



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ANÁLISIS DE SISTEMAS Y CIRCUITOS DE TELÉFONOS CELULARES Y  
PROCEDIMIENTOS DE LOCALIZACIÓN Y CORRECCIÓN DE FALLAS**

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO**  
P R E S E N T A:  
**MARIO DAVID SERVIN DEL ANGEL**

ASESOR: DR JOSE ISMAEL MARTINEZ LÓPEZ





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*Agradecimientos:*

*A Pily:*

*Muchas gracias por tu apoyo, porque volviste a creer en mi, porque siempre logras sacar lo mejor de mi, por el tiempo que cediste para que pudiera cumplir esta meta, por tu confianza, por darme el privilegio de compartir juntos los mejores momentos de mi vida, por ayudarme a crecer moral, intelectual y espiritualmente, porque contigo no me hace falta nada, pero sobre todo por tu amor y por ser esa excelente persona que muchos admiramos, a ti dedico este trabajo. Te amo*

*A mi hija Marion Megan:*

*Gracias hijita llegaste en el momento que más te necesitaba para darme las fuerzas para seguir adelante y poder cumplir mis siguientes metas como lo es este trabajo. Muchas gracias por que cuando llegaste la tristeza se convirtió en alegría.*

*A mi Madre:*

*Por el momento ya no estas con nosotros pero jamás olvidare todos tus esfuerzos por hacerme un hombre de bien, y por ayudarme a valorar y disfrutar las cosas bellas de la vida, por enseñarme a nunca rendirme, por ponerme en “el camino que debo andar” y que me ha hecho crecer profesional y espiritualmente, muchas gracias por tu amor, cariño y dedicación todos estos años, te estaré infinitamente agradecido.*

*A mi Padre:*

*Muchas gracias por tus atinados y útiles consejos, gracias porque desde niño haz sido un ejemplo a seguir por tu profesionalismo y entrega al trabajo que me han servido hoy de inspiración para culminar esta meta tan deseada, gracias por recordarme que las cosas “se hacen bien y a la primera”, pero sobre todo gracias por siempre estar a mi lado.*

*A Karla y Alex:*

*Por que el gran compromiso que siento con ustedes así como la responsabilidad heredada ha sido un factor que me ayuda día con día a cumplir metas y logros como este trabajo y compartirlas con tan queridas personas como ustedes, muchas gracias.*

*A mi Asesor:*

*Nunca me cansare de agradecerle su tiempo y su paciencia, muchas gracias por tan excelente cátedra de la cual fui testigo en mis años de estudiante y que me motiva a poder seguir su ejemplo, por su dedicación y cariño que manifiesta al enseñar, por la excelente dirección y guía que me dio para que pudiera realizar el presente trabajo, pero sobre todo estoy muy agradecido por haber encontrado un amigo.*

<b>INDICE</b>	<b>Página</b>
<b>Introducción</b>	<b>10</b>
<b>Capítulo 1: Generaciones de la telefonía inalámbrica.</b>	<b>12</b>
<b>1.1 Primera generación 1G.</b>	<b>13</b>
1.1.1 Evolución de la primera generación	13
1.1.2 Evolución de la primera generación en Estados Unidos	14
1.1.3 Evolución de la primera generación en Europa	15
1.1.4 Evolución de la primera generación en Asia	16
1.1.5 Funcionamiento de la primera generación	16
1.1.6 Arquitectura AMPS	17
1.1.7 Arquitectura de Control	19
1.1.8 Los estándares europeos: NMT y TACS	21
1.1.9 El estándar japonés: NTT	21
<b>1.2 Segunda Generación 2G</b>	<b>22</b>
1.2.1 Evolución de la segunda generación	22
1.2.2 Evolución en Europa	23
1.2.3 La evolución americana	25
1.2.4 El estándar japonés	25
1.2.5 Funcionamiento de la segunda generación	26
1.2.6 El estándar europeo: GSM	26
1.2.7 La arquitectura GSM	28
1.2.8 Necesidades que GSM viene a satisfacer	30
1.2.9 Módulo de Identificación de Abonado (SIM)	34
1.2.10 Ventajas de GSM	35
1.2.11 Coexistencia de estándares	35
1.2.12 Los estándares americanos: CDMA y IS-54	36
<b>1.3 Generación 2.5</b>	<b>39</b>
1.3.1 GPRS	39
1.3.2 Arquitectura GPRS	40
1.3.3 Mejoras de GPRS frente a GSM	43
1.3.4 EDGE	45
1.3.5 HSCSD	45
<b>1.4 Tercera generación 3G</b>	<b>47</b>
1.4.1 EV-DO	48
1.4.2 HSDPA	50
1.4.3 UMTS	53
<b>1.5 Tendencias tecnológicas de la telefonía inalámbrica.</b>	<b>54</b>
1.5.1 Cuarta Generación 4G	55

<b>CAPITULO 2: Sistemas y subsistemas de teléfonos celulares</b>	<b>57</b>
2.1 Sistema de energía o administración de energía.	59
2.2 Sistema de Banda base	61
2.3 Sistema Radiofrecuencia.	63
2.4 Señales involucradas en los teléfonos celulares	65
<b>Capitulo 3: Circuitos en los teléfono celulares</b>	<b>70</b>
3.1 Amplificadores	71
3.1.1 Amplificadores a bajo ruido (LNA)	71
3.1.2 Amplificadores de la ruta de recepción.	71
3.1.3 Amplificador de Potencia	72
3.2 Filtros	74
3.2.1 Filtros dentro del FEM	74
3.2.2 Filtros en la ruta de recepción	74
3.2.3 Filtros EMI o de interferencia electromagnética.	74
3.3 Sintetizador	75
3.4 Osciladores de Cristal.	77
3.5 Circuito de la Tarjeta SIM ( Subscriber Identity Module) .	78
3.6 Módulo de LCD	79
3.7 Circuito de carga	80
3.8 Bluetooth.	82
3.9 Teclado	86
3.10 Circuito del micrófono	87
<b>Capitulo 4: Procedimiento para la localización y corrección de fallas</b>	<b>89</b>
4.1 Herramientas de análisis.	91
4.2 Diagnóstico y corrección de fallas en el Sistema Banda Base.	94
4.3 Recomendaciones previas a la reparación.	99
4.4 Diagnóstico y corrección de fallas en el sistema de radiofrecuencia.	102
4.5 Recomendaciones finales	114
<b>Conclusiones</b>	<b>116</b>
<b>Anexo A : ARM / Arquitectura computacional RISC</b>	<b>118</b>
<b>Anexo B : Hojas de especificaciones de circuitos integrados en los diferentes sistemas.</b>	<b>133</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>138</b>

## **Introducción**

Actualmente somos testigos del continuo ingreso al mercado mexicano de nuevos fabricantes de teléfonos celulares (conocidos como móviles) muchos de ellos asiáticos y algunos otros que ya comercializaban sus productos en el área de los electrodomésticos, en el desarrollo de semiconductores o de tecnología de la información (IT), y que decidieron hacer alianzas con otras marcas para ingresar al campo de las comunicaciones con sus novedosos teléfonos celulares, en donde uno de los factores claves para lograr que una marca domine sobre otras es el **soporte** con el que cuenta para sus productos, en otras palabras, el usuario final cree en la marca y decidirá en el futuro adquirir otro producto de la misma obviamente si cumple con sus expectativas y “no falla”, pero pensemos en el caso en el que el usuario tiene un problema que puede variar desde una duda en la operación del equipo hasta una falla interna del mismo, en tal caso tendrá que recurrir a alguien especializado para que resuelva el problema de inmediato, **“entre menor sea el tiempo de solución mejor es el servicio”**, esto ha impulsado a cada uno de los fabricantes a contar con Centros de Servicio dedicados a resolver cualquier falla que se presente al usuario final, en donde el origen de cierta falla puede variar, ya sea desde un problema de ensamble, un error del programa, un componente dañado, etc. Podemos decir entonces que en los centros de Servicios recae una parte importante de la imagen de la marca que representan.

Por lo anteriormente descrito notamos que para los Centros de Servicio es de vital importancia contar con el equipo y herramienta adecuados pero más importante aún es contar con la *información clara y ordenada* que permita realizar el diagnóstico y la reparación *precisa* y que simultáneamente capacite al analista en la operación de los diferentes circuitos ó sistemas involucrados en un teléfono móvil.

Uno de los dos problemas a los que constantemente se enfrenta el Ingeniero de Servicio y el Técnico analista de teléfonos móviles es determinar con certeza el origen de una falla, en donde una falla puede presentarse aleatoriamente lo cual implica en muchas ocasiones determinar su origen, el otro problema al que se enfrentan es que los manuales, diagramas y mapas de reparación que proporcionan los fabricantes no son claros y específicos al describir las funciones u operación de cierto circuito, sistema ó procedimiento de detección de fallas, es por ello que este trabajo de tesis tiene como propósito el describir las funciones que realizan cada Sistema y subsistema de un teléfono con la intención de que el analista pueda tener un panorama completo de la operación de dicho sistema y su relación con los otros, de esta forma le permitirá capacitarse en la teoría de operación de los circuitos a la vez que desarrollará la habilidad de detectar de manera intuitiva el origen de la falla con *precisión* y así evitar en el futuro una posible reincidencia de la falla en el equipo, que en muchos de los casos se puede traducir en penalizaciones por parte de proveedor del servicio de telefonía hacía el Centro de servicio de un fabricante de telefonía.

Por lo tanto el desarrollo de este trabajo tiene como objetivo, " que el Técnico analista o el Ingeniero de Servicio pueda efectuar un diagnóstico preciso de fallas mediante la aplicación del conocimiento teórico de la operación de los Sistemas y subsistemas con el apoyo de una secuencia lógica de análisis que él mismo será capaz de diseñar para entonces plantear su correcta solución ó reparación," para lograr este objetivo el trabajo se conforma de la siguiente forma en el capítulo 1 se expondrá la evolución de los estándares de telefonía celular y describirá cuáles son las aplicaciones integradas en cada una de ellas hasta este momento, el capítulo 2 describirá los Sistemas y subsistemas en un teléfono celular así como cada una de sus funciones, con el objetivo de que el técnico analista o ingeniero determine a qué sistema dirigirse y realizar el análisis correspondiente para encontrar la razón de la falla. El Capítulo 3 tratará sobre los diferentes circuitos que posee un teléfono móvil y de su función en cada uno de los sistemas donde están incluidos, que servirá para localizar los diferentes componentes eléctricos o circuitos con rapidez al momento de iniciar el análisis. Y finalmente el capítulo 4 explicará tanto la importancia como la forma de diseñar las diferentes herramientas de reparación como son los mapas de localización de componentes, los mapas de puntos de prueba y la Secuencia de análisis . Por otro lado con fines prácticos de estudio se clasificarán las fallas en dos grupos, y se ha seleccionado una falla de cada grupo para mostrar el procedimiento de análisis.

Al final del trabajo en los anexos se agrega información relacionada a los microprocesadores ARM actualmente utilizados en todos los sistemas banda base de todos los teléfonos móviles y su origen basado en arquitecturas RISC, así como hojas de especificaciones de algunos CHIPSET empleados por los fabricantes de teléfonos celulares para darnos una idea de cómo los diseñadores integran los diferentes sistemas entre sí.

Con el desarrollo de este trabajo estamos seguros de que los analistas de telefonía móvil tendrán un gran apoyo al momento de analizar un equipo ya que podrán desarrollar sus propias herramientas tanto de diagnóstico como de medición y por otro lado podrán desarrollar las aptitudes y habilidades necesarias al momento de detectar una falla y poder encontrar una solución en el menor tiempo posible para entonces finalmente de esta forma dar una buena respuesta e imagen del Servicio al usuario final.

## **Capítulo 1**

### **Generaciones de la telefonía inalámbrica.**

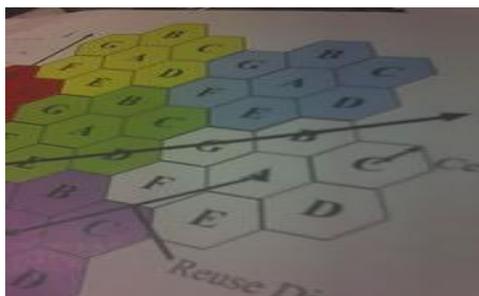
## Capítulo 1

### Generaciones de la telefonía inalámbrica.

#### 1.1 Primera generación 1G.

##### 1.1.1 Evolución de la primera generación

Consideramos que todos los primeros sistemas analógicos están dentro de la primera generación de los sistemas de telefonía móvil. Antes de que toda la telefonía móvil fuese ni siquiera pensada, las primeras redes comerciales ya estaban instaladas en Estados Unidos en los años 40s mientras que en Europa no estuvieron disponibles hasta los años 1950s. La inmensa mayoría de los procesos no eran automáticos y las llamadas tenían que ser emplazados vía telefonista. Operaban con diferentes áreas de llamadas y los terminales requerían un alto poder de transmisión. Estos sistemas tienen una baja capacidad y son muy caros de usar, así que el número de usuarios era muy selecto. El punto de inflexión llegó a finales de los años 1970s y principios de los años 80 con la introducción de la concepción celular y la introducción de la telefonía móvil llegando a estar disponible para un número mayor de usuarios. A partir de aquí numerosos estándares fueron surgiendo a nivel mundial pero con un cierto desorden porque cada país o grupo pequeños de países tenían su propio estándar.



**Agrupación de células en "clusters"**  
**Figura 1.1**

Los sistemas celulares fueron creados por los laboratorios Bell (AT&T) hace unos cincuenta años. Un sistema celular se forma al dividir el territorio al que se pretende dar servicio, en áreas pequeñas o celdas (normalmente hexagonales), de menor o mayor tamaño, cada una de las cuales está atendida por una estación de radio. A su vez las células se agrupan en "clusters" como lo muestra la figura 1.1, de forma que el espectro de frecuencias se pueda utilizar en cada célula nueva, teniendo cuidado de evitar las interferencias.

Las estructuras que permiten la cobertura de una zona determinada son configuraciones a modo de panel de abejas basadas en un número variable de células como pueden ser, 4, 7, 12 o 21 células. El número total de canales por célula se obtiene por la fórmula siguiente,  $N = (N. \text{ total de canales}) / (\text{Claustró (4, 7, 12, 21)})$ . Al ser menor el tamaño de las células mayor será el número de canales que soporte el sistema. El desarrollo de la primera generación tiene su fin en 1994 a partir del cual se comenzó con el desarrollo de la segunda generación. A continuación se entrará en más detalle en los diferentes estándares que se han ido desarrollando.

### 1.1.2 Evolución de la primera generación en Estados Unidos

Como se ha dicho anteriormente la primera generación correspondió a la telefonía analógica. La primera generación empleó el concepto de sistemas celular, que dividía el territorio en células y utilizando una técnica de acceso al medio conocida como FDMA (Frequency Division Multiple Access) / FDD (Frequency Division Duplex) que era una técnica de acceso múltiple por división de frecuencia y dos frecuencias portadoras distintas para establecer la comunicación entre el transmisor y el receptor.

Se dice que fue Estados Unidos quién fue la pionera en cuanto a telefonía móvil se refiere, pero en 1978 se desarrolló la primera red celular en Bahrein y estaba constituida por un total de 250 usuarios que se comunicaban en la banda de 400Mhz. Al ver que eso funcionaba, ese mismo año la empresa estadounidense AT&T se centro en el estudio de esta tecnología y un año más tarde desarrolló el que sería el primer estándar de la telefonía móvil, **AMPS** (Advanced Mobile Phone System).

AMPS tiene sus orígenes en estudios realizados sobre esta tecnología a principio de los años 1970s y no alcanzó su éxito comercial hasta 1983 debido a regulaciones inadecuadas y pólizas industriales. Aunque otros estándares fueron creados a principio de los años 1980s, AMPS ya se había quedado obsoleto para ese entonces. Todo esto se debe a que AMPS fue diseñado en 1971 cuando todavía no había interruptores digitales, los microprocesadores no tenían ninguna propiedad en común e incluso la troncal de los sistemas de telefonía cambió completamente desde el principio de la década hasta que en 1979 AMPS fue finalmente implementado. AMPS es un sistema con una compleja y cara red arquitectura en el cual toda la inteligencia fue situada en una central de conmutación de sistemas. A pesar de todo esto AMPS tuvo un gran éxito comercial. La AMPS diseñada fue estandarizada y establecida en la redes de telefonía de los Estados Unidos en 1981. El punto de partida fue que el roaming debería estar disponible entre redes, aunque esto no estuvo disponible a gran escala hasta los años 1990s.



**Equipo Motorola de principios de los 90s**  
**Figura 1.2**

**NAMPS** (Narrowbandamps) es una variante de AMPS desarrollada por Motorola a principios de los años 1990s (fig 1.2 ). El espacio de canal es reducido lo que incrementa la eficiencia en frecuencia en un factor 3. Este estándar es compatible con AMPS así que hace posible que se siga usando las redes existentes y las infraestructuras instaladas. El uso de NAMPS fue limitado porque la reducción del canal incrementó el precio de los terminales. Las redes de este tipo estaban en uso a finales de 1996 con más de un millón de suscriptores. Sin embargo la mayoría de las redes son combinadas AMPS/NAMPS en las que solo una pequeña proporción de los canales han sido en realidad convertidos a NAMPS.

### 1.1.3 Evolución de la primera generación en Europa

Mientras que en Estados se desarrollaba AMPS el Consejo Nórdico formado por Dinamarca, Finlandia, Islandia, Noruega y Suecia trabajaban en otro estándar a nivel europeo. Fue en 1975 en la Conferencia Nórdica de las Telecomunicaciones donde se presentó con el nombre de NMT, que era un estándar abierto. Todos los desarrolladores tenían permisos para diseñar sistemas que fueran compatibles con el estándar.

Además el estándar incluía descripciones de los interfaces de radio y de otros interfaces incluyendo el link entre la estación base y un interruptor. Debido a que NMT fue introducido en todos los países escandinavos, el roaming fue uno de los principales aspectos del departamento de diseño. Un primer modelo fue diseñado en Estocolmo en 1978, pero la red nórdica no fue oficialmente instalada hasta octubre de 1981. Posteriormente países como Holanda, Luxemburgo y Bélgica. Aunque el roaming entre estos tres países fue una realidad, había problemas para comunicarse con la red de los países escandinavos. Una variante de NMT conocida como NMT-450 fue la que se instauró en España y Francia años más tarde, así como en otros países del este de Europa, en años posteriores. Éste estándar usa un sistema celular que utiliza una estructura de red jerárquica. Comparado con el estándar americano NMT.450 se hizo comercial casi a la vez que el AMPS. Sin embargo NMT-450 estaba basado en una técnica más avanzada, como se demuestra por ejemplo en que las estaciones base son relativamente inteligentes, cosa que no pasaba en AMPS debido a que todas las funcionalidades estaban situadas en la central de conmutación.

En 1986 apareció el NMT-900 en Escandinavia; que también fue instaurado en Suiza y Holanda, que basado en su antecesor ofrecía el roaming entre estas redes. Pero NMT no fue el único estándar Europeo porque mientras éste se desarrollaba en los países nórdicos, en el Reino Unido se generó un estándar basado en el americano y que recibió el nombre de **TACS** (Total Access Communication System). Sin embargo este estándar utilizaba otra banda de frecuencia diferente a la del estándar americano, porque antes de su desarrollo los británicos ya tenían asignada una banda de frecuencia para la telefonía móvil; la banda de 900MHz. Ésta tecnología se añadió en Italia, España y Austria a principios de los años 1990s. Las redes TACS formaron la mayor red de telefonía móvil antes de la instalación de GSM.

NMT y TACS no son los únicos estándares desarrollados en Europa, sino que también se pueden destacar otros más. A principio de los años 80 Alemania también estaba metido en la lucha por el desarrollo de las tecnologías móviles y creó su propio estándar conocido como C-450, que fue puesto en el mercado en 1985 y que trabajaba en la banda de 450 MHz. Este tipo de redes no tuvieron mucho éxito y solo fueron instaladas en Portugal y Sudáfrica. Los países que instalaron C-450 fué debido a la flexibilidad que éste proporcionaba. También aparecieron dos estándares para terminar con la lista de estándares europeos. El primero de ellos es RC-2000 que se desarrolló y se implantó únicamente en Francia desde 1981. Es un híbrido entre las comunicaciones de radio y telefonía móvil. Tiene tres bandas: la más baja se utiliza para las comunicaciones locales, la segunda para comunicarse con el exterior y la tercera se añadió más tarde para proporcionar estos servicios. El segundo de los estándares es RMTS que se utilizó en Italia y que se instaló en 1983. Proporcionaba un gran calidad de transmisión pero que sin embargo tiene el problema de que tiene un máximo número de clientes gestionados por el proveedor del servicio.

#### **1.1.4 Evolución de la primera generación en Asia**

Una vez hecho un recorrido por las redes americanas y europeas, no nos podemos olvidar de Asia y más concretamente de Japón que siempre está en la cima en cuanto a desarrollo de la tecnología se refiere. Mientras el desarrollo de todos estándares ocurría Japón también investigó y desarrolló su propio estándar llamado NTT (Nippon Telegraph and Telephone). Japón fue en 1979 quién instaló el primer sistema celular que también se conoció por MSCL1. A mediados de los años 1980s cuando surgió la capacidad de celdas, desarrollaron un nuevo estándar; MSCL2, con un eficiencia del espectro mucho mayor, pero que seguía trabajando en la misma banda de frecuencia. Esta segunda versión no permite teléfonos de bolsillo, sólo teléfonos de coche y Portable telephones. NNT es un sistema usado exclusivamente en Japón. Japón ha entrado en la guerra en el desarrollo de la telefonía móvil desde 1988 aunque otros proveedores opten por la opción de utilizar TACS como tecnología móvil de primera generación y se creó el sistema J-TACS. Se verá posteriormente que con la segunda generación le pasará algo parecido, pero no ocurrirá así con el desarrollo de la tercera generación donde Japón tendrá mucho que decir a nivel mundial.

#### **1.1.5 Funcionamiento de la primera generación**

A continuación nos centraremos en los principales estándares de la primera generación explicando sus principales características y arquitectura, pero primeramente se explicará la técnica utilizada de acceso al medio que es FDMA

##### **FDMA**

Es una técnica de control de acceso al medio en la cual el espectro radioeléctrico se divide en una serie de secciones o ranuras dependiendo del número de usuarios que tengamos en ese momento. La configuración es rígida e invariante pues cada estación debe transmitir siempre con la misma frecuencia central o portadora y es válida cuando se puede garantizar que durante la mayor parte del tiempo, cada una de ellas ocupará activo ese ancho de banda que se le asignó. Por esa razón se llama acceso múltiple con división de frecuencia con asignación fija. En FDMA cuando el número de subportadoras aumenta, el ancho de banda asignado a cada una de ellas debe disminuir lo que conlleva a una reducción de la capacidad de las mismas.

##### **El estándar americano: AMPS**

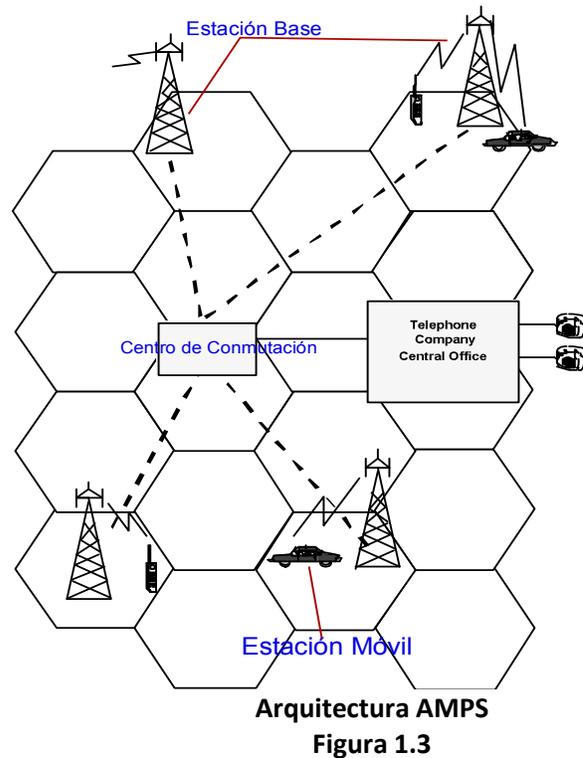
Los sistemas de primera generación como es éste usaban la modulación en frecuencia, y frequency shift keying (FSK) para la señalización. Como anteriormente se ha dicho anteriormente la técnica de acceso que utilizaban era FDMA. Los parámetros básicos de este estándar son los que se adjuntan a continuación:

El propósito general de estas redes eran el de proporcionar cierta movilidad a aquellos usuarios que viajaran en sus coches. Al principio se pensó que este estándar no tendría límites y que la división de celdas sería ilimitada. Pero esto se vio que no iba a ser así cuando instalaron las primeras redes a principios de los años 1980s debido a que con las celdas cada vez más pequeñas, se volvía imposible colocar las estaciones base en los lugares donde la cobertura sería óptima

Como hemos dicho utiliza una modulación FSK que es la más simple de las modulaciones digitales y por lo tanto es de bajo desempeño. Es similar a la modulación de frecuencia (FM), pero más sencillo, dado que la señal moduladora es un tren de pulsos binarios que solo varía entre dos valores de tensión discretos.

### 1.1.6 Arquitectura AMPS

Un pequeño dibujo que muestre claramente la arquitectura celular AMPS es que sigue a continuación: En la arquitectura AMPS se puede diferenciar tres componentes principales: estación base, estación móvil y centro de conmutación para la telefonía móvil, la figura 1.3 muestra una arquitectura AMPS.



A continuación se describirán cada uno de sus componentes con más detalle:

#### Interconexión del sistema

Todo comienza cuando el móvil quiere comunicarse con la estación base más cercana sobre uno de los canales de voz asignados para esa celda. La estación base lo que hace es conectarse a través de los troncales a la **MSC** (Mobile Switching Central) más cercana, el cual le proviene de la red pública. Posteriormente se transmiten unos datos para el establecimiento de la conexión, y una vez conseguido se podrá transmitir datos entre el usuario móvil y la central a través del aire. Luego la voz se conmuta desde la MSC hacia la PSTN (Public Switched Telephone Network). Ocurre a veces que se produce un deterioro de la calidad de transmisión de una llamada y se procede entonces a realizar un cambio de celda; este proceso se conoce como handoff o selección del modo de conmutación del MSC.

### **Mobile Switching Center (MSC)**

El MSC constituye el interfaz entre el sistema de radio y el sistema de telefonía pública. Todas las llamadas desde y hacia el usuario móvil son conmutadas desde la MSC además de proveer de todas las funciones de señalización necesarias. El MSC está vinculado a las estaciones base mediante un grupo de líneas de voces y dos o más líneas de datos, por los cuales intercambian información para el procesado de llamadas. Además se encarga también de la tasación de la llamada indicando día n<sup>o</sup> llamado y tiempo. En resumidas cuentas las funciones más importantes del centro de conmutación móvil son:

- Establecer llamadas.
- Asignar canales.
- Termina llamadas.
- Interconecta con la red pública.
- Tarifa.

### **Estación base**

Los componentes de la estación base son:

- Interfaz de Radio: Medio para la señal entre el MSC y la BS.
- Grupo de canales de radio que a su vez está formado por varios componentes:
- Unidad de canal: empleadas para cursar una única llamada telefónica por vez.
- Transmisores receptores.
- Receptor de intensidad del canal.
- Oscilador de referencia.
- Probador de canal.
- Unidad de monitoreo de potencia.
- Sistema de antena.
- Unidad de control: constituye la parte inteligente de la unidad de canal. La unidad de control no maneja las señales de voz.
- Unidad de canal de respaldo: La célula es incapaz de proporcionar cualquier servicio cuando su canal de control no está en operación Siempre que un canal de control llega a caer en falla, un canal de voz predefinido se encarga automáticamente de las funciones del canal de control.

### **Estación móvil**

La unidad móvil, o estación móvil (MS), es el equipo de abonado, que tiene un receptor y un transmisor así como una unidad lógica para la señalización con la estación base.

## **Parámetros de un sistema AMPS**

Los principales parámetros de un sistema AMPS son:

- Tolerancia en la ubicación de la estación base: Este nivel decrece gradualmente a medida que la tolerancia de la posición se incrementa de 0 a  $\frac{1}{4}$  del radio de la celda, pero decrementa rápidamente más allá de este punto de quiebre. Por lo tanto la tolerancia fue determinada en  $\frac{1}{4}$  del radio de la celda.
- Radio máximo de la celda.
- Radio mínimo de la celda: Esta definido en una milla (1.6 Km), el limite lo dan la instalación correcta de las estaciones base y el proceso de hand-off, transferencia de llamadas entre celdas.
- Tasa de reuso co-canal: D/R tiene impacto tanto en la calidad como en la capacidad del sistema.

### **1.1.7 Arquitectura de Control**

#### **Interfaces del sistema**

Los dos interfaces de la tecnología AMPS son los que a continuación se describen:

Interfaz de red: El sistema AMPS está diseñado para atender al usuario dentro de una determinada área (ALM: área local móvil o Área de servicio Móvil MSA). Cuando el usuario esta dentro de esa área se le llama home mobile y cuando esta fuera visitante o *roamer*. El usuario móvil tendrá un número telefónico, asignado según un plan de numeración estándar, con el fin de poder acceder a la red. El mismo habilita al sistema para conectarse con la red a través del uso de técnicas de señalización.

Interfaz de usuario: La información de start up (digital) lleva la identificación del usuario llamante así como los dígitos pregrabados del abonado llamado. La mejor ventaja del prellamado es que no se ocupan los canales de radio hasta no enviar los datos mediante la tecla send.

#### **Técnicas de control:**

##### **Supervisión**

Se usa una combinación de tonos fuera de banda para detectar los cambios en el estado en el teléfono y asegurar una señal adecuada de RF durante la llamada. Son conocidos como tono de señalización ST y tono de audio supervisión SAT.

SAT: Es utilizado para la supervisión de la calidad de transmisión. Es enviado continuamente durante la transmisión de voz. La BS envía un SAT y la unidad móvil lo reenvía, cerrando así el lazo. Si la BS recibe otro SAT entiende que hay interferencia

ST: Es enviado solamente por la unidad móvil cuando el usuario es desconectado, transferido (hand-off), etc. Es de 10 KHz. Sirve como Señalización de línea.

### **Búsqueda y acceso**

Búsqueda o paging es el proceso que determina si un móvil está capacitado para recibir llamada entrante. La función complementaria para comenzar una llamada se denomina acceso. Esta función involucra:

1. Informar al sistema la presencia del móvil.
2. Enviar la identificación del móvil.
3. Esperar la designación del canal.

El plan usado por AMPS para búsqueda y acceso utiliza un conjunto de canales especiales en las BS que se los llama canales de set up o de control. Estos canales son distribuidos en las estaciones bases y la búsqueda se debe realizar sobre todo el MSA

### **ROAMING**

La palabra roaming significa moverse alrededor de, caminar, vagabundear. Esta palabra fue adoptada para ser usada en telefonía celular para describir el efecto que el abonado móvil pueda moverse de un área de servicio a otra mientras que está utilizando el mismo. El servicio a los abonados móviles visitantes puede ser brindado automáticamente o con asistencia de operadora. Esto indica dos tipos de roaming:

- Roaming Automático
- Roaming Manual

Cuando el roaming es usado, entonces los MSCs proveerán de servicio al visitante y son llamados MSCs cooperantes. En caso de roaming automático, la transferencia de información entre MSCs, llamada señalización de roaming (señalización MSC) entra en acción empleando la señalización por canal común CCITT N0 7. Desde el punto de vista del MSC, los abonados que están suscriptos a este MSC están considerados como abonados propios, y el MSC es su central de casa (MSC-H). Los abonados propios residen normalmente en el área de servicio de éste MSC. Los abonados localizados en el área de servicio de un MSC cooperante son considerados como abonados roaming (roamers-vagabundos). Desde el punto de vista del MSC, los abonados suscriptos a otro MSC pero que comúnmente se encuentran en el área de servicio del MSC en cuestión son considerados como abonados visitantes y el MSC es la central visitada (MSC-V).

Para el enrutamiento de llamadas (en la red celular y algunas veces con la PSTN) para un abonado roaming, se emplea un número roaming (RN). Se especifica inicialmente una serie de números roaming en el MSC como series de números interna. Cuando un nuevo visitante aparece, un número roaming es tomado y dispuesto para el número de la estación móvil del visitante (durante su presencia). Las llamadas desde los visitantes se manejan en la misma forma que las llamadas de los propios abonados.

Un abonado suscripto en un MSC así como en otro (s) MSC (s) es llamado abonado no residente. Un abonado no residente puede ser localizado con diferentes números de abonado, dependiendo de la posición esperada. El sistema no tiene ninguna información acerca de la localización del abonado.

