación del Tamaño Muestral Mediante el Uso de Árboles de Decisión*. Universidad Privada Bolivariana, 2017.

