



UNIVERSIDAD  
POLITECNICA  
DE VALENCIA



**Máster Universitario**  
en Tecnologías, Sistemas y  
Redes de Comunicaciones

# **Análisis y procesamiento de medidas de parámetros de banda estrecha utilizando un smartphone con sistema operativo Android**

*Autor:* Wilber Richard Carrillo Padilla

*Director 1:* Dr. Juan Reig Pascual

*Director 2:* Dr. Lorenzo Rubio Arjona

*Fecha de comienzo:* 01/07/2013

*Lugar de trabajo:* Electromagnetic Radiation Group (GRE) - iTEAM



*Objetivos —*

1. Desarrollar una aplicación en Android compatible con cualquier teléfono que utilice el Sistema Operativo (S.O.) Android, para obtener información sobre parámetros de calidad de la red de acceso radio de los sistemas de telefonía celular *Global System for Mobile communications* (GSM) y *Universal Mobile Telecommunications System* (UMTS), como: RxLev, RSSI, RXQUAL, BSIC, BCCH, SNR, Ec/Io, EVDO, MCC, MNC, LAC, CELLID y otros relevantes. En cuanto a los parámetros de acceso radio WiFi (norma IEEE 802.11) se calculan: SCID, BSSID, MAC, RSSI, tasa binaria del enlace, tipo de encriptación, ID de la red, frecuencia, canal, dirección IP y un listado de los *Access Points* (APs) cercanos.
2. Realizar una campaña de medidas en diferentes condiciones en entorno urbano para estudiar el canal de comunicaciones en las bandas GSM: 900 y 1800 MHz, UMTS: 1900 – 2100 MHz y WIFI en 2,4 y 5 GHz.

*Metodología —*

Este trabajo está dividido en fases secuenciales (*framework* lineal) como se describe a continuación:

- *Análisis.*- estudio de los parámetros de *drive test* más relevantes en GSM/UMTS y WiFi.
- *Diseño.*- estructuración, clasificación de los parámetros de la fase de análisis y realización de un estudio del S.O. Android, de las herramientas existentes y del lenguaje de programación Java utilizado en Android.
- *Implementación.*- desarrollo de una aplicación para un *smartphone* con S.O. Android y medición de los parámetros especificados en las fases anteriores con dicha aplicación.
- *Pruebas e integración.*- validación de los parámetros medidos realizando una campaña de medidas en entornos urbanos *outdoor*, en condiciones de calles estrechas y anchas, tomadas a velocidades de peatón y vehículo.

*Desarrollos teóricos realizados —*

- Búsqueda y estudio bibliográfico de documentación relacionada con los parámetros de nivel radio de GSM/UMTS y WiFi en libros, artículos, revistas, etc.
- Estudio de las herramientas existentes para el desarrollo de aplicaciones en los dispositivos móviles con S.O. Android e identificación de las ventajas e inconvenientes de las herramientas de desarrollo Eclipse y Android Studio.
- Análisis de la *Application Programming Interface* (API) de Android referente al funcionamiento de los componentes incorporados en el móvil, como el dispositivo de sistema de posicionamiento global (GPS), sensores, batería y adaptador inalámbrico para poder implementar la aplicación con la cual se miden los parámetros de radio frecuencia (RF) de GSM 2G y UMTS 3G.
- Estudio de la localización de la estación móvil (MS) y la estación base (BS) en base a los datos proporcionados por el GPS, y aplicaciones basadas en Google Maps, apoyados con bases de datos.
- Filtrado de posiciones erróneas del MS proporcionadas por la aplicación debido a pérdidas de conexión del GPS.

*Desarrollo de prototipos y trabajo de laboratorio —*

Se ha analizado el funcionamiento del GPS, sensores y adaptador inalámbrico del *smartphone* con el *Integrated Development Environment* (IDE) Eclipse, el *Software Development Kit* (SDK) Android y programación en el lenguaje Java.

*Resultados —*

- Desarrollo de una aplicación para teléfonos móviles inteligentes soportados con el S.O. Android, que consigue medir los parámetros más relevantes de radio frecuencia de GSM, UMTS y WiFi.
- Parámetros del canal de banda estrecha, como el valor del exponente de propagación y la desviación típica del *shadowing* en entornos *outdoor* urbanos, y en diferentes condiciones de propagación: avenidas anchas y calles estrechas.

*Líneas futuras —*

- Realizar una campaña más extensa de medidas en entornos exteriores *outdoor*, que incluya carreteras, autopistas y entornos con baja densidad de urbanización.
- Extensión de la aplicación para medir parámetros de acceso radio de la red WiFi.
- Mejorar la precisión en la localización de un dispositivo móvil en interiores (*indoor*) donde no se tiene cobertura GPS.
- Extensión de la aplicación con soporte de la tecnología *Long Term Evolution* (LTE).
- Desarrollo de una aplicación a nivel del *Radio Interface Layer* (RIL), para obtener un número más elevado de parámetros importantes que son útiles para caracterizar el comportamiento de la red y del enlace radio, como son el *Block Error Rate* (BLER) y el *Absolute Radio Frequency Channel Number* (ARFCN).

*Publicaciones —*

Se está preparando un artículo donde se describe la aplicación y se presentan resultados, el cual está en proceso de redacción para ser enviado a la revista WAVES 2014. Asimismo se tiene previsto presentar resultados de las campañas de medida capturadas con la herramienta en el congreso URSI 2014.

*Abstract —*

The measurement of RF parameters in cellular networks is of paramount importance for the characterization of the narrowband channel. To the author best knowledge, no Android test drive application is currently available which captures RF signal parameters along a path. Therefore we have programmed an Android application for smartphones which measures RF power received along a path. This application calculates the position of the smartphone by using the geographic coordinates provided by its GPS. We also estimate the distance between the base station and the smartphone with the base station data base location from Google.

Finally, a simple measurement campaign has been carried out in both wide streets and narrow streets of Valencia. Thus, we have obtained the propagation exponent and the standard deviation of the shadowing for both environments.

**ÍNDICE**

<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>4</b>
I.1. OBJETIVOS .....	5
<b>II. ESTADO DEL ARTE</b> .....	<b>5</b>
<b>II.1. SISTEMA OPERATIVO ANDROID</b> .....	<b>6</b>
II.1.1. INTRODUCCION .....	6
II.1.2. ARQUITECTURA .....	7
<b>II.2. GSM</b> .....	<b>9</b>
II.2.1. INTRODUCCIÓN .....	9
II.2.2. ARQUITECTURA .....	9
II.2.3. NIVEL FISICO.....	11
Tabla 2: Características de GSM/DCS1800 .....	12
II.2.4. GESTIÓN DE MOVILIDAD .....	12
II.2.5. EVOLUCIÓN GSM .....	13
II.2.5.1. GPRS .....	13
II.2.5.2. EDGE .....	13
<b>II.3. UMTS</b> .....	<b>13</b>
II.3.1. INTRODUCCIÓN.....	13
II.3.2. ARQUITECTURA Y NIVEL FÍSICO .....	14
<b>II.4. WIFI</b> .....	<b>18</b>
II.4.1. INTRODUCCIÓN.....	18
II.4.2. ARQUITECTURA Y COMPONENTES .....	18
II.4.3. NIVEL FÍSICO.....	19
<b>III. ESTRUCTURA DE LA APLICACIÓN</b> .....	<b>20</b>
<b>III.1. ANÁLISIS</b> .....	<b>21</b>
III.1.1. LÍMITES Y ALCANCES.....	22
III.1.2. ESQUEMA GENERAL .....	22
<b>III.2. DISEÑO</b> .....	<b>24</b>
III.2.1. ARQUITECTURA.....	24
III.2.2. MODELO-VISTA-CONTROLADOR.....	24
III.2.2.1. MODELO .....	25
III.2.2.1.1 DIAGRAMA DE CLASES .....	25
III.2.2.1.2. DIAGRAMA DE BASE DE DATOS .....	25
III.2.2.2. VISTA .....	26
III.2.2.2.1 DISEÑO DE LA INTERFAZ GRAFICA.....	26
III.2.2.3 CONTROLADOR .....	32
<b>III.3. IMPLEMENTACIÓN</b> .....	<b>32</b>
III.3.1. TECNOLOGÍAS Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS .....	32
<b>III.4. PRUEBAS E INTEGRACIÓN</b> .....	<b>34</b>
III.4.1. CAMPAÑA DE MEDIDAS .....	34
<b>IV. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS</b> .....	<b>36</b>
IV.1. CONCLUSIONES .....	36
IV.2. TRABAJOS FUTUROS .....	37
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>37</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>38</b>

## I. INTRODUCCIÓN

La telefonía móvil está modificando la sociedad actual de una forma tan significativa como Internet. Esta revolución no ha hecho más que empezar; los nuevos terminales ofrecen unas capacidades similares a un ordenador personal, lo que permite que puedan ser utilizados para leer nuestro correo o navegar por Internet. De hecho, estos nuevos dispositivos han revolucionado las cifras de compras por internet, y sectores que están aprovechando estas nuevas tecnologías como el sector publicidad, turismo, entretenimiento e incluso la educación. No cabe duda de que los smartphones se han instaurado como una herramienta necesaria de nuestro día a día y a diferencia de un ordenador, un teléfono móvil es más portable. Esto permite nuevos e innovadores aplicaciones más cercanas al usuario, ya muchos autores coinciden en que el nuevo ordenador personal del siglo XXI será un terminal móvil [1].

El lanzamiento de Android como nueva plataforma para el desarrollo de aplicaciones móviles ha causado un gran interés y está teniendo una importante aceptación tanto por los usuarios como por la industria. En la actualidad se está convirtiendo en una seria alternativa frente a otras plataformas como Symbian, iPhone o Windows Phone. Actualmente el mercado de los smartphones está liderado por las plataformas, Android y Apple iOS. En la Fig. 1 podemos ver un estudio realizado por la empresa Gartner Group<sup>1</sup>, donde se muestra la evolución del mercado de los sistemas operativos para móviles según el número de terminales vendidos. Destacamos el ascenso de Android, que le ha permitido alcanzar en dos años una cuota de mercado superior al 75%. El número de usuarios de smartphones con sistema operativo Android en el mundo es de 900 millones en 2013 [2]. En España hoy el 92,5% de la población lo utiliza.

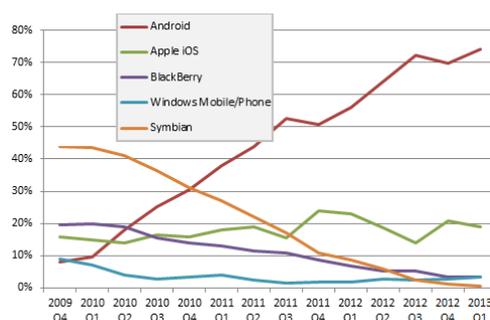


Fig.1. % de teléfonos inteligentes vendidos en el mundo. Fuente: kantarworldpanel<sup>2</sup>

Una característica importante de Android es que es de código abierto y licencia libre, está más extendida y disponible en más dispositivos, mientras que Apple iOS se encuentra solo disponible para los productos de Apple. Hecho que sitúa a Android en una posición más ventajosa, pues, al tener que adaptarse a los requerimientos de diferentes dispositivos su funcionalidad aumenta.

<sup>1</sup> [www.gartner.com](http://www.gartner.com)

<sup>2</sup> <http://www.kantarworldpanel.com/es>

## I.1. OBJETIVOS

Un dispositivo móvil es un término general que describe una amplísima familia de aparatos electrónicos surgidos en los últimos años, de reducido tamaño, que ofrecen alguna capacidad de procesamiento y almacenamiento de datos y que están orientados a una función concreta o varias de ellas: desde los teléfonos móviles más evolucionados (los llamados *smartphones*), a ordenadores portátiles, cámaras digitales, reproductores de música o consolas de videojuegos.

En la actualidad para realizar campañas de medidas para la caracterización del canal radio en banda estrecha se debe recurrir a un equipamiento costoso: generador de señal y analizador de espectro o de redes, con limitaciones en banda dependiendo de las características de los equipos. Además, las redes GSM/UMTS y WiFi, tienen parámetros de red transmitidos y transferidos entre móvil y la red que permiten evaluar la calidad del enlace radio, tasa binaria, etc. Por este motivo nos hemos centrado en el desarrollo de una aplicación para S.O. Android en un *smartphone*, que permita de una manera sencilla y económica realizar campañas de medidas utilizando las redes de los operadores que prestan servicio. El S.O. Android además de su gran expansión, es una plataforma libre y gratuita con las ventajas que eso conlleva desde el punto de vista del desarrollador. Además con estos datos se podría crear una aplicación para informar problemas ocurridos en la red (un concepto similar al FireFox *Talkback*<sup>3</sup>).

La escasez de este tipo de herramientas para los *smartphones* ha motivado que se realice un análisis, diseño e implementación de una aplicación que será capaz de funcionar en un entorno real, para medir parámetros de RF de GSM/UMTS y WiFi. Así pues, la idea es desarrollar una alternativa a los *drive test* existentes para PC pero con la característica de ser compatible y portable en la mayoría de los *smartphones* con S.O. Android.

Por otra parte también se realizará una campaña de medidas en diferentes condiciones en entorno urbano para estudiar el canal de comunicaciones en las bandas GSM: 900 y 1800 MHz, UMTS: 1900 – 2100 MHz y WIFI en 2,4 y 5 GHz.

## II. ESTADO DEL ARTE

En esta parte se va indicar la información considerada y utilizada durante este proyecto, así como las tecnologías y técnicas usadas para el desarrollo de la aplicación.

En primer lugar, se presentará una descripción del sistema operativo Android, que es el elemento principal sobre el que se ha desarrollado la aplicación.

Luego, se presentará un breve análisis a nivel radio de las tecnologías siguientes:

- *Sistema global para las comunicaciones móviles (GSM)*

---

<sup>3</sup> talkback.mozilla.org

- *Sistema universal de telecomunicaciones móviles (UMTS)*
- *IEEE 802.11 (Wi-Fi, Wireless Fidelity).*

Finalmente, se mostrará el desarrollo de la aplicación desde el análisis hasta su implementación, para luego exponer las conclusiones y trabajos futuros que conlleven este proyecto.

## **II.1. SISTEMA OPERATIVO ANDROID**

### *II.1.1. INTRODUCCION*

Android es un sistema operativo basado en Linux y dispone de una licencia libre Apache. Fue desarrollado inicialmente por Android Inc., una firma comprada por Google en el 2005. Es el principal producto de la *Open Handset Alliance*, un conglomerado de fabricantes y desarrolladores de hardware, software y operadores de servicio.

Android es sin duda uno de los mayores éxitos de la industria del software de los últimos años [8]. Además de un mercado cada vez mayor debido al crecimiento en el número de estos dispositivos, según cifras de IDC<sup>4</sup>, hoy los teléfonos con el sistema operativo Android dominan casi el 80% del mercado global de teléfonos inteligentes, frente a poco más del 13% de Apple, casi 4% de Microsoft y poco más del 3% de BlackBerry.