### **1.1.8 Los estándares europeos: NMT y TACS**

NMT es un sistema celular que usa una red normal de arquitectura jerárquica. Frecuencias emparejadas son usadas para comunicaciones entre teléfonos móviles y estaciones base. Los terminales móviles transmiten en la banda de 450MHz y recibe en la banda de 460MHz, así que la separación es de 10MHz. Dos secciones del espectro de 4,5MHz son usadas por estas redes, divididas en canales de 25kHz. Celdas relativamente largas son usadas con longitudes que pueden llegar a 50Km. El sucesor de NMT-450; el NMT-900 utiliza un rango de frecuencias mayor y es usado en varios sistemas. Varios parámetros habían cambiado: dos de las secciones del espectro de 25MHz son usadas y la separación dúplex se incremento a 45MHz. El espacio del canal es dividido a 12,5MHz acomodando más usuarios en el espectro limitado. El sistema usa celdas con in diámetro de 0,5 a 3 Km.

Como ya hemos dicho TACS fue diseñado en base a AMPS y desde la perspectiva técnica el gran cambio producido en el ancho del canal, el cual fue reducido desde los 30 kHz para AMPS a los 25kHz de TACS, mientras que las bandas de frecuencia fueron situadas entre los 800 y los 900 MHz. Esto incrementó la eficiencia de la frecuencia mientras el sistema este mejor adaptado a la distribución de la frecuencia europea situada en bloque de 25kHz. Existe otro tipo de TACS que es el TACS extendido (ETACS) que usa una banda de frecuencia más larga.

### **1.1.9 El estándar japonés: NTT**

Este sistema desarrollado en Japón usaba dos porciones de 15MHz en la banda de 800 MHz y un espaciado de canales de 25kHz. Cuando la capacidad de celdas aumento durante los años 1980s, Japón desarrolló otro nuevo estándar que tenía una mayor eficiencia en el uso del ancho de banda aunque seguía operando en el mismo espectro. El único cambio importante que se hizo el canal de espaciado fue reducido a 12,5 kHz, y con ello la interferencia minimizada y la interespaciado es también aplicada a las celdas individuales destinando frecuencias en pasos de 6,25kHz en vez de 12,5kHz. Esto es un interespaciado del canal espaciado, no confundirlo con el interespaciado de de datos vistos en sistemas digitales.

Un problema en el caso de el pequeño canal es el requisito de la estabilidad en frecuencia del sintonizador. Un valor común para esta estabilidad es una desviación de 1p.p.m lo que significa que para una transmisión en frecuencia a 800MHZ, la desviación sería aproximadamente de 800Hz, lo que significó más del 10% del espaciado del canal 6,25khz.

## **1.2 Segunda Generación 2G**

### **1.2.1 Evolución de la segunda generación**

A partir de 1983 los costos de los celulares se abarataron y por lo tanto se dio un incremento en el consumo de la telefonía celular, en este momento se utilizaba un sistema analógico llamado AMPS (Advance Mobile Phone Service) y al estudiar el sistema, se hicieron predicciones en las cuales para 1990 la capacidad del sistema podría saturarse. Ante la posible saturación de la demanda del consumidor, existían tres tipos de maneras de expandir el sistema celular:

1. Moverse hacia nuevas frecuencias de banda.
2. Dividir las células existentes en otras más pequeñas.
3. Introducir una nueva tecnología y hacer más eficiente el ancho de banda.

Se estudiaron las tres alternativas; como dividir las células resultaba muy caro y el moverse hacia nuevas frecuencias no se encontraba disponible en ese momento, se optó por la tercera opción como el mejor camino. La FCC estimuló la creación de esta tecnología y en 1987 declaró que las licencias de telefonía celular podrían emplear una tecnología alternativa de la banda de los 800Mhz, esto logró que la industria de celulares buscara una nueva forma de transmisión que incrementara la eficiencia de las comunicaciones comparadas con el sistema AMPS.

En 1988, se creó la Celular Technology Industry Association (CTIA), organismo que tenía como objetivo introducir la nueva tecnología, productos y servicios para 1991. Los objetivos eran:

- Incrementar la capacidad del sistema comparado con AMPS (analógico).
- Modo dual y compatibilidad AMPS/Digital durante la transmisión de datos.
- Nuevas capacidades como fax y servicio de mensajes cortos (SMS).
- Asegurarse de que el equipo estaría listo para 1991.
- Lograr un servicio estándar de alta calidad.

Después de largos debates con la TIA (Telecommunications Industry Association), se creó un sistema de tecnologías híbrido que trabajaría con TDMA IS-136, CDMA IS-195 y el estándar del GSM europeo; tomando en cuenta que cada una de estas tecnologías tienen ventajas sobre el AMPS. Así fue como surgió **PCS** que quiere decir *Personal Communications Service* (Servicio de Comunicaciones Personales) y se refiere principalmente al conjunto de tres tipos de tecnología celular.

### 1.2.2 Evolución en Europa

En los países con más desarrollo en las comunicaciones móviles en Europa, los sistemas celulares experimentaron desde su introducción un continuo desarrollo hasta llegar a un número de usuarios enorme. Así surgió la necesidad de buscar sistemas evolucionados con capacidad de manejo de tráfico elevado. Una de las características comunes en todos los sistemas celulares analógicos ha sido su crecimiento exponencial en cuanto a número de usuarios, estando algunas redes al borde de la saturación especialmente en áreas urbanas especialmente pobladas. Entonces surgió la necesidad de un sistema más eficiente en términos de usuarios en MHz. Otra característica muy importante era la diversidad de sistemas existentes en los diferentes países que no presentaban compatibilidad de operación. Por estas razones se desarrolló en Europa el estándar GSM (Global System for Mobile Communications) de comunicaciones móviles que fue desarrollado en los años 1980s y puesto en funcionamiento a principio de los años 1990s dando así origen a lo que se conoce como la segunda generación de telefonía móvil.

La segunda generación aprovecha las ventajas de los sistemas anteriores de la primera generación, pero al introducir la comunicación digital, tanto para las comunicaciones vocales y de datos como para la señalización, permite la prestación de un gran número de servicios adicionales. Asimismo, mejora la eficiencia de los sistemas analógicos permitiendo, en consecuencia un incremento en la capacidad de manejo de tráfico.

Pero todo esto empezó cuando en 1982 se forma en el marco de la CEPT el denominado Groupe Special Mobile, con el objetivo de definir un nuevo sistema de comunicaciones móviles para los años 1990s. Entre los objetivos que perseguían se encuentran los siguientes:

1. El sistema debería ser común para todo Europa.
2. Debería permitir un gran número de usuarios, en el contexto de la ISDN.
3. Se exigía la implantación de mecanismos de seguridad que garantizaran la privacidad de las comunicaciones de manera que no pudieran ser captadas por personas no autorizadas.
4. El uso del espectro debía hacerse de manera eficiente y el sistema debería tener mayor capacidad de para cursar tráfico que los sistemas anteriores.
5. Permitir terminales cada vez más seguros y ligeros.

En los años 86 y 87 se realizaron pruebas de evaluación de diferentes métodos de modulación y acceso, a continuación, se tomaron las principales decisiones sobre estos aspectos. Si bien no estaba entre los objetivos primeros que el sistema utilizara transmisión digital, era previsible que tal decisión fuera adoptada como instrumento fundamental para cubrir los objetivos antes indicados.

Una de las primeras decisiones fue que el sistema sería de naturaleza digital por sus innegables ventajas frente a los analógicos. Sobre esta base se propugnaron programas de investigación que presentaron al grupo GSM 6 sistemas candidatos, cada uno de ellos presentaba soluciones digitalizadas sustentadas por diferentes técnicas de acceso múltiple: FDMA/SCPC, TDMA, CDMA

Tras analizar todas las propuestas, el GSM se inclinó por la especificación de un sistema nuevo que retenía de cada propuesta la aportación más sobresaliente. Las decisiones que se tomaron, fueron las siguientes:

1. Utilización de una banda común que se reservaría al GSM en todos los países participantes.
2. Estructura celular digital.
3. Sistema de acceso múltiple TDMA de banda estrecha.
4. Algoritmo de codificación de fuente de pequeña velocidad binaria.

El GSM es el servicio de telecomunicación que se ha especificado a nivel de sistema total. Su arquitectura y protocolos se basan en el modelo de referencia OSI <sup>€</sup> de 7 capas. El objetivo de GSM de integración en la ISDN ha influido en el diseño de los interfaces, adoptándose una estructura lógica muy parecida a la de la propia ISDN en cuanto a la definición de canales de tráfico y señalización. La flexibilidad que aporta esta disposición redundante en beneficio de los futuros servicios que el GSM ofrecerá a los usuarios.

En 1989 el grupo GSM se integra en el ETSI (European Telecommunications Standards Institute) como un comité técnico. La principal novedad estriba en la participación de los fabricantes en este organismo. Dieciocho países de Europa se comprometieron a la puesta en marcha del sistema en 1991. En 1990 se congelan las especificaciones de GSM y en 1991 las del sistema gemelo DCS-1800 (GSM-1800). Se dejó para una siguiente fase la especificación de una serie de servicios adicionales o suplementarios, de manera que el sistema se instaura con un juego reducido de servicios. Resulta patente en este momento que, por la rápida evolución de la tecnología y la utilización de los servicios por el público, el sistema debe tener cierto carácter evolutivo, permitiendo la introducción de nuevas prestaciones en el futuro.

Los primeros sistemas de ámbito muy reducido se ponen en marcha en 1991, pero es a partir de 1992 cuando los principales operadores comienzan la explotación comercial de sus redes. En España se puso en marcha en 1995. El sistema GSM ha sido adoptado también por un creciente número de países de todos los continentes rebasando, por tanto, el carácter paneuropeo que se había previsto.

<sup>€</sup> : El modelo de referencia de Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI, Open System Interconnection) lanzado en 1984 fue el modelo de red descriptivo creado por ISO; esto es, un marco de referencia para la definición de arquitecturas de interconexión de sistemas de comunicaciones.

### 1.2.3 La evolución americana

En Estados Unidos para ese entonces se disponía de un sistema celular analógico AMPS de primera generación de mayores dimensiones en todo el mundo, no obstante, como ocurrió en Europa, se planteó la necesidad de mejorar la capacidad de manejo de tráfico que proporcionan los sistemas analógicos de primera generación. Mientras que en Europa se partió de la necesidad de unificar los diversos estándares que existían de la primera generación y así crearon GSM, en Estados Unidos no pasaba lo mismo, porque se partió de un único sistema y se propusieron y aceptaron diversas soluciones que mejoran la capacidad de tráfico. Estas soluciones son totalmente incompatibles entre ellas pero coexisten en el espectro disponible. Cada operador local podrá sustituir canales del primitivo AMPS por canales del nuevo sistema. Otra característica fue la aparición de los terminales duales capaces de operar tanto con los canales analógicos AMPS como con los canales que operan siguiendo el mismo sistema. La característica más importante de estos nuevos sistemas es que permiten la operación en modo dual. Esto significa que todas las redes pueden proporcionar servicio a los viejos terminales AMPS disponiendo para ello de los canales radio analógico necesarios. El primero de los sistemas en aparecer fue en 1991 uno que utilizaba la técnica de **TDMA** y es conocido como **NADC o IS-54 o DAMPS** porque utiliza la misma infraestructura que AMPS. Al mismo tiempo que este estándar fue instaurado, se puso en funcionamiento. A mediados de los años 1990s se tomó la decisión de utilizar D-AMPS en una banda de frecuencias superior y surgió el D-AMPS-1900. Pero a parte de esta tecnología también surgió otro estándar CDMA o IS-95 que en vez de usar TDMA usaba un nuevo estándar conocido como CDMA que utiliza acceso múltiple por división de código. Este estándar tenía una capacidad mayor, simplificaba el plano de frecuencias y tenía mayor flexibilidad. Al tener canales más anchos era menos susceptible a la propagación multicamino. El estándar fue definido por el TIA en 1993 con el nombre de IS-95. Se sabe que Qualcomm fue el gran pionero de CDMA, que ya fue creada en los años 1950s, pero se dejó de lado hasta que en los años 1990s se retomó para el desarrollo de la segunda generación. La primera red comercial CDMA fue abierta en 1996 en Corea del Sur., Hong Kong, Singapur. Las primeras redes de 800 y 1900 Mhz de Estados Unidos fueron instaladas en 1996 hasta llegar a las 48 licencias de instalación que hubo en total en el mundo.

### 1.2.4 El estándar japonés

Un sistema digital fue desarrollado en Japón para sustituir al existente sistema analógico NTT, que recibió el nombre de PDC (Pacific Digital cellular). Surgió de la colaboración de varias empresas como son Ericsson, NEC, etc junto con el NTT que decidieron trabajar juntos en 1993 para implementar el estándar en otros países asiáticos. Problemas con las licencias que están en poder del NTT han hecho que PDC haya sido imposible de exportar fuera de Japón y únicamente Tailandia tiene algún plano de licencia para estas redes. Otro sistema digital utilizado en Japón es el PHS (Personal Handyphone System). Este estándar, lanzado en 1995, no es una tecnología celular propiamente. PHS es un sistema inalámbrico de corto alcance (cada base tiene alcance de 200 metros), pero de alta calidad y capacidad. Esta tecnología está diseñada para áreas altamente pobladas donde los sistemas celulares pueden presentar problemas de cobertura, con menores costos que los de la telefonía celular. Para marzo de 1999 existían cerca de 5.77 millones de usuarios de PHS.

### 1.2.5 Funcionamiento de la segunda generación

#### TDMA

TDMA o acceso múltiple por división del tiempo es una técnica de acceso totalmente digital mediante la cual varias estaciones acceden u ocupan el ancho de banda existente. A diferencia de FDMA donde cada estación transmisora tiene asignada una ranura de frecuencias, normalmente con un ancho de banda diferente, en esta nueva técnica todo un grupo de estaciones tienen asignada una misma ranura, con cierto ancho de banda fijo y se comparte entre ellas secuencialmente en el tiempo; es decir, cada estación tiene asignado un tiempo T para transmitir lo que le guste dentro de la ranura, y cuando su tiempo se agota debe dejar de transmitir para que lo hagan las estaciones que le siguen en la secuencia hasta que le toque nuevamente su turno. Actualmente el acceso múltiple TDMA es común en los sistemas de telefonía fija. Las últimas tecnologías en los sistemas de radio son la codificación de la voz y la compresión de datos, que eliminan la redundancia y períodos de silencio y decrementan el tiempo necesario en representar un período de voz. Los usuarios acceden a un canal de acuerdo con un esquema temporal. Aunque no hay ningún requerimiento técnico para ello, los sistemas celulares, que emplean técnicas TDMA, siempre usan TDMA sobre FDMA.

### 1.2.6 El estándar europeo: GSM

Como se ha dicho GSM es el estándar europeo para la segunda generación de telefonía móvil, de la cual podemos describir múltiples características. Las bandas de frecuencia en las que trabaja son:

- Transmisión de la estación móvil: 890-915 MHz
- Transmisión de la estación base: 935-960 MHz

Tiene una separación dúplex de 45MHz y tiene una separación de canales de 200 KHz con una selectividad de canal adyacente de 18dB.

Utiliza una modulación GMSK  $\omega$  y una relación de protección para interferencia co-canal de 9dB y para los adyacentes de -9dB. Tiene una PIRE máxima de las estaciones base de 500W de portadora.

La potencia nominal de las estaciones móviles puede ser de diversos tipos debido a que hay 5 tipos diferentes y sus valores son : 0,8, 2, 5, 8 o 20 W. En el caso de las estaciones base tendremos 7 posibles valores, cada uno asignados a los 7 tipos de estaciones base existentes, y que van desde 2,5 a 320 W. GSM tiene una estructura celular y reutilización de manera que pueden utilizarse celdas convencionales de radio variable 35Km (zonas rurales) y 1 Km (zonas urbanas). En regiones de elevada densidad de tráfico pueden sectorizarse las celdas mediante el empleo de antenas direccionales. La reutilización posible equivale a una agrupación de 9 o 12 celdas o bien 7 celdas para uso omnidireccional. Acceso múltiple: TDMA con 8 intervalos de tiempo por trama. La duración de cada intervalo es de 0,577ms.

La trama comprende 8 canales físicos que transportan los canales lógicos de tráfico y señalización (control). Se dispone también de un sistema de multiramitas: uno que consta de 26 tramas con intervalos de 120ms, y otra que consta de 51 tramas con intervalos de 236ms.

$\omega$ : GMSK es el acrónimo para Gaussian minimum shift keying y es el tipo de modulación usado en GSM. Se puede decir que este tipo de modulación deriva de la modulación MSK. Su funcionamiento es de la siguiente manera:

Se pasa los datos modulantes a través de un filtro gaussiano de premodulación, esto estabiliza las variaciones de las frecuencias instantáneas a través del tiempo, lo cual reduce los lóbulos laterales en el espectro transmitido.

Tiene dos canales de tráfico para voz y datos respectivamente. El primero de ellos se definió el denominado canal de velocidad completa que hace uso de un codificador vocal que proporciona una señal digital de 13Kb/s. Tras la codificación de canal, la velocidad binaria bruta es de 22,8Kb/s. El segundo de los canales se sustenta sobre el canal de tráfico a velocidades de 2,4 4,8 y 9,6 Kb/s con diferentes procedimientos de adaptación de la velocidad, codificación de canal y entrelazado. También se admiten servicios de datos naturaleza no transparente con una velocidad binaria de 12Kb/s.

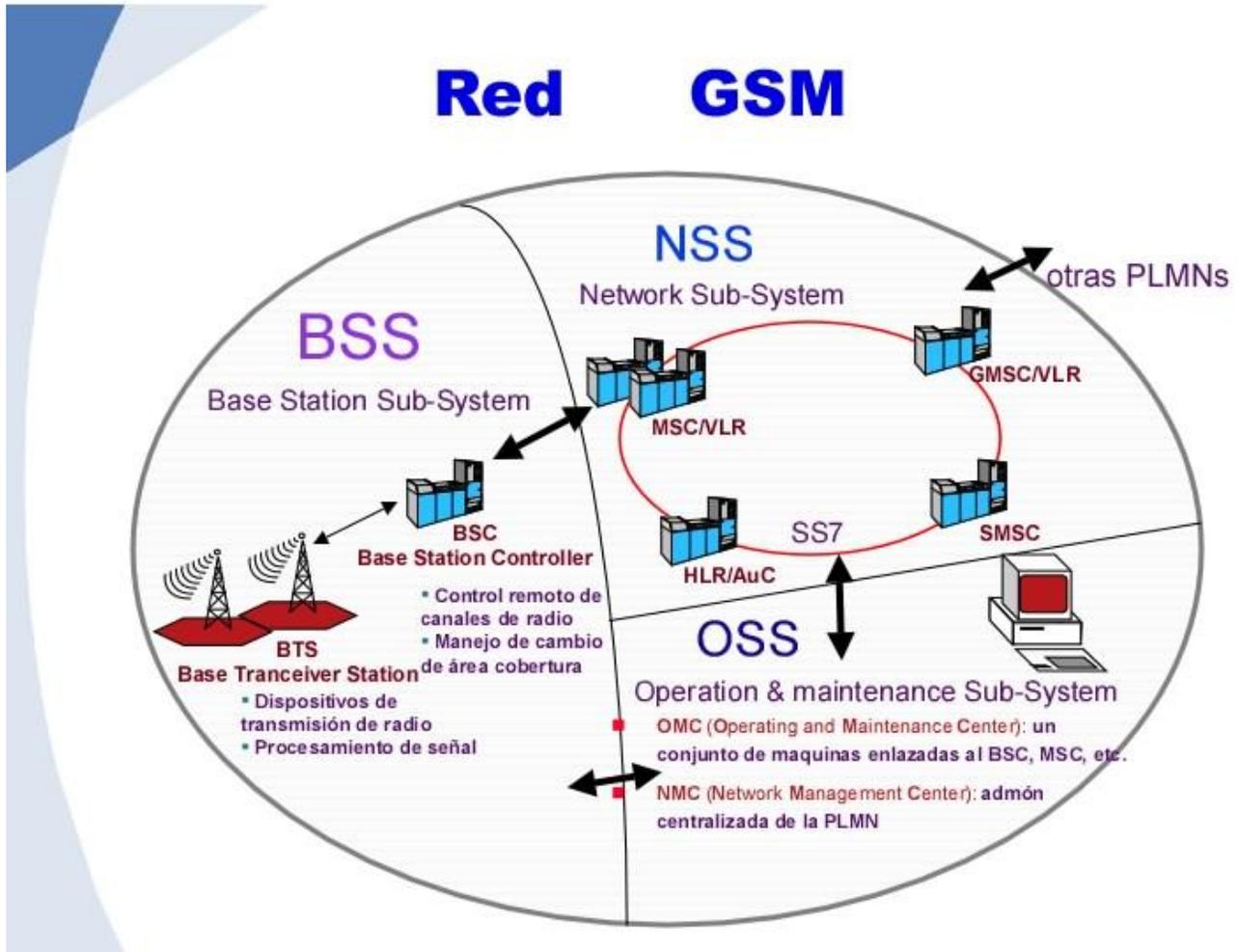
Entre los canales de control existentes se han dispuesto de tres categorías, como son:

- Difusión (broadcast), mediante los cuales se transmite información desde la estación base a los móviles para ser usada por todos ellos.
- Comunes pueden ser usados por todos los móviles, pero la información que se transmite en un momento determinado se refiere a uno de ellos.
- Dedicados para su uso es preciso una asignación de canal de tráfico. Se asocian el establecimiento de una comunicación o a la señalización intercambiada en el curso de la misma.

Los interfaces que la red pública móvil terrestre tendrá son, una conexión con la red telefónica conmutada y la red digital de servicios integrados. GSM utiliza una señalización entre las estaciones base y la MSC que sigue un procedimiento parecido a ISDN. Entre las MSC se utiliza un Sistema de Señalización No. 7 del CCITT. En cuanto a la seguridad GSM dispone capacidades de Cifrado de las comunicaciones de voz y datos y un completo sistema de autenticación para el acceso al sistema por parte de los terminales. También ofrece la posibilidad de que los móviles puedan realizar la transmisión en la modalidad de saltos de frecuencia bajo mandato de la red, para lograr una mayor protección gracias a la diversidad de frecuencia. También se puede transmitir sólo cuando haya señal moduladora a fin de economizar la duración de la batería de los terminales portátiles y reducir interferencias.

### 1.2.7 La arquitectura GSM

Una configuración de la arquitectura GSM puede ser como el que muestra la figura 1.4:



Arquitectura GSM  
Figura 1.4

Componentes de una red GSM:

### **Estación móvil (MS)**

Está formada por la estación móvil y el SIM (Subscriber Identity Module). El SIM es una pequeña tarjeta inteligente que sirve para identificar las características de nuestro Terminal. Esta tarjeta se interior del móvil y permite al usuario a acceder a todos los servicios que haya disponibles por su operador, sin la tarjeta SIM el operador no nos sirve para nada porque no podemos hacer uso de la red. El SIM está protegido por un número de cuatro dígitos que recibe el nombre de PIN o Personal Identification Number. La mayor ventaja de las tarjetas SIM es que proporcionan movilidad al usuario ya que puede cambiar de terminal y llevarse consigo el SIM. Una vez que se introduce el PIN en el terminal, el terminal va a ponerse a buscar redes GSM que estén disponibles y va a tratar de validarse en ellas, una vez que la red (generalmente la que tenemos contratada) ha validado nuestro terminal el teléfono queda registrado en la célula que lo ha validado.

### **Estación base (BS)**

Sirve para conectar a las estaciones móviles con los NSS, además de ser los encargados de la transmisión y recepción. Consta de dos elementos: BSC (Base Station Controller) que se utilizan como controladores de los BTS y BTS ( Base transceiver Station) que consta de las antenas y transceivers que serán utilizados durante la conexión.

### **Subsistemas de Conmutación y Red (NSS)**

Se encarga de administrar las comunicaciones que se realizan entre los diferentes usuarios de la red. Para poder hacer este trabajo la NSS se divide en 7 partes:

MSC (Mobile Services Switching Center) que forma la parte central de la NSS y se encarga de las funciones de conmutación dentro de la red así como de proporcionar la conexión entre redes.

GMSC (Gateway Mobile Services Switching Center) sirve de mediador entre las redes de telefonía fija y la red GSM

HLR (Home Location Registrar) base de datos que contiene información sobre los usuarios conectados a una determinada MSC.

VLR (Visitor Location Registrar) contiene toda la información sobre un usuario necesaria para que dicho usuario pueda acceder a los servicios de red.

AuC (Authentication Center) proporciona los parámetros necesarios para la autenticación de usuarios.

EIR (Equipment Identity Registrar) contiene una base de datos con todos los terminales que son válidos para ser utilizados en la red.

GIWU (GSM Interworking Unit) Sirve como interfaz de comunicación entre diferentes redes para comunicación de datos.

### **Los subsistemas de soporte y operación (OSS)**

Los OSS se conectan a diferentes NSS y MSC para controlar y monitorizar toda la red GSM. La tendencia actual en estos sistemas es que dado que el número de BSS se está incrementando se pretender delegar funciones que actualmente se encarga de hacerlas el subsistema OSS en las BTS de manera que se reduzcan los costes de mantenimiento del sistema.

#### **1.2.8 Necesidades que GSM viene a satisfacer**

Las necesidades que viene a cubrir GSM son las limitaciones de la primera generación de telefonía móvil como se describen a continuación:

1. Uso más eficiente de la banda de frecuencias: uso radio frecuencia digital en vez de analógica.
2. Mayor calidad de voz usando en este caso digitalización de 13 bits muestreada a 8KHz y empleando complejos codificadores de voz.
3. Más confiabilidad: eficiente control de errores durante la transmisión por aire, usando codificación por bloque para el 20% más importante de bits, seguida de codificación convencional al 70% dejando el 30% restante sin codificar.
4. Seguridad: necesidad de tener una comunicación libre de interferencias sin pérdidas en la cobertura minimizando posibles inconvenientes propios de un enlace en movimiento.
5. Mejorar el proceso de traspaso de la transmisión de una celda a otra (Handoff): el teléfono envía constantemente datos acerca de la recepción de su celda y de las celdas vecinas proporcionando información para evaluar mejor el traspaso y hacerlo más confiable, independiente de la velocidad del móvil.

### **Problemas de transmisión**

Como todo estándar tiene beneficios también tiene sus inconvenientes como pueden ser:

Pérdidas debido a la distancia porque la potencia entregada a la antena disminuye con respecto a la distancia y a la frecuencia de la transmisión. A mayor frecuencia mayor pérdida

Desvanecimiento debido a la existencia de obstáculos físicos (montañas, edificios, árboles).

Desvanecimiento total: la señal necesita ser recibida con un mínimo de fuerza, bajo ese umbral la información se pierde, este valor de umbral se llama Sensibilidad del Receptor.

Alineamiento temporal: El TDMA requiere que la estación móvil transmita sólo en el intervalo de tiempo asignado y que permanezca en silencio el resto del tiempo. De otro modo interfiere con otras transmisiones que usan el mismo canal. Si el móvil se aleja de la estación, la información tarda más tiempo en llegar. Como consecuencia, el móvil demora en responder, haciendo uso de tiempo destinado a otras transmisiones, interfiriéndolas.

Dispersión en el tiempo: solo aparecen en la transmisión digital ya que el receptor se confunde al recibir simultáneamente un 0 y un 1 que si bien han sido enviados por separado y secuencialmente, el segundo ha tomado una ruta más rápida que el primero, llegando ambos al mismo tiempo.

### **Soluciones a éstos problemas**

Las posibles soluciones a estos problemas de transmisión que GSM propone pueden ser:

- Codificación de la voz: permite reducir la cantidad de bits usando algoritmos matemáticos.
- Codificación de canal: se realizan procesos de codificación agregando bloques de bits de redundancia y también de codificación de convolución.
- Entrelazado
- Salto de frecuencia: el sistema cambia el sistema en uso hasta que el problema desaparece.
- Diversidad de antena: la idea es utilizar dos canales de recepción que se vean afectados de diferente forma por los desvanecimientos eligiendo en cada momento la mejor de las dos.
- Ecuador: este problema viene a solucionar la Interferencia simulando un canal ideal y comparándolo con la información que se está recibiendo y encontrando un valor probable para ese bit.
- Avance en el tiempo: si la estación móvil se aleja de la base durante la llamada, debe enviar una ráfaga por adelantado respecto del tiempo de sincronización, sin embargo hay un límite para evitar que se mezclen con otros intervalos de tiempo.

### **Servicios que ofrece al usuario**

Los servicios básicos de telecomunicación que GSM ofrece al los usuarios se dividen en dos categorías principales:

- Teleservicios: aquellos que permiten al abonado comunicarse con otro abonado.
- Servicios portadores: permite al abonado móvil el envío de datos.

### **Servicios básicos**

Algunos de los Teleservicios básicos que la red GSM pueden ser:

- Voz: capacidad de recibir y de enviar llamadas hacia o desde todo el mundo tanto con abonados fijos como con abonados móviles.
- Llamadas de emergencia: posibilita al abonado hacer llamadas de emergencia pulsando un botón aún sin contar con la tarjeta SIM.
- Fax
- Servicios de mensajes cortos: es posible enviar un mensaje de hasta 160 caracteres desde y hacia un terminal móvil. Si el móvil no está conectado o fuera de cobertura, el mensaje se almacena en la central de mensajes hasta que el abonado se conecte, avisándoles de la existencia de dicho mensaje.
- Buzón de voz: consiste en un contestador incorporado en la red y controlado por el abonado. Las llamadas pueden ser desviadas al buzón del abonado accediendo posteriormente a él con un código personal.
- Buzón de fax: permite al usuario recibir mensajes de fax en cualquier máquina a través de su móvil.
- Voz y fax alternados: permite que durante una llamada el abonado intercambie entre voz y fax. Se pueden conmutar varias veces.
- Entre los servicios portadores básicos; que soportan la transmisión de datos síncronos y asíncronos a velocidades de hasta 9.6Kbit/seg, se pueden distinguir los siguientes:
- Tráfico hacia la red telefónica (PSTN): para enviar el tráfico de datos hacia la red pública es necesario seleccionar un módem.
- Tráfico hacia la Red Digital de Servicios Integrados (ISDN).
- Acceso a otras redes de datos asíncronos: soporta tráfico hacia las redes públicas de conmutación de paquetes y conmutación de circuitos, necesitando un interfaz en función de cada propósito.

### **Servicios suplementarios**

Los servicios elaborados ya sean completando o modificando los teleservicios y los servicios portadores se denominan servicios suplementarios, de los que se pueden destacar:

- Desvío de llamada: facilidad para desviar llamadas entrantes a otro número según sea la situación (móvil apagado, ocupado, no contesta) todo sin necesidad de apagar el móvil.
- Restricción de llamadas salientes: se puede activar o desactivar desde el terminal, pudiendo restringir todas las llamadas salientes, las llamadas salientes internacionales o bien las llamadas salientes internacionales de la propia red PLMN (Red Pública Móvil).
- Restricción de llamadas entrantes: se pueden restringir todas las llamadas o solo aquellas que procedan de la red PLMN propia. Esto permite al usuario no pagar por las llamadas entrantes sin apagar el equipo.
- Aviso de tarifa: proporciona información de la tarifa de llamada en progreso ya que hay algunos tramos que paga el abonado que recibe la llamada.
- Llamada en espera: notificar al usuario a través del móvil que tiene una llamada que puede rechazar, contestar o ignorar.
- Multiconferencia: permite al abonado establecer una conversación desde tres a seis abonados al sistema.

### 1.2.9 Módulo de Identificación de Abonado (SIM)

Excepto por las llamadas de emergencia, las estaciones móviles sólo se pueden utilizar si contienen la tarjeta SIM válida, la figura 1.5 muestra varios módulos SIM de diferentes operadores . La estación móvil debe contener una función de seguridad para la autenticación de la identidad del usuario. La tarjeta almacena tres tipos de información relacionada con el abonado:



**SIM CARDS de varios operadores**

**Figura 1.5**

- Datos fijos que se almacenan antes que se venda la suscripción; por ejemplo la clave de autenticación y algoritmo de seguridad.
- Datos de red temporales
- Datos relativos al servicio. Por ejemplo preferencia de idioma y aviso de tarifa.

La tarjeta SIM (Subscriber Identity Module) contiene información para los operadores dentro de la red GSM. Esta información puede estar relacionada con el abonado específicamente con los servicios contratados a él e información relativa a la red móvil, como la localización. Existen almacenamientos de tipo obligatorio y opcional. En el almacenamiento obligatorio la tarjeta SIM contiene información administrativa para el funcionamiento del equipo. Como el modo de operación, identidad internacional del abonado, información sobre localización, medidor de tiempo, preferencias de idioma y por supuesto, el número de identificación del equipo en la red. La tarjeta SIM permite bloquear y prohibir las operaciones en la red GSM. Para desbloquearla, el usuario debe introducir la clave de desbloqueo.

### **1.2.10 Ventajas de GSM**

La arquitectura abierta de GSM ofrece una compatibilidad superior con sistemas, equipos y aplicaciones desarrolladas alrededor del mundo. Las principales ventajas y beneficios son:

1. Seguridad, privacidad y flexibilidad: a través de la tarjeta SIM que lleva cada teléfono, el usuario obtiene una mayor flexibilidad en la manera como usa sus teléfono sin perder la seguridad y privacidad de sus comunicaciones.
2. Innovación constante: los avances más populares e importantes en la comunicación así como en los servicios de valor agregado más exitosos se han dado en las redes GSM.
3. Roaming universal: en el futuro los fabricantes de teléfonos construirán unidades que puedan operar en todas las cuatro frecuencias brindándole una verdadera experiencia de roaming universal.
4. Terminales: los modelos GSM ofrecen más beneficios, funciones y diseños más atractivos. Estos celulares son más económicos comparados con los TDMA y CDMA, gracias a las economías de escala que otorga fabricar para el 70% de los suscriptores de telefonía celular del mundo.

### **1.2.11 Coexistencia de estándares**

Los principales problemas de coexistencia que nos podemos encontrar en la segunda generación, tendrán lugar entre los diferentes sistemas europeos, americano y asiático. Estos se solucionarán mediante tecnologías en los móviles conocidas como banda dual, Tribanda y Quatribanda. La banda dual permite las comunicaciones móviles en Europa. Las bandas que dan cobertura en Europa son la 900 y la 1800 mediante GSM, así hablamos de GSM 900 y GSM 1800. Usualmente la cobertura en 1800 MHz corresponde a las áreas urbanas mientras que la de 900 MHz corresponde a las suburbanas, esto se debe, a que la red GSM 900 tiene más alcance pero tiene menos capacidad de penetración, por eso es ideal para ser utilizada en espacios abiertos, y menos indicada en las ciudades o en zonas verticalmente urbanizadas.

La conmutación entre las dos redes se hace automáticamente cuando una de ellas está saturada o no posee cobertura suficiente. La banda GSM 900 está cada vez más saturada por lo que los dispositivos de banda dual poseen una ventaja respecto a los dispositivos GSM normales al poder conmutar a una segunda banda de comunicaciones.

La tecnología tribanda viene a extender las bandas de comunicación en telefonía móvil existentes al mercado Americano. En este caso, se añade a las anteriores la banda en 1900 MHz, con lo que los dispositivos tribanda funcionan a 900/1800/1900 MHz.

La tecnología quatribanda amplía la cobertura al Sureste asiático y Japón. Las anteriores frecuencias se amplían con GSM 850 MHz, de forma que los dispositivos Quatribanda operan a 850/900/1800/1900 MHz en redes GSM.

### 1.2.12 Los estándares americanos: CDMA y IS-54

#### IS-54

Los sistemas IS-54 añaden canales de tráfico digitales a un sistema EAMPS simplemente sustituyendo canales de tráfico analógicos existentes por canales digitales TDMA, por lo que las bandas de frecuencia son las mismas. Los equipos digitales operan paralelamente a los que funcionan según el sistema EAMPS y los dos sistemas disponen de un grupo de canales de control comunes a ambos modos de operación. Estos canales de control realizan funciones de difusión (broadcast) búsqueda (paging) y acceso.

Una vez realizado el acceso a la red a través del canal de control, la red reconoce el tipo de Terminal (dual si la estación trabajara con EAMPS y IS-54 a la vez) y le asignará un canal de tráfico DTC. Los canales digitales se constituyen sobre los canales originales de 30 KHz mediante la técnica de TDMA dando lugar a tres DTC. Si no hay disponible ningún DTC la red le podrá asignar un canal analógico FVC/RVC.

Existen dos versiones de intervalos de tiempo en este estándar, una para el canal ascendente y otra para el descendente. Existe una tercera modalidad denominada ráfaga abreviada que será utilizada por los móviles en sus intentos iniciales de acceso a la red. La voz es codificada mediante un algoritmo CELP (Code Excited Linear Predictive Coding). Los bits de tráfico serán 260 por intervalo de tiempo y se ubican en tres lugares.

La modulación utilizada por este estándar será la FSK para los canales de control dado que no se produce variación con respecto del sistema AMPS original. En cambio para los canales de tráfico (DTC) se utiliza una modulación  $\pi/4$ -DPSK donde se transmiten 2bits/símbolo por lo cual es una modulación con buena eficiencia espectral. Las transiciones no pasan por el centro del diagrama lo cual facilita la construcción de los amplificadores. Al producirse una transición de fase la modulación incluirá abundante información de sincronización.

#### CDMA

Es una técnica que emplea una serie de códigos especiales para proporcionar múltiples canales de comunicación dentro de un solo segmento dedicado del espectro electromagnético. Los actuales sistemas de telefonía celular dividen el ancho de banda disponible en canales que se distribuyen entre las diferentes celdas que componen el sistema. En CDMA la división de los distintos canales de comunicación se realiza empleando diferentes códigos dentro de una misma porción de espectro con un ancho de banda mucho mayor que el de un sistema convencional. Este objetivo se consigue mediante una técnica denominada espectro ensanchado (spread spectrum), la cual fue empleada por primera vez en el año 1949 y cuya aplicación ha venido siendo fundamentalmente de tipo militar.

En CDMA las señales pueden ser recibidas en presencia de niveles muy altos de interferencia. Aunque el límite práctico depende de las condiciones del canal, la recepción puede tener lugar en presencia de señales interferentes 18dB por encima del nivel de la señal deseada. Debido a esta característica, los canales disponibles se pueden reutilizar en todos los sectores de todas las celdas. La mitad de la interferencia total provendrá de la propia celda y la otra mitad provendrá de las celdas adyacentes, encontrándose todas ellas operando en la misma frecuencia.

CDMA utiliza una velocidad básica de 9600 bits/s en cada canal de comunicación. Esta velocidad es incrementada hasta los 1,2288 Mbits/s que se emplean para transmitir la señal por el canal de radio. La señal es transmitida utilizando QPSK. Estos 9600 bits/s empleados por este sistema incluyen tanto la transmisión de la voz codificada como la señalización y la codificación para corrección de errores.

CDMA utiliza una serie de técnicas de diversidad que se clasifican en:

**Diversidad espacial:** consiste en emplear más de una antena en la estación base. Junto con ésta se emplea lo que se conoce como traspaso sin ruptura que consiste en que antes de que del traspaso de la llamada de una celda a otra, ambas mantendrán el enlace con el móvil de manera simultánea.

**Diversidad en frecuencia:** en un entorno con multitrajecto aparecen desvanecimientos de la señal que en el dominio de la frecuencia aparecen como filtros de ranura. El ancho de banda de frecuencia puede variar siendo suficiente para afectar a 10 canales analógicos pero sólo se elimina el 25% de CDMA.

**Diversidad en el tiempo:** existen dos formas, en la primera de ellas se utiliza un receptor RAKE que está formado por varias ramas que incluyen un retardo variable. Variando el retardo se consigue que la señales con diversidad en el tiempo se combinen de manera óptima. La segunda forma es usando códigos de corrección de errores seguidos de entrelazado. La pérdida de bits tiende a estar agrupada en el tiempo mientras que los algoritmos de corrección de errores funcionan mejor con los bits distribuidos. El entrelazado ayuda a la aleatorización de estos bits.

En CDMA un aumento de la potencia transmitida por un móvil afecta a todas las demás comunicaciones debido a que se incrementa la interferencia experimentada por las señales de todos los demás usuarios.

CDMA intenta que todas las señales lleguen con la misma potencia usando dos formas de control: bucle abierto o bucle cerrado. La primera se emplea para cuando la señal recibida por el móvil es alta reducirla y si es baja aumentarla. La segunda de las formas consiste en una realimentación activa desde la estación base indicando al móvil que aumente o disminuya la frecuencia.

### **Diferencias de CDMA con sistemas analógicos y digitales**

Todos los usuarios comparten la misma frecuencia. Para un sistema completamente cargado se pueden soportar hasta 35 comunicaciones en una misma frecuencia. Los canales son dúplex a dos frecuencias con un ancho de banda aproximadamente 1,23MHz separados 45MHz ambos sentidos de transmisión. La banda utilizada es de la 800MHz. En las estaciones base sólo es necesario un transmisor/receptor por cada celda o sector.

Los distintos canales de comunicación se diferencian por el código empleado. No es necesario realizar una planificación de frecuencias como en los sistemas celulares convencionales.

El límite del sistema no es estricto, es decir, la aparición de nuevos usuarios añade más interferencia al sistema lo cual provoca una mayor tasa de error en todas las comunicaciones. También el sistema CDMA se beneficia del ciclo de actividad de la voz lo cual provoca un considerable incremento respecto de la capacidad teórica del sistema, evaluada para un ciclo de actividad vocal.

### **Comparación de CDMA respecto a GSM**

CDMA es la base del sistema IS-95 desarrollado por Qualcomm. El área de cobertura de IS-95 depende del número de usuarios activos (carga de cada celda). Esto significa que el tamaño de la celda en un sistema IS-95 CDMA decae a medida que el número de usuarios se incrementa.

El mayor sustento para CDMA ha sido su incremento en capacidad. Este importante requisito puede ser logrado a través de un acceso múltiple eficiente, codificación adecuada y tipo de modulación. Los límites de la cantidad de la celda son impuestos por la cantidad del espectro disponible y por el grado de interferencia de canales.

### **El estándar japonés**

El estándar japonés PDC utiliza un sistema TDMA con tres ranuras de tiempo como IS-54. También se usa un eficiente método de codificación de palabra: VSELP con el resultado de un flujo de bits de 11,2kBit/s incluyendo el canal de codificación. Las tres ranuras de tiempo resultan de velocidad de modulación de 42 nbits/S y una anchura de canal de 25kHz. Esto proporciona una alta eficiencia en el espectro y de acuerdo con algunos especialistas no japoneses, más del doble de buena que en GSM. En este estándar la estación base y los terminales móviles usan diversidad de antena, de esta manera se ha hecho un intento para evitar el uso de ecualizadores complicados (como en GSM y D-AMPS). Los servicios de voz y datos trabajan a 9,6 kbits/s y se pensó en utilizar un servicio de conmutación de paquetes pero al final no ha sido implementado.

Se pueden usar dos bandas de frecuencias: la de 800MHz y la de 1,5GHz. Existen dos secciones de 16MHz disponibles en la primera de ellas y se usa una frecuencia dúplex de 130 MHz. En la banda superior 1,5GHz se usan dos áreas comprimiendo un total de 24MHz. Aquí la frecuencia dúplex es de 48MHz. Para un futuro se está pensando la posibilidad de utilizar seis ranuras de tiempo que proporcionará al sistema del doble de capacidad y de un servicio de datos más rápido.

## **1.3 Generación 2.5**

### **1.3.1 GPRS**

Hoy en día el número de usuarios de telefonía móvil y de Internet ha crecido impresionantemente, por eso surgió la necesidad de fusionar ambas redes. GPRS (Global Packet Radio Service) está basado en GSM que surgió para dar solución a los problemas que había en la primera generación de telefonía móvil.

GPRS es una nueva tecnología que comparte el rango de frecuencias de la red GSM utilizando una transmisión de datos por medio de 'paquetes', al contrario de GSM que utiliza conmutación de circuitos. La conmutación de paquetes es un procedimiento más adecuado para transmitir datos, hasta ahora los datos se habían transmitido mediante conmutación de circuitos, procedimiento más adecuado para la transmisión de voz.

#### **Propiedades de GPRS**

Las dos características principales de la tecnología GPRS son:

1. Los canales se comparten entre varios usuarios: En GPRS los canales de comunicación se comparten entre los distintos usuarios dinámicamente, de modo que un usuario sólo tiene asignado un canal cuando se está realmente transmitiendo datos. Para utilizar GPRS se precisa un teléfono que soporte esta tecnología. La mayoría de estos terminales soportarán también GSM, por lo que podrá realizar sus llamadas de voz utilizando la red GSM de modo habitual y sus llamadas de datos (conexión a Internet, WAP,...) tanto con GSM como con GPRS.
2. Obtiene mayor velocidad y eficiencia de la red: Tradicionalmente la transmisión de datos inalámbrica se ha venido realizando utilizando un canal dedicado GSM a una velocidad máxima de 9.6 Kbps. Con el GPRS no sólo la velocidad de transmisión de datos se ve aumentada hasta un mínimo 40 Kbps y un máximo de 115 Kbps por comunicación, sino que además la tecnología utilizada permite compartir cada canal por varios usuarios, mejorando así la eficiencia en la utilización de los recursos de red.

**1.3.2 Arquitectura GPRS**

Para integrar las redes GPRS sobre las arquitecturas GSM existentes un nuevo tipo de nodos son introduciendo una nueva clase de nodos, llamados nodos de soporte GPRS (GSN). Estos nodos son los responsables de enrutar y entregar los paquetes de datos entre estaciones móviles y redes de paquetes de datos externas (PDN).

El servicio de soporte de nodos GPRS (SGSN) es el encargado de elegir los paquetes de datos desde y hacia las estaciones móviles sin su servicio de área. Su táctica incluye transferencia y rutado de paquetes, gestión de la movilidad, gestión lógica del link y autenticación. El registro de información del SGSN almacena información de localización y perfiles de usuario de todos los usuarios registrados a la SGSN. La figura 1.6 muestra la integración de GPRS a GSM.

✓ Plano de Transmisión

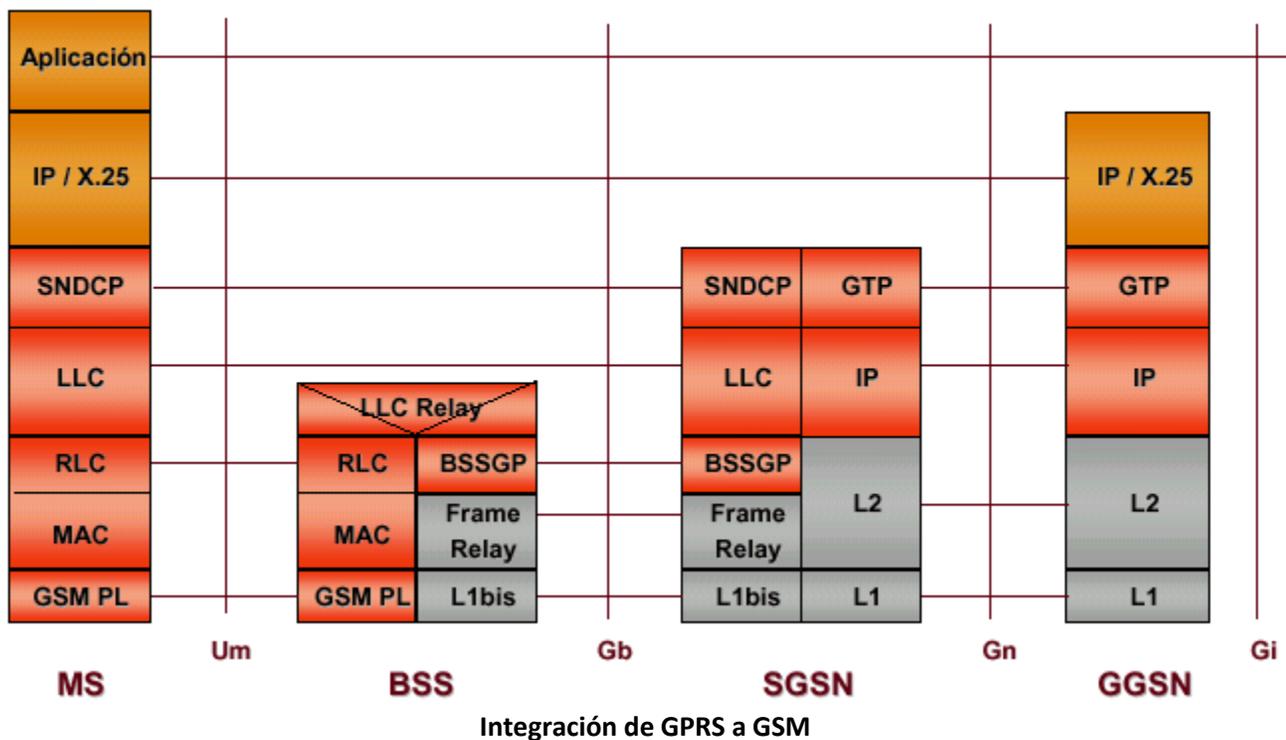


Figura 1.6

Un nodo de soporte GPRS pasarela (GGSN) actúa como una interfaz entre la red tronca GPRS y las redes de paquetes de datos externas. Convierte los paquetes GPRS entrantes de la SGSN en los correspondientes formatos para los paquetes de datos de control (PDP), y envía fuera a la correspondiente red paquetes de datos. En otra parte, las entradas PDP de los paquetes de datos entrantes son convertidas a la dirección del usuario GSM. Allí los paquetes diseccionados son enviados a la SGSN responsable, por esta razón la GGSN almacena la dirección de la SGSN del usuario y de su perfil en su registro de localización.

El interfaz Gb conecta la estación base de control (BSC) con el SGSN. A través de los interfaces Gn y Gp los datos de usuario y las señales de dato son transmitidas entre os GSN. Gn será usado si SGSN y GGSN están situados en la misma PLMN, mientras que e interfaz Gp será utilizado si las PLMN son diferentes. Todas las GSN se interconectan utilizando una red troncal IP-based GPRS (Inter PLMN GPRS). Con esta troncal las GSN encapsulan los paquetes PDN y los transmiten usando GTP (GPRS tunneling protocol). Existen dos tipos de troncal GPRS: Redes troncales Intra-PLMN conectan GSN a la misma PLMN y son por tanto redes IP-Based del proveedor de GPRS.

Redes troncales Inter-PLMN conectan GSN a diferentes PLMN. Un acuerdo de roaming entre dos proveedores de red GPRS es necesario para instalar este tipo de redes.

Los HLR almacenan el perfil de usuario, de la SGSN en curso, la dirección PDP para cada usuario de la PLMN. El interfaz Gr se usa para intercambiar información entre HLR y SGSN

### **Pila de protocolos del plano de transmisión**

El plano de transmisión es el encargado de proveer la transmisión de los datos del usuario y su señalización para el control de flujo, detección de errores y la corrección de los mismos.

**GTP: GPRS Tunneling Protocol.** Es el encargado de transportar los paquetes del usuario y sus señales relacionadas entre los nodos de soporte de GPRS (GSN). Los paquetes GTP contiene los paquetes IP o X.25 del usuario. Por debajo de él, los protocolos estándares TCP o UDP se encargan de transportar los paquetes por la red. Resumiendo, en el Backbone del GPRS tenemos una arquitectura de transporte IP/X.25-sobre-GTP-sobre-UDP/TCP-sobre IP.

**SNDCP: Subnetwork Dependent Convergence Protocol.** Es el encargado de transferir los paquetes de datos entre los SGSN (nodo responsable de la entrega de paquetes al terminal móvil) y la estación móvil. Las funciones que desempeña:

- Multiplexación de diversas conexiones de la capa de red en una conexión lógica virtual de la capa LLC.
- Compresión y descompresión de los datos e información redundante de cabecera.

**AIR INTERFACE:** Concierno a las comunicaciones entre la estación móvil y la BSS en los protocolos de las capas física, MAC, y RLC.

Las subcapas RLC/MAC permiten una eficiente multiplexación multiusuario en los canales de paquetes de datos compartidos, y utiliza un protocolo ARQ selectivo para transmisiones seguras a través del interfaz aire. El canal físico dedicado para tráfico en modo paquete se llama PDCH (Packet Data Channel).

**DATA LINK LAYER:** Capa de enlace de datos. Se encuentra entre la estación móvil (el móvil GPRS en sí) y la red.

Se subdivide en:

La capa LLC (entre MS-SGSN): Provee un enlace altamente fiable y esta basado en el protocolo DIC e incluye control de secuencia, entrega en orden, control de flujo, detección de errores de transmisión y retransmisión.

La capa RLC/MAC (entre MS-BSS): Incluye dos funciones. El principal propósito de la capa de Control de Radio Enlace (RLC) es la de establecer un enlace fiable. Esto incluye la segmentación y reensamblado de las tramas LLC en bloques de datos RLC y ARQ (peticiones de retransmisión) de códigos incorregibles. La capa MAC controla los intentos de acceder de un MS a un canal de radio compartido por varios MS. Emplea algoritmos de resolución de contenciones, multiplexación de multiusuarios y prioridades según la QoS contratada.

**PHYSICAL LAYER:** Capa física entre MS y BSS. También se subdivide en dos subcapas.

La capa del enlace físico (PLL) provee un canal físico. Sus tareas incluyen la codificación del canal (detección de errores de transmisión, corrección adelantada (FEC), indicación de códigos incorregibles), interleaving y la detección de congestión del enlace físico.

La capa de enlace de radio frecuencia (RFL) trabaja por debajo de la PLL e incluye la modulación y la demodulación.

**INTERFAZ BSS-SGSN:** El protocolo de aplicación BSS GPRS (BSSGP) se encarga del enrutado y lo relativo a la información de la QoS entre BSS y SGSN. El servicio de red (NS) está basado en el protocolo de Frame Relay.

### **1.3.3 Mejoras de GPRS frente a GSM**

Como ya sabemos GPRS está basado en GSM, con el resultado de unas series de mejoras como las que se describen a continuación:

- Velocidad de transferencia mayor que en GSM, hasta 144Kbps.
- Conexión permanente: Tiempo de establecimiento de conexión inferior al segundo.
- Pago por cantidad de información transmitida, no por tiempo de conexión.

### **Ventajas de GPRS**

A continuación se citarán una serie de ventajas que ofrece tanto para el cliente como para la operadora que ofrece el servicio:

- Always connected: un usuario puede estar conectado todo el tiempo que desee, puesto que no hace uso de recursos de red, mientras no esté recibiendo ni transmitiendo datos.
- Tarificación por datos transmitidos no por tiempo.
- Coste nulo de establecimiento de la transmisión.
- Mayor velocidad de transmisión ya que se pueden tener varios canales asignados para la transmisión.
- Posibilidad de recibir o realizar llamadas mientras se está conectado o utilizando cualquiera de los servicios disponibles.
- Modo de transmisión asimétrico tendrá cuatro veces mayor capacidad de transmisión de bajada que de subida.
- Uso eficiente de los recursos de red ya que los usuarios ocupan los recursos de la red en el momento en que se están transmitiendo o recibiendo datos y además se pueden compartir los canales de comunicación entre los diferentes usuarios.

### **Servicios que proporciona GPRS al usuario**

- Los servicios que obtendrá un usuario de este sistema serían los equivalentes a tener un PC conectado a Internet, siendo este de tamaño bolsillo. Los principales servicios que ofrece son:
- Acceder en movilidad a Internet y al correo electrónico. GPRS permite acceder en movilidad a todas las facilidades de Internet usando el Terminal GPRS como módem.
- Acceder con facilidad a la intranet corporativa
- Acceso a cuentas de correo corporativas (intranet)
- Acceso a bases de datos y aplicaciones corporativas desde un dispositivo móvil
- Acceso GPRS a aplicaciones WAP para usos empresariales (a través del servicio WAP).
- Acceso a servicios de información (a través del servicio WAP).

Dado el gran éxito experimentado por los mensajes cortos (SMS: Short Messaging Service) aparecen dos nuevas plataformas para el envío de mensajes: EMS y MMS.

**EMS:** Los mensajes EMS nacen como la posibilidad de enviar no sólo texto, sino además ciertos contenidos multimedia. Entre sus características principales podemos ver que admiten tanto texto (ahora con posibilidades de formato y justificación) como sonidos (predefinidos o propios y con una longitud máxima de 128 bytes), imágenes (con múltiples formatos) y animaciones. Este nuevo tipo de mensajes utilizan la misma infraestructura que su predecesor, el SMS, lo cual permite que hoy en día ya hayan aparecido ciertas tecnologías propietarias y terminales que los soportan, como son los teléfonos Nokia. Este fabricante de móviles ha desarrollado el Nokia Smart Messaging, gracias a la cual se pueden descargar melodías de la red, así como logos y animaciones. A pesar de sus limitaciones, éste es ya un paso hacia adelante hacia lo que serían los MMS

**MMS:** El MMS nace como un formato con miras a ser compatible en todo lo posible hacia adelante. No es así hacia atrás, pues como vemos, al utilizar nuevos protocolos internet para el envío de mensajes, como son en SMTP o MIME ya se desmarca totalmente de sus predecesores. Además, estos mensajes serán transferidos como datos, y no por el canal de señalización como se ha hecho hasta ahora.

### 1.3.4 EDGE

EDGE (Enhanced data rates for Global Evolution) es una estándar de móvil de datos de alta velocidad. Permite conseguir transmisiones de datos a velocidades de 384kbps cuando todas las ranuras de datos son usadas. Esto significa una tasa máxima de bit 48 kbps para cada ranura, pudiendo incluso conseguir velocidades mayores si las condiciones son buenas.

EDGE fue inicialmente desarrollado para operadores de redes móviles que fracasaron en ganar espectro a UMTS. EDGE da la posibilidad de ofrecer datos de servicio a velocidades cercanas a aquellas que ofrece las redes UMTS.

La implementación de los operadores de red de EDGE han sido diseñados para ser simples. Únicamente cada unidad de transmisión se necesitará para ser instalada en cada celda. La capacidad del transmisor del nuevo EDGE puede manejar el estándar de tráfico de GSM conmutará a EDGE cuando sea necesario. Terminales capaces EDGE se necesitarán porque existen terminales GSM que no soportan las nuevas tecnologías y necesitarán ser mejoradas para usar las funcionalidades de las redes EDGE. Se espera que algunos terminales soporten grandes tasas de datos en el link de bajada, mientras que otros accederán tanto en el link de subida como en el de bajada. Más tarde la industria introdujo lo que se llama el Compact EDGE. Esto es una versión del efecto eficiente de EDGE que soportará tasas de datos de 384 kbits pero que sólo requerirá de una parte del espectro pequeña y por tanto podría trabajar con partes del espectro limitadas. De todo esto surgió el EDGE con evolución TDMA.

### 1.3.5 HSCSD

HSCSD o High Speed Circuit Switched Data proporciona a un usuario el poder acceder a varios canales a la vez. Como tal, hay una conexión directa entre la mayor velocidad y los costes asociados de usar más recursos de radio (es caro para los usuarios finales tener que pagar por múltiples llamadas).

La transmisión estándar de un sistema de conmutación de paquetes es de 14.4 Kbps mientras que usando HSCSD tenemos 57.6 Kbps. Esto es equivalente que proporcionar la misma tasa de transmisión como hay disponible en un canal ISDN-B. Algunos centros de conmutación móvil tiene limitados a 64 kbps la máxima velocidad (restricción que no existe en GPRS).

En sistemas donde se encuentra desarrollado HSCSD, GPRS ocupa el tercer lugar en cuanto prioridad, donde el primer lugar es para la voz y la segunda para HSCSD. Puede ser utilizado para realizar llamadas, de tal manera que las llamadas HSCSD pueden ser reducidas a un solo canal si las llamadas buscan ocupar este canal. HSCSD no afecta a disponibilidad del servicio de voz pero se la afecta. Es difícil ver como HSCSD puede ser desarrollado en redes ocupar y todavía otorgar un buen servicio al usuario con una tasa de datos continua alta. HSCSD es además el más indicado en aquellas redes nuevas o aquellas con suficiente capacidad compartida. Sin embargo HSCSD es mucho más fácil de implementar que GPRS porque algunos vendedores de GSM requieren un software mejorado para estaciones base y no un nuevo hardware.

Existen un par de razones de porque HSCSD debería ser prioritario con respecto a GPRS. El hecho es que los paquetes asociados pueden ser enviados en diferentes direcciones para llegar al mismo destino debería hacer de la transmisión más segura ya que hay diferentes maneras de llegar al usuario final. Sin embargo esta naturaleza de los paquetes de transmisión, significa que los paquetes están sujetos a retraso variable y algunos pueden sufrir pérdidas. Mientras que la retransmisión de paquetes está incorporada en los estándares GPRS, por supuesto esto toma tiempo y en el caso de las aplicaciones de transmisión de video pueden causar peor calidad de imagen.

Otra razón de por qué es mejor utilizar HSCSD podría ser el caso en mientras GPRS es complementario para las comunicaciones con redes basadas en paquetes como Internet, HSCSD puede ser la mejor manera de comunicar con otras comunicaciones de conmutación de circuitos como puede ser PLMN y ISDN. Nokia utiliza HSCSD con cierto éxito.

### 1.4 Tercera generación 3G

La tercera generación (3G) se caracteriza por contener a la convergencia de voz y datos con acceso inalámbrico a Internet; en otras palabras, es apta para aplicaciones multimedia y altas transmisiones de datos. Los protocolos empleados en los sistemas 3G soportan altas velocidades de información y están enfocados para aplicaciones más allá de la voz como audio (mp3), video en movimiento, videoconferencia y acceso rápido a Internet, sólo por nombrar algunos. Las redes de tercera generación empezaron a operar en el 2001 en Japón, por NTT DoCoMo; en Europa y parte de Asia en el 2002, posteriormente en Estados Unidos y otros países.

Asimismo, en un futuro próximo los sistemas 3G alcanzarán velocidades de hasta 384 kbps, permitiendo una movilidad total a usuarios, viajando a 120 kilómetros por hora en ambientes exteriores. También alcanzará una velocidad máxima de 2 Mbps, permitiendo una movilidad limitada a usuarios, caminando a menos de 10 kilómetros por hora en ambientes estacionarios de corto alcance o en interiores. La figura 1.7 muestra la evolución en los estándares de telefonía hasta llegar a 3G.



Evolucion de estandares hacia 3G.

Figura 1.7

En relación a las predicciones sobre la cantidad de usuarios que podría albergar 3G, The Yankee Group anticipaba que para el 2004 habría más de 1,150 millones en el mundo, comparados con los 700 millones que hubo en el 2000.

Dichas cifras nos anticipan un gran número de capital involucrado en la telefonía inalámbrica, lo que con mayor razón las compañías fabricantes de tecnología, así como los proveedores de servicios de telecomunicaciones estarán dispuestos a invertir su capital en esta nueva aventura llamada 3G.

### 1.4.1 EV-DO

EV-DO (de las siglas inglesas *Evolution-Data Optimized* o *Evolution-Data Only*), abreviado a menudo **EV**, es un estándar de telecomunicaciones para la transmisión inalámbrica de datos a través de redes de telefonía celular evolucionadas desde IS-95 (cdmaONE).

EV-DO está clasificado como un acceso de banda ancha y utiliza técnicas de multiplexación como CDMA (*Code Division Multiple Access*) y FDD (*Frequency Division Duplex*) para maximizar la cantidad de información transmitida. Es un estándar del grupo 3GPP2 que pertenece a la familia CDMA2000 y ha sido adoptado por muchos proveedores a nivel mundial, sobre todo en el continente Americano, particularmente por aquellos que ya contaban con redes IS-95/cdmaONE (en competencia con las redes GSM).

EV-DO en redes CDMA2000 es significativamente más rápido que EDGE (Enhanced Data rates for GSM of Evolution, Tasas de Datos Mejoradas para la evolución de GSM) utilizado en redes GSM. Provee acceso a dispositivos móviles con velocidades hasta de 2.4 Mbit/s con Rev. 0 y hasta 3.1 Mbit/s con Rev. A.

Existen varias revisiones del estándar, numeradas alfabéticamente y comenzando con el primero como *Rev. 0* y posteriormente como *Rev. A*.

#### Rev. 0

---

El diseño inicial de EV-DO fue desarrollado por Qualcomm en 1999 para cumplir con los requerimientos del IMT-2000 para obtener un enlace para descarga en comunicaciones estacionarias mayor a los 2Mbit/s opuesto a las comunicaciones móviles como un teléfono celular. Inicialmente, el estándar fue llamando HDR High Data Rate, pero fue renombrado a 1xEV-DO después de que fue rectificado por el International Telecommunication Union (ITU); se le fue asignado la denominación numérica IS-856. Originalmente, 1xEV-DO se refería a "1x Evolution-Data Only", apuntando a que es una evolución directa de 1x (1xRTT), cuyos canales sólo transportan tráfico de datos.

Después, seguramente por las connotaciones negativas de la palabra "sólo" (only), las siglas "DO" que forman parte en el nombre del estándar 1xEV-DO fue cambiado a "Optimizado para Datos" (Data Optimized). Así, EvDO ahora significa "Evolution-Data Optimized", y el prefijo "1x" ha sido abandonado por la mayoría de los carriers, que sólo lo llaman Ev-DO.

#### Rev. A

---

Rev. A ofrece una creación más rápida de paquetes en ambos enlaces, subida y bajada (upload y download) a través de interfaz inalámbrica que reduce la intermitencia y mejora las tasas de envío. Además al incremento máximo en el enlace de bajada de 2.45Mbit/s a 3.1 Mbit/s, Rev. A cuenta con una mejora sustancial en el enlace de subida, de 153 Kbit/s a un máximo de subida de 1.8 Mbit/s.