Características y especificaciones:

- *Amplia variedad de diseños:* VGA, librerías de gráficos 2D y 3D basada en las especificaciones de la OpenGL ES 2.0.
- *Almacenamiento* en base de datos SQLite.
- *Soporta las siguientes tecnologías de conectividad:* GSM/EDGE, IDEN, CDMA, EV-DO, UMTS, Bluetooth, Wi-Fi, LTE, and WiMAX.
- *Mensajería:* SMS, MMS y la *Android Cloud to Device Messaging Framework (C2DM)* es parte del servicio de *Push Messaging* de Android.
- *Navegador web:* El navegador web basado en Google Chrome.
- *Soporte de Java:* El código Java se compila en el ejecutable Dalvik y corre en la *Máquina Virtual Dalvik*. Dalvik es máquina virtual especializada diseñada específicamente para Android y optimizada para dispositivos móviles que funcionan con batería y que tienen memoria y procesador limitados.
- *Soporta los siguientes formatos multimedia:* WebM, H.263, H.264 (en 3GP o MP4), MPEG-4 SP, AMR, AMR-WB (en un contenedor 3GP), AAC, HE-AAC (en contenedores MP4 o 3GP), MP3, MIDI, Ogg Vorbis, WAV, JPEG, PNG, GIF y BMP.
- Soporte para *streaming* RTP/RTSP (3GPP PSS, ISMA), descarga progresiva de HTML (HTML5 <video> tag). Adobe Flash Streaming (RTMP) es soportado mediante el Adobe

---

<sup>4</sup> www.idc.com

Flash Player. Se planea el soporte de Microsoft Smooth Streaming con el port de Silverlight a Android. Adobe Flash HTTP Dynamic Streaming estará disponible mediante una actualización de Adobe Flash Player.

- Soporte para *hardware adicional* como cámara de fotos, video, pantallas táctiles, GPS, acelerómetros, giroscopio, magnetómetros, sensores de proximidad y de presión, termómetro, aceleración 2d y 3d, etc.
- Soporta *tethering*, el cual permite al teléfono ser usado como un punto de acceso para permitir a un computador portátil usar la conexión 3G.
- *Desarrollo y programación*: Android, al contrario que otros sistemas operativos para dispositivos móviles como iOS o Windows Phone, se desarrolla de forma abierta y se puede acceder al código fuente. Posee un ambiente rico de desarrollo incluyendo un emulador de dispositivo, herramientas para depuración, perfiles de memoria y performance.

En síntesis, la visión que se intenta tener de Android, es la de una misma plataforma que reúne todos los elementos que permitan desarrollar, controlar y aprovechar las funcionalidades que ofrecen los dispositivos móviles. Del mismo modo que también se busca que todas las aplicaciones sean portables, reutilizables y fáciles de desarrollar.

### II.1.2. ARQUITECTURA

La arquitectura de Android (ver Fig.2) está formada por capas de software donde cada una puede utilizar los servicios de la capa inferior. Empezando por la capa superior, tenemos la capa de aplicaciones que, junto al Framework de aplicaciones, son totalmente públicas y los usuarios pueden acceder libremente. Un nivel más abajo tenemos un conjunto de librerías que no son accesibles directamente, pero sí lo son a través del nivel superior. Por último en la capa inferior tenemos el conjunto de drivers basados en Linux.

- *Applications*: Un conjunto de aplicaciones base de Android, entre las que encontramos un navegador Web, un cliente de email, un calendario etc. Todas las aplicaciones están escritas en lenguaje de programación Java.
- *Application Framework*: Es una base para las aplicaciones donde los desarrolladores tienen acceso completo. Pensado para la reutilización de componentes, es decir, una aplicación puede tomar funcionalidades de otra creada anteriormente para su desarrollo. Éste incluye:
  - *Telephony manager*: Gestor de hardware del teléfono.
  - *View system*: Conjunto de vistas para poder desarrollar una aplicación.
  - *Content providers*: Para datos que son compartidos entre varias aplicaciones, como por ejemplo la agenda de teléfono.

- *Resource Manager*: Administrador de recursos que permite acceder a recursos como Strings, gráficos, archivos de layout...
- *Notification Manager*: Administrador de notificaciones para mostrar alertas. Las aplicaciones pueden añadir eventos en una barra de notificaciones.
- *Activity Manager*: Administrador de actividades, éste maneja el ciclo de vida de las aplicaciones y la navegación entre ellas.
- *Location Manager*: Servicio de localización. Permite al móvil recibir avisos, notificaciones, eventos etc., de un lugar específico o por nuestra localización actual.
- *Servicio XMPP*: Envío de mensajes para aplicaciones entre terminales Android. Se podría utilizar en juegos multiusuario por ejemplo.

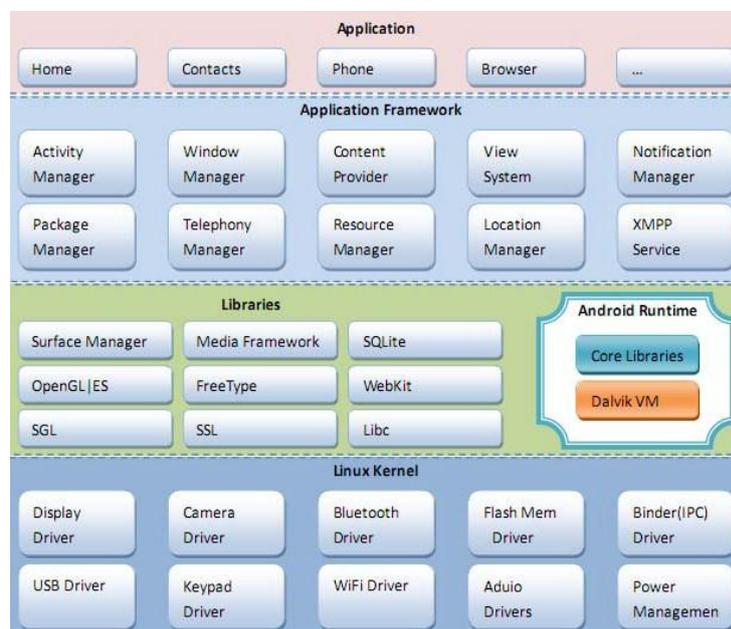


Fig.2. Arquitectura de Android [9]

- *Libraries*: Está formada por un conjunto de librerías escritas en C/C++. Todas expuestas a los desarrolladores a través del Framework de aplicaciones.
- *Android Runtime*: Está compuesto por el núcleo de librerías y la máquina virtual Dalvik. Aquí disponemos de un conjunto de librerías que incluyen las funcionalidades que solemos encontrar en las librerías básicas de Java. Esto no quiere decir que la máquina virtual sea Java, pero si su lenguaje usado para programar.
- *Kernel de Linux*: Basado en el núcleo de Linux 2.6 y base de la pila de software del sistema, se encarga de las funciones más básicas: gestión de drivers, seguridad, gestión de memoria, administración de procesos, las gestiones de redes y de energía. El núcleo actúa como una capa de abstracción entre el hardware y el software.

## II.2. GSM

### II.2.1. INTRODUCCIÓN

Formalmente conocida como *Group Special Mobile* (GSM, Grupo Especial Móvil) aunque también llamada Sistema Global para las Comunicaciones Móviles, un estándar mundial para teléfonos móviles digitales creado por la *Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones* (CEPT) y posteriormente desarrollado por el *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI) como un estándar para los teléfonos móviles europeos, con la intención de desarrollar una normativa que fuera adoptada mundialmente. GSM que pertenece a la segunda generación de comunicaciones móviles, es capaz de transportar tanto voz como datos, *roaming*<sup>5</sup>, aporta mayor calidad de servicio e introduce los SMS [10].

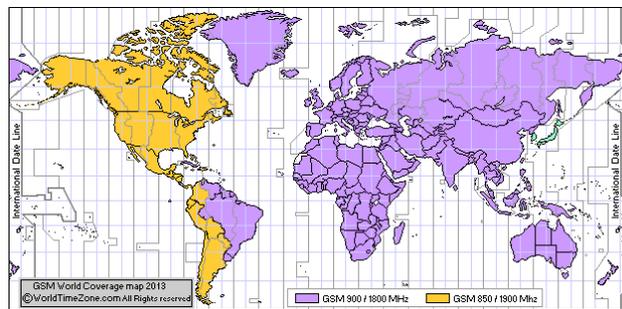


Fig.3. Cobertura de GSM en el mundo.

GSM sigue evolucionando y durante las próximas décadas será una pieza clave, junto a 3G y LTE, de la banda ancha móvil. Y seguirá ofreciendo oportunidades de negocio gracias a las actualizaciones de hardware con soporte de *Single RAN Advanced*, las mejoras en voz de alta definición, las comunicaciones M2M y los dispositivos inteligentes. La última innovación anunciada por *Nokia Siemens Networks* (NSN<sup>6</sup>), *Orthogonal Sub-Channel Dual Full Rate* (OSCD-FR), que permite incrementar en un 100% la capacidad de voz y mejorar notablemente la calidad de las conversaciones.

### II.2.2. ARQUITECTURA

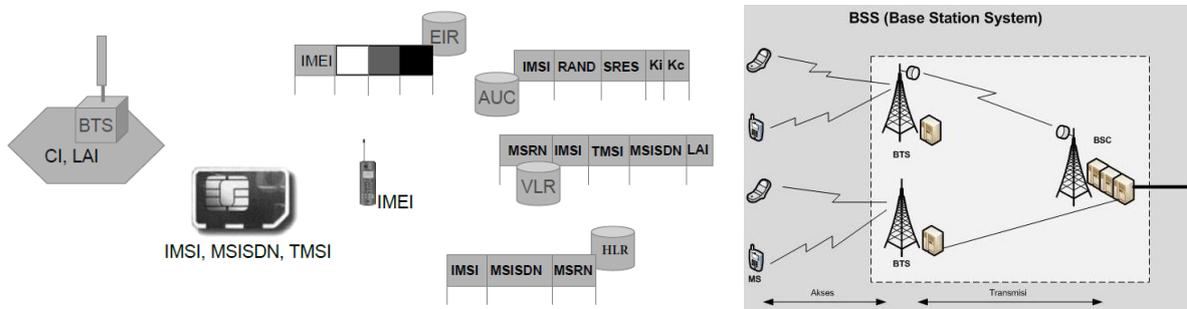


Fig.4. Arquitectura de la red GSM – Subsistema BSS (BSC + BTSs = BSS)

<sup>5</sup> El roaming posibilita el viajar a diferentes países con el mismo terminal móvil, puesto que todas las redes tienen el mismo sistema.

<sup>6</sup> <http://nsn.com>

**1. Subsistema Radio (RSS, Radio SubSystem)**, cubre la comunicación entre las estaciones móviles (MS) y las estaciones base (BTS). El interfaz radio entre ellas se denomina *Um*.

- *Mobile Station Terminal Equipment (MS)*, terminales o dispositivos utilizados para que el usuario se comunique en la red celular.
  - Se clasifican según potencia y banda
  - IMEI (International Mobile Equipment Identity)
- *Subscriber Identity Module (SIM)* (ver tabla 1)
  - Smart Card: Procesador + memoria.
  - Utilización con cualquier teléfono móvil GSM

**2. El subsistema de estaciones base (BSS)**, incluido dentro de la parte radio, este subsistema hace de interfaz entre la parte radio y la parte de red; está constituido por los siguientes elementos:

- *Base Transceiver Station (BTS)*
  - Emisor, receptor y antena. Situada generalmente en el centro de la celda.
  - Procesa los canales radio (Interfaz *Um*). Entre 1 y 16 canales de RF.
- *Base Station Controller (BSC)*

<b>Datos administrativos</b>	<b>PIN/PIN2:</b> Número de identificación personal
	<b>PUK/PUK2:</b> Clave de desbloqueo del PIN
	<b>Tabla SIM:</b> Servicios y funcionalidades SIM
	<b>Idioma:</b> al encender el móvil
<b>Datos relativos a la seguridad</b>	<b>Algoritmos A3 y A8:</b> Autenticación y obtención de Kc
	<b>Clave Ki:</b> valor individual conocido en SIM y HLR
	<b>Clave Kc:</b> Resultado de A8, Ki y el número RAND
	<b>CKSN:</b> Número de secuencia de la clave de cifrado.
<b>Datos del abonado</b>	<b>IMSI:</b> Identificador del abonado móvil internacional
	<b>MSISDN:</b> número ISDN del abonado
	Clase de control de Acceso
<b>Datos de Roaming</b>	<b>TMSI:</b> Identidad temporal del abonado móvil
	Valor de <b>T3212:</b> actualización de localización.
	<b>LAI:</b> Información del área de localización y estatus.
	<b>NCC</b> (códigos de color de red) o PLMNs restringidas
<b>Datos de la Red móvil</b>	<b>NCC, MCC y MNC,</b> códigos del país, red y color de red
	<b>ARFCNs:</b> Números de los canales de radiofrecuencia

Tabla 1: Módulo de identificación del usuario (SIM)

- *Handover*<sup>7</sup>, monitoriza y controla varias BTS.

<sup>7</sup> El handover, o traspaso entre células, se produce cuando el Terminal móvil recibe poca señal de una estación base y debe cambiar a otra, normalmente más cercana, para continuar la comunicación.

- Mapeo de canales radio sobre los canales terrestres. (varias ubicaciones física)
- Por un lado se comunica con las BTS a través de un interfaz con canales de 16 kb/s (*Abis*) y por otro lado se comunica con los MSC a través del *interfaz A*, con canales de 64 kb/s.
- Intercambio y administración de frecuencias.

### II.2.3. NIVEL FISICO

*GSM-900 (900 MHz)* y *GSM-1800 (1,8 GHz)* son utilizadas en la mayor parte del mundo (Fig. 3), salvo en Estados Unidos, Canadá y el resto de América Latina, lugares en los que se utilizan las bandas de *GSM-850* y *GSM-1900 (1,9 GHz)*. Entre las características de la capa física de GSM cabe destacar las siguientes:

- *Canal RF + slot TDMA (FDD/FDMA+TDD/TDMA):*
  - 8 time- slot por portadora, cada time-slot contiene 156,25 bits
  - Tasa 33,9 kb/s por time-slot. Tasa 270,8 kb/s por portadora.
  - Datos codificados por time-slot 114 (2x57) incluyendo corrección.
  - El tamaño de paquete de nivel 2 es de 23 octetos, que con el encapsulado del nivel 1 alcanzan los 456 bits. Toda la información se transmite en bloques de 456 bits (4x2x57).
  - La tasa máxima de bits es 13 kb/s.
  - ARFCN (Absolute Radio Frequency Channel Number)
  - 124 Canales RF con una separación de 200 kHz
  - $F_{ul}(n) = 890 + 0,2*n$  [MHz];  $0 \leq n \leq 124$
  - $F_{dl}(n) = F_{ul}(n) + 45$  MHz
  - Canal 0: banda de guarda
- Distancia de cobertura máxima: 35 km (puede ampliarse hasta 70 km).
- Dispersión *Doppler* máxima: hasta 200 km/h.
- Dispersión temporal máxima: hasta 16  $\mu$ s.
- Errores en la transmisión:
  - Codificación concatenada para el canal: bloque y convolucional.
  - Entrelazado para combatir errores a ráfagas.
  - Ecuación de Viterbi: retardos de hasta 16 ms.