EVDO Rev. A ha sido desarrollado y lanzado comercialmente en Nueva Zelanda por Telecom New Zealand, en Japón por KDDI, en Estados Unidos por Sprint Nextel y Verizon Wireless, en Canadá por Bell Mobility y Telus Mobility, en República Checa por U:fon, en Ucrania por PEOPLEnet, en Russia por Skylink y en Latinoamérica por Iusacell en México que también está preparando su lanzamiento comercial.

Aquí están algunos resultados mundiales de velocidades EVDO Rev. 0 y Rev. A:

Sprint Nextel y Verizon Wireless.

Rev B

---

EvDO Rev. B es la evolución progresiva de la especificación Rev. A. Mantiene las capacidades de Rev. A y provee las siguientes mejoras:

- Más velocidad en los enlaces de bajada (Hasta 4.9 Mbit/s por operador). Implementaciones típicas incluyen tres operadores para un pico teórico máximo de 14.7 Mbit/s.
- Provee mayores tasas de transferencia compactando múltiples canales, mejora la experiencia de usuario y provee nuevos servicios como streaming para video de alta definición.
- Aprovecha más eficazmente el uso de la batería incrementando el tiempo de uso y de espera del terminal.
- Menos Interferencias entre el usuario y la celda mediante la Reutilización Híbrida de la Frecuencia.
- Aumenta la eficiencia del soporte para servicios que tienen requerimientos asimétricos de transmisión como intercambio de archivos, navegación web y entrega de archivos multimedia por banda ancha.

Se puede ver un video en inglés demostrando las capacidades de Rev. B.

Estándares de Competencia Potencial

---

Motorola propuso un nuevo sistema llamado 1Xtreme como una evolución de CDMA2000, pero fue rechazado por el 3GPP2. Después un estándar competidor llamado EV-DV desarrollado por Qualcomm, Lucent, Nokia, Motorola, etc.. fue propuesto a 3GPP2 como una evolución alterna a CDMA. EV-DV significa "Evolution-Data y Voice" (Evolución de Datos y Voz", desde que la estructura de los canales era compatible en reversa con IS-95 e IS-2000 (1xRTT) permitiendo una implementación sobre la misma red, Ev-DO requiere una capa de red adicional cuando se implementa en modo mixto.

En ese tiempo, hubo mucho debate con respecto a DV y DO. Los operadores tradicionales con una red existente de voz preferían la implementación con DV, ya que no requería una capa adicional. Otros ingenieros en diseño y operadores con redes 1X para voz preferían EvDO porque no requería ser compatible en reversa y con ello se podía explorar diferentes estructuras piloto y mejor control sobre canales, etc. Además el costo de la red era menor, ya que EvDO utiliza una red IP y no requiere una red SS7 así como complejos switches como el "mobile switching center" (MSC). El equipo no estaba disponible para EV-DV en el tiempo que se requería y cuando el mercado lo estaba solicitando. Como resultado, el estándar EV-DV era menos atractivo para los operadores y no ha sido implementado. Verizon Wireless, y después Sprint Nextel así como algunos operadores menores se pronunciaron a favor de implementar EvDo, así que en Marzo del 2005, Qualcomm suspendió el desarrollo de chipsets EV-DV y se centralizó en mejorar la línea de producto de EVDO.

Varios operadores están cambiando a sus clientes a redes HSDPA. En Australia, Telstra anunció la terminación de su red EvDO y comenzó a migrar a sus clientes a su red más rápida HSDPA. En Corea del Sur, KTF y SK Telecom detuvieron la investigación sobre sus redes CDMA2000 y a principios del 2007 comenzó su transición comercial a las nuevas redes HSDPA.

### Aplicaciones Comerciales de EvDO

---

- BroadBand Access Servicio de Verizon Wireless en Estados Unidos
- Broadband Direct Servicio de Sprint en Estados Unidos
- BAM Banda Ancha Inalámbrica en Mexico
- ZAP Servicio en Brasil
- Aba Movil servicio de banda ancha inalámbrica por cantv filiar de movilnet en venezuela bajo esta tecnología

#### **1.4.2 HSDPA**

La tecnología HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) es la optimización de la tecnología espectral UMTS/WCDMA, incluida en las especificaciones de 3GPP release 5 y consiste en un nuevo canal compartido en el enlace descendente (*downlink*) que mejora significativamente la capacidad máxima de transferencia de información hasta alcanzar tasas de 14 Mbps. Soporta tasas de *throughput* promedio cercanas a 1 Mbps

Es la evolución de la tercera generación (3G) de tecnología móvil, llamada 3.5G, y se considera el paso previo antes de la cuarta generación (4G), la futura integración de redes.

Es totalmente compatible en sentido inverso con WCDMA y aplicaciones ricas en multimedia desarrolladas para WCDMA funcionarán con HSDPA. La mayoría de los proveedores UMTS dan soporte a HSDPA.

## **Tecnología**

HSDPA lleva a las redes WCDMA a su máximo potencial en la prestación de servicios de banda ancha, mediante un aumento en la capacidad de datos celulares, con *throughput* más elevado. De la misma manera en que UMTS incrementa la eficiencia espectral en comparación con GPRS, HSDPA incrementa la eficiencia espectral en comparación con WCDMA. La eficiencia espectral y las velocidades aumentadas no sólo habilitan nuevas clases de aplicaciones, sino que además permite que la red sea utilizada simultáneamente por un número mayor de usuarios; HSDPA provee tres veces más capacidad que WCDMA. En cuanto a la interfaz de las aplicaciones en tiempo real tales como videoconferencia y juegos entre múltiples jugadores, actualiza a la tecnología WCDMA al acortar la latencia de la red (se prevén menos de 100 ms), brindando así mejores tiempos de respuesta.

Alcanza sus elevadas tasas de velocidad gracias al agregado de modulación de mayor orden (Modulación de Amplitud en Cuadratura 16 - 16 QAM), codificación variable de errores y redundancia incremental, así como la introducción de nuevas y potentes técnicas tales como programación rápida. Además, HSDPA emplea un eficiente mecanismo de programación para determinar qué usuario obtendrá recursos. Están programadas varias optimizaciones para HSDPA que aumentarán aún más las capacidades de UMTS/HSDPA, comenzando con un enlace ascendente optimizado (HSUPA), receptores avanzados y antenas inteligentes/MIMO.

Finalmente, comparte sus canales de alta velocidad entre los usuarios del mismo dominio de tiempo, lo que representa el enfoque más eficiente.

## **Implementación**

La mayoría de los operadores de 3G ofrecen esta tecnología en su red. La principal utilidad del servicio es acceso a internet con mayor ancho de banda y menor latencia. Esto permite navegar, hacer descargas de correo electrónico, música y vídeo a mayor velocidad. Los operadores han enfocado el servicio como un acceso móvil a Internet de banda ancha para ordenadores portátiles.

El principal objetivo de HSDPA es el de conseguir un ancho de banda mayor. La compatibilidad es crítica, así que los diseñadores de HSDPA utilizaron una filosofía evolutiva. HSDPA básicamente es igual a la versión 99 de UMTS (R99), con la adición de una entidad de repetition/scheduling dentro del Nodo-B que reside debajo de la capa de control de acceso al medio R99 (MAC). Las técnicas R99 se pueden soportar en una red HSDPA, puesto que los terminales móviles de HSDPA (llamados *User Equipment* o UE's) se diseñan para coexistir con R99 UE's.

Técnicamente, los principios operativos básicos de HSDPA son fáciles de entender. El RNC encamina los paquetes de datos destinados para un UE particular al Nodo-B apropiado. El Nodo-B toma los paquetes de datos y programa su transmisión al terminal móvil emparejando la prioridad del usuario y el ambiente de funcionamiento estimado del canal con un esquema apropiadamente elegido de codificación y de modulación (es decir, el 16QAM).

El UE es responsable de reconocer la llegada de los paquetes de datos y de proporcionar al Nodo-B información sobre el canal, control de energía, etc. Una vez que envíe el paquete de datos al UE, el Nodo-B espera un asentimiento. Si no recibe uno dentro de un tiempo prescrito, asume que el paquete de datos fue perdido y lo retransmite.

La base que procesa el chasis (CPC) es la piedra angular del Nodo-B. Contiene el transmisor-receptor de RF, el combinador, la tarjeta del interfaz de red y el control del sistema, la tarjeta de timing, la tarjeta del canal y la placa base. De estos elementos de CPC, solamente la tarjeta del canal necesita ser modificada para apoyar HSDPA.

La tarjeta típica del canal de UMTS abarca un procesador de uso general que maneja las tareas de control. En cambio para soportar HSDPA, se deben realizar dos cambios a la tarjeta del canal. Primero, la capacidad de chip del enlace descendente (downlink chip-rate ASIC, o ASSP) se debe modificar para apoyar los nuevos esquemas de la modulación 16QAM y los nuevos formatos de la ranura del enlace descendente asociados a HSDPA.

El siguiente cambio requiere una nueva sección de proceso, llamada el MAC-hs, que se debe agregar a la tarjeta del canal para apoyar el procesado, el buffer, la transmisión y la retransmisión de los bloques de datos que se reciben del RNC. Éste es el cambio más significativo a la tarjeta del canal porque requiere la introducción de una entidad de procesador programable junto con un buffer para retransmitir.

Finalmente, hay que añadir en la RNC un bloque denominado Mac-d, que establece la comunicación con el Nodo-B..

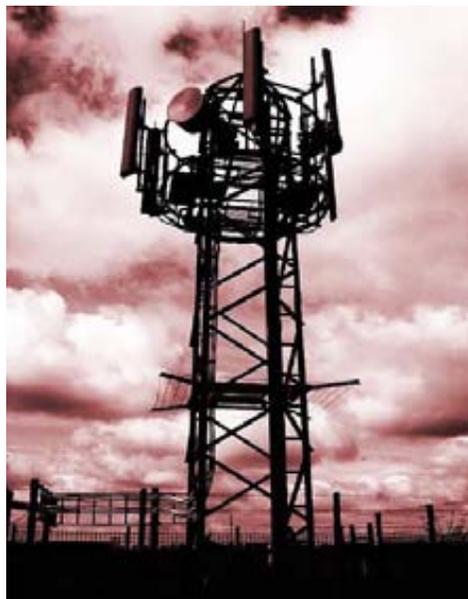
### **1.4.3 UMTS**

UMTS son las siglas de Universal Mobile Telecommunication System (Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles), un canal de comunicación en el que todo es nuevo: nuevas frecuencias, nuevos proveedores, nuevas infraestructuras básicas, nuevos teléfonos, etc. Es un nuevo sistema que revolucionará el mundo de la telefonía móvil. La figura 1.8 muestra una estación base UMTS.

Básicamente, los servicios de tercera generación combinan el acceso móvil de alta velocidad con los servicios basados en el Protocolo Internet (IP). Pero esto no sólo conlleva una conexión rápida con Internet, sino también realizar transacciones bancarias a través del teléfono, hacer compras o consultar todo tipo de información. Mientras que el sistema actual GSM (Sistema Internacional para Comunicaciones Móviles) y los terminales móviles están preparados para la transmisión rápida de datos de voz y texto, la red de tercera generación UMTS permitirá el trasvase de información multimedia a una velocidad de 2 Megabits por segundo.

Actualmente, transmitir 2 MB de vídeo a través de la red GSM cuesta media hora, mientras que con el sistema UMTS serán necesarios tan sólo 8 segundos. Permitirá estar conectado a la red de forma permanente sin pagar más que cuando se utilice el terminal para realizar una operación.

UMTS permitirá, por ejemplo, desde el coche y encendiendo el teléfono móvil navegar por Internet para acceder a nuestra cuenta bancaria, comprobar el estado de nuestras cuentas corrientes, pagar un par de facturas, ver una videoconferencia del presidente del banco o hablar con algún empleado del mismo.



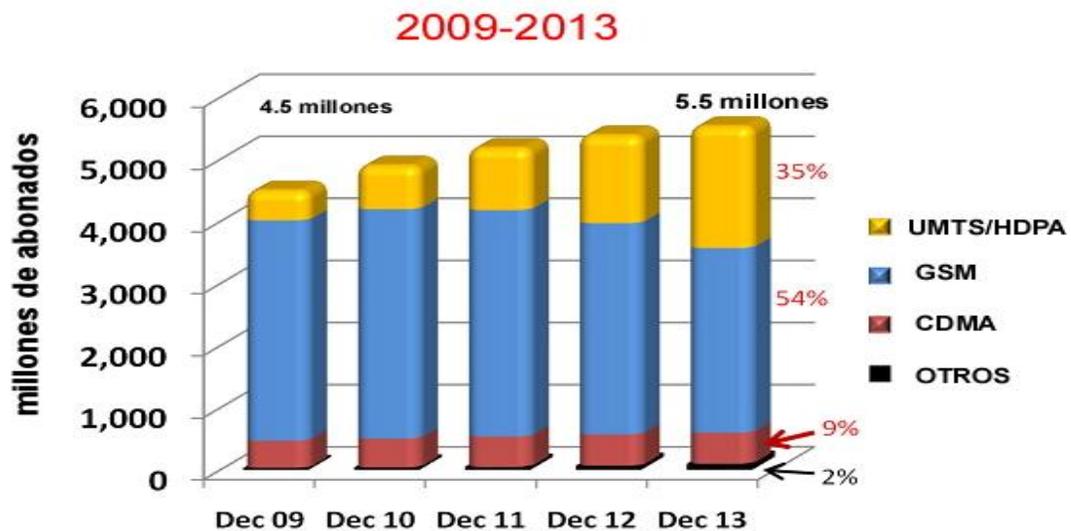
**Estación base UMTS**  
**Figura 1.8**

## 1.5 Tendencias tecnológicas de la telefonía inalámbrica.

### Evolución y convergencia tecnológica

La evolución del teléfono móvil ha permitido disminuir su tamaño y peso, desde ese primer teléfono móvil en 1983 que pesaba 780 gramos, a los actuales más compactos y con mayores prestaciones de servicio. El desarrollo de baterías más pequeñas y de mayor duración, pantallas más nítidas y de colores, la incorporación de software más amigable, hacen del teléfono móvil un elemento muy apreciado en la vida moderna.

El avance de la tecnología ha hecho que estos aparatos incorporen funciones que no hace mucho parecían futuristas, como juegos, reproducción de música MP3 y otros formatos, correo electrónico, SMS, agenda electrónica PDA, fotografía digital y video digital, videollamada, navegación por Internet y hasta Televisión digital. Las compañías de telefonía móvil ya están pensando nuevas aplicaciones para este pequeño aparato que nos acompaña a todas partes. Algunas de esas ideas son: medio de pago, localizador e identificador de personas. Siempre hay que tener en cuenta los grandes avances sufridos desde el primer teléfono móvil hasta el actual. La gráfica 1 muestra una proyección a cuatro años de la tendencia de los estándares de telefonía.



Proyección de los estándares de telefonía para el 2013.

Gráfica 1

### 1.5.1 Cuarta Generación 4G

Aún cuando la tercera generación todavía no está totalmente extendida a nivel mundial, ya se están haciendo estudios para el desarrollo de la cuarta generación de telefonía móvil.

A finales del año 2005 la empresa de telecomunicaciones japonesa NTT DoCoMo abrió un centro de investigación y desarrollo en la capital China, para desarrollar la cuarta generación. Se espera que esta tecnología sea capaz de transmitir datos a velocidades muy superiores a las de la tercera generación que recién se está instalando en muchos países. La tercera generación permite aplicaciones multimedia dentro de un rango que va de entrar los 384kbps y 2,4 Mbps, que se queda un poco pequeña para los 100Mbps que se espera llegar con la cuarta generación.

La otra gran ventaja de la 4G será la velocidad. Mientras que las redes 3G proporcionan 2 megabits por segundo, la 4G alcanzará desde 20 a 100 megabits por segundo en los tramos UMTS, e incluso un gigabyte en las redes locales y los *hotspots*. Gracias a ello podrán utilizarse varias aplicaciones de forma simultánea, como videoconferencias o reproducción de películas a través del móvil con la máxima resolución. Aunque la 4G empieza a asomar en las conferencias y debates especializados, ya existen operadoras y fabricantes que experimentan con ella, especialmente en Asia.

La 4G estará basada totalmente en IP siendo un sistema de sistemas y una red de redes, alcanzándose después de la convergencia entre las redes de cables e inalámbricas así como en ordenadores, dispositivos eléctricos y en tecnologías de la información así como con otras convergencias para proveer velocidades de acceso entre 100 Mbps en movimiento y 1 Gbps en reposo, manteniendo una calidad de servicio (QoS) de punta a punta (end-to-end) de alta seguridad para permitir ofrecer servicios de cualquier clase en cualquier momento, en cualquier lugar, con el mínimo coste posible.

El WWRF (Wireless World Research Forum) define 4G como una red que funcione en la tecnología de Internet, combinándola con otros usos y tecnologías tales como Wi-Fi y WiMAX\*. La 4G no es una tecnología o estándar definido, sino una colección de tecnologías y protocolos para permitir el máximo rendimiento de procesamiento con la red inalámbrica más barata. El IEEE aún no se ha pronunciado designando a la 4G como “más allá de la 3G”.

En Japón ya se está experimentando con las tecnologías de cuarta generación, estando NTT DoCoMo a la vanguardia. Esta empresa realizó las primeras pruebas con un éxito rotundo (alcanzó 100 Mbps a 200 km/h) y espera poder lanzar comercialmente los primeros servicios de 4G en el año 2010. En el resto del mundo se espera una implantación sobre el año 2020.

\* **WiMAX**, acrónimo de *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas), es una norma de transmisión por ondas de radio de última generación orientada a la última milla que permite la recepción de datos por microondas y retransmisión por ondas de radio (protocolo 802.16 MAN - Metropolitan Area NetWork, Red de Área Metropolitana) proporcionando acceso concurrente con varios repetidores de señal superpuestos, ofreciendo total cobertura en áreas de hasta 48 km de radio y a velocidades de hasta 70 Mbps, utilizando tecnología que no requiere visión directa con las estaciones base (a diferencia de las microondas). WiMax es un concepto parecido a Wi-Fi pero con mayor cobertura y ancho de banda.

El concepto de 4G englobado dentro de 'Beyond 3-G' incluye técnicas de avanzado rendimiento radio como MIMO y OFDM. Dos de los términos que definen la evolución de 3G, siguiendo la estandarización del 3GPP, serán LTE ('Long Term Evolution') para el acceso radio, y SAE ('Service Architecture Evolution') para la parte núcleo de la red. Como características principales tenemos:

- Para el acceso radio abandona el acceso tipo CDMA característico de UMTS.
- Uso de SDR (Software Defined Radios) para optimizar el acceso radio.
- La red completa prevista es todo IP.
- Las tasas de pico máximas previstas son de 100 Mbps en enlace descendente y 50 Mbps en enlace ascendente (con espectros en ambos sentidos de 20 Mhz).

Los nodos principales dentro de esta implementación son el 'Evolved Node B' (BTS evolucionada), y el 'System Access Gateway', que actuará también como interfaz a internet, conectado directamente al Evolved Node B. El servidor RRM será otro componente, utilizado para facilitar la inter-operabilidad con otras tecnologías.

## CAPITULO 2

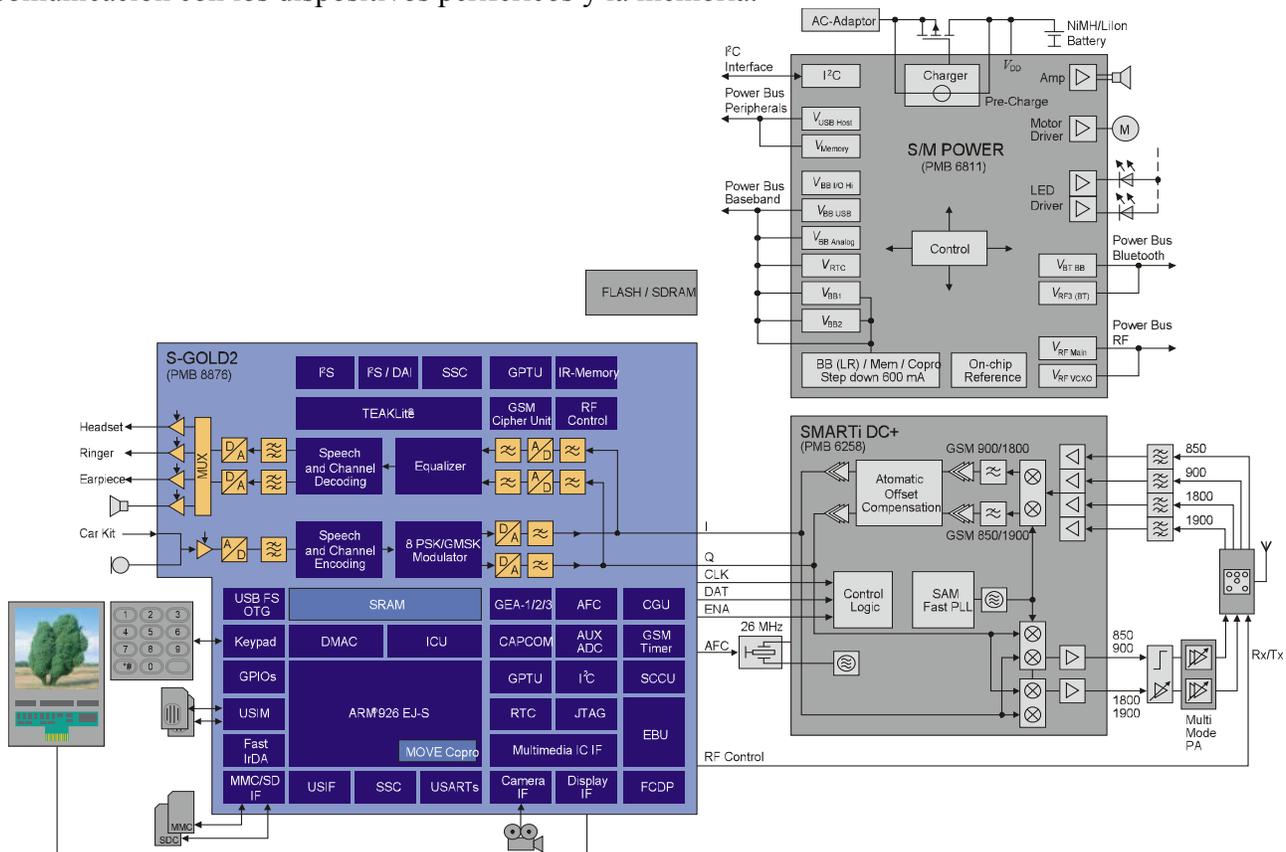
### Sistemas y subsistemas de teléfonos celulares

## CAPITULO 2

### Sistemas y subsistemas de teléfonos celulares

#### Introducción

Los diseñadores de teléfonos móviles emplean lo que es conocido como “chipsets”<sup>1</sup> (conjunto de circuitos integrados diseñados para trabajar juntos, generalmente incluidos en un solo encapsulado), actualmente las compañías Infineon Technologies, Analog Devices, Skyworks y Texas Instruments llevan la delantera en la fabricación de estos circuitos altamente integrados como se conocen. Para ejemplificar, la figura 2.1 muestra un ejemplo de una implementación para un teléfono móvil tecnología GSM/E-GPRS de Infineon Technologies con sus diferentes sistemas y subsistemas, en donde se pueden identificar el sistema de Banda base representado por el circuito integrado S-Gold2, el sistema de administración de energía representado por el circuito integrado PMB 6511 y el sistema de radiofrecuencia representado por la antena, el interruptor cuatribanda, el amplificador de potencia, el circuito integrado (Transceptor) PMB 6528, así como los dispositivos periféricos y la memoria. En este trabajo estudiaremos estos tres sistemas principales así como sus respectivos subsistemas y su comunicación con los dispositivos periféricos y la memoria.



Arquitectura propuesta para un teléfono tecnología GSM/E-GPRS por Infineon Technologies.  
 Figura 2.1

<sup>1</sup>: véase el anexo B: Hojas de especificaciones de circuitos integrados en los diferentes sistemas.

## 2.1 Sistema de energía o administración de energía.

Entre sus principales funciones el sistema de energía se encarga de recibir el voltaje de la batería y hacerlo llegar a sus propios subsistemas, así como a los sistemas de Banda base, Radiofrecuencia y dispositivos periféricos, estos a su vez serán capaces de generar voltajes auxiliares que servirán como la alimentación de otras etapas en cada uno de los sistemas, por otro lado el sistema de energía está encargado de controlar y regular la carga de la batería, para lograr todo esto los fabricantes emplean un chipset llamado “Administrador de energía” (PMIC).

Una de las funciones que se destacan en todo PMIC es la de generar los voltajes regulados lineales LDO (Low Drop Out), los LDO se emplean para alimentar la memoria eeprom, los dispositivos del sistema de radiofrecuencia como el transceptor, algunos subsistemas del sistema de Banda base como el procesador digital de señales (DSP), el microprocesador (ARM<sup>1</sup>) y algunos dispositivos periféricos como el módulo de bluetooth o el lector de tarjetas SD por citar un ejemplo.

El subsistema encargado de la carga de la batería generalmente es implementado para trabajar con baterías con química de Ion Litio (Li-ion), algunos de estos subsistemas pueden programar la corriente de carga para el uso de diferentes baterías es decir baterías con diferentes especificaciones en corriente y voltaje. Se fijan límites en los niveles de corriente.

Sin embargo hemos hablado de que los circuitos integrados (o chipset) para aplicaciones inalámbricas como actualmente son mayormente conocidos poseen un alto grado de integración de ahí que el PMIC realice muchas más funciones además de generar voltajes regulados y controlar la carga de la batería así que a continuación se describen otras de sus funciones y circuitos que posee. Se han incluido:

Amplificadores de audio con ganancia controlada (con capacidad de cambiar a opción enmudecer).

Un controlador para el vibrador.

Un subsistema de iluminación que posee un controlador para la intensidad de la iluminación del teclado.

Un controlador de leds para indicar el estado de precarga.

Protección contra altas temperaturas en operación.

Subsistema de control con funciones como:

Canales de interrupción programables para el manejo de dispositivos periféricos como la SIM Card, MMC o USB.

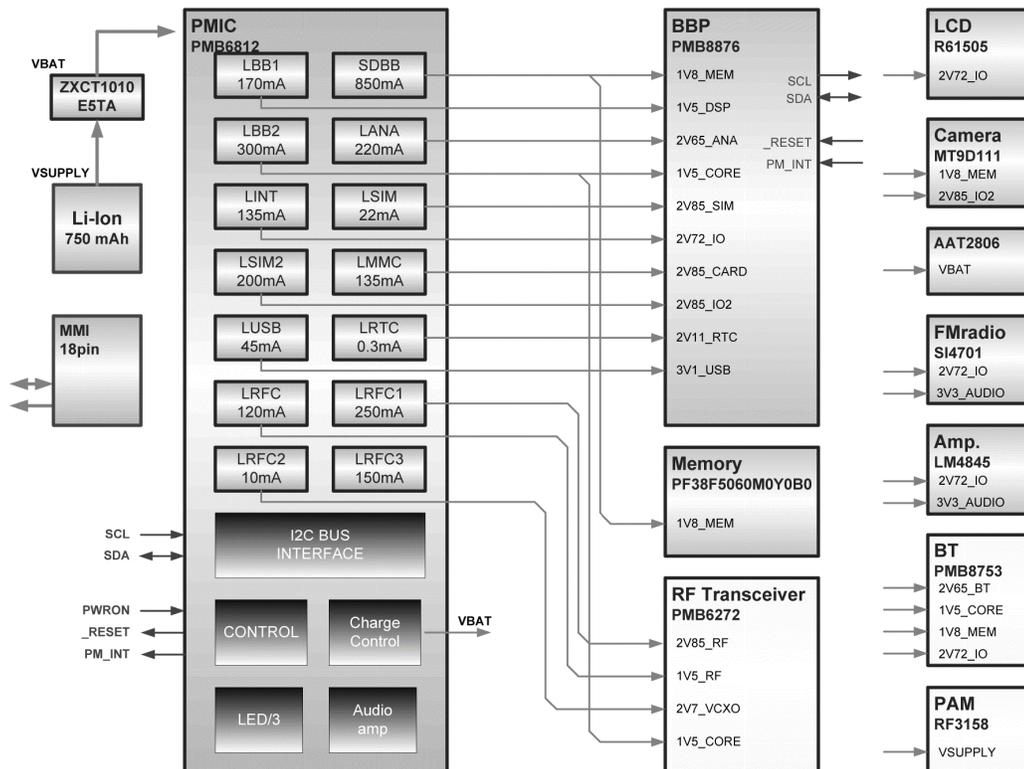
Banderas de error de varias funciones de alimentación o suministro en los diferentes sistemas.

Un Bus de Interface I2C.

Todos estos subsistemas y funciones pueden variar dependiendo del diseño del fabricante y el modelo del PMIC. Es decir, si el fabricante desea implementar una pantalla táctil con GPS y televisión tendrá que emplear un PMIC que soporte los voltajes regulados, para tales aplicaciones y la corriente necesaria para ellas, entre otras cosas.

<sup>1</sup>: véase el anexo A.

En la figura 2.2 se ejemplifica un diagrama a bloques de un PMIC en donde se puede observar el ingreso del voltaje de batería (VBAT), el subsistema encargado de generar los LDOs así como cada uno de sus respectivos destinos en los otros sistemas, el subsistema encargado del control de carga, el subsistema encargado del audio, el subsistema de control, el bus I2C.



**Sistema de Administración de energía**  
**Figura 2.2**

## 2.2 Sistema de Banda base.

El sistema de banda base se encarga de procesar toda la información análoga y/o digital de radiofrecuencia, por otro lado completa la secuencia de encendido del teléfono junto con el PMIC o subsistema de administración de energía. Recibe los LDOs del PMIC para a su vez alimentar sus subsistemas y generar señales de control a todos los sistemas del teléfono, la memoria y los dispositivos periféricos. Recibe la señal en banda base generada por el transceptor para procesarla y hacerla llegar al usuario como una señal análoga o datos.

Para implementar el sistema de banda base existen diferentes chipsets como la familia X-Gold de Infineon Technologies, los OMAP de Texas Instruments, o AD6XXX de Analog Devices entre otros. De todos los sistemas con los cuales constan los teléfonos actuales este es el más extenso ya que abarca una gran cantidad de funciones y posee varios subsistemas que se describirán a continuación:

Los Circuitos Integrados Banda base más avanzados proporcionan extensiones multimedia para poder implementar cámaras digitales, software MIDI, sonidos MP3, etc.

Capacidad de emplear diferente codificadores de voz .

Subsistema controlador de bus.

Subsistema del Microprocesador (generalmente un ARMX).

Subsistema de Procesador Digital de Señales (DSP), actualmente se ocupan los DSP TEAKLite

Subsistema de Reloj que permite una amplia selección de frecuencias para secciones específicas del sistema banda base para optimizar el consumo de energía y el desempeño para cada aplicación.

Una unidad de cifrado para soportar transmisiones de datos en GPRS,(GEA1,GEA2,GEA3).

Un Modulador GMSK/8-PSK.

Un PLL<sup>1</sup> programable con un cambiador de fase para el sistema de generación de reloj.

Aceleradores de Hardware para ecualizar y decodificar el canal.

En el mayor de los casos un coprocesador para la estimación del desempeño del movimiento para los algoritmos de codificación de video. (H.263,MPEG 4 ).

Interfaces:

I2C bus para conexión con el sistema de administración de energía.

Interfaz para conectar dispositivos externos a la memoria: LCD, Melody IC, Flash memory, SDRAM etc.

Interfaz de RF: interfaz utilizada para enviar señales de control al sistema de radiofrecuencia y algunos periféricos, ejemplo: el vibrador, normalmente algunas señales en esta interfaz son cambiadas periódicamente de 1 a 0 cada trama TDMA, como es el caso de las señales de control del interruptor de entrada del sistema de radiofrecuencia

Interfaz USART : usada para cargar el programa del teléfono, la calibración , o la rutina de encendido.

Subsistema de Convertidor análogo digital (ADC): Este subsistema funciona cuando se encuentra el teléfono en proceso de carga u otros procesos relacionados , al leer el voltaje de la batería y otros valores análogos como la detección de un accesorio de manos libres , el censado de la temperatura del sistema de radiofrecuencia, etc.

<sup>1</sup>: Los **lazos de seguimiento de fase**, **bucles de enganche de fase**, o **PLL** (del inglés *Phase-Locked Loops*) son dispositivos muy populares en electrónica desde la década de los años 1960. Se trata de un sistema realimentado, en el que las magnitudes realimentadas son la frecuencia y la fase.