### *GSM extendido (E-GSM):*

- 10 MHz más en cada banda (50 canales RF):
  - *Uplink*: 880 - 915 MHz. *Downlink*: 925 - 960 MHz.
  - $F_{ul}(n) = 890 + 0,2*(n - 1024)$  MHz;  $975 \leq n \leq 1023$
  - $F_{dl}(n) = F_{ul}(n) + 95$  MHz
- El canal 0 sí se utiliza y banda de guarda es el canal 974 (880MHz).

Parámetro	GSM	DCS1800
Frecuencia Transmisión (MHz) <i>Uplink:</i> Móvil → Base <i>Downlink:</i> Base → Móvil	890-915 935-960	1710-1785 1805-1880
Tipo de Acceso Múltiple	TDMA/FDMA	TDMA/FDMA
Método de Duplexado	FDD	FDD
Ancho de Banda por Radiocanal	200 kHz	200 kHz.
Nº Canales tráfico por Radiocanal	8	8
Separación entre bandas	2x25 MHz	2x75 MHz
Separación dúplex	45 MHz	95 MHz
Nº Total de canales de tráfico	992-1392	2992
<b>Canal Vocal:</b>		
Tipo de Modulación	GMSK	GMSK
Vel. Transmisión/Desviación de Frecuencia	270,8 kb/s	270,8 kb/s
Tipo de codificador de voz y velocidad	FR- EFR 13 kb/s	FR- EFR 13 kb/s
<b>Canal de Servicio:</b>		
Tipo de Modulación	GMSK	GMSK
Vel. Transmisión	270,8 kb/s	270,8 kb/s
Potencia máxima del terminal móvil	8 W–0,8 W (típico 2 W)	1 W–0,25 W (típico 0,25 W)
Potencia máxima de la base	320 W –2,5 W	20 W–2,5 W

Tabla 2: Características de GSM/DCS1800

#### II.2.4. GESTIÓN DE MOVILIDAD

La ubicación de un terminal registrado en GSM/GPRS queda definida por:

- MCC: código del país
- MNC: código de la red móvil (operador)
- LAC: código del área de localización
- RA: código del área de enrutamiento (en GPRS)
- CI: identidad de la celda (CELL ID)

Todos estos parámetros son enviados en el BCCH de cada una de las celdas de la red GSM/GPRS. En los mensajes de señalización entre el móvil y la red se utilizarán estos identificadores con diversas funciones. Cualquier mensaje en bajada contiene el CI y el LAC. El móvil en modo IDLE, lee esa información del canal BCCH Si detecta cambio de LAC, inicia una *Actualización de Registros*. La gestión de movilidad desde el punto de vista de los terminales en modo dedicado se basa en el envío periódico de informes de medida desde el móvil, las medidas en la MS:

- A través del BCCH se manda la lista de portadoras BCCH vecinas.
- En los 4 intervalos libres se miden las portadoras de la lista (*RxLev*).
- En los 12 intervalos libres (trama *idle*) se decodifica el SCH de las vecinas para obtener su identidad.

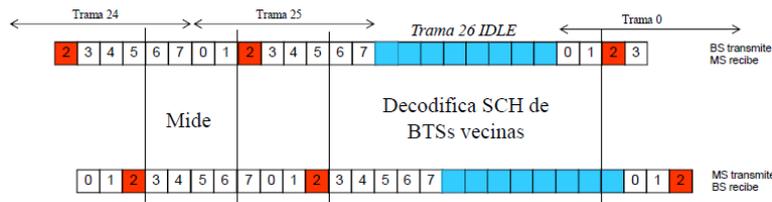


Fig.5. Medidas en la Estación Móvil

## II.2.5. EVOLUCIÓN GSM

### II.2.5.1. GPRS

El *General Packet Radio Service* (GPRS) es un servicio para comunicación de datos que permite la estación móvil una conexión a Internet sin la necesidad de establecerse una llamada telefónica. Este servicio puede utilizar hasta los 8 *time slots* de un canal GSM de 200 kHz lo que implica en una tasa que teóricamente podría llegar a 115 kb/s.

- Servicio de datos de velocidad hasta 76,8 kb/s protegidos y 115,2 kb/s sin protección.
- Conmutación de paquetes.
- Costo proporcional a cantidad de información transmitida, no al tiempo de duración.
- Aplicaciones:
  - Comunicaciones interactivas y punto-multipunto.
  - Navegación en Internet y e-mail directo al móvil del destinatario.

### II.2.5.2. EDGE

El *Enhanced Data Rates for GSM Evolution* (EDGE) es un estándar desarrollado para aumentar la tasa de datos para servicios ofrecidos por la red GSM. Este aumento es obtenido por el uso de un nuevo tipo de modulación (8 BPSK) para la portadora de los canales de RF en sustitución a la usada actualmente 0,3 GMSK.

Es posible de esta forma ofrecer 48 kb/s por slot de tiempo lo que posibilitaría el ofrecimiento de conexiones IP de hasta 384 kb/s. Esta solución mantiene la estructura básica de canalización del GSM implicando en la instalación de transceptores con modulación 8 BPSK para los canales de RF dedicados a esta aplicación.

## II.3. UMTS

### II.3.1. INTRODUCCIÓN

UMTS es un estándar europeo desarrollado para redes móviles de tercera generación (3G) [11]. UMTS fue un sistema que nació con la idea de ser un sistema multi-servicio y multi-velocidad, es decir, con suficiente flexibilidad para adaptarse a transmisiones de datos de distintas velocidades y distintos requerimientos [12].

*1. Características generales de UMTS:*

- Movilidad del terminal, personal y de servicios.
- Velocidades de 384 kb/s y en baja movilidad hasta 2 Mb/s.
  - Máxima velocidad de bit del usuario:
    - *Rural Outdoor*: 144 kb/s (goal 384 kb/s), up to 500 km/h
    - *Suburban Outdoor*: 384 kb/s (goal 512 kb/s), up to 120 km/h
    - *Indoor/Urban Outdoor*: 2 Mb/s, max speed 10 km/h
- Mayor capacidad y uso eficiente del espectro que los sistemas anteriores.
- Elevado nivel de calidad y alto grado de seguridad.
- Diferentes servicios simultáneos con asignación dinámica del ancho de banda.
- Coexistencia e interconexión con satélites.
- Soporte para varias conexiones simultáneas. (variedad de servicios: conectarse a Internet, recibir simultáneamente una llamada telefónica, etc.)

*2. Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA):* Espectro ensanchado por secuencia directa, velocidad binaria del código de ensanchamiento constante.

- Chip rate: 3,84 Mchips/seg. Ancho de banda de 5 MHz (Americano 1,25 MHz).

*Ventajas:*

- Acceso múltiple y robustez frente a la interferencia multitrayecto.
- Seguridad: por el código de ensanchamiento.
- No se requiere una sincronización “estricta” entre los usuarios.
- No hay una capacidad “concreta” de usuarios, degradación progresiva de calidad.

*Inconvenientes:*

- Cálculo de capacidad complejo y diferente en ambos enlaces.
- Interferencia mutua entre terminales limita la capacidad.
- Necesidad control de potencia estricto → Efecto “cerca-lejos”.

**II.3.2. ARQUITECTURA Y NIVEL FÍSICO**

El sistema UMTS es un sistema WCDMA. La Fig.6, muestra de manera esquemática como se transmite la información en GSM y en UMTS.

*UMTS Terrestrial Radio Access (UTRA):*

- Sistema de acceso de radio 3G:
  - Modo FDD (W-CDMA). Modo TDD (TD-CDMA)
  - Modo *Multicarrier* (opcional)

- Núcleo de la red basada en la red GSM evolucionada

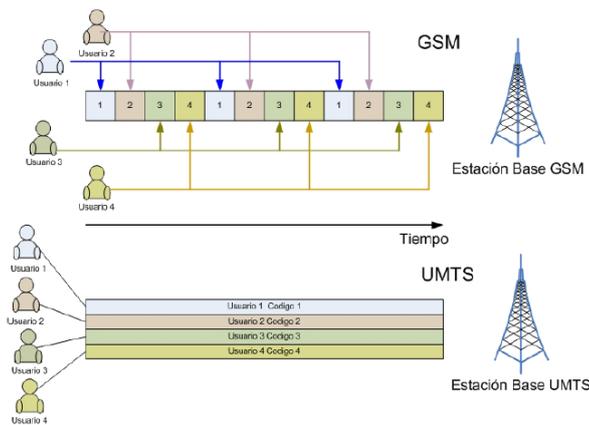


Fig. 6: Esquema del interfaz aire para los sistemas GSM y UMTS

Tanto las redes 2G como las 3G, tienen elementos de arquitectura similares. En lo que se diferencian radicalmente es en el interfaz de acceso aire, es decir cómo se transmite la información entre el terminal móvil y la estación base.

<i>Channel bandwidth</i>	<i>5 MHz (10 MHz, 20 MHz)</i>
<i>Chip rate</i>	<i>3,84 Mchip/s</i>
<i>Frame length</i>	<i>10 ms</i>
<i>Channelisation spreading</i>	<i>variable spreading</i>
<i>Data modulation</i>	<i>QPSK(downlink), BPSK(uplink)</i>
<i>Spreading modulation</i>	<i>Balanced QPSK (downlink) Dual-channel QPSK (uplink)</i>
<i>Coherent detection</i>	<i>User dedicated time multiplexed pilot Common pilot in downlink</i>
<i>Channel multiplexing in uplink</i>	<i>Control and pilot channel time multiplexed I and Q multiplexing for data and control</i>
<i>Multirate</i>	<i>Variable spreading</i>
<i>Spreading factors</i>	<i>4 - 256</i>
<i>Power control</i>	<i>Open and fast closed loop (1500 Hz)</i>
<i>Spreading (downlink)</i>	<i>Variable length orthogonal sequences for channel separation, Gold sequences for cell</i>
<i>Spreading (uplink)</i>	<i>Variable length orthogonal sequences for channel separation, Gold sequences <math>2^{41}</math> for user separation (diff. Time shifts in I, Q, cycle <math>2^{16}</math> 10ms radio frames)</i>
<i>Handover</i>	<i>Soft handover Inter-frequency handover</i>

Tabla 3: UTRA W-CDMA Radio Interface

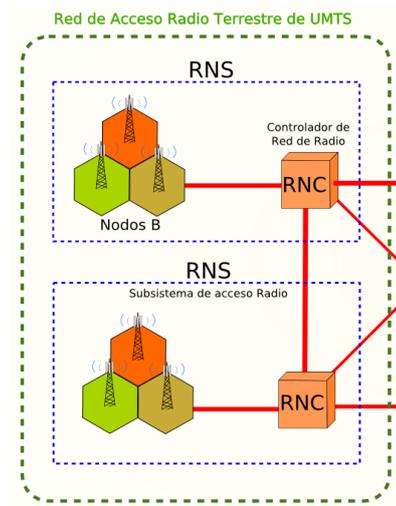
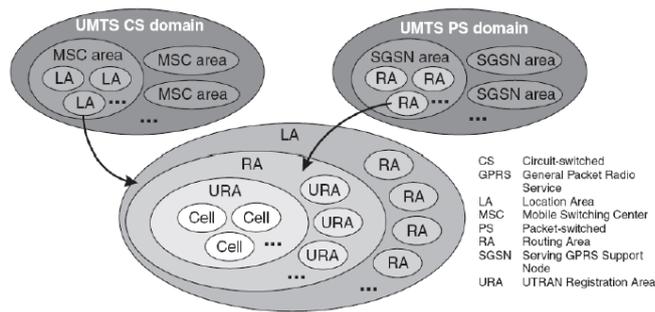


Fig.7. Arquitectura de UTMCS – Subsistema UE y UTRAN

En la arquitectura UTMCS, se distinguen tres elementos principales:

1. *UTMCS Terrestrial Radio Access Network (UTRAN)*
2. *Core Network (CN)*
3. *User Equipment (UE)*

UTRAN y UE aportan diseños completamente novedosos, en función de las necesidades concretas de WCDMA. CN se apoya/adapta en el sistema GSM.

### 1. *User Equipment (UE)*

- Mobile Equipment (ME)
  - Terminal radio que se emplea para las comunicaciones
  - Interfaz con el *NodeB* a través de *Uu*
- UTMCS Subscriber Identity Module (USIM)
  - Tarjeta inteligente con datos de usuario (identificación...)
  - Algoritmos cifrado y autenticación
  - Claves de seguridad
  - Información de suscripción a servicios
  - Similar a la empleada en GSM

### *Medidas en el terminal móvil:*

Evaluación de *Handover*, control de potencia en lazo abierto, cálculo de pérdidas de camino, selección, re-selección de celda, localización.

- CPICH RSCP: potencia recibida en un código medida en el canal CPICH
- P-CCPCH RSCP: Potencia recibida en un código en un PCCPCH (TDD).
- SIR: Relación señal-interferencia. En el DPCCH

$$SIR = \frac{RSCP}{ISCP} \times \frac{SF}{2} \tag{1}$$

El factor de ensanchamiento (SF)	Sobre los bits piloto del DPCCH.
RSCP (Received Signal Code Power)	→ Periodo de medida: 80 ms
ISCP (Interference Signal code Power)	Rango: -11 a 20 db

- UTRA carrier RSSI. (GSM carrier RSSI): Potencia en un canal downlink.
- CPICH  $E_c/N_0$ : Energía de chip por densidad de potencia de la banda.
- *Transport channel BLER*: Tasa de error de bloque de canal de transporte.
- Potencia de Tx del terminal: Entre -50 y +33 dBm.
- Diferencias de tiempo observadas
  - SFN-CFN (RX-TX), SFN-SFN (dos celdas), Rx-Tx, en celda GSM. UE GPS

## 2. UMTS Terrestrial Radio Access Network (UTRAN)

- Servicio de portadoras de acceso radio (RAB): establecimiento de un enlace entre el equipo de usuario (UE) y el núcleo de red (CN) con unos requisitos de calidad.
- Está formada por uno o varios *Radio Network Subsystems* (RNS)
  - Los RNS podrían estar conectados entre sí
- RNS
  - Un *Radio Network Controller* (RNC)
  - Uno o varios *NodeBs*
- Requerimientos para la UTRAN
  - Soporte de '*soft handover*', que implica que un terminal tenga simultáneamente 2 ó más conexiones con la red (a través de varias celdas)
  - Aspectos específicos de WCDMA (algoritmos de gestión de recursos radio)
  - Integración en la gestión de conexiones de conmutación de paquetes/circuitos
  - Maximizar los puntos en común con GSM
  - Uso de ATM como mecanismo de transporte principal
  - Incorporación de IP a partir de la R5

### Medidas en UTRAN:

- *RSSI*: Potencia recibida en el ancho de banda: -112 a -50 dBm.
- *RSCP*: Potencia recibida en un código en un DPCH, PRACH, PUSCH (TDD).
- *Timeslot ICSP*: Interferencia en un *timeslot* para TDD.
- *SIR*: Relación señal-interferencia. En el DPCCH el cálculo es de manera similar al terminal móvil.
- *Potencia de Portadora transmitida*: Relación con la potencia total 0-100%.
- *Potencia de código transmitida*: Potencia en un código de canalización con un código de aleatorización en una portadora radio. -10 a 46 dBm.
- *Transport channel BER*: Tasa de error del DPDCH. 0 a 1.
- *Physics channel BER*: Tasa de error del DPCCH.