Entradas y salidas de propósito general (GPIO) :

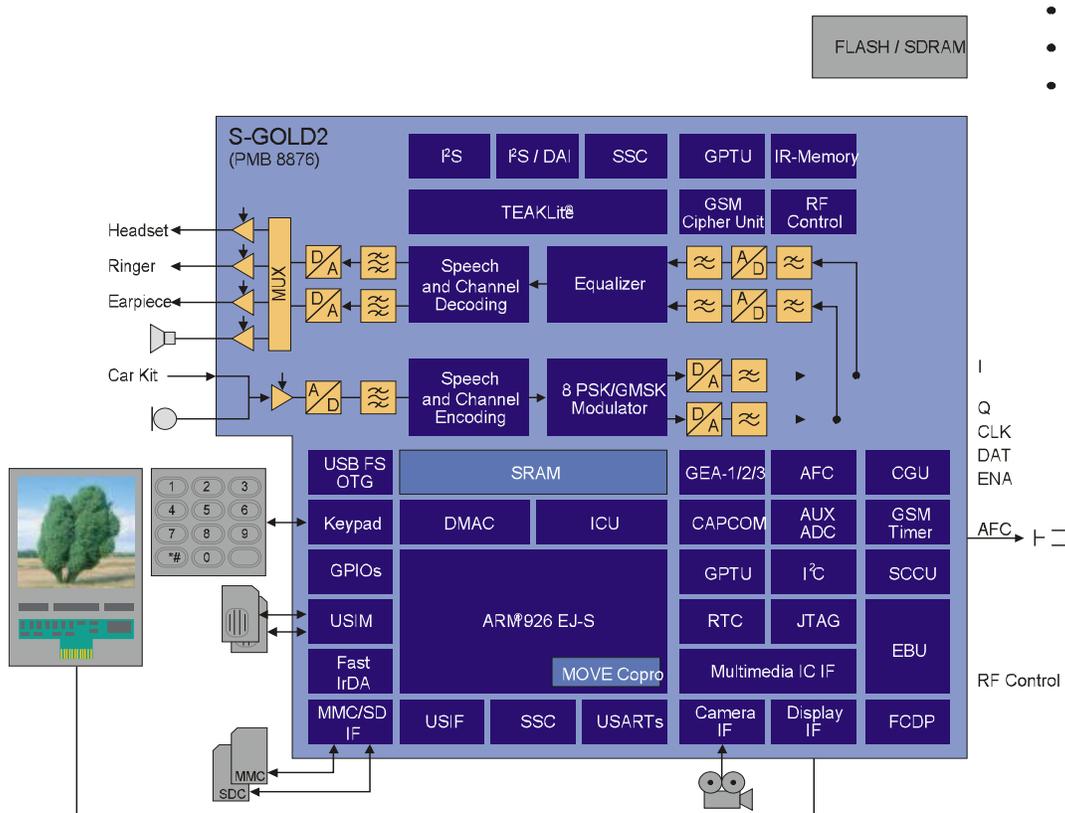
Como se ha comentado anteriormente, el diseño y programación de cada chipset dependerá de cada fabricante, así que aquí describiremos la forma en que se emplean generalmente algunas de estas terminales en este sistema banda base que puede variar como lo hemos dicho.

Pueden ser destinadas a obtener datos del teclado del teléfono, envío y/o recepción de datos del puerto USB, envío de datos hacia un dispositivo periférico como la cámara, o enviar instrucciones o datos como el caso de un LCD, para el uso de la unidad asíncrona de transmisión y recepción (UART).

En el caso de la memoria se ocupan para la lectura y escritura de datos mediante el bus de datos o el de direcciones según sea el caso.

En resumen se puede decir que por medio de estas GPIO el sistema banda base puede ser capaz de enviar una señal de control al indicar un estado alto o bajo a otro sistema o subsistema, puede adquirir información o enviarla a otro sistema o subsistema.

En la figura 2.3 se muestra un circuito integrado diseñado por Infineon Technologies, que representa el sistema de banda base, donde se pueden apreciar sus diferentes subsistemas, su conexión con los dispositivos periféricos y la memoria.



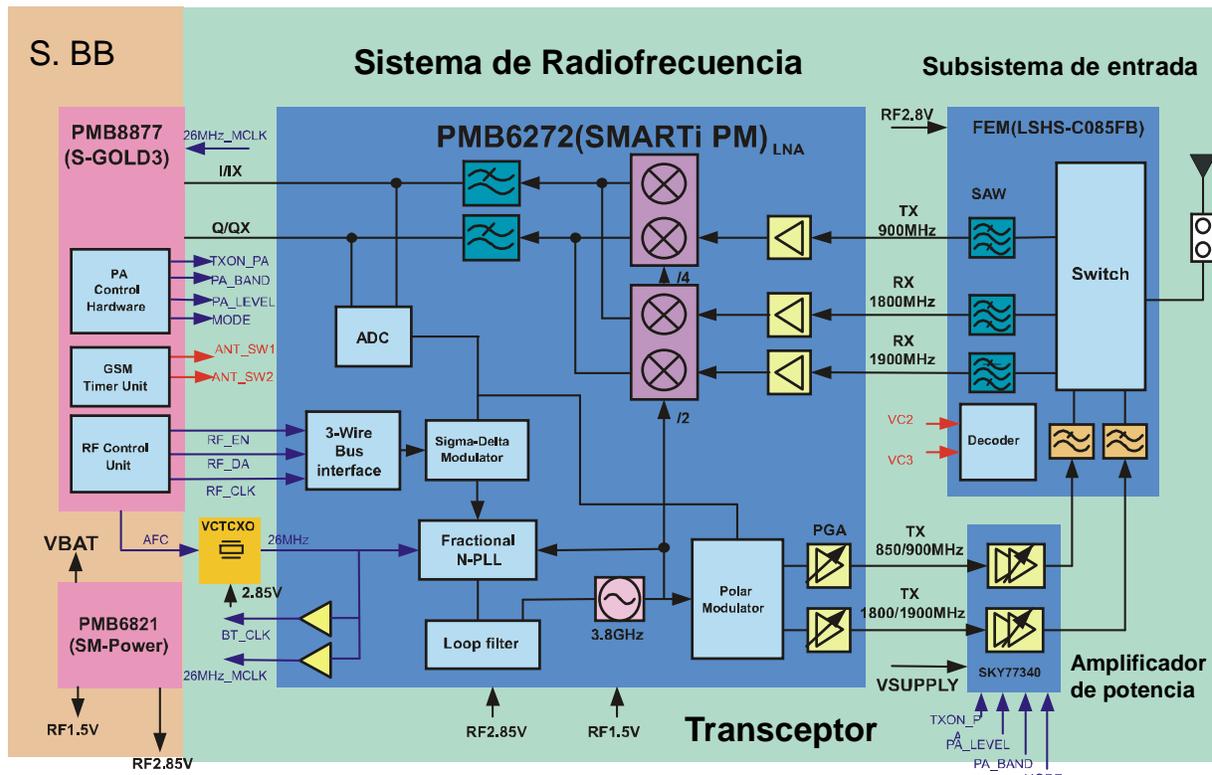
**FIGURA 2.3**  
**Sistema Banda base Infineon Technologies.**

### 2.3 Sistema Radiofrecuencia.

El sistema de radiofrecuencia tiene como objetivo recibir la señal de radio del ambiente y procesarla para convertirla en una señal de banda base (I, Q) y enviarla al sistema de banda base para que este la acondicione y el usuario pueda escuchar la llamada entrante, para que posteriormente inicie el proceso inverso y el sistema de radiofrecuencia se capaz de transmitir la voz generada por el usuario.

El sistema de radiofrecuencia está compuesto por otros subsistemas como son: circuito de antena, modulo de entrada ( front end module ,FEM ), amplificador de potencia y el transceptor que es el encargado de generar la banda base I/Q. y enviarla al sistema de banda base así como recibirla de regreso ya modulada para su transmisión.

El siguiente diagrama a bloques (figura 2.4) muestra un Sistema de Radiofrecuencia así como sus subsistemas y conexión con el sistema Banda base.



**Sistema de Radiofrecuencia implementado por LG electronics. en el modelo "Venus" KF600.**  
**Figura 2.4**

Cada subsistema se conforma de la siguiente forma:

Antena: comunicado con el siguiente subsistema por un arreglo de inductores, resistencias y capacitores (red de acoplamiento) así como de un interruptor mecánico para desviar la ruta de la señal entrante y poder inyectar una señal por medio de equipo de prueba para análisis de RF del teléfono (por norma general todo teléfono móvil deberá tener este interruptor mecánico).

Modulo de entrada (FEM): Básicamente funciona como un interruptor que selecciona la función de transmisión (TX) ó recepción (RX) además de indicar la banda en la cual trabajará el teléfono de acuerdo a una lógica que es controlada por el sistema de banda base. Comúnmente son conocidos como filtros separadores que internamente cuentan con filtros SAW no balanceados. Pueden ser para aplicaciones Tribanda (EGSM900/DCS1800/PCS1900) o Cuatribanda (GSM850/EGSM900/DCS1800/PCS1900).

Transceptor: Subsistema dedicado tanto a procesos de transmisión y recepción en la parte de recepción es el encargado de generar la señal banda base (I/Q) una vez que la señal de radio es recibida, para esto se vale de una cadena de amplificadores a bajo ruido (LNA) y filtros de segundo o tercer orden según la implementación del fabricante, en algunos casos para este proceso se ocupan demoduladores en cuadratura, por otro lado en la parte de transmisión emplea un modulador (i/Q). Es en este módulo en donde las funciones de un sintetizador, las de un oscilador de cristal compensado por temperatura, las del PLL, así como los osciladores controlados por voltaje<sup>1</sup> (VCOs) de los cuales se va a hablar de ellos más adelante, cobran mucha importancia en las funciones de modulación y demodulación, según sea el caso. El diseño de este tipo de circuitos se constituye por chipsets basados en tecnología CMOS.

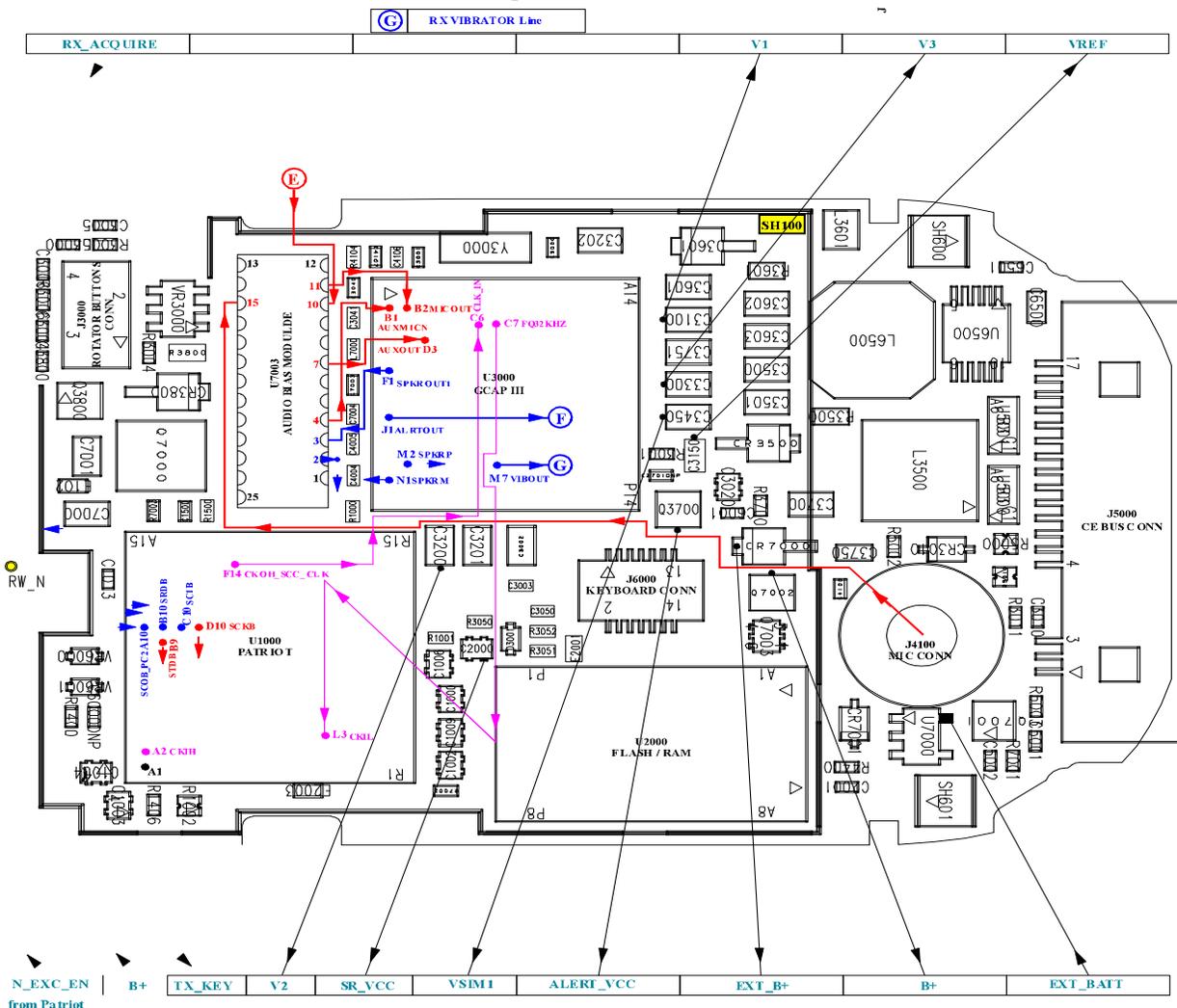
Amplificador de Potencia (PA): Su función es adecuar la señal digital enviada por el sistema banda base para ser transmitida por la antena, un amplificador de potencia esencialmente se constituye de redes de acoplamiento a la entrada y salida del mismo, dos bloques de amplificadores de potencia uno para las bandas altas y otro para las bajas. Generalmente este circuito integrado BiCMoS es fabricado con un transistor bipolar de heterojuntura de arseniuro galio (GaAs HBT) que capacita al circuito integrado con un Control Automático de Potencia.

<sup>1</sup>:Un **Oscilador controlado por voltaje** o **VCO** (*Voltage-controlled oscillator*) es un dispositivo electrónico que usa amplificación, realimentación y circuitos resonantes que da a su salida una señal eléctrica de frecuencia proporcional a la tensión de entrada. Típicamente esa salida es una señal sinusoidal, aunque en VCOs digitales es una señal cuadrada.

**2.4 Señales involucradas en los teléfonos celulares**

**Introducción**

En todos los Sistemas de un teléfono móvil existen señales que dependiendo la función que se esté analizando deberán estar siempre presente o bajo ciertas condiciones presente por lo tanto es muy importante poder ser localizadas y medidas mediante un instrumento como un osciloscopio, un analizador de espectros o hasta un multímetro en el caso de voltajes de DC. Para ello es útil poder emplear un diagrama con las señales principales involucradas, como en el ciclo de encendido del teléfono, o el flujo de una señal recibida por el sistema de radiofrecuencia por citar algunos ejemplos. En la figura 2.5 se muestra un diagrama de flujo con las señales y los voltajes principales, que se emplea como herramienta en el análisis de fallas en la reparación de teléfonos móviles.



**Diagrama de flujo de señales y voltajes del modelo V70 "hummingbird" de Motorola.**

**Figura 2.5**

Existen señales y voltajes básicos que es importante siempre identificar, localizar y para efecto de diagnóstico y reparación medir en cada uno de los sistemas, a continuación se enlistan solo algunas ya que en la práctica dependerá del tipo de arquitectura analizada puesto que en algunos diseños de teléfonos no se encuentran disponibles puntos de prueba para medirlos, de cualquier forma aquí se enlistan algunos :

### **Etapa de encendido:**

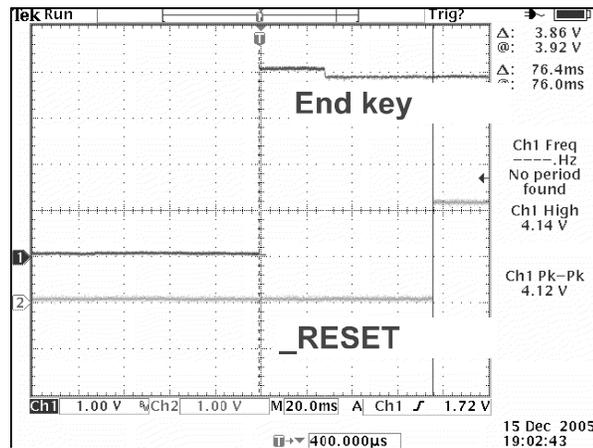
Para analizar el encendido de un teléfono se debe confirmar que el Sistema de energía (PMIC) genere los reguladores lineales LDO, principalmente los que alimentan el sistema de banda base ,en la tabla I se muestran los LDOs generados por un chipset Infineon PMB 6811 (No todos ellos están involucrados en la etapa de encendido).Por lo tanto los LDO son:

<b>LDO</b>	<b>Nombre</b>	<b>Voltaje de salida</b>	<b>Corriente de salida</b>	<b>Uso</b>
SDBB	1V8_MEM	1.8V	850mA	Memory & for LDO
LRFC	1V5_RF	1.5V	120mA	RF transceiver
LBB1	1V5_DSP	1.5V	170mA	DSP in BBP
LBB2	1V5_CORE	1.5V	300mA	ARM core in BBP
LINT	2V72_IO	2.72V	135mA	Peripherals
LSIM	2V85_SIM	2.85V	22mA	SIM card
LSIM2	2V85_IO2	2.85V	200mA	Peripherals
LMMC	2V85_CARD	2.85V	135mA	SD card
LANA	2V65_ANA	2.65V	220mA	Analog block in BBP
LRTC	2V11_RTC	2.11V	0.3mA	RTC block & Backup battery
LRF1	2V85_RF	2.85V	250mA	RF IC
LRF2	2V7_RF	2.7V	10mA	RF IC
LRF3	2V65_BT	2.65V	150mA	BT IC(Blue moon)
LUSB	3V1_USB	3.1V	45mA	USB I/F

**Reguladores de LDO del chipset PMB6811.**

**Tabla I.**

El pulso de encendido (PWON) así como la señal de reset (RESET) hacia el sistema de banda base (figura 2.7), los voltajes de selección de circuito( chip select ) de las memorias flash y RAM (FLASH\_CS, RAM\_CS).

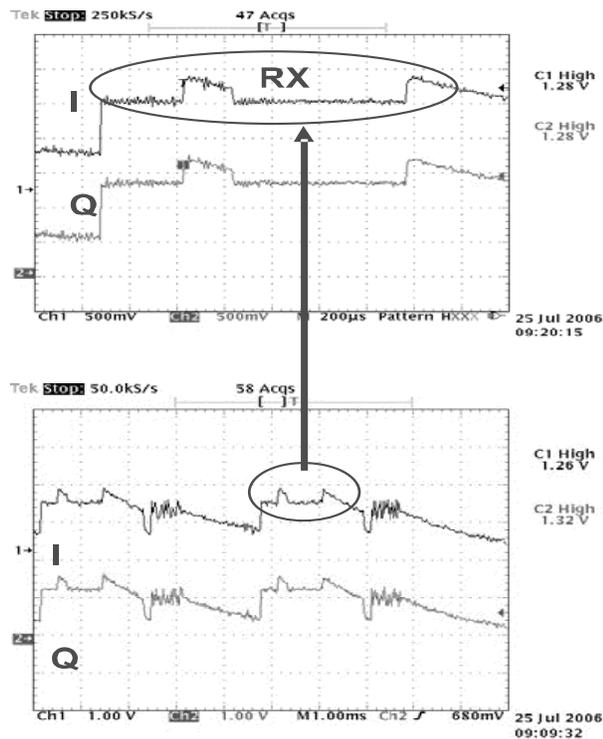


**Figura 2.6**  
**Medición del pulso de encendido PWON y la señal de RESET**

Existen dos señales de reloj que deberán estar siempre presentes para que un teléfono encienda, la oscilación de un cristal de 32.768Khz llamado cristal de RTC (Real Time Clock) y el oscilador de 26 MHz o 13MHz según la arquitectura que se esté analizando ya que es el reloj principal del Sistema de banda base, así como el voltaje regulador que habilita esta oscilación (VCXO\_ENE).

### Subsistema de Radiofrecuencia

Tanto en la recepción como en la transmisión según la prueba que analicemos tenemos las siguientes señales : las señales control que ordenan la función del interruptor FEM, la señal del oscilador de 26MHz que utiliza el transceptor como frecuencia de referencia del sintetizador, las señales (formas de onda) de control del PLL (ej: RF\_ENE,RF\_DATA,RF\_CLOCK),las señales RX I/Q ó TX I/Q según sea el caso (figura 2.7), las señales de control del amplificador de potencia (ej. S\_DATA,S\_ENE,S\_CLK), sobre todas estas señales se hablará más en capítulos posteriores.



**Figura 2.7**  
**Medición de las señales RX I/Q**

Por otro lado tenemos los LDO que habilitan sus subsistemas, por ejemplo el voltaje PA\_ENE y TX\_RAMP que habilita la operación del Amplificador, el voltaje RF\_ENE que habilita la operación del Transceptor.

## **Dispositivos periféricos**

Como señales relevantes tenemos aquellas que indican al sistema banda base la detección de los mismos, por ejemplo la que se genera al conectar un accesorio de manos libres JACK\_DETECT, o aquellas que sirven para colocar un dispositivo de este tipo en condiciones iniciales como la señal de LCD\_RESET para el LCD o FLASH\_RESET para la memoria flash

## Capítulo 3

### Circuitos en los teléfonos celulares

## Capítulo 3

### Circuitos en los teléfonos celulares

El presente capítulo tiene como objetivo describir los diferentes circuitos que se emplean en la implementación de un teléfono móvil en cada uno de sus sistemas y subsistemas para poder entender la operación del mismo y poder desarrollar la habilidad de identificar el o los sistemas correctos involucrados al momento de diagnosticar y dar solución a cualquier falla con relativa rapidez y precisión.

#### 3.1 Amplificadores

##### 3.1.1 Amplificadores a bajo ruido<sup>1</sup> (LNA)

Este tipo de dispositivo sirve para captar el máximo posible de la señal de RF recibida del ambiente que ingresa por la antena y el circuito de entrada (FEM) con el menor ruido. Por lo tanto es común observar a los LNAs implementados al principio del transceptor después de una red de acoplamiento de  $50 \Omega$  como parte de una ruta de conversión directa de recepción, su salida ingresa a el demodulador. La ganancia de estos amplificadores normalmente es ajustable y para lograrlo el subsistema banda base se comunica con el transceptor por medio de un bus de tres hilos ( three-wire bus).

##### 3.1.2 Amplificadores de la ruta de recepción.

En las ruta de recepción banda base I e Q se encuentran amplificadores con entradas y salidas balanceadas y filtros paso bajas de segundo o tercer orden en cascada (dependiendo la arquitectura puede variar el orden del filtro) y tienen como función proporcionar ganancia en la potencia de toda la ruta de recepción para hacer llegar adecuadamente las señales I e Q a el sistema Banda base.

<sup>1</sup>: Se conoce como ruido a todas las señales no deseadas, conocidas también como parásitas, que se mezclan con la señal de información, dentro de un sistema electrónico. El ruido es generado por distintos factores, principalmente el calor, las variaciones en los circuitos y la presencia de electrones libres, entre otros factores que contribuyen a la generación de estas señales.

Tal vez el ruido más difícil de eliminar es el ruido térmico, también conocido como ruido blanco, porque está presente en todas las frecuencias de la señal. Esta clase de ruido se origina por la agitación de electrones en una resistencia, la cual se incrementa en proporción directa con la temperatura. La relación entre el nivel de la señal de información y el nivel de ruido es conocido como Relación Señal a Ruido (SNR) y es uno de los factores más importantes a tomarse en cuenta en el diseño de muchas aplicaciones.

### 3.1.3 Amplificador de Potencia

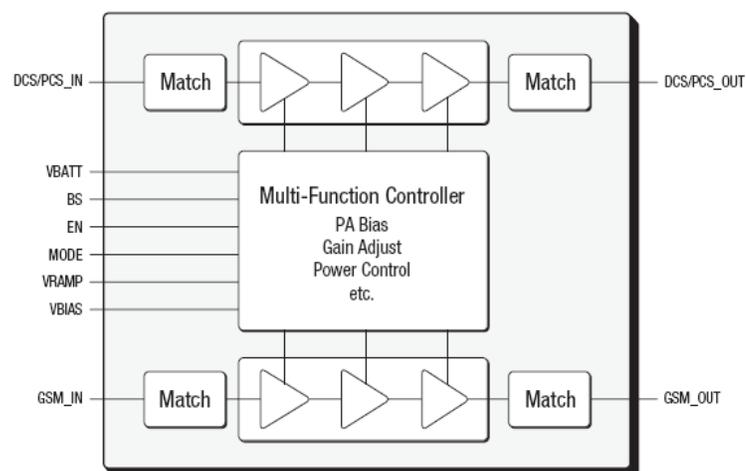
De todos los sistemas con que cuenta un teléfono, podemos decir que el sistema que es casi idéntico en todos ellos independientemente de la arquitectura implementada y la marca del teléfono es el Amplificador de Potencia, actualmente el fabricante que domina el mercado de los módulos o sistemas de amplificación de potencia (PAM) es Skyworks.

A continuación se describe esencialmente un Módulo de amplificación de Potencia (PAM):

Consiste de dos bloques independientes de amplificadores cada uno de ellos fabricado con un Transistor Bipolar de Heterojuntura de arseniuro galio ( GaAs HBT ), uno para las bandas GSM850/EGSM900 y el otro para las de DCS1800/PCS1900 (si estamos hablando de un equipo cuatribanda como es el caso de la gran mayoría de los teléfonos diseñados actualmente), posee dos redes de acoplamiento para tener una impedancia de 50 ohms tanto a la entrada y como a la salida, y un bloque que se emplea para el **control del amplificador de potencia** (PAC de sus siglas en ingles, cuyos pines de control son: BAND\_SELECT, ENABLE y VAPC) con un resistor para sensar la corriente ,por otro lado cuenta con una interfaz I2C para poder ser controlado por el sistema Banda base.

Dentro del circuito altamente integrado que se emplea como subsistema PAM, ambos bloques de amplificadores comparten los pines de alimentación para distribuir la corriente. Los puertos de salida de RF del Amplificador de Potencia como decíamos se encuentran normalmente acoplados a una carga de 50 ohms con la intención de reducir el número de componentes externos para los diseño cuatribanda.

La figura 3.1 muestra un diagrama a bloques del modulo del amplificador de potencia sky 77340 para aplicaciones EDGE, donde se observan las redes de acoplamiento a  $50 \Omega$  a la entrada y la salida del mismo, sus entradas independientes una para bandas altas y otra para bandas bajas, su voltaje de alimentación VBAT, su terminal de selección de banda BS, el habilitador del módulo EN , su terminal MODE para seleccionar modulación en EDGE o GMSK, VBIAS para ajustar la potencia a los diferentes pasos de potencia y VRAMP para controlar la potencia de salida.



**Diagrama a Bloques de un Módulo de Amplificación de Potencia.**  
**Figura 3.1**

### **Control del Amplificador de Potencia:**

La señal **BAND\_SELECT** es generada por el subsistema Banda base y habilita un circuito selector de banda para la banda GSM (lógica 0) o DCS/PCS (logica 1) según lo indique el usuario desde la interfaz gráfica del teléfono. La terminal (**VBAT**) le permite al PAM estar conectado a la batería a su vez que se encuentra conectado a un resistor interno que permite sensar la corriente.

La señal **ENABLE** permite iniciar el encendido de la circuitería del Amplificador de Potencia solo cuando sea necesario y así disminuir el drenado de la carga de la batería ya que el PA siempre se encuentra conectado a la batería. La señal **VRAMP ,TX\_RAMP ó VAPC** controla la potencia de salida para la modulación GMSK. Por último podemos decir que el Control automático de Potencia es estable a las variaciones de temperatura, a la alimentación de voltaje y a los diferentes procesos.

### **3.2 Filtros.**

Un filtro electrónico es un dispositivo que discrimina una determinada frecuencia o gama de frecuencias de una señal eléctrica que pasa a través de él, pudiendo modificar tanto su amplitud como su fase.

#### **3.2.1 Filtros dentro del FEM**

El módulo de entrada (FEM) es un interruptor cuyas decisiones son tomadas por el sistema Banda base de acuerdo a una tabla de valores determinada por dos estados, las decisiones que puede tomar son: trabajar con bandas altas DCS1800 ó PCS1900 , bandas bajas GSM850 ó EGSM900, transmitir ó recibir.

En el caso de recepción, si la banda es alta, la señal ingresa al FEM por un filtro paso altas para eliminar el ruido y continuar su filtrado en un filtro de onda acústica de superficie (SAW)\* para poder enviar la señal hacia el transceptor e iniciar el proceso de demodulación. Si la banda es baja la señal es filtrada por un filtro paso bajas para después continuar hacia el filtro SAW.

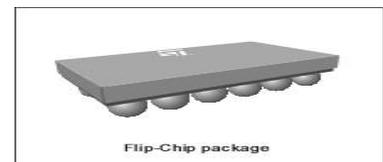
En el caso de la transmisión, si la banda es alta, la señal modulada ingresa al FEM para ser transmitida por un filtro paso bajas y después por un filtro paso altas. Si la banda es baja la señal modulada es filtrada por dos filtros paso bajas antes de ser transmitida.

#### **3.2.2 Filtros en la ruta de recepción.**

Dentro del transceptor se encuentra la ruta de recepción de conversión directa que inicia con los LNA y el demodulador , en esta cadena de amplificadores y filtros se encuentran los filtros de banda base selectivos comúnmente programables, cada uno de ellos precedido (dependiendo la arquitectura) de una secuencia de corrección del offset de DC.

#### **3.2.3 Filtros EMI o de interferencia electromagnética.**

Este tipo de filtros se emplean en las etapas donde existe mayor sensibilidad a las cargas electrostáticas (ESD) y también ayudan a suprimir el ruido en los sistemas sujetos a interferencias electromagnéticas, otras ventajas de estos filtros es el poco espacio que ocupan en el circuito impreso del teléfono.



**Filtro EMI**  
**Figura 3.2**

Normalmente los filtros EMI utilizados en el diseño de teléfonos móviles son un conjunto de filtros EMI encapsulados en un mismo dispositivo y cuyas terminales de conexión hacia el circuito impreso reciben el nombre de “bumps”, físicamente es posible identificarlos de entre todos los circuitos ya que su apariencia es como la de un pequeño espejo rectangular o una pequeña caja de aspecto verde como lo muestra la figura 3.2 y los podemos encontrar cerca de los conectores de carga y datos o de los conectores de LCD formando parte del filtraje de las líneas de datos del mismo o de la cámara.

\* Filtro de onda acústica de superficie (SAW): Estos filtros son dispositivos electromecánicos comúnmente usados en aplicaciones de radiofrecuencia. Las señales eléctricas son convertidas a una onda mecánica en un cristal piezoeléctrico: esta onda presenta un retardo cuando atraviesa el cristal, antes de ser convertida regresa a una señal eléctrica por algunos electrodos. Los retardos en las salidas son recombinados para producir una implementación análoga de un filtro de pulso de respuesta finita. Esta técnica de filtraje híbrido también es posible encontrarla en una filtro de muestreo análogo. Los filtros SAW están limitados a frecuencias por debajo de los 3GHz.

### 3.3 Sintetizador

Para su operación el sintetizador emplea un oscilador controlado por voltaje (VCO) de ultra alta frecuencia ( UHF ) y un filtro de tercer orden con realimentación, así como un sintetizador N fraccional sigma – delta enganchado o sincronizado en fase al oscilador local que es usado en las dos rutas la de recepción como la de transmisión para obtener una entrada con una frecuencia de referencia precisa. La operación N fraccional ofrece bajo ruido en fase , y rápida configuración en el tiempo, lo que hace posible realizar aplicaciones múltiple slot como es el caso de GPRS. El sintetizador N fraccional sigma-delta es uno de los más utilizado actualmente.

La función de escalamiento de frecuencia con una resolución de 3Hz permite la operación en las cuatro bandas, tanto en transmisión como recepción empleando un VCO de UHF completamente integrado. La fina resolución del sintetizador permite una compensación directa o ajuste para los errores de la frecuencia de referencia.

La frecuencia generada está dada por la siguiente ecuación:

$$f_{vco} = \frac{\left( N + 3.5 + \frac{FN}{2^{22}} \right) f_{ref}}{R}$$

Donde:  $f_{vco}$  = frecuencia generada por el VCO.