- *Rx Timing Deviation*: Tiempo entre inicios de transmisión y recepción.
- *Round Trip Time (RTT)*: Retardo del interfaz aire en chips.
- *UTRAN GPS Timing*: Medida para servicios de localización con GPS.
- *Retardo de propagación PRACH/PCPCH*.
- *Preámbulos reconocidos PRACH/PCPCH*.

## II.4. WIFI

WiFi establece redes de área local (LAN), empresariales o de campus, en el rango máximo de cientos de metros, o, en el caso de WiMaX<sup>8</sup> cercanas al km. Los sistemas móviles proporcionan servicio en el rango de km, es decir, a lo largo de ciudades con cobertura casi global, a nivel mundial.

### II.4.1. INTRODUCCIÓN

Wireless Local Area Network (WLAN), es un sistema de comunicaciones establecido a través de ondas electromagnéticas (sin cables), muy utilizado como alternativa a las redes LAN cableadas o como extensión de éstas. Tecnología disponible en el mercado desde 1997. Las redes inalámbricas conllevan intrínsecamente: conectividad de datos y movilidad del usuario.

WiFi, se refiere a un estándar específico de WLAN (IEEE 802.11), se trata de un grupo de fabricantes unidos sin ánimo de lucro con objeto de asegurar inter-operatividad entre equipos.

### II.4.2. ARQUITECTURA Y COMPONENTES

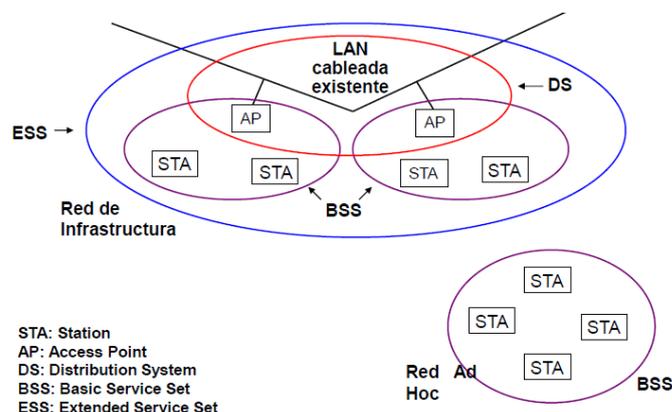


Fig. 8. Arquitectura WiFi

Para la *conectividad* se realiza el proceso de rastreo, que se trata del proceso mediante el cual las estaciones “*descubren*” los puntos de acceso (APs) a los que pueden conectarse:

- **SSID: Service Set Identifier**, existe dos posibilidades:
  - Se encuentra incluido en *beacon SCANNING PASIVO*.
  - No se encuentra incluido en *beacon SCANNING ACTIVO*.

<sup>8</sup> WiMaX es una tecnología similar a WiFi pero con mayores velocidades y mayor alcance.

- BEACON: Trama de control que el AP lanza de manera regular (normalmente cada 100 ms). Contiene el SSID y otra información de la red, como el reloj (para sincronización de estaciones y AP) o las velocidades soportadas por la red.

### II.4.3. NIVEL FÍSICO

En las bandas ISM (*Industrial, Scientific and Medical*)

Banda	Anchura	Uso en WLAN
13,553 – 13,567 kHz	14 kHz	No
26,957 – 27,283 kHz	326 kHz	No
40,66 – 40,7 MHz	40 kHz	No
902 – 928 MHz *	26 MHz	Sistemas propietarios antiguos
2,400 – 2,500 MHz	100 MHz	802.11b, 802.11g, 802.11n
5,725 – 5,875 MHz	150 MHz	802.11a, 802.11n
2,4 – 2,425 GHz	250 MHz	No

\* Solo autorizada en región 2 (EEUU y Canadá)

Tabla 4: Banda de Frecuencias WLAN

Los estándares 802.11b y 802.11g utilizan la banda de 2,4 – 2,5 GHz. En esta banda, se definieron 11 canales utilizables por equipos WiFi, los que pueden configurarse de acuerdo a necesidades particulares. Sin embargo, los 11 canales no son completamente independientes (canales contiguos se superponen y se producen interferencias) y en la práctica sólo se pueden utilizar 3 canales en forma simultánea (1, 6 y 11). Esto es correcto para USA y muchos países de América Latina, pues en Europa, el *ETSI* ha definido 13 canales. En este caso, por ejemplo en España, se pueden utilizar 4 canales no-adyacentes (1, 5, 9 y 13).

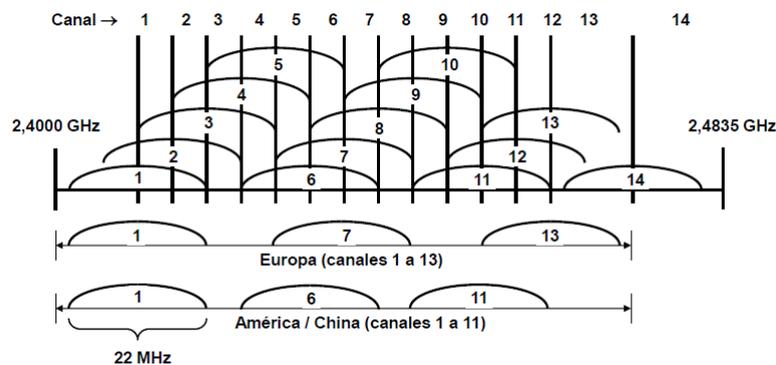


Fig. 9. Reparto de canales a 2,4 GHz.

Las principales mejoras del estándar 802.11n:

- *Multiple-Input Multiple-Output* (MIMO)
- *Spatial Multiplexing 40 MHz channels*
- Soporta el doble (108 Mb/s), o incluso superior que 802.11g (54 Mb/s).

Canal	Frecuencia* (MHz)	EEUU	Europa	Japón
		40/20 MHz	40/20 MHz	40/20 MHz
36	5180	Si	Si	Si
40	5200	Si	Si	Si
44	5220	Si	Si	Si
48	5240	Si	Si	Si
52	5260	Si	Si	Si
56	5280	Si	Si	Si
60	5300	Si	Si	Si
64	5320	Si	Si	Si
100	5500	Si	Si	Si
104	5520	Si	Si	Si
108	5540	Si	Si	Si
112	5560	Si	Si	Si
116	5580	Si	Si	Si
120	5600	No	Si	Si
124	5620	No	Si	Si
128	5640	No	Si	Si
132	5660	No	Si	Si
136	5680	Si	Si	Si
140	5700	Si	Si	Si

\*Los equipos operan desde 4,915 a 5,825 GHz

Tabla 5: Canales a 5 GHz

### III. ESTRUCTURA DE LA APLICACIÓN

La reciente aparición de los S.O. abiertos y máquinas virtuales optimizados para dispositivos móviles ha dado lugar a nuevas e innovadoras aplicaciones [13]. Sin embargo, aunque estos dispositivos móviles abren el camino a una nueva generación de aplicaciones que se aprovechan de su movilidad intrínseca, la proximidad al usuario, y dependencia de los dispositivos de mano, crean retos únicos para los desarrolladores [14]. Los *smartphones* se están convirtiendo en una importante plataforma para la ejecución de los servicios de Internet, así como los dispositivos más potentes y menos costosos se están haciendo disponibles. La verificación de la prestación de dichos servicios se está moviendo progresivamente de la PC tradicional a escenarios integrados en teléfonos inteligentes. Esto conlleva a que las nuevas herramientas están siendo diseñadas específicamente para teléfonos inteligentes, lo que permite el análisis del rendimiento de los servicios y aplicaciones diseñadas específicamente para dispositivos móviles.

En los dispositivos móviles, tecnologías tales como Bluetooth, WLAN, GSM / GPRS o EDGE, UMTS y WiMAX introducen variables durante el desarrollo, que los desarrolladores que trabajan en redes fijas no están acostumbrados. Cada tecnología tiene diferente funcionamiento y es adecuado para diferentes contextos. Además, el uso simultáneo de las diferentes tecnologías de

acceso radio es un nuevo reto para los desarrolladores de aplicaciones móviles. Ya varias herramientas existentes pueden analizar el rendimiento del consumo de recursos de una aplicación móvil [15-18]. Sin embargo, estas herramientas no se ocupan de rendimiento de la comunicación desde la perspectiva de un desarrollador.

### III.1. ANÁLISIS

Después de realizar el estudio en el capítulo anterior y mencionar las limitaciones existentes en la actualidad, pasamos a describir lo que será la aplicación partiendo de lo que se quiere conseguir.

La *idea básica* de la aplicación **Test Signal RF (TSRF)**, es que pretende ser una herramienta móvil contenida en un *smartphone* con S.O. Android, para realizar medidas de parámetros de acceso radio, con el fin de caracterizar el comportamiento de las comunicaciones celulares (Fig.10).

Con TSRF se puede monitorear y registrar el *Received Signal Strength Indication (RSSI)* obtenidos de las redes GSM/UMTS y WiFi, localizar la BS y MS, guardar y reproducir los datos registrados. Además poder obtener la *latitud (LAT)*, *longitud (LON)* de BS y MS, fecha y hora, el servicio celular *Mobile Country Code (MCC)*, *Mobile Network Code (MNC)*, *Location Area Code (LAC)*, *Cell Identification (CELLID)*, *Bit Error Rate (BER)*, *Evolution-Data Optimized/Only (EVDO)*, *Ec/Io*, *Signal to Noise Ratio (SNR o S/N)*, y la tecnología de red utilizada (GSM, GPRS, EDGE, UMTS, HSPA y LTE). En cuanto a los parámetros Wifi: *Service Set Identifier (SSID)*, *Basic Service Set Identifier (BSSID)*, *Media Access Control (MAC)*, *Internet Protocol (IP)*, etc.

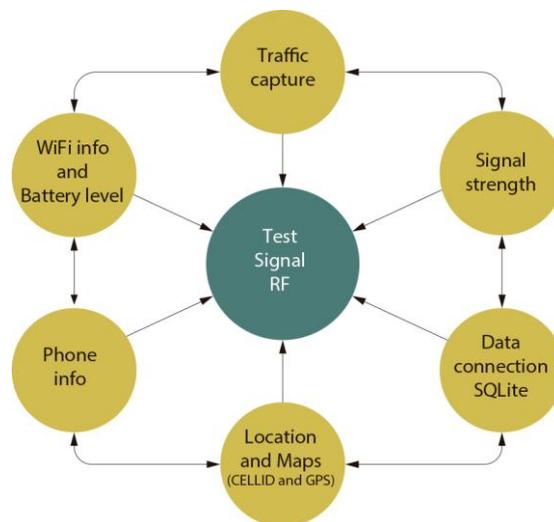


Fig.10. Perfil de la aplicación móvil TSRF.

Algunos de los parámetros que aparecen en la aplicación ya están previstos en el teléfono. La ventaja de esta aplicación es que ahora toda esa información recuperada más otros relevantes añadidos se pueden guardar, ver las localizaciones en un mapa, reproducir y exportar para realizar nuevos análisis con otras herramientas.

### *III.1.1. LÍMITES Y ALCANCES*

La aplicación *TSRF* se podrá utilizar en cualquier lugar y en cualquier momento ya que se trata de una aplicación para móvil. *TSRF* es intuitiva, interactiva y multi táctil, cuyos *límites* a tener en cuenta son:

- Necesita una conexión a Internet o WiFi.
- Versión mínima del S.O. Android 2.2 nivel de API 8 (Froyo).
- Uso de *Bases de Datos* (BD) de localización de sitios predeterminados como Google y OpenCellID.

En cuanto al *alcance* cubre los siguientes aspectos:

- Muestra los parámetros de medida de acceso radio para GSM/UMTS y WiFi:
- Ocultar/Mostrar marcadores de la localización de MS y BS sobre un mapa, y actualizar posiciones usando la conexión a Internet.
- Ocultar/Mostrar las *BTS Vecinas* (NEIGHBORS) cercanos a la MS, mediante marcadores ubicados en el mapa.
- Obtener LAT/LON de las BTSs a través de las BD externas de *Google u OpenCellID*.
- Ocultar/Mostrar la lista de los APs de WiFi encontrados.
- Los parámetros obtenidos de la RED y WiFi pueden ser guardados en una BD *SQLite* en el *smartphone* y se pueden exportar a un archivo CSV, KML (Google Earth) o XML.
- Gráfico XY de la intensidad de la señal de RF y WiFi a través del tiempo.
- Reproducción de los datos registrados, mediante puntos de colores sobre el Mapa, que visualiza los recorridos hechos en las medidas.
- Calcular el PIRE/ERP y la pérdida en el espacio libre; con la indicación de valores convenientes por el usuario.
- Auto apagado en el nivel de la batería mínimo establecido por el usuario en el panel de *preferencias*.
- Ajuste de la configuración de energía GPS: Intervalo, distancia y nivel de potencia.
- Todos los datos registrados se almacenan en la tarjeta SD externa.
- Ocultar/Mostrar los errores que se ocasionan en la aplicación durante su funcionamiento. Útiles para la depuración.

### *III.1.2. ESQUEMA GENERAL*

En la Fig.11 se muestra el esquema general de la aplicación *TSRF* y la comunicación existente.

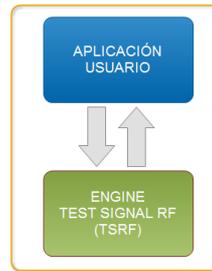


Fig.11. Esquema general de la aplicación TSRF

**Aplicación de usuario.-** Representa la *Interfaz Gráfica de Usuario* (GUI).

**Motor *TSRF*.-** Es el componente que contiene las actividades, servicios y todo lo necesario para el funcionamiento de la aplicación. La información proporcionada por la aplicación *TSRF* se recoge en tres niveles diferentes, como se muestra en la Fig.12.

*Nivel de estructura de aplicación (Application Framework)*, la API de Android proporciona información como la información actualizada relacionada con la CELLID, los vecinos disponibles o localización del GPS. Se utiliza un enfoque de eventos para informar de los cambios como variaciones de RSSI, traspasos o actualizaciones de localización GPS. Datos de la batería también se proporciona en este nivel. La API de Google Maps es utilizada también para tener una representación visual sobre la base de los datos del GPS. También los datos de WiFi son obtenidos en este nivel.

*Nivel de ejecución de Android (Android Runtime)*, proporciona test de conectividad, test de tráfico y conexiones a la BD SQLite.

Por último, algunas tareas se llevan a cabo directamente en el propio *kernel Linux*, como pueden ser captura de paquetes, test de conectividad, información de WiFi y el consumo de energía de la batería.

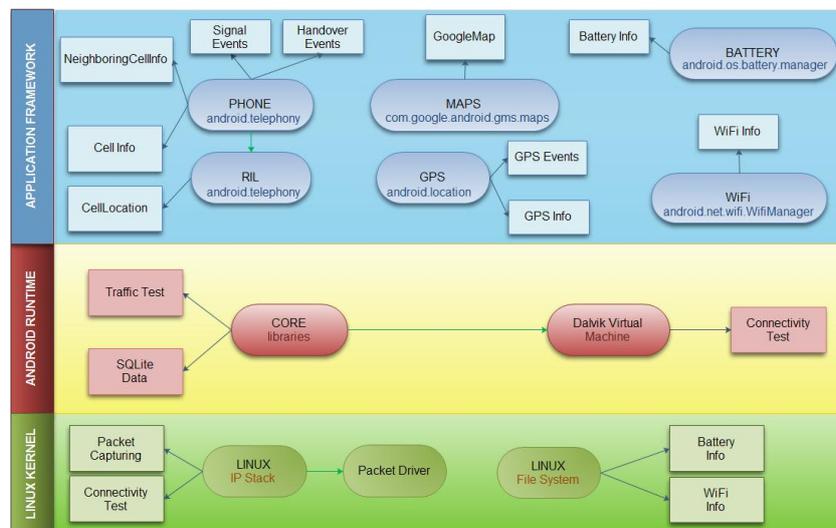


Fig.12. Esquema del Engine TSRF

### III.2. DISEÑO

Esta fase de diseño es muy importante, puesto que es la parte creativa en la que el diseñador define cómo se realizará la aplicación en términos de implementación.

Una vez que ya tenemos las nociones básicas sobre lo que se quiere conseguir, el siguiente paso es explicar detalladamente el diseño de la aplicación que hemos realizado para este proyecto.

#### III.2.1. ARQUITECTURA

La representación de la arquitectura constituye un modelo intelectualmente comprensible de cómo está estructurado el sistema y de cómo trabajan juntos sus componentes [19].

La Fig.13 muestra la arquitectura de TSRF, incluyendo las librerías de la API internas de Android como la de terceros y los diferentes módulos que se ha implementado para ofrecer funcionalidades como: el cálculo de los parámetros de acceso radio de GSM/UMTS y WiFi, la conectividad, localización, consumo de energía, y almacenamiento en la BD.

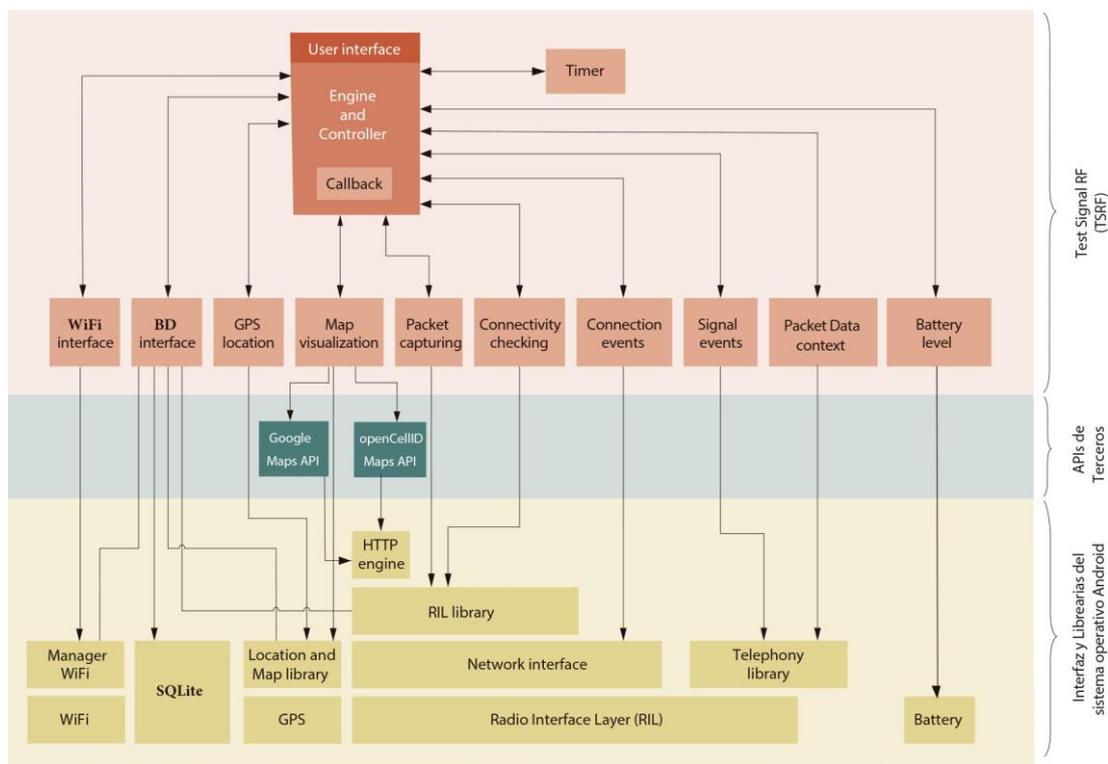


Fig.13. Arquitectura de TSRF

#### III.2.2. MODELO-VISTA-CONTROLADOR

Puesto que se hace uso de un lenguaje orientado a objetos como JAVA y el S.O. Android, una manera práctica de representar y comprender la estructura que sigue la aplicación es emplear el patrón *Modelo-Vista-controlador* (MVC), dividiendo la aplicación en tres niveles, el nivel de datos

correspondiente al *modelo*, el nivel de interfaz de usuario correspondiente a la *vista* y la lógica de la aplicación correspondiente al *controlador*.

### III.2.2.1. MODELO

Es la representación específica de la información con la cual opera el sistema. En el caso de este proyecto, el modelo se corresponderá con todos aquellos datos relativos a los parámetros de medidas del acceso radio de las redes GSM/UMTS y WiFi.

El diagrama de clases (Fig.14) representa la información almacenada por la aplicación como modelo de datos durante su ejecución. Esto permite encapsular la información obtenida, para manejarse de forma cómoda y sencilla mediante el *controlador*. En cuanto a la BD donde se almacena la información (Fig.15), hace uso del sistema de gestión de base de datos SQLite [20].

#### III.2.2.1.1 DIAGRAMA DE CLASES

*Unified Modeling Language* (UML) es un lenguaje de modelado de sistemas de software, que se utiliza para diseñar y documentar los mismos. Consiste en una serie de diagramas que describen la arquitectura de una aplicación, lo cual ayuda a conseguir una mayor abstracción a la hora de entender los conceptos.

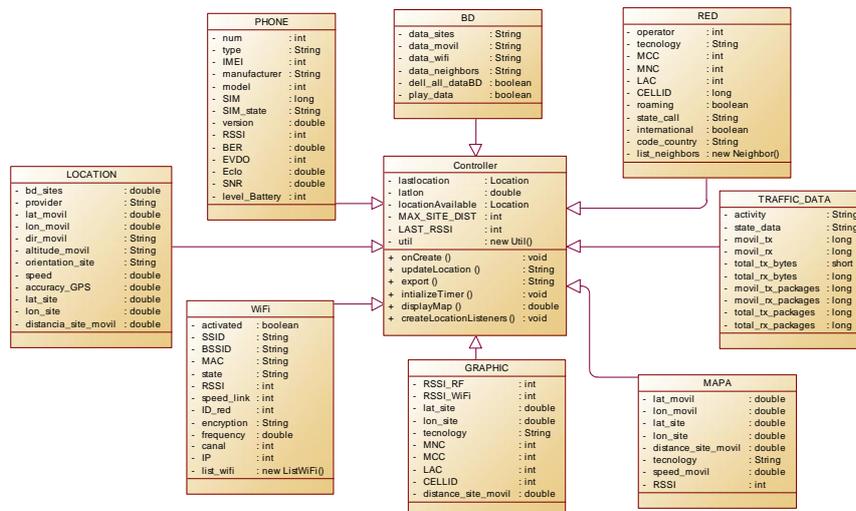


Fig.14. Diagrama de clases de TSRF

Con la estructura de la Fig.14 se realizará la implementación de la aplicación, asegurando cierta independencia entre los tipos de clases y mejorando el entendimiento del código fuente del software que se va a realizar.

#### III.2.2.1.2. DIAGRAMA DE BASE DE DATOS

El modelo *Entidad Relación* (ER) está enfocado al modelado de tablas con sus respectivos atributos, las relaciones que existen entre estas y sus dependencias. Estos datos se contendrán y manejarán en la base de datos de la aplicación TSRF.

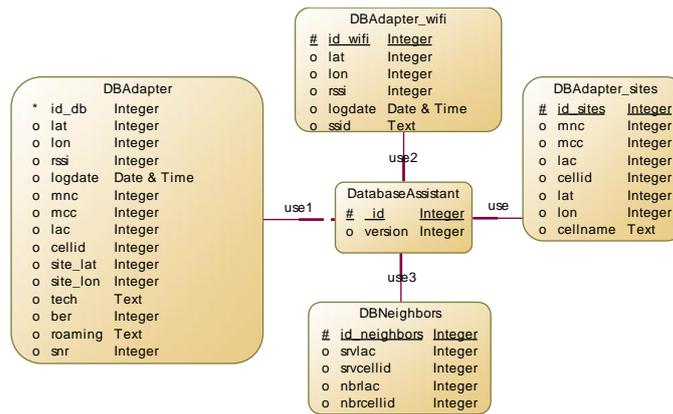


Fig.15. Modelo conceptual de la BD de TSRF

En la BD se almacena la información relacionada con *RF*, *Sites*, *wifi* y *neighbors*. De esta forma, podemos acceder a ella mediante la aplicación, introducir nuevos datos, modificarlos y/o eliminarlos.

### III.2.2.2. VISTA

La vista se corresponde con la interfaz gráfica de usuario. El punto principal de la interfaz es la simplicidad de ésta, puesto que la intención es que la aplicación sea rápida, intuitiva y fácil de usar. Por otra parte, gracias a que Android emplea el patrón MVC, en caso de querer realizar cambios en la interfaz, tan solo tendremos que modificar la propia interfaz, sin alterar la lógica o funcionamiento de la aplicación.

#### III.2.2.2.1 DISEÑO DE LA INTERFAZ GRAFICA

La siguiente grafica muestra la *Interfaz Gráfica de Usuario* (GUI) de la aplicación TSRF.

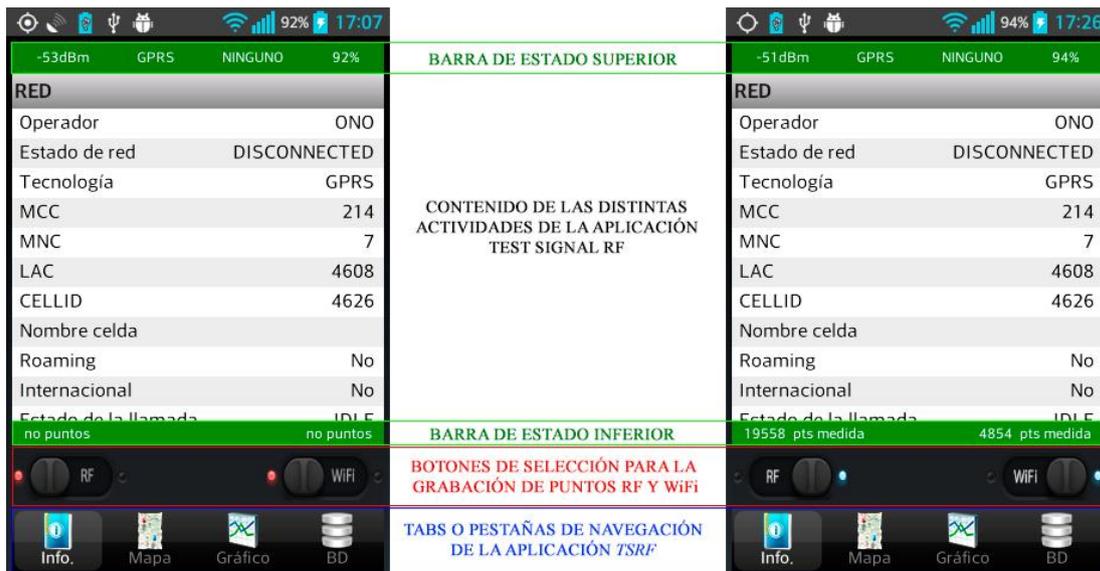


Fig.16. GUI de TSRF

**Barra de estado:** Esta barra, ubicado en la parte superior e inferior de la ventana Principal. El superior contiene los parámetros de datos como RSSI, tecnología (GSM, GPRS, EDGE, CDMA, UMTS, HSPA +, etc.), datos de la actividad y el nivel de batería del teléfono. La barra de estado inferior muestra el número de puntos de datos registrados/grabados *RF o WiFi*, dependiendo del *encendido/apagado* de los *ToggleButtons RF/WiFi*. La barra de estado en sí cambiará de color de rojo a amarillo a verde, con el cambio en la intensidad de la señal.

**ToggleButtons RF/WiFi:** Estos botones se emplean para realizar el registro/grabación de los datos celulares de RF y de los APs WiFi (*luz roja = apagado, luz blanca = encendido*). En la barra de estado inferior se muestran el número de puntos obtenidos para RF y WiFi respectivamente.

En las siguientes graficas se detallan de forma sencilla la navegación mediante las *tabs* o *pestañas* que presenta la aplicación, de forma que sea fácil visualizar cómo acceder a la información y la estructura de la aplicación.