$N$  = radio N divisiones, parte entera

$FN$  = fracción configurada

$R$  = R-divisiones del radio

$f_{ref}$  = frecuencia de referencia

A continuación se describen algunas otras funciones relacionadas con la operación del sintetizador:

#### A. Programación de la frecuencia del VCO de UHF.

Para sintonizar la frecuencia de recepción del receptor (  $f_{rx}$  ), la frecuencia del VCO (  $f_{vco}$  ) es configurada de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$\text{GSM850/EGSM900: } f_{vco} = \frac{3}{2} f_{rx}$$

$$\text{DCS1800/PCS1900: } f_{vco} = \frac{3}{4} f_{rx}$$

### *B. Centrado de Frecuencia Digital (CFD).*

La mayoría de los transceptores fabricados por Skyworks efectúa un centrado de frecuencia del VCO de UHF cada vez que el sintetizador es programado. Esta técnica llamada “centrado digital de frecuencia” es propiedad de Skyworks, y permite extender la cobertura de la frecuencia del VCO, agiliza el ajuste en el tiempo y asegura un correcto desempeño ya que permite que el VCO se encuentre trabajando en el centro de su frecuencia de sintonía. Cada vez que el sintetizador es programado, el circuito CFD se activa y el VCO es centrado a la frecuencia programada en menos de 20 $\mu$ s, después de esto la operación normal del PLL se reanuda y el ajuste fino de la frecuencia es finalizada. El CFD típicamente ajusta el VCO a su frecuencia central en pocos MHz y no más de 5MHz de offset y realiza un preajuste del voltaje de sintonía para realizar el centrado antes que el PLL tome el control.

El CFD es el resultado de un circuito adaptado que corrige cualquier error en la frecuencia central del VCO causado por variaciones de temperatura, en el voltaje de alimentación, o por deterioro en el VCO integrado. El VCO, puede ser centrado a cualquier frecuencia en el rango de 990MHz a 1550MHz., una vez centrado, el VCO tiene un rango análogo mínimo de sintonía de 20MHz. No es necesario calibrar o almacenar datos para la operación de CFD ya que éste se activa en uno de los siguientes dos eventos:

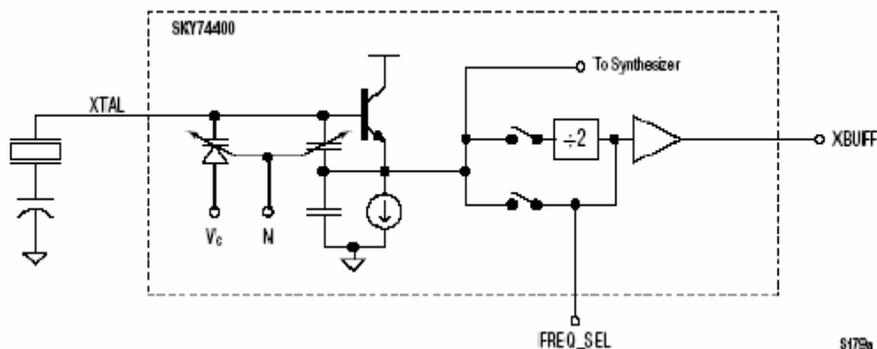
- Cuando el sintetizador es programado, el pulso de la señal LE inicia el ciclo CFD.
- Cuando la señal SXENA cambia de bajo a alto, la cual habilita al sintetizador, entonces el pulso de la señal SXENA inicia el ciclo CFD.

### *C. “Loop” o Lazo de filtros .*

Se pueden realizar algunos ajustes a la función de transferencia del lazo de filtros. El lazo de filtros de UHF tiene dos multiplicadores de corriente sincronizados. La frecuencia del factor “zero” ( $z_1$ ) en la función de transferencia de fase del PLL puede ser ajustada al variar los multiplicadores de corriente y el valor de un resistor “RX” y un capacitor “CX”. Los VCOs de Skyworks emplean en la técnica CFD la compensación de multiplicadores de corriente para mantener un ancho de banda constante del PLL. El circuito CFD incrementa la sensibilidad del control del VCO (KVCO) a medida que incrementa la frecuencia del VCO. Sin alguna compensación, esto lleva a un incremento en la ganancia del lazo del PLL y un incremento en el ancho de banda del lazo para altas frecuencias. En un clásico diseño del PLL el factor KVCO es típicamente considerado como una constante. En este caso la ganancia del lazo decrementa con el incremento de la frecuencia. Esto es usualmente deseable para mantener constante el ancho de banda del lazo por arriba del rango de frecuencia de interés, el SKY74400 incluye un circuito que compensa el multiplicador de corriente para mantener constante toda la ganancia de todo el lazo. La compensación del multiplicador de corriente para el PLL de UHF puede ser programado en una de las tres configuraciones (nominal, alto o bajo) o el multiplicador de corriente puede ser programado a un valor constante sin compensación.

### 3.4 Osciladores de Cristal.

Un oscilador de cristal de 26Mhz proporciona la frecuencia de referencia para el sintetizador, el oscilador usa un cristal de 26Mhz externo para generar una frecuencia de oscilación precisa. La frecuencia de referencia puede ser cambiada por medio de un *ajuste burdo* con un arreglo de capacitores integrado, o un *ajuste fino* por medio de un diodo varactor integrado. El oscilador tiene un *ajuste burdo* al conmutar la entrada y la salida ( usando una palabra digital programada con la interfaz serial ) de una red de capacitores ( CAP\_A y CAP\_B ) localizada a la entrada de un amplificador integrado ,por otro lado, el oscilador tiene un *ajuste fino* al utilizar un voltaje de ajuste del diodo varactor integrado. La salida del amplificador se encuentra disponible para manejar la circuitería del sistema banda base, en donde la frecuencia de salida es determinada por la señal *FREQ\_SEL* , cuando esta señal está conectada a tierra la salida es 13MHz y cuando está conectada a VCC la salida es 26MHz. El núcleo del oscilador enciende cuando la señal *SXENA* se fija en 1 lógico. La figura 3.3 muestra el diagrama de un oscilador de 26Mhz implementado en un Transceptor SKY74400 de la marca Skyworks, donde se observa la red de capacitores así como el diodo varactor para los ajustes, como la línea de control *FREQ\_SEL* y las salidas *To Synthesizer* y *XBUFF* .



**Oscilador de cristal.**  
**Fig 3.3**

#### 3.4.1 Oscilador de cristal de 32.768Khz.

El sistema de Banda base emplea en su subsistema del reloj de tiempo real (RTC) un cristal de 32.768Khz para su modulo encargado de registrar la hora, este subsistema trabaja con una batería de RTC, que se encuentra siempre cargando aunque no esté encendido el teléfono. Este circuito comúnmente trabaja junto con el sistema Banda base.

### 3.5 Circuito de la Tarjeta SIM (Subscriber Identity Module) .

El sistema de banda base cuenta con un modulo de interfaz para la tarjeta SIM, en todo teléfono móvil encontraremos que este modulo emplea tres señales para comunicarse con la tarjeta SIM y son las siguientes: SIM\_DATA ( SIM\_IO, dependiendo la nomenclatura utilizada por el fabricante), SIM\_CLK y SIM\_RST, a continuación se describe su función:

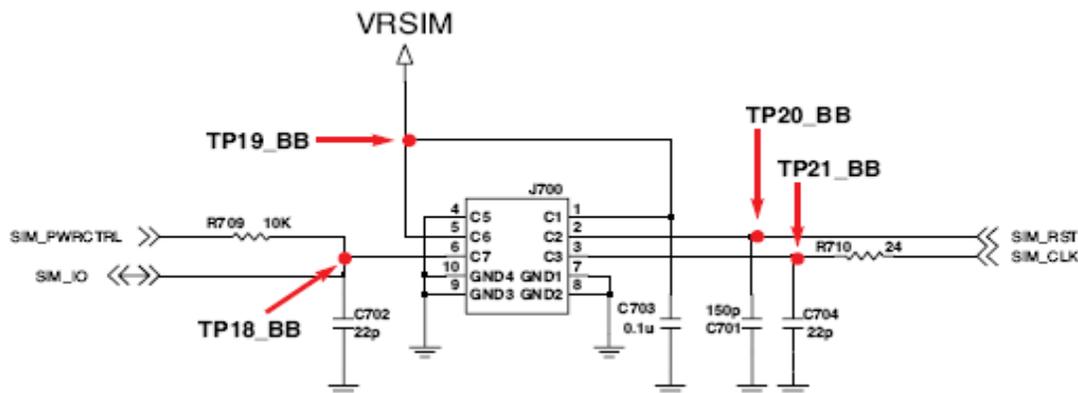
SIM\_DATA: mediante esta señal se envía o recibe información de la tarjeta SIM.

SIM\_CLK: reloj de referencia de la tarjeta SIM (3.25Mhz)

SIM\_RST: reset Async/Sync

Solo falta agregar que el Sistema de Administración de energía genera el voltaje de alimentación de la tarjeta SIM (en algunas ocasiones llamado VRSIM ) . Generalmente se emplean tarjetas SIM de 3 Volts de alimentación.

La figura 3.4 muestra las tres señales y el voltaje de alimentación VRSIM o VSIM de un módulo de tarjeta SIM, TP representa el punto de prueba donde se puede medir la señal.



**Circuito de SIM CARD**

**Figura 3.4**

### 3.6 Módulo de LCD

El módulo de LCD\* es controlado por el sistema Banda base y lo hace mediante varias señales de control, también utiliza líneas para datos y obviamente su alimentación. Es importante mencionar que actualmente existe una gran variedad de módulos de LCD utilizados por los fabricantes que van desde los pequeños a color hasta las más grandes pantallas sensibles al tacto (pantalla táctil<sup>o</sup>) como el que se muestra en la figura 3.5, así que en este caso solo describiremos algunas de las señales básicas con las que trabaja el sistema banda base para trabajar con el LCD.

En la implementación del circuito de LCD es común observar filtros EMI entre el sistema banda base y los conectores del módulo de LCD como filtros para reducir al mínimo la interferencia electromagnética.

Señales:

LCD\_CS: señal que habilita todo el módulo de LCD.

LCD\_DIM\_CTRL: controla la intensidad de LCD

LCD\_RESET: ésta señal proviene también del sistema banda base y es el reset del módulo de LCD.

LCD\_WR:

LCD\_ID: identifica el fabricante de módulo de LCD.

LCD\_BL\_EN: controla la iluminación del módulo de LCD.

Y el voltaje VMEM (puede cambiar el nombre): es el voltaje de alimentación.

En el caso de la mayoría de las señales se emplean las entradas y salidas de propósito general para manejar cada una de ellas. Para controlar la iluminación del módulo de LCD generalmente el sistema banda base se apoya de otro dispositivo externo en donde las señales de control de este dispositivo en algunos casos pudieran ser las siguientes:

LCD\_DIM\_CTL: controlar la iluminación de acuerdo a diferentes niveles de intensidad.

LCD\_LED\_CTL: habilita la iluminación.

LCD\_LED\_GND: referencia.

\*: Una **pantalla de cristal líquido** o **LCD** (acrónimo del inglés *Liquid Crystal Display*) es una pantalla delgada y plana formada por un número de píxeles en color o monocromos colocados delante de una fuente de luz o reflectora. A menudo se utiliza en dispositivos electrónicos de pilas, ya que utiliza cantidades muy pequeñas de energía eléctrica.

<sup>o</sup>: Una pantalla táctil (*touchscreen* en inglés) es una pantalla que mediante un contacto directo sobre su superficie permite la entrada de datos y órdenes al dispositivo. A su vez, actúa como periférico de salida, mostrando los resultados introducidos previamente. Este contacto también se puede realizar con lápiz u otras herramientas similares. Actualmente hay pantallas táctiles que pueden instalarse sobre una pantalla normal. Así pues, la pantalla táctil puede actuar como *periférico de entrada* y *periférico de salida* de datos.



**Pantalla táctil**  
**Figura 3.5**

### 3.7 Circuito de carga

Los circuitos de carga están fabricados para trabajar con batería de química de Ion -Litio ó Niquel-Metal, aunque actualmente debido a su mejor rendimiento y duración los circuitos que más se emplean son los que trabajan con baterías de Ion-Litio. Dependiendo el chipset utilizado por el fabricante y la tecnología (CDMA,GSM, CDMA1X, etc), las baterías tendrán diferentes especificaciones adecuadas a la operación del handset (por ejemplo : Ion- Litio /3.7V/ 800mA ).

#### Descripción del circuito:

Los circuitos integrados más especializados a empleados por los fabricantes aceptan el puerto USB y un cargador de escritorio como su fuente de alimentación y son ideales como cargadores para el manejo de dispositivos inteligentes que necesitan comunicación con una computadora personal vía USB. Normalmente mientras la corriente de carga de la entrada USB se mantenga en 380mA, la corriente de carga de la entrada desde el cargador es programada entre 0.1A y 1.0A por un resistor  $R_{ICDL}$ . De forma similar la corriente de “termino de carga” es fijada típicamente en 80mA para la entrada USB y programada para la entrada del cargador por el resistor  $R_{IMIN}$ .

Cuando ambas fuentes están presentes el cargador únicamente selecciona una fuente para cargar la batería. Si el voltaje de entrada CRDL (voltaje del cargador de escritorio) es más alto que un límite fijado que llamaremos POR, CRDL es seleccionada como fuente de alimentación para la carga, caso contrario la entrada USB es la que se selecciona. Si el voltaje CRDL está por debajo del voltaje de batería pero el voltaje de entrada USB es más alto que el voltaje de batería entonces el voltaje de entrada USB es usado para cargar la batería. El circuito de control deshabilita ambas fuentes de alimentación internas antes de cambiar de una fuente de alimentación a otra para evitar una conducción cruzada en la alimentación de los MOSFETs.

#### Corriente de carga de USB:

Cuando el puerto USB es seleccionado como fuente de alimentación, la corriente de carga se habilita por la entrada lógica en la terminal USBON, si USBON es llevado a cero o lógica baja el cargador se deshabilita, cuando USBON se encuentra en alto la corriente de carga es fijada a su valor típico de 380mA. De este modo para la entrada USB, la terminal USBON tiene una función similar la terminal EN (habilitador).

La tabla I muestra el control de carga USB para las terminales USBON y EN.

	<b>EN=BAJO</b>	<b>EN=ALTO</b>
<i>USB=BAJO</i>	<i>Deshabilitado</i>	<i>Deshabilitado</i>
<i>USB=ALTO</i>	<i>Habilitado</i>	<i>Deshabilitado</i>

Tabla I

La terminal USBON es equivalente a lógica baja cuando esta flotando (circulante), típicamente el MOSFET canal P para la entrada USB tiene una resistencia de encendido [ $r_{DS(ON)}$ ] de 700m $\Omega$  a temperatura ambiente. Con una corriente de carga de 380mA el típico *head room*<sup>1</sup> son 260mV, de este modo si el voltaje de entrada cae a un nivel que la diferencia entre la terminal USB y la terminal VBAT es menor a 260mV la resistencia  $r_{DS(ON)}$  llega a ser un factor limitante de la corriente de carga; y el cargador deja de generar la corriente de regulación constante.

### Corriente de carga del cargador de escritorio.

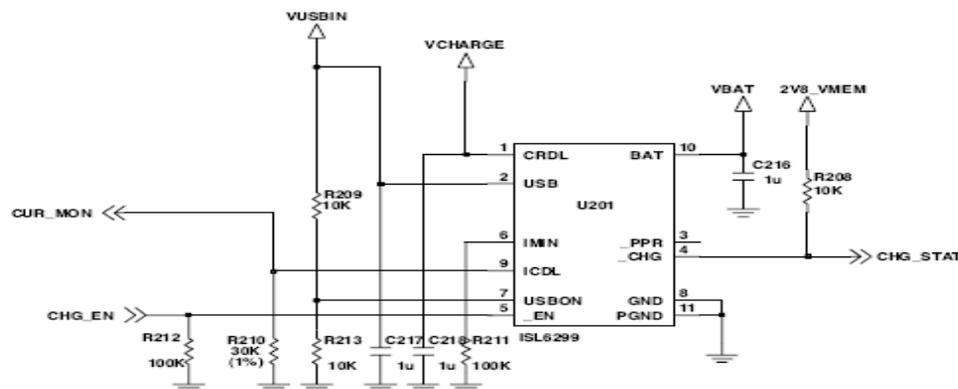
La corriente de carga del cargador de escritorio es habilitada únicamente por el pin EN, la terminal USBON no tiene control sobre la corriente de carga del cargador, la corriente de carga es programada con un resistor externo conectado entre el pin ICDL y el pin GND.

La corriente puede ser calculada por una de las dos ecuaciones dadas en la descripción de la terminal ICDL, dos ecuaciones son usadas para calcular la corriente de carga del cargador y cada una corresponde a diferentes rangos de corriente. La típica resistencia de encendido  $r_{DS(ON)}$  de el MOSFET canal P para la entrada CRDL es 600m $\Omega$  a temperatura ambiente.

Cuando el *head room* entre entre los voltajes de entrada y salida es pequeño, la corriente de carga actual tal como en el caso USB podría ser limitada por la  $r_{DS(ON)}$ . Por otro lado si el *head room* entre los voltaje de entrada y salida es grande, la corriente de carga puede ser limitada por un limitador de corriente térmico. La figura 3.6 muestra un circuito de carga típico, donde se observan sus principales voltajes de control y alimentación.

### Voltaje de carga circulante (flotante).

El voltaje circulante durante la fase de voltaje constante es 4.2V, el voltaje circulante tiene un 1% de precisión por encima del rango de la temperatura ambiente de -40 °C a 70 °C.



**Circuito de carga**  
**Figura 3.6**

<sup>1</sup>: *headroom*: habilidad de un amplificador para manejar señales (o sonidos) altos libres de distorsión.

### **3.8 Bluetooth.**

Descripción de la tecnología:

Bluetooth se denomina al protocolo de comunicaciones diseñado especialmente para dispositivos de bajo consumo, con una cobertura baja y basados en transceptores de bajo costo.

Gracias a este protocolo, los dispositivos que lo implementan (como en este caso teléfonos móviles) pueden comunicarse entre ellos cuando se encuentran dentro de su alcance, posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia segura y globalmente libre (2,4 GHz. ) de forma que los dispositivos no tienen por qué estar alineados, pueden incluso estar en habitaciones separadas si la potencia de transmisión lo permite, la figura 3.7 muestra el concepto de bluetooth (comunicación entre el teléfono y otros dispositivos) aplicado en el hogar u oficina.



Aplicaciones de la tecnología bluetooth

Figura 3.7

La clasificación de los dispositivos Bluetooth como "Clase 1", "Clase 2" o "Clase 3" es únicamente una referencia de la potencia de transmisión del dispositivo, siendo totalmente compatibles los dispositivos de una clase con los de la otra. En la tabla II observamos dicha clasificación:

<b>Clase</b>	<b>Potencia máxima permitida (mW)</b>	<b>Potencia máxima permitida (dBm)</b>	<b>Rango (aproximado)</b>
<b>Clase 1</b>	100 mW	20 dBm	~100 metros
<b>Clase 2</b>	2.5 mW	4 dBm	~20 metros
<b>Clase 3</b>	1 mW	0 dBm	~1 metro

**Clasificación de un dispositivo bluetooth de acuerdo a su potencia de transmisión**

**Tabla II**

Cabe mencionar que en la mayoría de los casos, la cobertura efectiva de un dispositivo de clase 2 se extiende cuando se conecta a un transceptor de clase 1. Esto es así gracias a la mayor sensibilidad y potencia de transmisión del dispositivo de clase 1. Es decir, la mayor potencia de transmisión del dispositivo de clase 1 permite que la señal llegue con energía suficiente hasta el de clase 2. Por otra parte la mayor sensibilidad del dispositivo de clase 1 permite recibir la señal del otro pese a ser más débil. La tabla III muestra la clasificación del dispositivo de acuerdo al ancho de banda.

<b>Versión</b>	<b>Ancho de banda</b>
<b>Versión 1.2</b>	1 Mbit/s
<b>Versión 2.0 + EDR</b>	3 Mbit/s
<b>UWB Bluetooth (propuesto)</b>	53 - 480 Mbit/s

**Clasificación del dispositivo de acuerdo al ancho de banda.**

**Tabla III**

En este momento son tan especializados los módulos de bluetooth que se agregan otras aplicaciones a ellos, a continuación se da la descripción general de un módulo de bluetooth utilizado en un teléfono móvil.

### **Características generales:**

En un solo chip se integran las siguientes aplicaciones: radio FM, procesamiento de información del sistema banda base para la transmisión y recepción de datos y voz .

Estos módulos son construidos comúnmente con tecnología CMOS y por otro lado se ocupan muy pocos componentes externos para implementarlos en el handset, están diseñados para un bajo consumo de energía, las corrientes pico manejadas para tasa de datos básico (basic data rate) y tasa de datos mejorada (enhanced data rate ) son 40mA y 45mA respectivamente.

Soportan múltiples entradas para señales de reloj (30-40MHz), son alimentados desde por un regulados de voltaje externo (1.8V,3.6V) , sus rangos de temperatura comúnmente se encuentran desde -40 °C hasta 85°C .

*Sección del Micro controlador:* generalmente tienen un procesador ARM7TDMI-STM ARM® , relojes, así como un modulo de interrupción y watchdog.

*Memoria del Micro controlador:* dependiendo el modulo utilizado por ejemplo una configuración puede ser; 32Kbyte RAM con 256 Kbyte disponible para el programa (solo lectura).

### **Interfaces:**

- Interfaz I2C
- Entradas y salidas de propósito general (GPIO).
- Señales de control para respuestas externas del sistema del reloj.
- Entrada de reloj multifrecuencia (ej. 32.768Khz) con bajo consumo.
- Separador de voltajes para las diferentes interfaces (GPIO,UART y PCM<sup>1</sup>).
- Canales PCM para interfaces de audio en modo I2S.
- UART (interfaz-bluetooth, con soporte para UART HCI<sup>2</sup> y transporte de capas mediante UART de tres hilos) por arriba de 3.25MBaud

1: Modulación por codificación de pulsos (PCM) , es un tipo de modulación utilizado para transformar una señal analógica en una secuencia de bits.

2: Host Controller Interface (HCI), esta interfaz proporciona un conjunto de comandos para controlar al sistema banda base y al **administrador de enlace** para acceder o conocer al estado del hardware y saber el control de los registros. Esencialmente esta interfaz proporciona un método uniforme de acceso a las capacidades del sistema banda base del bluetooth. El HCI trabaja por medio de tres secciones: El Host, La capa de transporte y el controlador del Host. Cada una de estas secciones juega un papel diferente en el sistema HCI.

### **Sección de RF:**

- Interruptor de antena integrado para minimizar el uso de componentes externos.
- Potencia de transmisión programable entre -55dBm y +6dBm.
- Pasos programables de 2dBm para un ajuste fino
- Clase de potencia 1 (20dBm) , con un amplificador de potencia externo.
- Interfaz de salida independiente para transmisión hacia el amplificador de potencia.
- Sensibilidad de recepción típica de -90dBm.
- LNAs de alto desempeño con excelente desempeño en intermodulación y bloqueo de armónicas.
- Información para el *control de potencia* de la intensidad de señal recibida (RSSI; Receiver Signal Intensity).
- Demodulación digital para una optima sensibilidad y desempeño de canales adyacentes.

### **Integración del Sistema:**

La interfaz serial UART es usada por el software para comunicar el sistema banda base con el modulo de bluetooth. Para el transporte en capas por UART HCI se necesitan cuatro líneas de interfaz, dos para los datos (UARTTXD y UARTRXD) y dos para el control del flujo del hardware (UARTRTS y UARTCTS), para el transporte en capas HCI tres hilos UART son necesarias dos líneas de interfaz (UARTTXD y UARTRXD) , las líneas de control de flujo de hardware (UARTRTS y UARTCTS)son soportadas pero su uso es opcional.

La interfaz UART tiene su propio voltaje de alimentación (VDDUART ) para asegurar la compatibilidad con los voltajes de entrada y salida utilizados para el sistema banda base.

La interfaz PCM/I2S es usada como interfaz de audio y puede manejar arriba de dos canales de voz, la interfaz PCM también tiene su propio voltaje de alimentación (VDDPCM) para asegurar la compatibilidad con los voltajes de entrada y salida utilizados para el sistema band base.

### 3.9 Teclado

El teclado es un periférico o dispositivo que consiste en un sistema de teclas, que permite introducir datos a un dispositivo digital. Este periférico ha evolucionado desde su primera implementación hace muchos años, hoy podemos ver diferentes tipos de teclados (ejemplo: tipo QWERTY<sup>1</sup> como el que se muestra en la figura 3.8, o teclados virtuales con la configuración de los anteriores)



**Teclado QWERTY**  
**Figura 3.8**

Descripción:

El teclado en un teléfono celular se encuentra definido por una matriz con renglones y columnas, en donde el número de renglones y columnas depende de la configuración del puerto lógico de control del sistema banda base, a continuación se describe su funcionamiento:

La matriz completa se encuentra comunicada a el sistema banda base mediante las entradas y salidas de propósito general (GPIO), cada vez que se digita el teclado o la pantalla sensible al tacto (touchscreen) se generan interrupciones que son enviadas al circuito integrado del sistema banda base y este se encarga de leer el registro mediante la interfaz I2C e interpretar la información recibida y desplegarla en el LCD y mandar la orden correspondiente al sistema. Las columnas son salidas, mientras que los renglones son entradas y tienen una resistencia de pull up<sup>2</sup>. Cuando una tecla es presionada, la correspondiente columna y renglón son conectadas juntas provocando que la entrada del renglón se vaya a bajo y generar una interrupción. Las teclas y las columnas son escaneadas por el sistema banda base para identificar si una tecla se encuentra presionada.

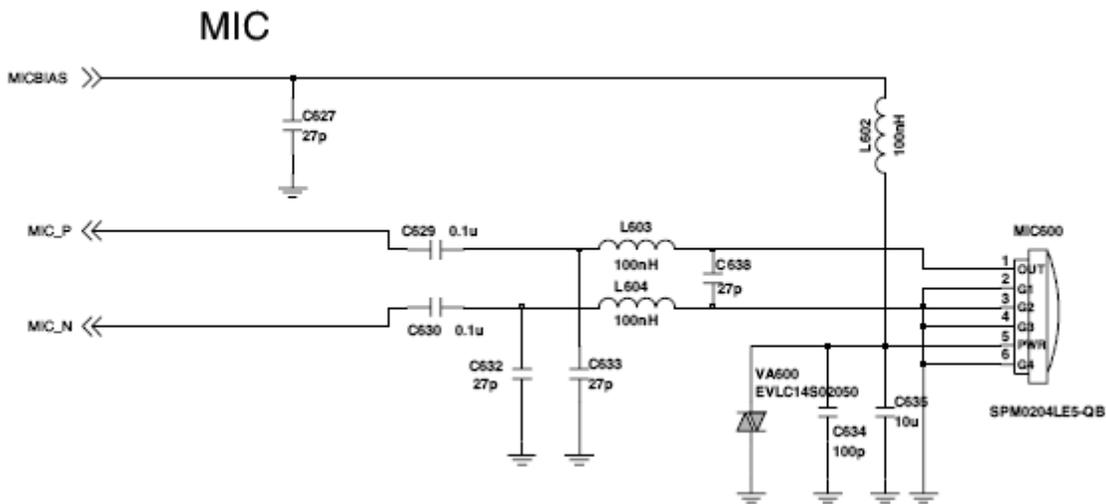
<sup>1</sup>:El **teclado QWERTY** es la distribución de teclado más común. Fue diseñado y patentado por Christopher Sholes en 1868 y vendido a Remington en 1873. Su nombre proviene de las primeras seis letras de su fila superior de teclas.

<sup>2</sup>: se llaman resistencias pull up a resistores que en general se conectan entre una señal lógica y el positivo y su función es asegurar que esa señal no quede en un estado flotante. En algunos tipos de dispositivos lógicos, si no se pusieran las resistencias pull up, el estado lógico 1 podría quedar con un valor de tensión intermedio entre cero y uno y confundirse su estado. Son resistores normales, solo llevan el nombre pull up por la función que cumplen.

### 3.10 Circuito del micrófono

El circuito del micrófono solo se encuentra habilitado bajo una de las siguientes dos condiciones: en la transmisión o en modo de prueba. En este arreglo se emplean comúnmente varistores para mejorar la inmunidad a ESD<sup>1</sup>

Este tipo de circuitos consiste básicamente en dos terminales filtradas y protegidas (*generalmente con conexión hacia el sistema de administración de energía donde se encuentran los convertidores análogo-digital digital- análogo*), un voltaje de bias (fijo), y el micrófono, la figura 3.9 muestra un circuito típico de micrófono.



Circuito de micrófono  
Figura 3.9

<sup>1</sup>: La **descarga electrostática** (conocido por sus siglas en inglés **ESD**) es un fenómeno electrostático que hace que circule una corriente eléctrica repentina y momentáneamente entre dos objetos de distinto potencial eléctrico. El término se utiliza generalmente en la industria electrónica y otras industrias para describir las corrientes indeseadas momentáneas que pueden causar daño al equipo electrónico.

La descripción de todos los circuitos previamente citados nos permite familiarizarnos con las diferentes funciones que realizan cada uno de ellos con la finalidad de poder desarrollar nuestra intuición y también poder analizar las fallas que se presentan en los diferentes sistemas.

Finalmente es importante aclarar que se han descrito los circuitos digitales principales que conforman un teléfono celular. Podemos hablar de otros circuitos cuya lista sería interminable; como circuitos de audio que generan efectos 3D, circuitos de aplicación para sistemas de posicionamiento global (GPS), reproductores de video especializados, circuitos para televisión de alta definición (HDTV), aunque su análisis es muy similar como se describirá en el siguiente capítulo.

## Capítulo 4

**Procedimiento para la localización y corrección de fallas.**

## **Introducción**

El presente capítulo no pretende incluir una lista extensa de fallas reportadas en campo y describir el análisis y solución a cada una de ellas, si no estará proponiendo un procedimiento general que servirá como modelo ó guía al ingeniero de servicio ó al técnico en reparación de teléfonos en la detección precisa del origen de cualquier falla y poder encontrar una solución, por lo tanto, este mismo procedimiento nos será útil al analizar cualquier otra falla siguiendo la misma lógica de análisis, independientemente del fabricante del teléfono y del chipset que se emplee. De tal forma que después de considerar este capítulo el lector será capaz de proponer su propia secuencia de análisis tomando como referencia la expuesta en este trabajo.

Existe una gran variedad de fallas en campo que van desde aquellas que involucran el sistema operativo del teléfono hasta aquellas que pueden ser catalogadas como “hard failure” ( falla difícil ) y que en muchos casos su análisis resulta extenso y en no pocas ocasiones esos teléfonos resultan irreparables, de cualquier forma lo que nos interesa conocer no solo es la solución si no la causa que origina la falla.

Para su análisis clasificaremos las fallas en dos grupos: Fallas de el Sistema Banda Base y el Sistema de energía y Fallas en el Sistema de Radio frecuencia.

Ejemplos de estas fallas:

Fallas en el Sistema de Banda Base y el Sistema de administración de energía: *NO ENCIENDE, NO PRESENTA AUDIO, NO CARGA, ETC*

Fallas en el Sistema de Radio Frecuencia: *SIN SERVICIO, NO TRANSMITE, SE “CAE” LA LLAMADA, ETC.*

Podríamos iniciar enlistando una serie de herramientas de diagnóstico y equipo de medición con el que siempre será útil contar para el análisis de fallas de teléfonos móviles:

- Diagrama eléctrico del teléfono.
- Mapa de localización de componentes del circuito impreso del teléfono o “Layout”.
- Mapa de puntos de prueba ( Test points ) de circuito impreso del teléfono.
- Multimetro
- Osciloscopio
- Analizador de espectros
- Equipo simulador de radiobase (TEST SET o TESTER)

## 4.1 Herramientas de análisis.

### Diagrama Eléctrico:

Los diagramas eléctricos o esquemáticos de un teléfono móvil, son una herramienta poderosa en la reparación, de fallas, podemos decir que son la base para de todo el análisis ya que por medio de ellos podremos conocer la conexión entre todos los Sistemas y subsistemas, y su relación con los diferentes voltajes de control, alimentación y señales de radiofrecuencia, con base al estudio de los diagramas eléctricos podemos desarrollar otras herramientas auxiliares como lo son los mapas de puntos de prueba que simplifican bastante el trabajo de diagnosticar un equipo. La figura 1 muestra un diagrama eléctrico correspondiente a el Sistema de radio frecuencia en el teléfono km500 de LG Electronics.