**Pestaña Información.-** Es la pestaña principal (ver Fig.16) donde se muestra los datos administrativos de la aplicación y se divide en 5 bloques: parámetros de red, teléfono, localización, tráfico de datos y WiFi.

a)		b)		c)	
<b>RED</b>		<b>WiFi</b>		<b>TELÉFONO</b>	
Operador	ONO	WiFi Activado	Cierto	Número	34622253679
Estado de red	DISCONNECTED	SSID	RIL13112	Tipo de teléfono	GSM
Tecnología	GPRS	BSSID	68:b6:fc:38:1b:b8	IMEI/ESN	355707058976060
MCC	214	MAC	98:d6:f7:9a:85:87	Fabricante	LGE
MNC	7	Estado Suplicante	COMPLETED	Modelo	LG-E610
LAC	4608	Intensidad de la señal	-34 dBm	SIM SN	8934188211214961269
CELLID	4626	Velocidad de Enlace	65 Mbps	SIM Estado	ESTADO_LISTO
Nombre celda		ID de la red	2	Versión del software	4.1.2
Roaming	No	Seguridad (Encriptación)		Sub ID	214180001496126
Internacional	No	[WPA+PSK-TKIP+CCMP][WPA2-PSK-TKIP+CCMP][ESS]		Intensidad de la señal	-53 dBm
Estado de la llamada	IDLE	Frecuencia	2452 MHz	Tasa de Bits Erróneos	-1
Código del País	ES	Canal	9	EVDO	-120 dBm
Vecinos conocidos	11	IP	192.168.1.10	Ec/Io	-1
n1) LAC: 4608, CI: 4626		Redes WiFi encontradas		SNR	-1
n2) LAC: 4608, CI: 396		..SSID_	..MHz_..dBm_	Nivel de Batería	92%
n3) LAC: 4608, CI: 476		ONO22F0	2452, -89 dBm		
n4) LAC: 4608, CI: 1325		ONO32F0	2472, -88 dBm		
n5) LAC: 4608, CI: 4621					
n6) LAC: 4608, CI: 4623					
d)		e)			
<b>ESTACIONES</b>		<b>TRÁFICO</b>			
Bds de estaciones	Google	Actividad de datos	NINGUNO		
Mejor Proveedor	network	Estado de datos	DESCONECTADO		
Latitud móvil	39°28'24.516"	Móvil Rx bytes	612		
Longitud móvil	0°20'37.123"	Móvil Tx bytes	880		
Dirección móvil	155.4°	Total Rx bytes	59257		
Altitud móvil	89.2 m	Total Tx bytes	10773		
Orientación site	274.23°	Móvil Rx paquetes	2		
Velocidad	0.0 kph	Móvil Tx paquetes	7		
Precisión del GPS	±56.0 m	Total Rx paquetes	267		
Latitud site	39°28'24.402"	Total Tx paquetes	94		
Longitud site	0°20'40.682"				
Distancia site-móvil	0.085 km				

Fig.17. Pestaña de información de TSRF

**NETWORK** (ver Fig.17.a)

**Operador:** Nombre alfabético del Operador.

**Estado de red:** Estado de la conexión de la red actual.

**Tecnología:** The radio technology (network type) currently in use on the device.

**MCC/System ID:** Código de país del Móvil / Número de identificación del sistema CDMA, -1 si no se conoce.

**MNC/Network ID:** Código de red del móvil usado por la portadora / Número de identificación de red CDMA, -1 si no se conoce.

**LAC/Base Station ID:** Código de área local y cellid / Número de identificación de la estación base CDMA, -1 si no se conoce.

**CELL ID/Base Station ID:** Android presenta la cellid como un número hexadecimal. Esto se convierte en decimal para el usuario. Número de identificación de la estación base CDMA, -1 si no se conoce.

**Nombre de la celda:** Nombre de celda opcional.

**Roaming:** Retorna SI, si el dispositivo se considera en roaming en la red actual, para los propósitos GSM.

**Internacional:** Retorna SI, si el SIM del Operador no coincide con el operador de red.

**Estado de la llamada:** Estado de la llamada actual (Idle, Ringing, Offhook).

**Código del país:** El código del país ISO equivalente para el código de país del proveedor de la tarjeta SIM.

**Vecinos conocidos:** Lista de los vecinos que la aplicación ha registrado previamente. Se muestran con LAC y CELLID correspondiente a cada vecino.

**TELÉFONO** (ver Fig.17.c)

**Número:** Número de teléfono del móvil.

**Tipo del teléfono:** El tipo de dispositivo móvil (Ninguno, GSM, CDMA, UMTS)

**IMEI/ESN:** El identificador del dispositivo único, por ejemplo el IMEI para el GSM y el MEID para los teléfonos CDMA.

**Fabricante:** fabricante del dispositivo.

**Modelo:** El nombre actual del modelo utilizado por el fabricante.

**SIM SN:** El número de serie de la tarjeta SIM, si es aplicable.

**SIM Estado:** Devuelve una constante que indica el estado de la tarjeta SIM del dispositivo.

**Versión de software:** El número de versión de software para el dispositivo Android, por ejemplo, el IMEI/SV para los teléfonos GSM.

**Sub ID:** El identificador de suscriptor único, por ejemplo, el IMSI de un teléfono GSM.

**Intensidad de la señal:** intensidad de la señal actual del teléfono, RSSI en dBm.

**Bit Error Rate:** La Tasa de Error de Bit GSM (0-7, 99) (o en CDMA Ec/Io el valor en dB \* 10 dependiendo de la tecnología).

**EVDO:** Evolution Data Optimized. Un estándar de telecomunicaciones para la transmisión inalámbrica de datos a través de señales de radio, por lo general para el acceso a Internet de banda ancha. Se utiliza técnicas de multiplexación incluyendo CDMA, así como TDMA para maximizar el rendimiento tanto individual de los usuarios y el rendimiento global del sistema.

**Ec/Io:** La relación entre la energía recibida piloto (Ec), con el total de la energía recibida o la densidad espectral de potencia total (Io).

**SNR:** Signal to Noise Ratio. Una medida utilizada en la ciencia y la ingeniería para cuantificar la cantidad de la señal que ha sido corrompida por el ruido. Se define como la relación de la potencia de la señal a la potencia de ruido.

**Nivel de la batería:** Muestra el nivel de batería actual. La aplicación se cerrará en un nivel establecido por el usuario en el menú de preferencias.

**LOCALIZACIÓN** (ver Fig.17.d)

**Base de datos de las estaciones base:** Indica si está utilizando las BD de Google u OpenCellID, o su propia base de datos local para determinar la ubicación de las BS. Este último estado está dirigido a ingenieros empleados por las compañías ya que los datos de ubicación de las BS no están generalmente disponibles para el público.

**Mejor Proveedor:** El mejor proveedor para determinar su ubicación. Esto es por lo general la red (coarse) o GPS (fine) en función del entorno. Si el GPS está bloqueado (en un edificio, por ejemplo) la aplicación por defecto toma la red celular para determinar su ubicación. La ubicación de red es menos precisa, pero más rápido que el GPS. El proveedor es determinado por la aplicación.

**Latitud móvil:** Latitud actual del MS en formato DMS.

**Longitud móvil:** Longitud actual del MS en formato DMS.

**Dirección móvil:** Devuelve la dirección de desplazamiento en grados al este del norte verdadero.

**Altitud móvil:** Altitud sobre el nivel del mar determinado por el sensor GPS.

**Orientación Sitio:** Devuelve la dirección de orientación desde el móvil en grados al este del norte verdadero.

**Velocidad:** Devuelve la velocidad del MS sobre el suelo en kilómetros o millas / hora.

**Precisión GPS:** Devuelve la precisión de la solución en metros.

**Latitud estación:** Latitud de la BS en formato DMS.

**Longitud estación:** Longitud de la BS en formato DMS.

**Distancia estación - móvil:** Distancia aproximada entre BS y MS. Si una BS muestra una distancia de cientos o miles de kilómetros (o millas) de distancia, entonces el servicio de ubicación que está utilizando (Google u OpenCellID) no puede identificar el sitio. Intente configurar el teléfono para utilizar sólo la red 2G

(GSM).
<b>TRÁFICO</b> (ver Fig.17.e)
<b>Actividad de datos:</b> El estado actual del tráfico de datos (IN, OUT, NINGUNO, INOUT, en reposo). <b>Estado de los datos:</b> El estado actual de la conexión de datos (celular). <b>Móvil Rx bytes:</b> El número total de bytes recibidos a través de la interfaz móvil. <b>Mobile Tx bytes:</b> El número total de bytes transmitidos a través de la interfaz móvil. <b>Total de bytes Rx:</b> El número total de bytes recibidos a través de todas las interfaces de red. <b>Total de bytes Tx:</b> El número total de bytes enviados a través de todas las interfaces de red. <b>Móvil Rx paquetes:</b> El número total de paquetes recibidos a través de la interfaz móvil. <b>Móvil Tx paquetes:</b> El número total de paquetes transmitidos a través de la interfaz móvil. <b>Total de paquetes Rx:</b> El número total de paquetes recibidos a través de todas las interfaces de red. <b>Total de paquetes Tx:</b> El número total de paquetes enviados a través de todas las interfaces de red.
<b>WiFi</b> (ver Fig.17.b)
<b>Tarjeta de red inalámbrica:</b> Devuelve el estado de WiFi del dispositivo <b>SSID:</b> Devuelve el identificador de grupo de servicios (SSID) de la red actual 802.11. <b>BSSID:</b> El identificador de conjunto de servicios básicos (BSSID) del punto de acceso actual. <b>MAC:</b> La dirección MAC dada en el móvil. <b>Estado Suplicante:</b> Devuelve el estado detallado de la negociación del solicitante con un punto de acceso. <b>RSSI:</b> Devuelve el indicador de intensidad de señal recibida de la red actual 802.11, en dBm. <b>Velocidad de enlace:</b> Velocidad de enlace en Mbps. <b>ID de red:</b> Cada red tiene configurado un pequeño identificador de número entero único, que se utiliza para identificar la red cuando se realizan operaciones en el solicitante. Este método devuelve el ID de la red conectada actualmente. <b>Seguridad:</b> Muestra la encriptación de la red WiFi. <b>Frecuencia:</b> La frecuencia de la red WiFi. <b>Canal:</b> El canal de conexión de la red WiFi. <b>IP:</b> La dirección IP dada en el móvil. <b>APs WiFi encontrados:</b> Lista de los puntos de acceso WiFi encontrados dentro del alcance del dispositivo.

Tabla 6: Parámetros proporcionados por TSRF

**Pestaña Mapa.**- Muestra un mapa centrado en la ubicación de la MS. Las BS y los Vecinos se pueden ocultar/mostrar en el mapa. A medida que se desplaza, se dibujara puntos de colores del recorrido realizado con la MS. Estadísticas como el RSSI, ancho de haz horizontal, velocidad MS, dirección MS, LAC/CELLID, tecnología, orientación de la BS respecto a MS, distancia entre BS y MS, y los *ToggleButtons RF/WiFi* se muestran en la parte inferior.

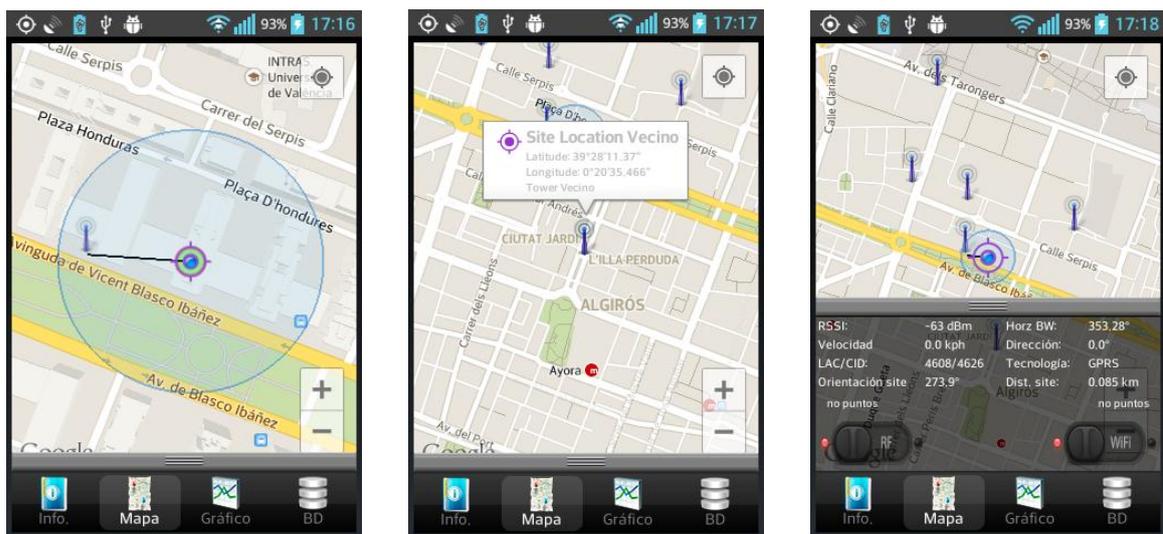


Fig.18. Pestaña Mapa de TSRF

**Pestaña Gráfico.-** Datos de RSSI de RF y WiFi respecto al tiempo se muestra en esta pantalla. Las transferencias ocurridas en la generación del gráfico se indican por una línea vertical que se extiende desde el punto de transferencia a la etiqueta. La línea de RSSI WiFi mostrará la señal del punto de acceso más fuerte recibido con el nombre del punto de acceso que marca el momento del cambio. La leyenda ubicada en la parte inferior de la pantalla muestra la RSSI de RF y WiFi, la tecnología, LAC/CELLID, latitud y longitud de la BS, MCC/MNC y la distancia entre BS y MS.

Se puede tomar una instantánea de la gráfica en cualquier momento, cambiar el color de fondo de la gráfica (blanco o negro) y cambiar el tipo gráfico a RSSI o tráfico de datos.

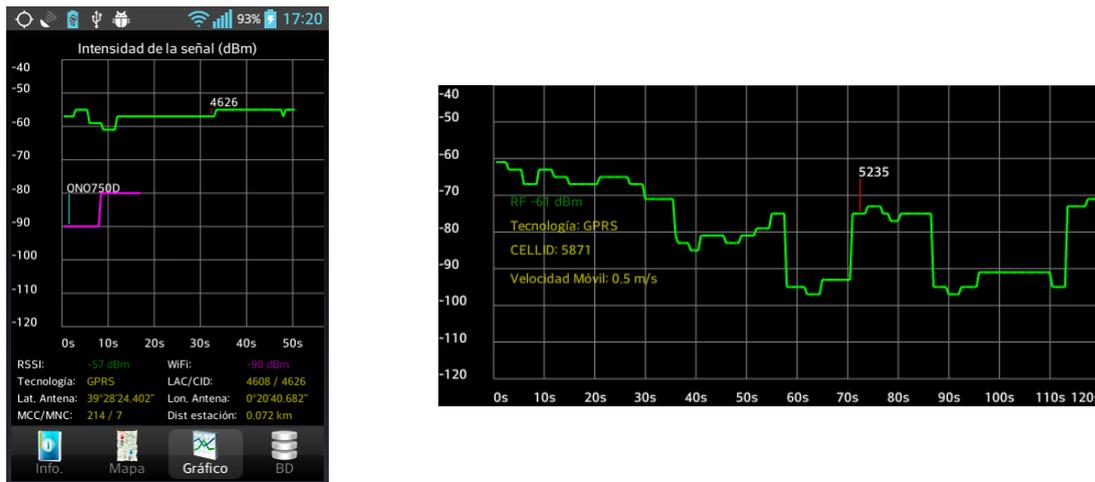


Fig.19. Pestaña Gráfico de TSRF

**Pestaña Base de Datos (BD).**- Permite al usuario interactuar con la información almacenada en la base de datos, estos datos se pueden importar, guardar, eliminar, listar y reproducir.