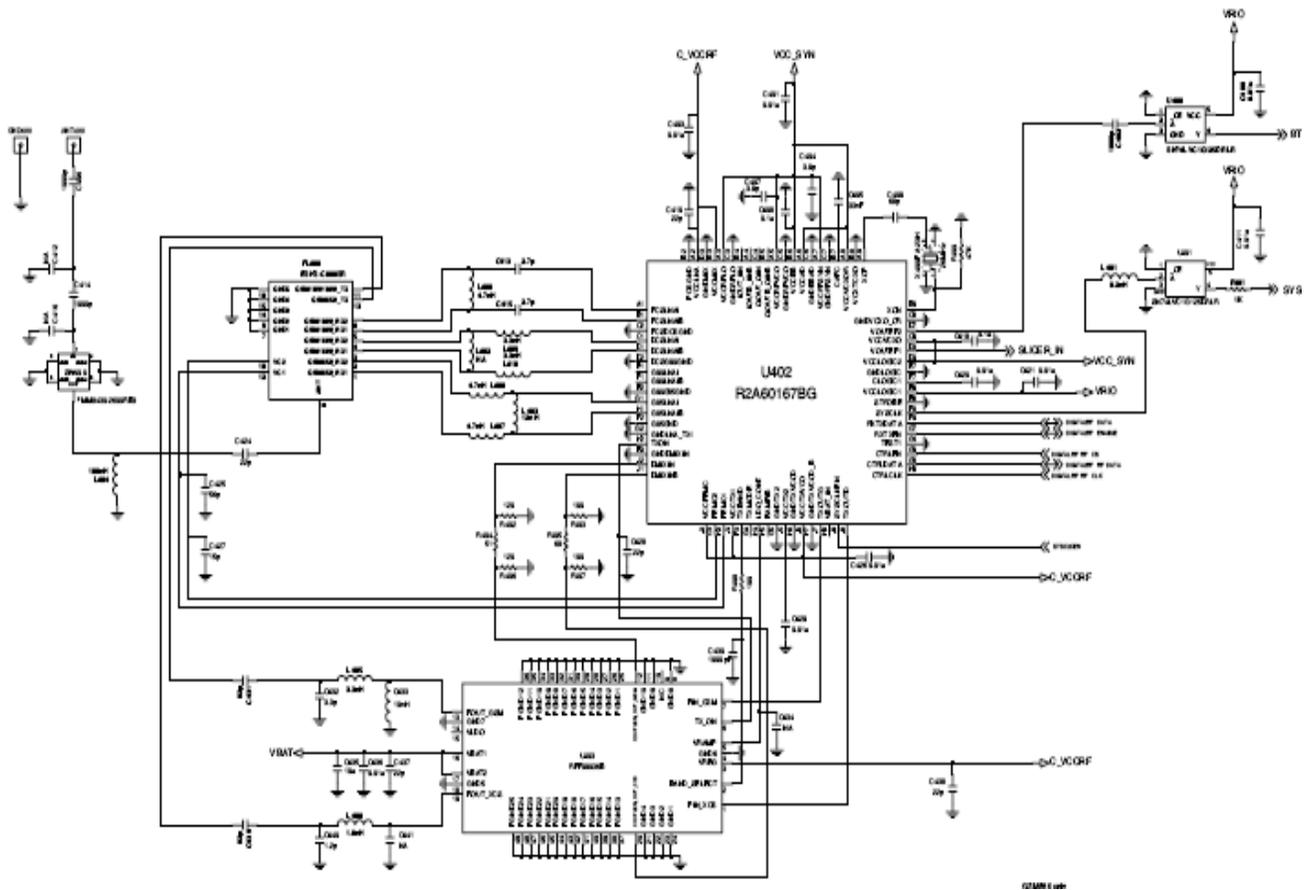
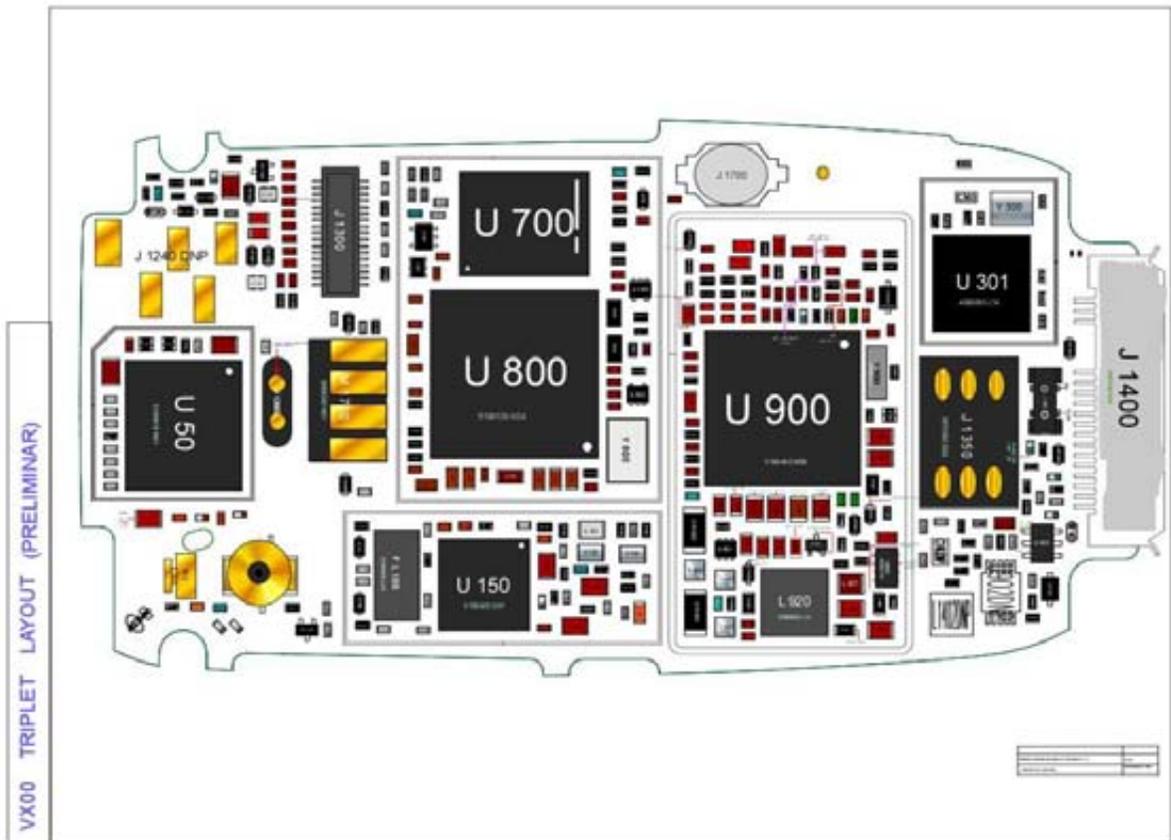


Diagrama eléctrico del sistema de radio frecuencia del teléfono KM500 de LG Electronics.  
Figura 1.

**Mapa de localización de componentes:**

Dicho de manera sencilla es un dibujo del circuito impreso o tarjeta del teléfono en el que podemos ubicar de manera directa todos los componentes que conforman sus sistemas y subsistemas con sus respectivos nombres de referencia ó diseño , dicho mapa lo estaremos llenando de información al analizar el diagrama eléctrico y estar realizando mediciones, para convertirlo en nuestro **Mapa de puntos de prueba ( Test Points )** en el que nos apoyaremos para realizar diagnósticos. La figura 2 muestra un mapa de localización de compontes del teléfono Motorola V600.

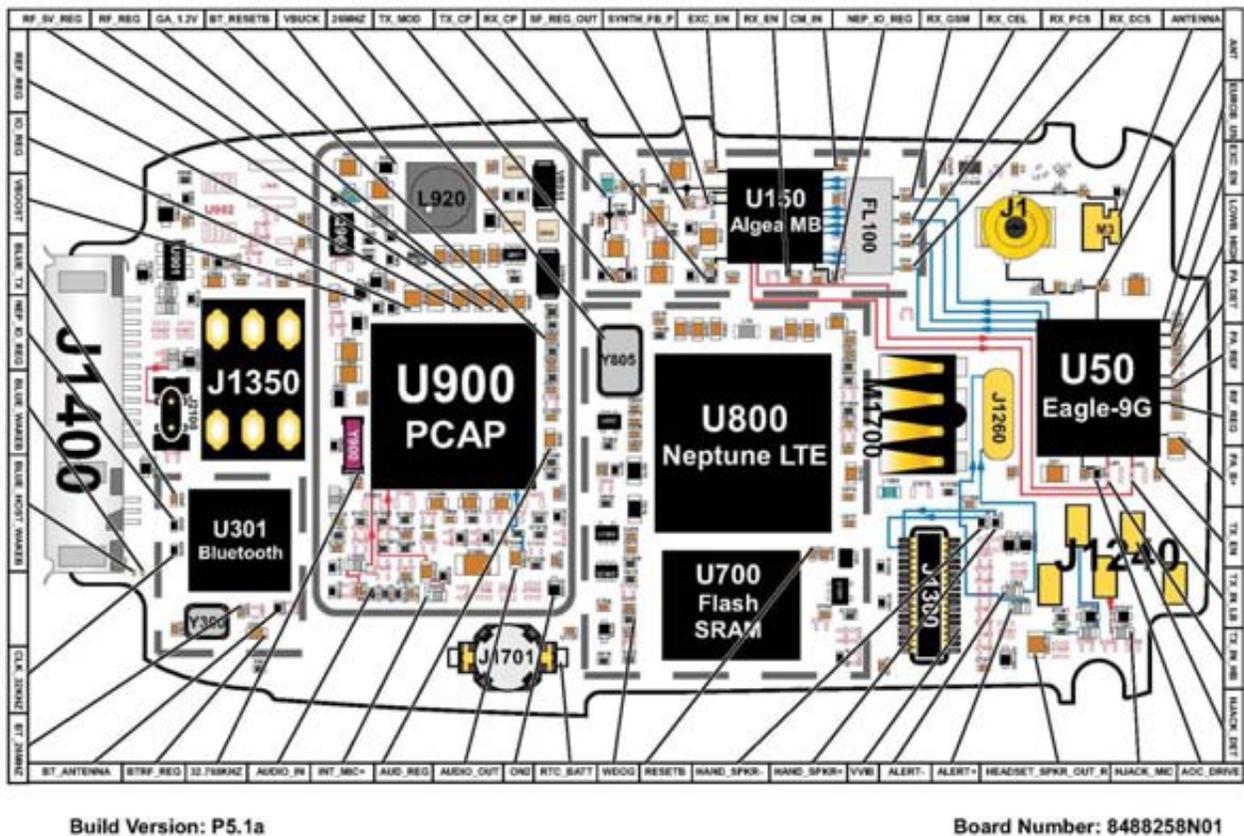


**Mapa de localización de componentes del Teléfono TRIPLET V600**  
**Figura 2**

**Mapa de puntos de prueba:**

Esta es la herramienta que nos indicará con precisión en que punto de la tarjeta lógica debemos medir un voltaje o una señal de acuerdo a la falla en cuestión, esta herramienta se diseña al localizar los componentes que generan determinados voltajes así como también aquellos componentes que reciben determinada alimentación o control, e indicarlos o apuntarlos en el mapa, la figura 3 nos muestra como quedaría terminado y listo como herramienta de diagnóstico nuestro mapa de puntos de prueba con los voltaje de control ó polarización de los diferentes sistemas o subsistemas del teléfono.

**V600/V500/V300: Board Layout - Side 1**



**Mapa de Test points del Teléfono TRIPLET V600  
Figura 3**

## **4.2 Diagnóstico y corrección de fallas en el Sistema Banda Base.**

Propondremos la falla de ***no enciende*** para plantear el procedimiento general de análisis y reparación, debido a dos razones: primero, es una de las fallas más comunes y segundo, su análisis es de los más completos en campo.

### **Análisis de la falla : No enciende**

En campo esta falla puede originarse por diferentes causas, aquí se describen algunas:

- Equipo (tarjeta lógica o PCB) expuesto a humedad y pueden deteriorarse al generar sulfato en uno o varios de los componentes involucrados en el encendido.
- Equipo mojado (tarjeta lógica o PCB), y pueden deteriorarse al generar sulfato en uno o varios de los componentes involucrados en el encendido.
- Accesorio dañado, puede ser la batería, el cargador o algún dispositivo periférico que ocasione un conflicto con el encendido del teléfono.
- Problemas en el programa que contiene el sistema de arranque del teléfono.
- Falla por la degradación de uno o varios componentes.

El siguiente análisis se centrará en identificar el origen de la falla de encendido, debido a las dos últimas razones mencionadas anteriormente: componentes dañados y/o problemas de programación. Es importante entender el proceso que da origen a que el teléfono encienda para saber que mediciones realizar y en que componentes realizarlas.

### ***Ciclo de encendido:***

Dependiendo de cada arquitectura implementada por los fabricantes cambia un poco el proceso del *ciclo encendido* pero su esencia se describe a continuación:

- 1.- Al colocar la batería son alimentados los reguladores lineales (LDOs)<sup>1</sup> del sistema de energía.
- 2.- Al presionar la tecla de encendido y mantenerla oprimida por 30ms aproximadamente, la señal PWON cae, es decir cambia su estado a cero (lógica baja) y el sistema de energía enciende su oscilador interno para entonces encender los reguladores lineales (LDOs),
3. El sistema de energía genera un voltaje de alimentación (VCC) para el sistema banda base y le envía tanto una señal de RESET como una Interrupción para que entonces encienda el ARM9XX del sistema banda base y entonces completar la secuencia.

1. Los reguladores lineales de voltaje se utilizan para eliminar la necesidad de un circuito integrado de administración de energía independiente o reguladores de voltaje discretos

Una vez conocido el proceso de encendido, pasemos al análisis, es decir, a las mediciones :

El primer paso es alimentar el circuito impreso (handset) con la ayuda de una fuente de DC que va a simular el voltaje de batería. Es importante comentar que es común entre los diferentes fabricantes el diseñar un teléfono de tal forma que éste pueda encender de dos formas:

1. El pulso de encendido o señal PWON ( ó RPWON) se puede generar automáticamente al alimentar el teléfono desde el conector de carga o datos .
2. Al oprimir la tecla end durante 30ms aproximadamente y encender un transistor cuyo voltaje de colector (con voltaje PWON o RPWON) se encuentra conectado hacia la terminal ON del sistema de energía para poder hacerlo encender.

Para fines prácticos, se recomienda utilizar una interface de programación o pruebas normalmente proporcionadas por los fabricantes como las que muestra la figura 4 ya que esta cuenta generalmente con un voltaje VBAT de alimentación que simulará el voltaje de batería y que nos permitirá hacer encender el teléfono generando la señal PWON mediante el conector de carga o datos (caso 1 de encendido, descrito anteriormente).



**Interface de Programación PIF UNION Versión 3.1 de LG Electronics.**

**Figura 1**

Si no se cuenta con una interface, tenemos que conectar directamente el teléfono a una fuente de DC y oprimir el botón de encendido ( caso 2 de encendido).

Es muy importante asegurarse de configurar la fuente de DC con el voltaje y la corriente adecuados para el teléfono ya que de lo contrario seguramente podríamos dañarlo. Estos valores se pueden conocer por las especificaciones de operación que entrega el fabricante y que se encuentran en los manuales de servicio ó al observar cual es el voltaje y la corriente de la batería que utiliza el teléfono en cuestión, por ejemplo: si un teléfono emplea una batería de 3.7 V y 800mA/h , entonces la fuente se programa a ese voltaje, no siendo así en el caso de la corriente , debido a que en muchas ocasiones el teléfono puede presentar un corto circuito, debido a algún componente dañado , por ejemplo es común encontrar que el módulo del amplificador de potencia se dañe y alcance un consumo de corriente tan alto como 1.5 amperios, de manera que es conveniente programar la fuente de DC con una corriente de 1.5A. La figura 5 muestra una fuente de DC programada para hacer encender un teléfono.

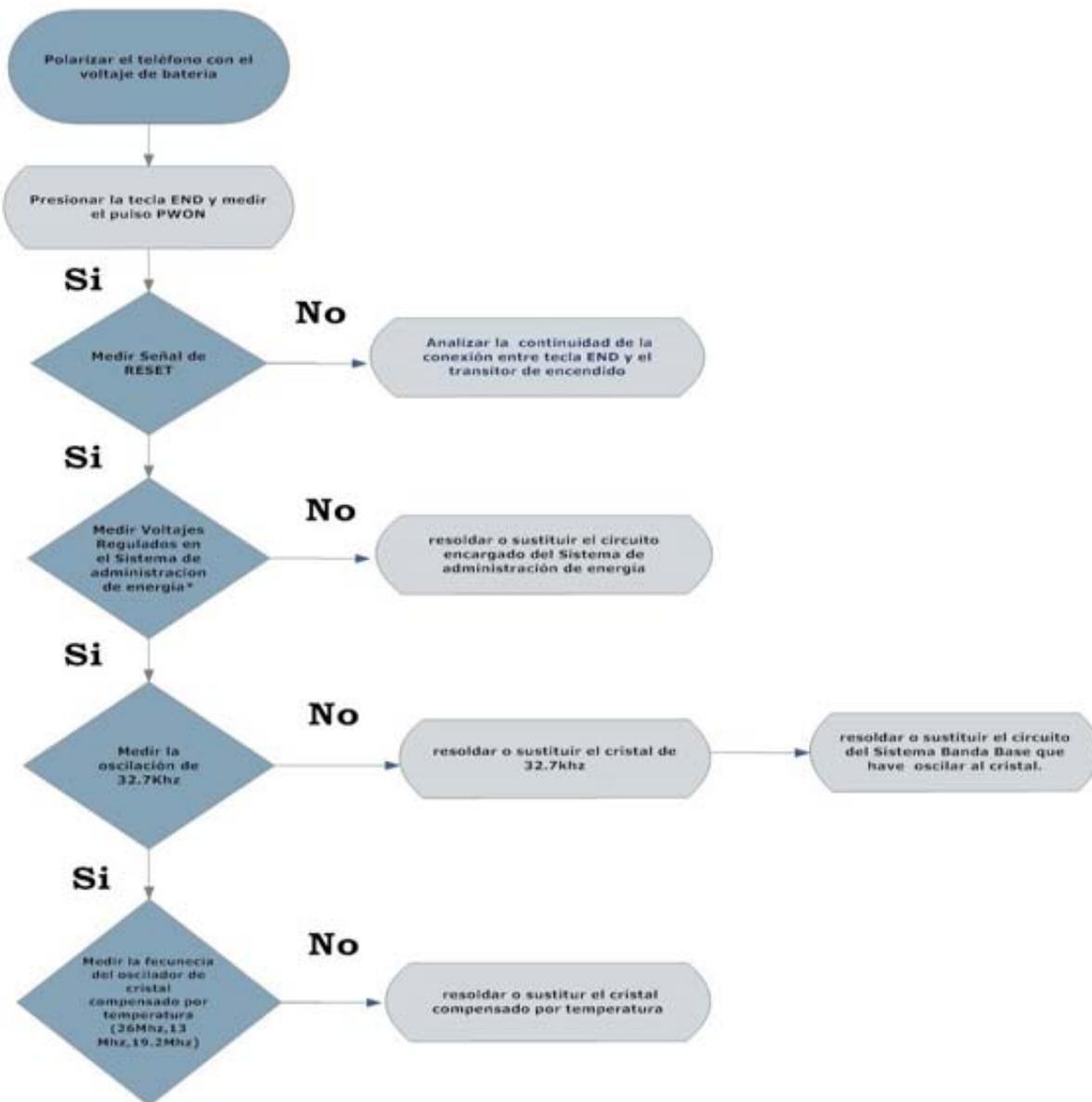


**Fuente de DC marca Agilent modelo 6631B  
Figura 5.**

Una vez que se cuenta con la fuente configurada, con la ayuda de un multímetro o un osciloscopio, así como con el apoyo del correspondiente diagrama eléctrico y el mapa de puntos de prueba podemos diseñar lo que llamaremos *la secuencia de mediciones* que nos ayudará a seguir un secuencia lógica de análisis. A continuación se muestra la secuencia de mediciones para la falla de *no enciende* que estamos considerando.

### No enciende

### Secuencia de Mediciones



### **Consideraciones Generales de la secuencia de mediciones:**

1. El nombre de algunas señales o voltaje aquí mencionados pueden cambiar dependiendo esto del fabricante, incluso hasta entre modelos distintos del mismo fabricante puede cambiar la nomenclatura debido a que se emplean diferentes componentes electrónicos.
2. En muchas ocasiones el sistema banda base y el sistema de administración de energía pertenecen al mismo encapsulado debido a la alta integración que se está dando en estos momentos, de cualquier forma es posible medir los voltajes regulados.
3. Siempre que sea conveniente es bueno realizar un análisis de continuidad a las pistas exteriores del circuito impreso con la finalidad de identificar pistas rotas (en ocasiones es posible realizar puentes).
4. En muchos casos será importante “crear” las condiciones adecuadas de operación para activar o habilitar ciertas secciones del teléfono y ponerlas a prueba, por ejemplo: al analizar el circuito del micrófono sabemos que solamente se activa su voltaje de bias al estar transmitiendo ó al estar en MODO DE PRUEBA. De tal forma que necesitamos estar en una de esas dos condiciones para poder realizar mediciones, por lo tanto, podemos poner el teléfono a transmitir manualmente o con la ayuda de algún programa que el fabricante proporcione para poner a transmitir el teléfono bajo ciertos parámetros particulares de RED o ingresamos al MODO DE PRUEBA que todos los teléfonos tienen programado para poder ingresar a todas sus funciones (a esto también se le llama interfase MMI<sup>1</sup>).
5. La vida útil de un PCB o circuito impreso de un teléfono se ve reducida cada vez que lo calentamos al resoldar ó quitar componentes de ahí la importancia de realizar un buen análisis y reducir al mínimo el número de invasiones de este tipo al teléfono.

<sup>1</sup>: **Interface MMI y Modo de prueba.**

La **interface de usuario** es el medio con que el usuario puede comunicarse con una máquina, un equipo o una computadora, y comprende todos los puntos de contacto entre el usuario y el equipo. Sus principales funciones son las siguientes:

- Puesta en marcha y apagado
- Control de las funciones manipulables del equipo
- Manipulación de archivos y directorios
- Herramientas de desarrollo de aplicaciones
- Comunicación con otros sistemas
- Información de estado
- Configuración de la propia interfaz y entorno
- Intercambio de datos entre aplicaciones
- Control de acceso
- Sistema de ayuda interactivo.

### **4.3 Recomendaciones previas a la reparación.**

Es común escuchar que al *resoldar* algún componente y eliminar las “soldaduras frías” que se encuentran debajo de un BGA<sup>1</sup> en los circuitos encargados del sistema de energía o el de banda base el teléfono encienda y aunque en algunas ocasiones es correcto, lo mejor en todos los casos es primero investigar cual es la razón principal de la falla antes de recurrir a un método invasivo de reparación para solucionar el problema, por lo tanto, se sugieren los siguientes tres pasos antes de reparar el teléfono:

#### *1.- Supervisión Visual.*

Supervisar visualmente con la ayuda de un microscopio como lo muestra la figura 6 todas las partes de la PCB o tarjeta lógica. De esta forma es posible detectar si en ella se encuentran componentes BGA, SMD<sup>2</sup> o de otro tipo golpeados o rotos debido a la presión realizada en su ensamble en fábrica o quizá al maltrato del usuario, por otro lado, también es posible identificar componentes sulfatados o mojados y de esta forma encontrar el origen de la falla.



**Supervisión visual del teléfono.**

**Figura 6**

<sup>1</sup>: Ball Grid Array (BGA), es un tipo de encapsulado usado en circuitos integrados. BGA descende de los PGA. En BGA la comunicación entre el circuito integrado y el dispositivo donde se conecta (una PCB o circuito impreso) se realiza a través de pequeñas pero resistentes esferas de metal color oro en el extremo del circuito.

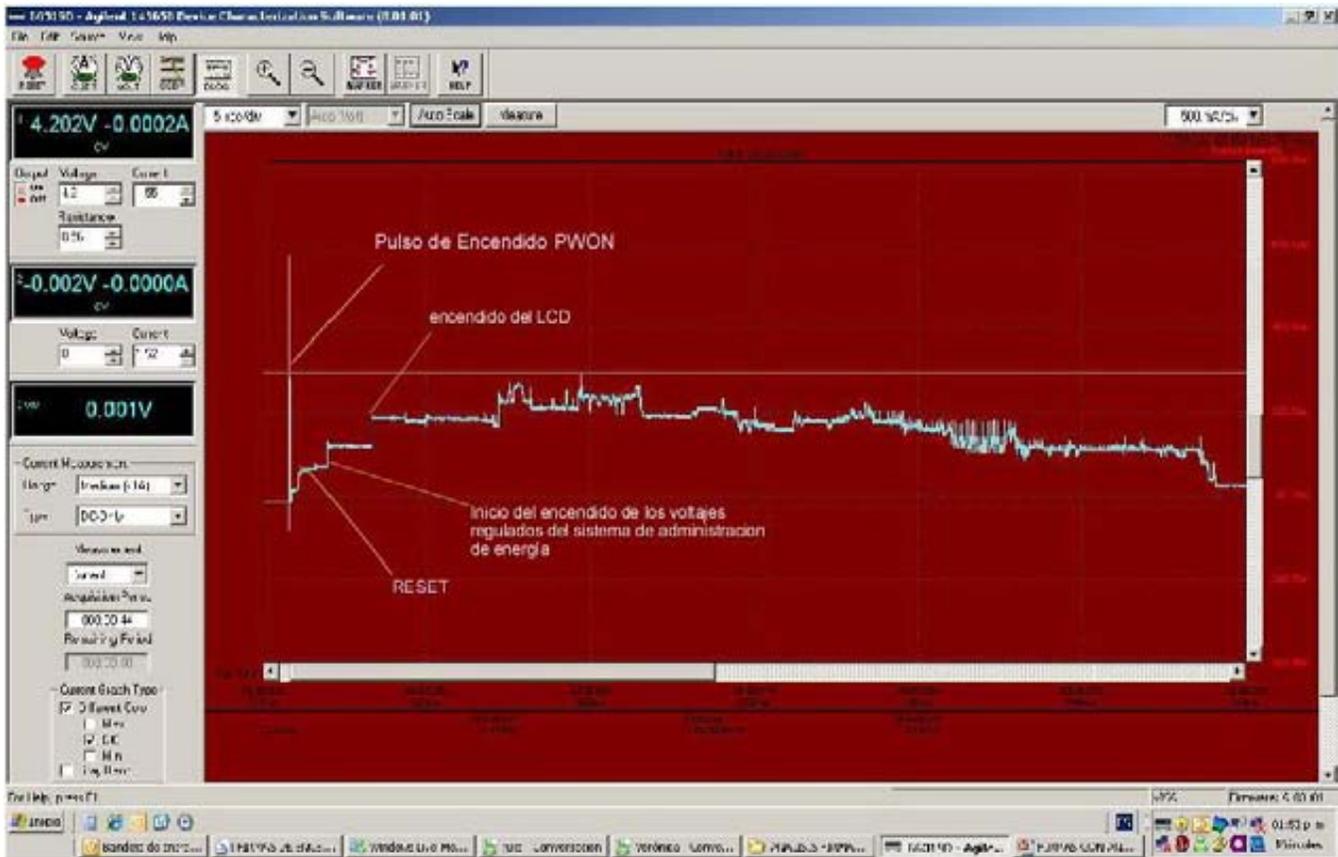
<sup>2</sup>: es la tecnología de montaje superficial más conocida por sus siglas en inglés SMT (*Surface Mount Technology*) ,es el método de construcción de dispositivos electrónicos más utilizado actualmente. Se usa tanto para componentes activos como pasivos, y se basa en el montaje de los mismos sobre la superficie misma del circuito impreso. Tanto los equipos así construidos como los componentes de montaje superficial pueden ser llamados dispositivos de montaje superficial.

### 2.- *Medición del consumo de corriente.*

Este método consiste en conectar el teléfono a una fuente de alimentación para determinar el valor en amperios de la corriente que consume para entonces compararlo con los consumos típicos de corriente y determinar el origen de la falla, sobre este análisis es importante comentar los siguientes dos puntos:

- En los laboratorios es común contar con un registro o base de datos de consumos de corriente típicos para determinadas fallas como es el caso de la de *no enciende*, por ejemplo un consumo de 0.06A pudiera indicar que la memoria está dañada, este sería el objetivo que perseguiríamos al medir la corriente, identificar el componente que está provocando la falla. De tal forma que con la simple lectura de la corriente en la fuente de DC es posible determinar el origen de la falla, para entonces tomar la acción correctiva adecuada para la reparación.
- Recientemente se ha desarrollado otra herramienta muy útil y es generar la “*firma de encendido*” del teléfono o mejor conocida como la gráfica de *consumo de corriente* (corriente vs tiempo), que es posible observar en un osciloscopio, en donde, por ejemplo para la falla de *no enciende* cada punto de esta curva equivale a una etapa en el ciclo de encendido, la cual nos permitiría determinar cuál es el componente que ha dejado de funcionar. La figura 7 muestra la gráfica (corriente vs tiempo) de una “GOLDEN UNIT”\*, y en ella se pueden identificar, la presencia del pulso de encendido PWON, la señal de reset hacia el Sistema Banda Base, así como el inicio del encendido de los voltajes regulados del Sistema de Administración de energía, así como el encendido del LCD. Nota: algunos fabricantes le llaman a esta prueba Signature Test.

\*: GOLDEN UNIT: se le llama “unidad dorada” a un teléfono que se sabe trabaja de manera óptima y que en todas sus funciones sus mediciones son lo suficientemente confiables como para poder ser tomadas como referencia al medir otras unidades



**Gráfica corriente vs tiempo generada en una fuente Agilent 66319D (Mobile Communications).  
Figura 7**

Esta gráfica puede ser generada por medio de un programa desarrollado por algunos fabricantes de fuentes de DC. La gráfica anterior fue generada por el programa de control de una fuente de DC, marca Agilent Technologies modelo 66319D, que tiene una excelente resolución lo cual nos permite analizar el comportamiento del teléfono en cualquier instante de tiempo.

### 3.- Programación.

Una de las posibles razones por la cual el teléfono no enciende es debido a la interrupción de su programa fuente en donde se encuentra su sistema de arranque o encendido, así que entonces será conveniente intentar cargar el programa del teléfono nuevamente con la aplicación y los archivos correspondientes.

Si después de realizar estos tres pasos no hemos podido localizar la falla entonces iniciamos el proceso de análisis y diagnóstico descrito anteriormente y al encontrar la falla proceder a resoldar, retirar, o sustituir el o los componentes dañados.

#### **4.4 Diagnóstico y corrección de fallas en el sistema de radiofrecuencia.**

En este caso aprovecharemos el análisis considerado en la sección anterior. Para el análisis de fallas en este sistema es necesario contar con un analizador de espectros y un equipo que simule una radiobase (equipo TESTER o GSM TEST SET ) para realizar y recibir llamadas. En la figura 8 podemos observar un equipo de este tipo marca WILLTEK modelo 4405 con tecnologías GSM/GPRS, en el que estaremos realizando las pruebas para esta sección.



**Equipo Willtek 4405 (Mobile Phone Tester) tecnología GSM/GPRS  
Figura 8**

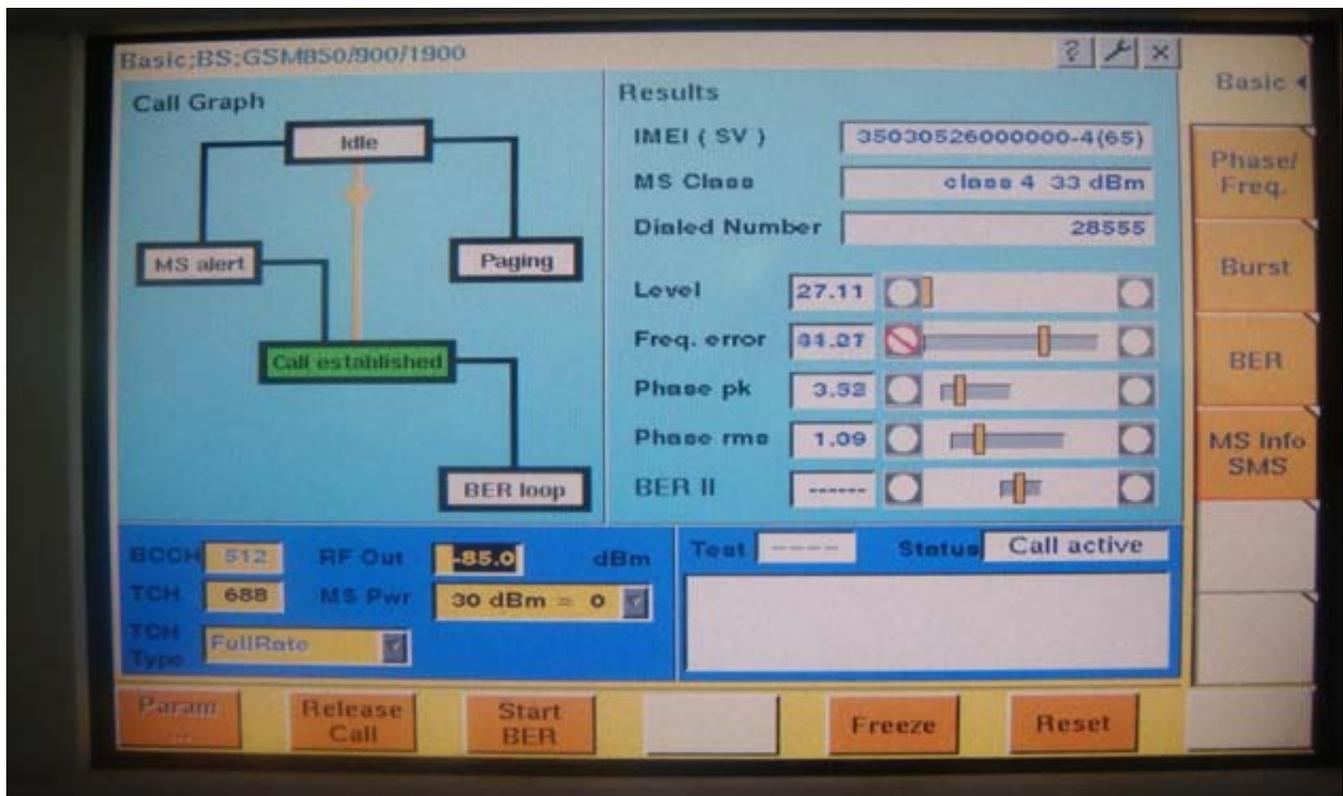
Debido a lo completo de su análisis y su alta incidencia a centros de reparación hemos seleccionado la falla de **Sin Servicio** para ejemplificar el proceso de diagnóstico de fallas en este sistema.