Fig.20. Pestaña BD de TSRF

<b>Datos de las Localizaciones</b> (ver Fig.20.a)
<p><b>Importar Registros de Localizaciones</b> Se puede importar desde un archivo CSV los datos de las localizaciones con formato permitido.</p> <p><b>Guardar los registros de las localizaciones</b> Exportación de los datos de las BS a un archivo CSV.</p> <p><b>Lista de los registros</b> Lista de todos los sitios en la base de datos.</p> <p><b>Eliminar registros del sitio</b> Eliminar todos los registros de la base de datos del sitio. Si desea limpiar los datos y empezar de nuevo, o importar un archivo diferente.</p>
<b>Datos de la red móvil</b> (ver Fig.20.b)
<p><b>Importar datos RF RSSI</b> Actualiza los datos de intensidad de la señal previamente guardados. Los datos que se exportan (en formato CSV) pueden ser importados nuevamente.</p> <p><b>Eliminar datos RF RSSI</b> Elimina todos los registros de intensidad de la señal de la base de datos.</p> <p><b>Guardar datos RF RSSI</b> Guarda los datos grabados en XML, Excel CSV o un archivo KML de Google Earth.</p>
<b>Datos WiFi</b> (ver Fig.20.c)
<p><b>Importar datos WiFi</b> Carga datos WiFi registrados.</p> <p><b>Eliminar datos WiFi</b> Elimina todos los datos grabados WiFi de la base de datos.</p> <p><b>Guardar datos WiFi</b> Guarda los datos recogidos WiFi. Muestra el número total de registros.</p> <p><b>Lista de puntos de acceso de WiFi</b> Lista de todos los puntos de acceso WiFi registrados en la base de datos.</p>
<b>Datos Vecino</b> (ver Fig.20.d)
<p><b>Lista de vecinos conocidos</b> Esto no es una lista de celdas vecinas de la BS, son las transferencias registradas por el dispositivo.</p> <p><b>Exportar lista de vecinos</b> Exportar la lista completa de los vecinos registrados.</p> <p><b>Importar lista de vecinos</b> Importa una lista de los vecinos registrados anteriormente.</p> <p><b>Eliminar lista de vecinos</b> Eliminar la lista actual de los vecinos de la base de datos de los vecinos.</p>
<b>Otras Acciones</b> (ver Fig.20.e)
<p><b>Reproducción de datos grabados</b> Reproduce los datos registrados actualmente en la BD. Si se cargan nuevos datos se debe reiniciar la aplicación antes de la reproducción.</p> <p><b>Borrar todos los puntos de datos</b> Eliminar todos los puntos de datos de RF y WiFi de la base de datos.</p>

Tabla 7: Funciones de la pestaña Base de Datos

Por último se muestra el menú de opciones que da acceso al panel de preferencias, y otros existentes respecto a la pestaña en la cual nos encontremos. El panel de preferencia cuenta con muchas opciones de configuración que son intuitivos y fáciles de usar; algunas opciones seleccionadas lanzan diálogos de selección simple o múltiple.

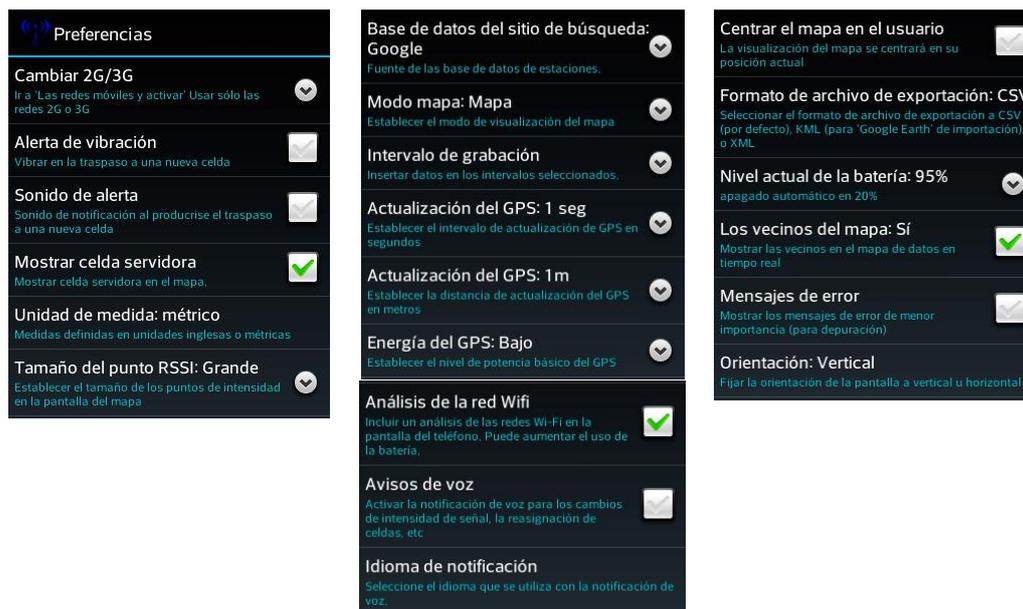


Fig.21. Menú panel preferencias de TSRF

### III.2.2.3 CONTROLADOR

En el controlador encontramos el código necesario para que la aplicación realice las funciones que se esperan de ella, es decir este responde a eventos, usualmente acciones del usuario e invoca cambios en el modelo y probablemente en la vista. Los controladores son la única parte del MVC que deben ser definidos. El controlador puede procesar los datos y mostrarlos, es autosuficiente. El uso del patrón MVC, permite modificar detalles del controlador sin que esto afecte a la *vista*.

La ventaja del patrón MVC es que, al aplicar esta separación, se hace posible crear más de una vista para el mismo modelo, reutilizar el modelo y el código, para escribir librerías relacionadas, o incorporar los datos en programas más complejos.

### III.3. IMPLEMENTACIÓN

Una vez especificado el comportamiento de la aplicación, es necesario entrar en detalles de implementación indicando las herramientas y las tecnologías utilizadas para llevar a cabo el desarrollo de la aplicación TSRF.

#### III.3.1. TECNOLOGÍAS Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS

La aplicación se ha desarrollado empleando las siguientes *tecnologías*:

**SQLite.**- Se ha utilizado una herramienta de BD llamada SQLite que es una versión reducida de *Structured Query Language* (SQL), para el almacenamiento y consulta de datos estructurados, que utilizaremos para guardar y recuperar los registros.

**XML.**- *eXtensible Markup Language* (XML), no es un lenguaje en sí, sino una manera de definir multitud de lenguajes para multitud de funciones. XML se ha convertido en un estándar para el intercambio de información estructurada entre diferentes plataformas.

**JAVA.**- Es un lenguaje de programación *orientado a objetos* (OO), robusto, seguro, portable, y el presente proyecto se desarrolló usando este lenguaje.

**GPS.**- Es el más común y conocido a la hora de enfrentarse al problema de localizar un dispositivo móvil. La precisión de las coordenadas geográficas en condiciones óptimas tiene un error de aproximadamente 15 metros, siendo la tecnología comercial más precisa que podemos encontrar, funcionando por sí sola.

**Localización y Mapas.**- El SDK de Android incluye 2 *packages* que proporcionan soporte para los servicios de Localización (*android.location*) y Mapas (*com.google.android.gms.maps*).

**Ubicaciones BS y MS.**- Para la obtener las localizaciones de la BTS y MS se usó el siguiente código:

Para la MS:

```
latitudmovil = lastLocation.getLatitude();
```

```
longitudmovil = lastLocation.getLongitude();
```

Para la BTS, dependiendo la BD externa a usar, ya sea Google u openCELLID:

```
double lattower[] = displayMap(CELLID, LAC); // De la BD de Google obteniendo la latitud y longitud de la BS
```

```
double lontower[] = openCellID(CELLID); // De la BD de openCELLID obteniendo la latitud y longitud de la BS
```

Para calcular la distancia entre BTS y MS se utilizó la fórmula de *haversine*<sup>9</sup>, dicha fórmula es la siguiente:

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right) + \cos(\varphi_1) \cdot \cos(\varphi_2) \cdot \sin^2\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right) \quad (2)$$

$$c = 2 \cdot \text{atan2}(\sqrt{a}, \sqrt{1-a}) \quad (3)$$

$$d = R \cdot c \quad (4)$$

donde,  $\varphi$  es la latitud,  $\lambda$  es la longitud, R es el radio de la Tierra (radio medio = 6,371 km) y tenga en cuenta que los ángulos tienen que estar en radianes para pasar a las funciones trigonométricas. *atan2*(y, x), es una función trigonométrica que sirve para calcular el ángulo cuya tangente es el cociente de sus argumentos, los argumentos deberán ser numéricos o transformables en numéricos, y el ángulo devuelto viene dado en radianes.

```
double distancia_bs_ms = Converter_Deg_Km(latitudmovil, longitudmovil, latitudbase, longitudbase);
```

En cuanto a las *herramientas usadas* para el desarrollo de la aplicación:

Para el desarrollo del código fuente de la aplicación se ha empleado el **IDE Eclipse** más el **plugging SDK** proporcionado por Google para el desarrollo de aplicaciones Android.

**Android SDK** consta de un conjunto de herramientas para el desarrollo de aplicaciones Android. Se trata de una **API** que hace uso del lenguaje de programación Java. Permite su ejecución tanto en

---

<sup>9</sup> <http://mathforum.org/library/drmath/view/51879.html>

sistemas Linux, Windows o Mac. El emulador de Android está contenido dentro del SDK, una herramienta para poder probar las aplicaciones móviles sin necesidad de instalarlas en un dispositivo.

### III.4. PRUEBAS E INTEGRACIÓN

A fin de verificar la implementación de TSRF, fueron cubiertos medidas en escenarios de peatón y vehicular para caracterizar el rendimiento, validación e integración de los datos. Para las pruebas se utilizó un *smartphone LG Optimus L5* y el proveedor de internet de la compañía ONO España.

#### III.4.1. CAMPAÑA DE MEDIDAS

Los datos recogidos fueron almacenados para su procesamiento posterior con *matlab* y los resultados más relevantes se muestran en las figuras siguientes:

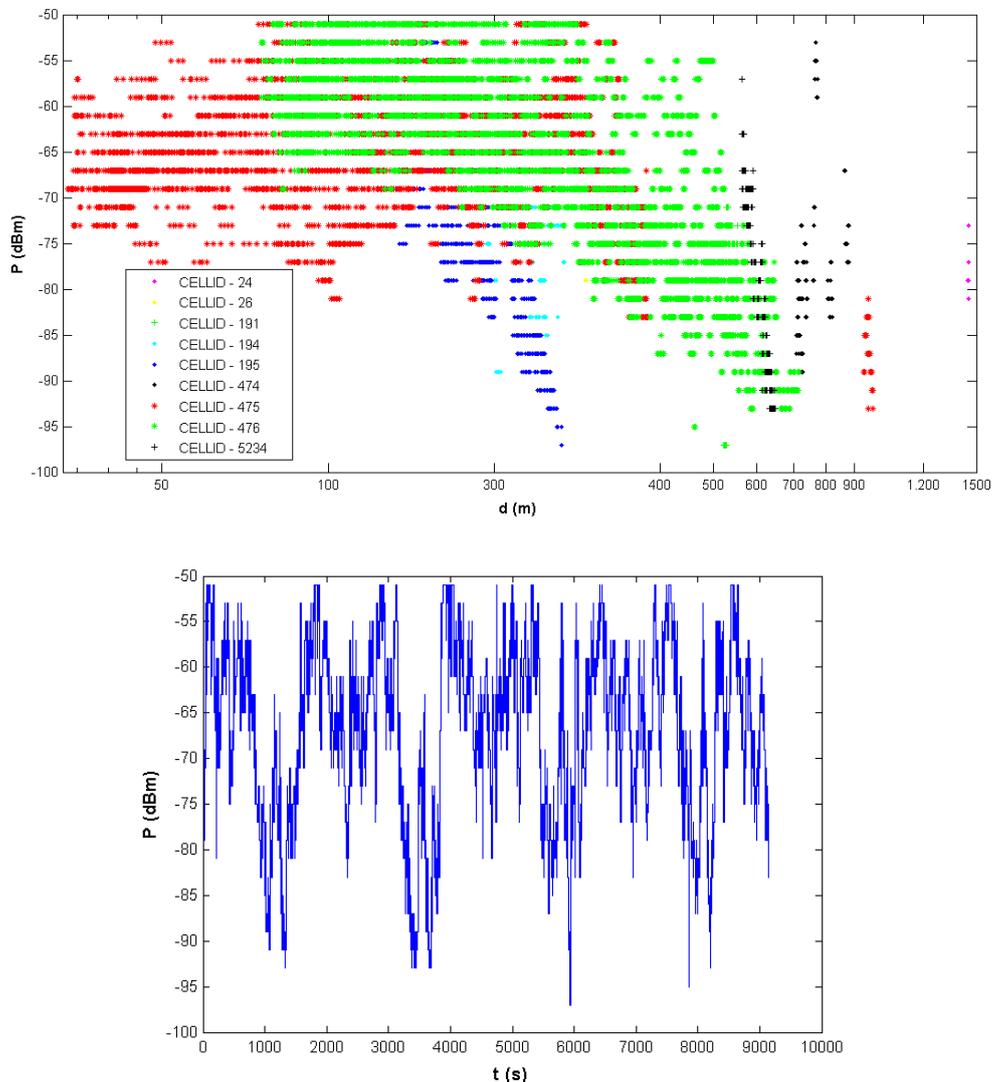


Fig.22. Modelo *Path Loss* para un entorno *outdoor* (calle ancha)

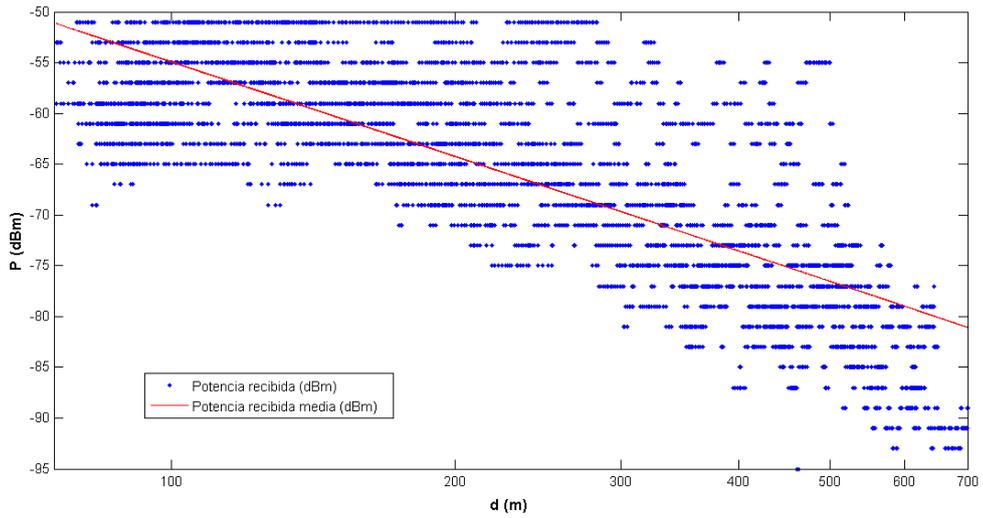


Fig.23. Representación del modelo *Path Loss* para CELLID = 476

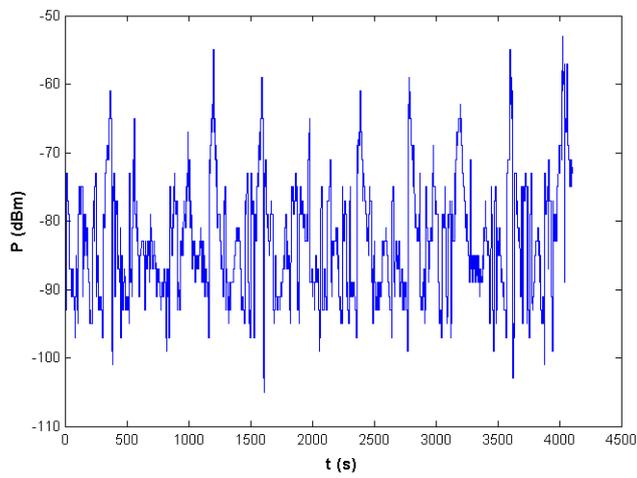
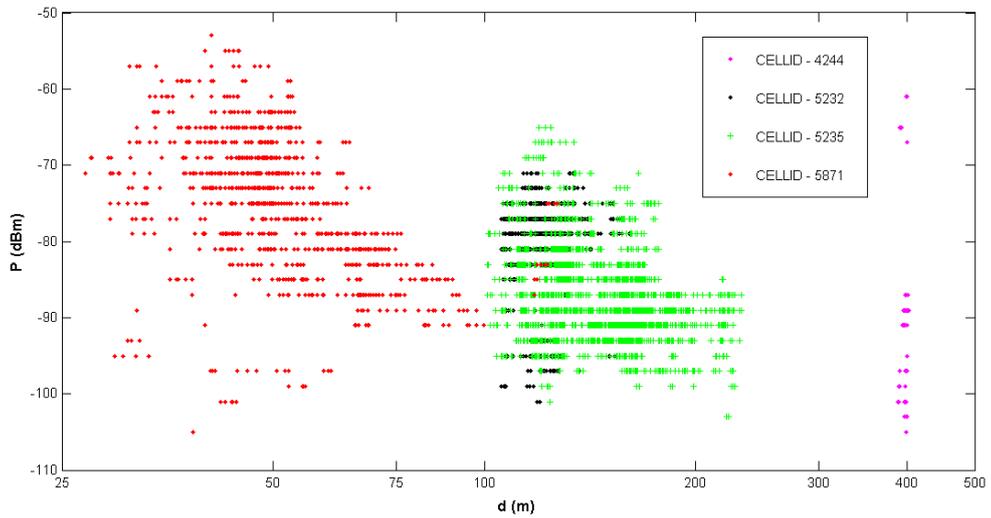


Fig.24. Modelo *Path Loss* para un entorno *outdoor* (calle estrecha)

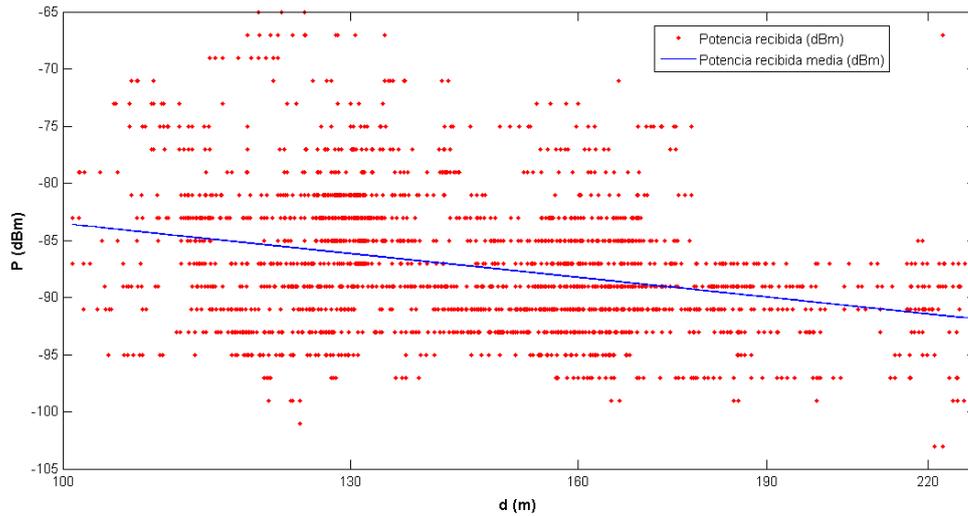


Fig.25. Representación del modelo *Path Loss* para CELLID = 5235

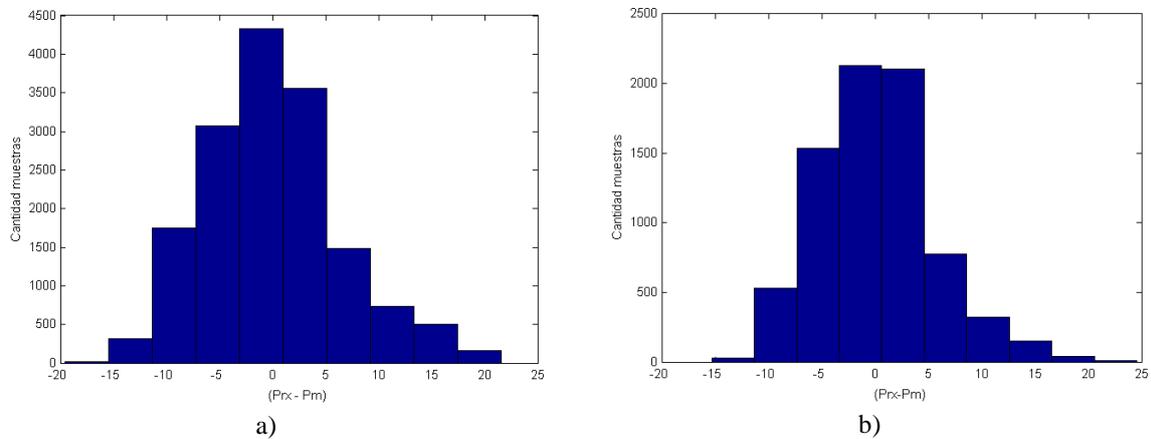


Fig.26. Histograma entorno *outdoor*, a) calle ancha, b) calle estrecha

Entorno <i>outdoor</i>	Exponente de pérdidas ( $\gamma$ )	Desviación típica de <i>shadowing</i> ( $\sigma$ )
Calle ancha	3,09	6,46 dB
Calle estrecha	2,31	5,48 dB

$\gamma$ , es positivo porque las pérdidas de propagación crecen con la distancia.

Tabla 8: Valores de  $\gamma$  y  $\sigma$  del modelo *Path Loss* para entornos *outdoor* obtenidos en las medidas

## IV. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

### IV.1. CONCLUSIONES

Esta herramienta permite de una manera sencilla y económica, con un *smartphone* y una aplicación Android instalada realizar *drive test*, donde se capturan parámetros relevantes de acceso radio en banda estrecha. Asimismo a partir de resultados proporcionados por esa herramienta hemos obtenido parámetros del canal en banda estrecha en diferentes entornos urbanos (calles anchas y estrechas), como son el exponente de pérdidas y la desviación típica del *shadowing*.

- La ubicación de la BS a menudo aparece en lugares que claramente no son. Esto se debe a la celda de servicio no está en la base de datos o su ubicación es simplemente incorrecto. La solución consiste en cargar sus propias ubicaciones de los sitios en la base de datos.

- La BER, EVDO, SNR y  $E_c/I_o$  muestran una lectura constante de -1 (por lo menos en GSM). Lo anterior se debe a que la API de Android no permite acceder a dichos valores, por tanto este es el valor que el teléfono está midiendo y no un error de procesamiento por parte de la aplicación.
- Los dispositivos como Samsung no proporcionan información sobre células vecinas en Android.
- La base de datos de Google respecto a la localización de la antena transmisora: En GSM (BTS) son más completas y en UMTS (Nodo B) son un poco irregulares.
- Es mejor configurar el teléfono en 2G para obtener mejores resultados.
- Se ha resuelto las situaciones de pérdida de señal GPS (túneles, edificios altos,...) con un algoritmo de interpolación.
- Se ha desarrollado un algoritmo que reducen el consumo de batería, conectando el GPS sólo cuando sea estrictamente necesario.

#### *IV.2. TRABAJOS FUTUROS*

- Realizar una campaña más extensa de medidas en entornos exteriores *outdoor*, que incluya carreteras, autopistas y entornos con baja densidad de urbanización.
- Extensión de la aplicación para medir parámetros de acceso radio de la red WiFi.
- Mejorar la precisión en la localización de un dispositivo móvil en interiores (*indoor*) donde no se tiene cobertura GPS.
- Extensión de la aplicación con soporte de la tecnología *Long Term Evolution* (LTE).
- Desarrollo de una aplicación a nivel del *Radio Interface Layer* (RIL) [21-25], para obtener un número más elevado de parámetros importantes que son útiles para caracterizar el comportamiento de la red y del enlace radio, como son el *Block Error Rate* (BLER) y el *Absolute Radio Frequency Channel Number* (ARFCN); con el fin de ampliar las capacidades de inspección de los protocolos de gestión de radio.

#### **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, al Dr. Juan Reig y al Dr. Lorenzo Rubio por aceptar dirigir con sus experiencias, ideas y conocimientos a la realización del presente trabajo, y que hoy esté finalizado con éxito cumpliendo los objetivos planteados. Así como al grupo GRE del *iTEAM* por el apoyo brindado.

A Dios por haberme dado la vida, la sabiduría y el conocimiento para cumplir esta etapa de mi vida. A mis queridos padres *Marcos* y *Margarita* agradezco su sacrificio, dedicación, cariño y su apoyo. A mí esposa *Lady* por ser el valor, la fuerza y la inspiración día tras día para seguir adelante. A mis hermanos *Marco A.*, *Mirtha* y mi sobrino *Donovan* que motivaron el continuo desarrollo de esta tesina. A todos mis amigos por los momentos y alegrías compartidas.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- [1] J. Tomás, *El Gran Libro de Android. España*, Marcombo S.A., 2013.
- [2] Página oficial de Android: <http://developer.android.com/index.html>
- [3] O. Salvador, *Manual Programación Android*, 2013.
- [4] R. Meier, *Professional Android 4 Application Development*, Wiley Publishing, Inc. 2012.
- [5] S. komatineni, and D. MacLean, *Expert Android*, 2012. ch. 7.
- [6] L. Darcey, and S. Conder, *Android Wireless Application Development*, 3rd ed. vol. 2, Addison-Wesley, 2012, ch. 13 and ch. 15.
- [7] Z. Mednieks, L. Dornin, and G. Blake Meike, and M. Nakamura, *Programming Android, Second Edition*, O'Reilly, 2012, ch. 15, pp. 411-430.
- [8] Heraklion, Crete, Greece, "Information Security and Privacy Research", 27th IFIP TC 11 *Information Security and Privacy Conference*, 2012.
- [9] H. Bing, "Analysis and Research of System Security Based on Android", North China University of Technology, Beijing, 100144, China. 2012.
- [10] S. Sivagnanasundaram, *GSM Mobility Management Using an Intelligent Network Platform*.
- [11] Página oficial de 3GPP: <http://www.3gpp.org>
- [12] Página oficial de UMTS forum: <http://www.ums-forum.org>
- [13] R. Bekkers, *Mobile telecommunications standards: GSM, UMTS, TETRA, and ERMES*.
- [14] J. Korhonen, *Introduction to 3G mobile communications*, Artech House, 2001.
- [15] A. Abdelmotalib, and Z. Wu, "Power Consumption in Smartphones", School of Computer Science and Technology, China, 2012.
- [16] N. Bayer, D. Sivchenko, H. J. Einsiedler, and A. Roos, *Energy Optimisation in Heterogeneous Multi-RAT Networks*, 2011.
- [17] G. Kalic, I. Bojic, and M. Kusek, "Energy Consumption in Android Phones when using Wireless Communication Technologies", University of Zagreb Faculty of Electrical Engineering and Computing, Croatia 2012.
- [18] M. Kjaergaard, "Minimizing the power consumption of location-based services on mobile phones", *Pervasive Computing, IEEE*, 2010.
- [19] Sommerville, *Ingeniería de Software, 6ta ed.*, PrenticeHall - Pearson Educación, México 2002.
- [20] G. Allen, and M. Owens, *The Definitive Guide to SQLite*, Apress 2010. ch. 10, pp. 279-301.
- [21] P. M. Kilgo, "Android OS: A robust, free, open-source operating system for mobile devices", University of Alabama, 2010
- [22] W. A. Hapsari, "Minimization of Drive Tests Solution in 3GPP" *Communications Magazine IEEE*, pp. 28-36, Jun 2012.
- [23] Q. Hu, C. Tong, and P. Guan, *Research and Design of Dual-Network Dual-Standby in Radio Interface Layer Based on Android*, 2011.
- [24] M. Shen, and J. Jiang, *Design and Implementation of Radio Interface Layer in Android Video Telephone System*, 2011.
- [25] RIL Android: <http://www.netmite.com/android/mydroid/development/pdk/docs/telephony.html>

- [26] J. Lempiäinen, and M. Manninen, *Radio Interface System Planning for GSM/GPRS/UMTS*, Kluwer Academic Publishers. 2002.
- [27] T. Halonen, J. Romero, and J. Meler, *GSM, GPRS and EDGE performance*, John Wiley & Sons, 2nd ed., 2003.
- [28] H. Holma and A. Toskala, *WCDMA for UMTS: radio access for third generation mobile communications*, John Wiley & Sons, 2002.
- [29] M. Sama and J. Harty, "Using Code Instrumentation to Enhance Testing on J2ME: A Lesson Learned with JInjector" *Proc. 10th Workshop Mobile Computing Systems and Applications*, ACM Press, 2009, pp. 1–6.
- [30] T. Halonen, J. Melero, and J.R. Garcia, *GSM, GPRS and EDGE Performance: Evolution toward 3G/UMTS*, Halsted Press, 2002.
- [31] K.A. Brown, "Impact of Wireless Communication on Multimedia Application Performance," *Multimedia Systems and Applications* (Proc. SPIE, vol. 3528), 1999, pp. 566–573.
- [32] F.H.P. Fitzek and F. Reichert, *Mobile Phone Programming and Its Application to Wireless Networking*, Springer, 2007.
- [33] A. Ocampo et al., "Toward a Reference Process for Developing Wireless Internet Services" *IEEE Trans. Software Eng.*, vol. 29, no. 12, pp. 1122–1134.
- [34] A. Diaz, P. Merino, and F.J. Rivas, "Mobile Application Profiling for Connected Mobile Devices", *IEEE Pervasive Computing*, vol.9, no. 1, 2010.
- [35] A. Álvarez, A. Díaz, P. Merino, and F.J. Rivas, "Field measurements of mobile services with Android smartphones", Departamento de Lenguajes y Ciencias de la Computación. University of Malaga, Spain. *The 9th Annual IEEE Consumer Communications and Networking Conference - Multimedia & Entertainment Networking and Services*.
- [36] E. Neidhardt, A. Uzun, U. Bareth, and A. Kupper, "Estimating Locations and Coverage Areas of Mobile Network Cells based on Crowdsourced Data", Technische Universität Berlin, *Service-centric Networking Berlin*, Germany.
- [37] M. Mana, *Tesi Android development*, January 8, 2010, pp. 33–35.