### **Análisis de la falla : Sin Servicio**

Descripción de la falla:

El analista sabe que se encuentra frente a un problema de sin servicio cuando el indicador de señal en la pantalla no tiene ninguna barra indicadora de señal y no puede hacer ni recibir llamadas.

Primeramente se tiene que configurar el equipo TEST SET para generar la señal portadora y esta sea recibida por el teléfono. Para ello lo primero que debemos hacer es seleccionar los canales en los que vamos a trabajar de acuerdo a la frecuencia a la que trabajan los operadores en México en este caso 1900 MHz y calcular la frecuencia de la señal portadora correspondiente a los canales seleccionados para poder generarla e ingresarla en el teléfono, la figura 9 muestra la pantalla de configuración del TEST SET.



**Pantalla de configuración de llamada de WILLTEK 4405  
Figura 9**

**Selección del canal de difusión y el canal de tráfico:**

Por ejemplo si seleccionemos como canal de difusión (BCCH) el canal 512 y como canal de tráfico (TCH) el canal 688.

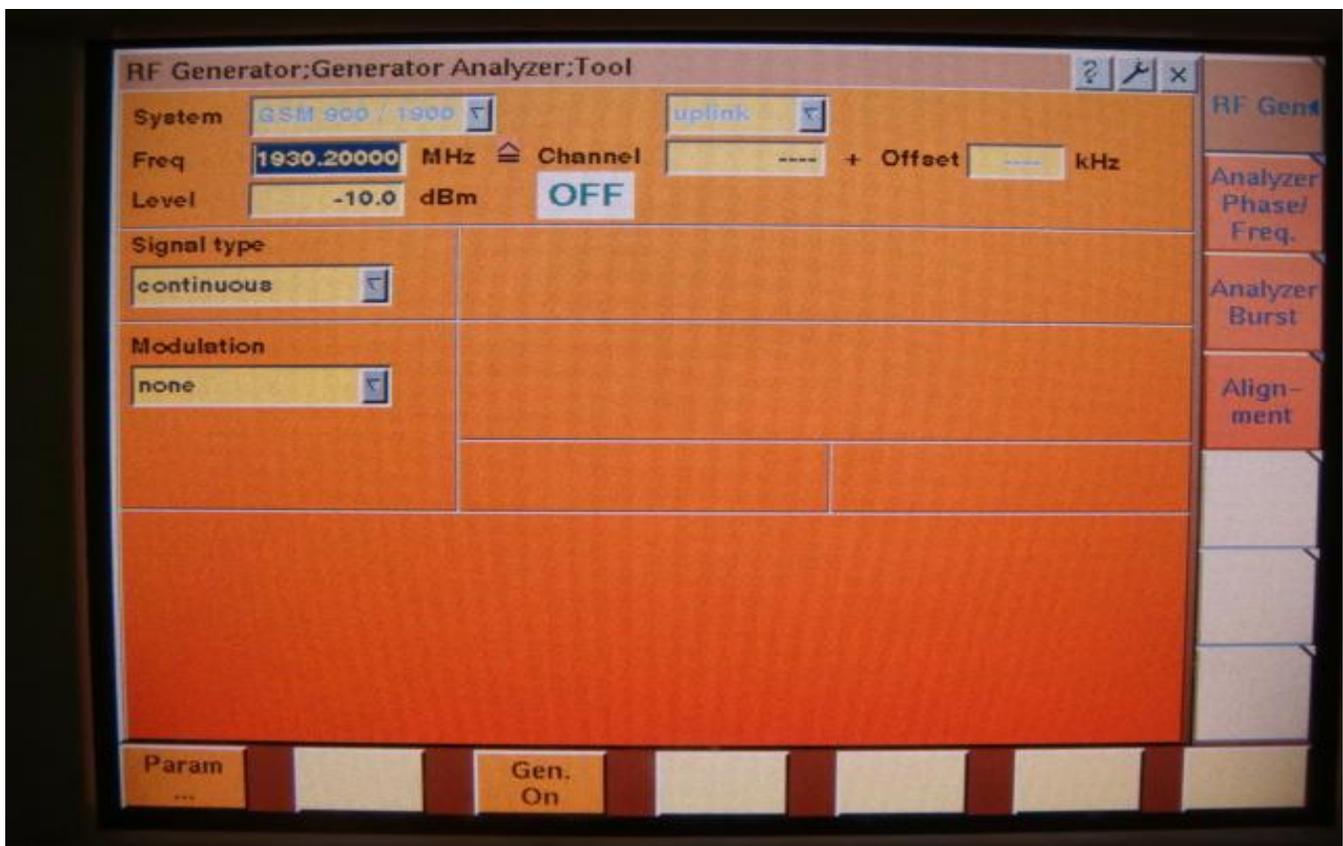
El cálculo de la frecuencia portadora se realiza de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\text{TX: } 1850.2 + (n - 512) \times 0.2 \text{ MHz (n = 512 ~ 810)}$$

En donde n = 512-810 canales disponibles en Recepción ó RX para la banda de 1900MHz

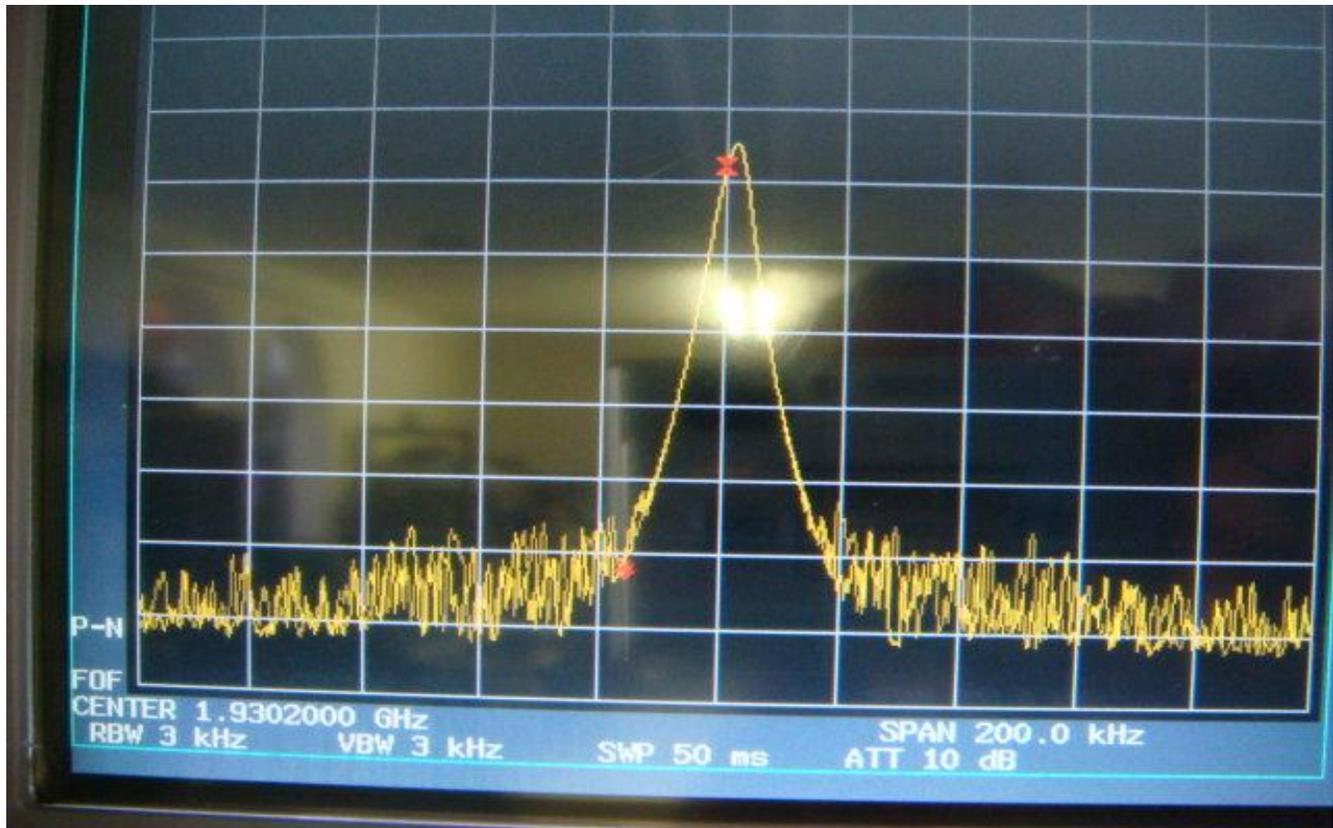
De manera que sustituyendo el valor del canal BCCH que es para nuestro ejemplo 512, el valor de la frecuencia para nuestra señal portadora es 1930.2

Esta frecuencia es la que debemos obtener para realizar nuestras pruebas y para ello necesitaremos un generador de señales, comúnmente los equipos TEST SET cuentan con uno de manera que vamos a configurar esta frecuencia en él como lo muestra la figura 10.



**Configuración de la opción Generador en el TEST SET a una frecuencia de 1930.2MHz  
Figura 10.**

Una vez configurada esta señal, se sugiere comprobar que se esté generando, así que con la ayuda de un analizador de espectros podemos medir dicha señal para confirmar su presencia y entonces ingresar la señal al teléfono, la figura 11 muestra la señal de 1930.2 a un span de 200khz.



**Señal de 1930.2 MHz  
Figura 11.**

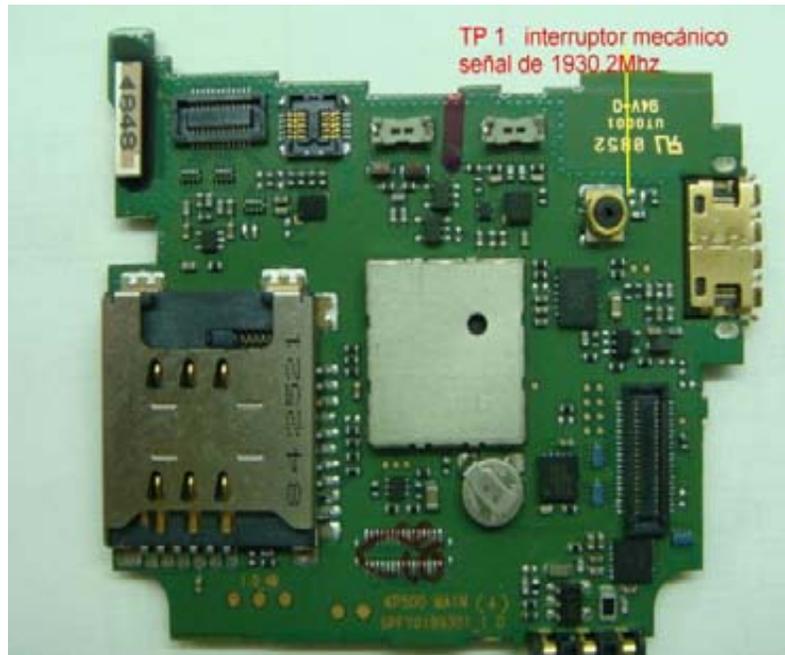
El siguiente paso es encender el teléfono, en algunos modelos no es necesario utilizar la SIM CARD ya que el transceptor se configura para trabajar sin ella. En todos los teléfonos móviles, su circuito impreso cuenta con un interruptor mecánico para poder ingresar la señal generada con el equipo TEST SET o para dejar pasar la señal de “aire”.

A continuación lo que sigue es encender el teléfono e ingresar la señal portadora para iniciar las mediciones. Para el siguiente análisis realizaremos las mediciones a el modelo KP570 de LG Electronics.

Nota:En este caso emplearemos como Mapa de localización de componentes y Mapa de puntos de prueba la fotografía misma del circuito impreso de este teléfono.

### **Ubicación de puntos de prueba**

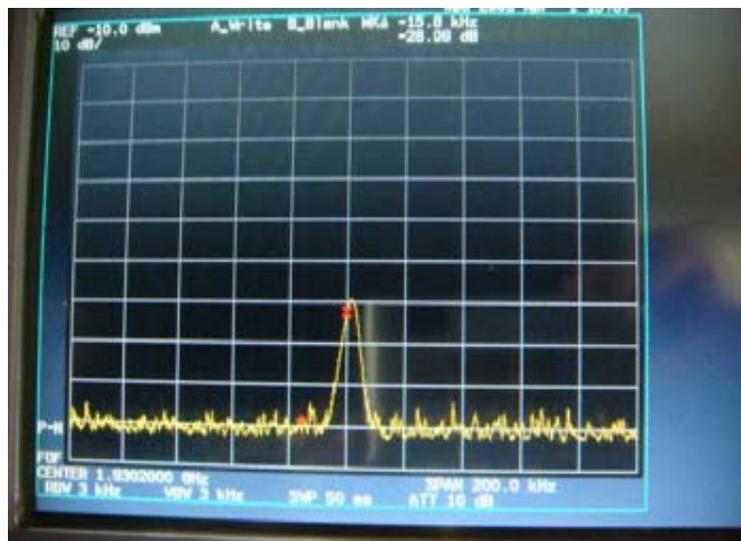
Como se comento anteriormente por medio de el Mapa de puntos de prueba, será muy útil también localizar los puntos donde mediremos la señal, particularmente para esta falla el primer punto de prueba TP1<sup>1</sup> y es el interruptor mecánico, como lo muestra la figura 12, en donde la señal medible en este punto es equivalente a la señal medida a la entrada de circuito de entrada FEM (TP2).



**Puntos de prueba del modelo KP570 de LG Electronics**

**Figura 12.**

De manera que al medir uno de los extremos del interruptor mecánico podremos observar una señal como lo que se observa en la figura 13.



**Señal de 1930.2 MHz en el interruptor mecánico**

**Figura 13.**

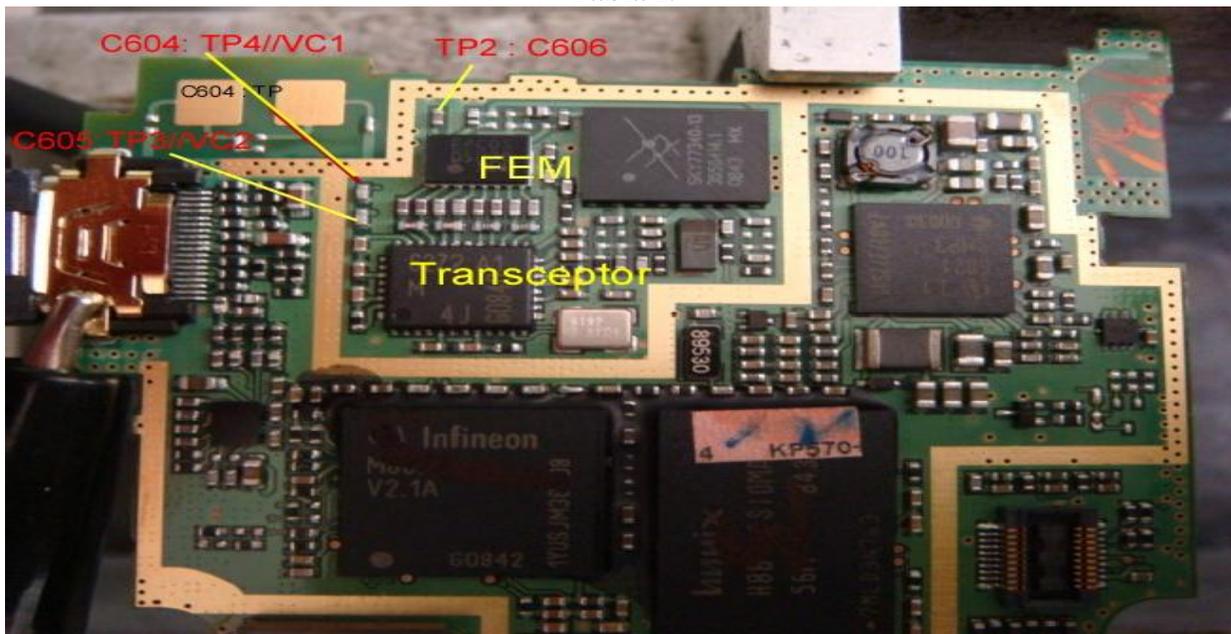
<sup>1</sup>: usaremos la nomenclatura TP para referirnos a un punto de prueba.

Los siguientes puntos de prueba son aquellos donde encontramos las señales de control del sistema banda base para el circuito de entrada o FEM, los puntos de prueba se muestran en la figura 14 donde C604 y C605 son los capacitores donde encontramos las señales.

Para tener el control de este sistema de entrada, el sistema banda base emplea una tabla de valores como la que muestra la tabla I para determinar la banda en la que se está trabajando (alta o baja) y si lo está haciendo en recepción o transmisión. En nuestro caso, en este momento estamos hablando de recepción, la tabla estaría determinada como lo muestra indicando con una flecha la tabla I.

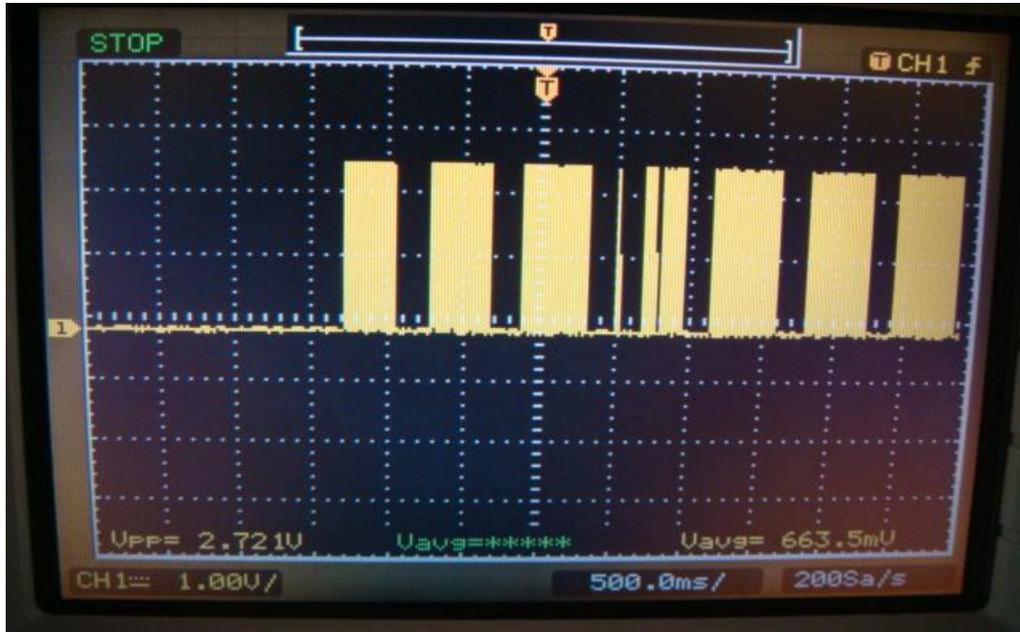
	VC1 /PIN14 de FI 600	VC2/PIN 13 de FL600
DCS/PCS TX	1	1
DCS/PCS RX	1	0

**Tabla I.**



**Puntos de Prueba para el Módulo de entrada FEM  
Figura 14.**

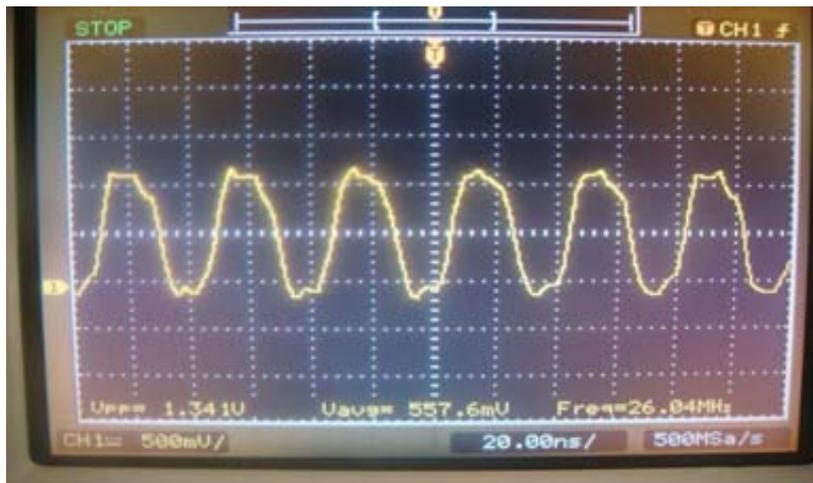
Las señales de control los medimos en los puntos de prueba que muestra la figura 14 con la ayuda de un osciloscopio. Para recepción en el punto de prueba se estaría observando una señal como la que muestra la figura 15, solo el valor de VC1 deberá mantenerse en alto.



**Señal VC1 de control para el sistema de entrada ó FEM  
Figura 15.**

**Medición del oscilador a cristal controlado por voltaje (VCXO):**

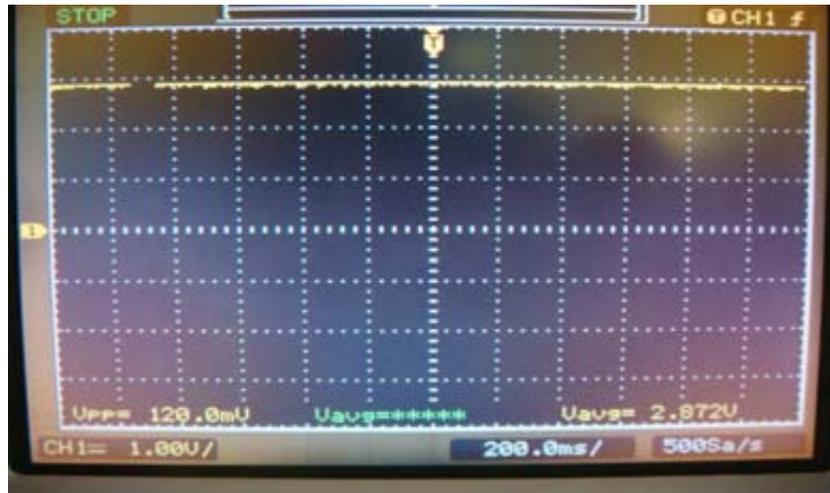
El transceptor emplea esta frecuencia como referencia en la parte de su sintetizador por esta razón es importante saber si se encuentra presente ésta oscilación, la figura 16 muestra la forma de la señal de este oscilador.



**Forma de onda del oscilador a cristal controlado por voltaje  
Figura 16.**

**Medición del voltaje de control habilitador de la recepción, la sincronía así como los datos o información compartida con el sistema banda base del Transceptor.**

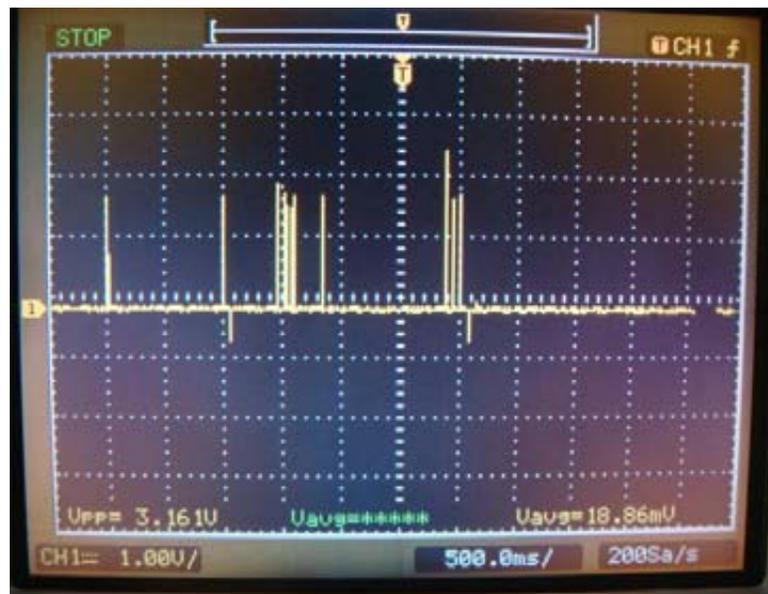
La figura 17 muestra la medición del voltaje habilitador de la recepción (habilitador del sintetizador) RF\_EN (puede variar el nombre de acuerdo al fabricante)



**Voltaje de control RF\_ENE**

**Figura 17.**

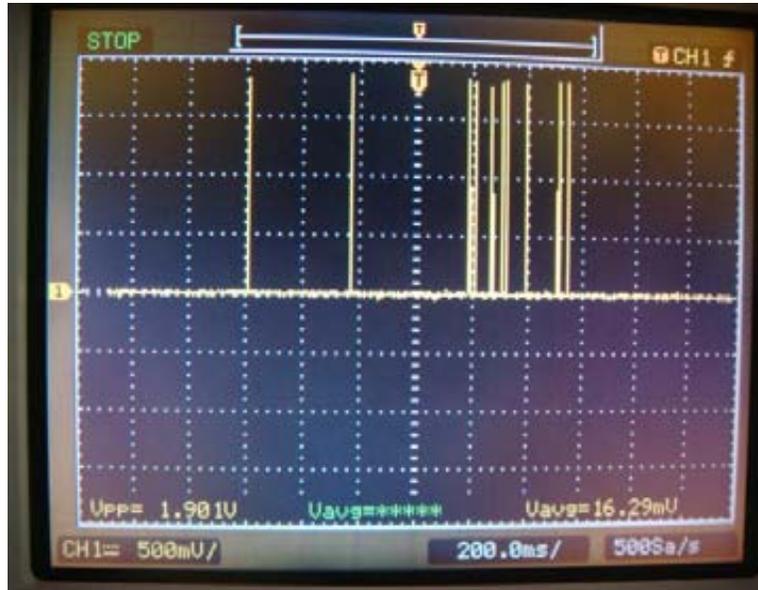
La sincronía RF\_CLK ( o RF clock ) y los datos RF (DATA) hacia el sistema banda se muestran en las figuras 18 y 19 respectivamente:



**Señal RF\_CLK**

**Figura 18**

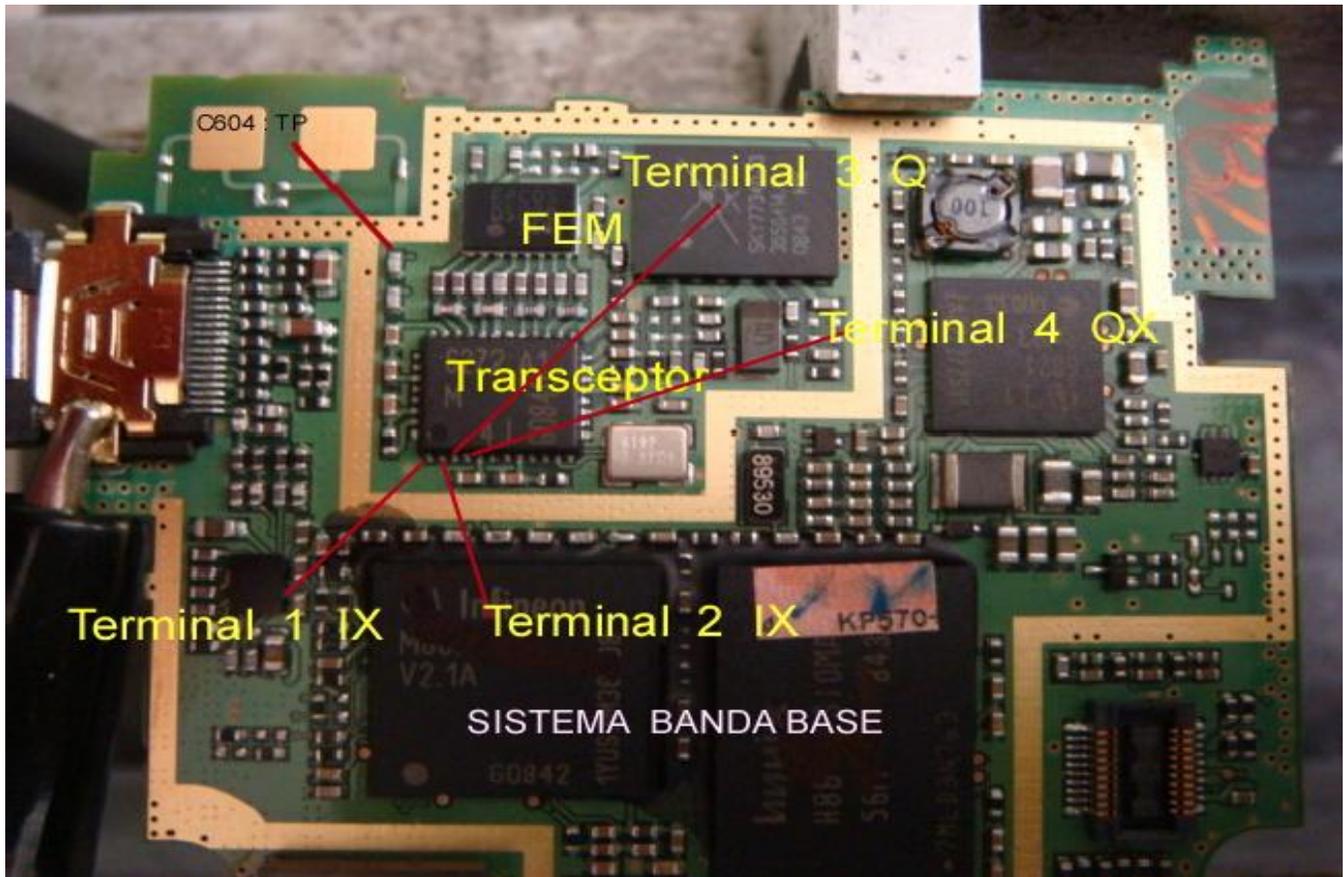
Intercambio de datos con el sistema banda base



**RF\_DATA**  
**Figura19.**

### **Análisis del transceptor:**

La principal función en recepción del transceptor es generar una señal de frecuencia baja para que el sistema banda base pueda trabajar con ella y procesar su información tanto con su unidad ARM como su procesador digital de señales (DSP), con ésta señal de baja frecuencia ó *frecuencia intermedia* el transceptor realiza un proceso de demodulación en fase y cuadratura y entrega a su salida las señales *In phase* y *Quadrature* (*I* e *Q*, cada una con su componente positiva y negativa), son estas las señales que mediremos a continuación a la salida del mismo. La figura 20 muestra los puntos de prueba a la salida del transceptor, donde IX y QX son las componentes negativas.

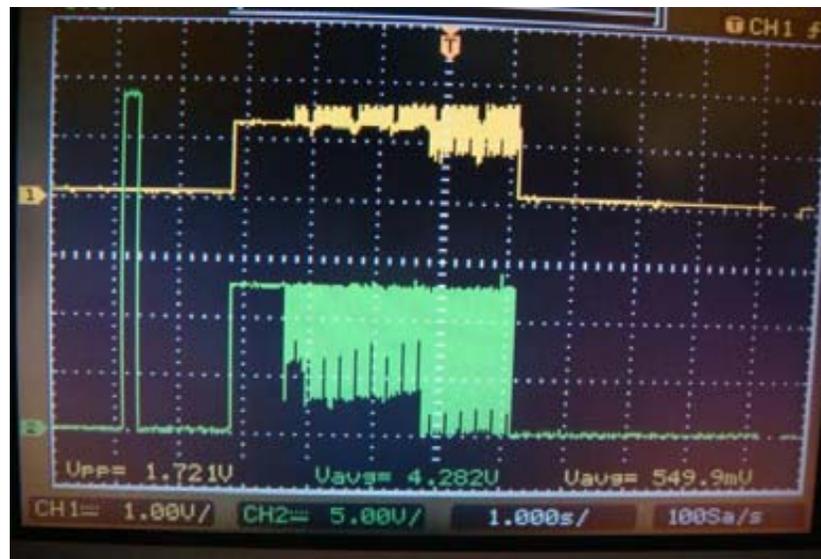


**Puntos de prueba del transceptor  
Figura 20**

La comparación entre las señales *In Phase* y *Quadrature* tanto sus componentes positiva y negativa se muestran en las figuras 21 y 22 respectivamente.



**Componente positiva de la señal *In phase* (amarillo) y *Quadrature* (verde)  
Figura 21**



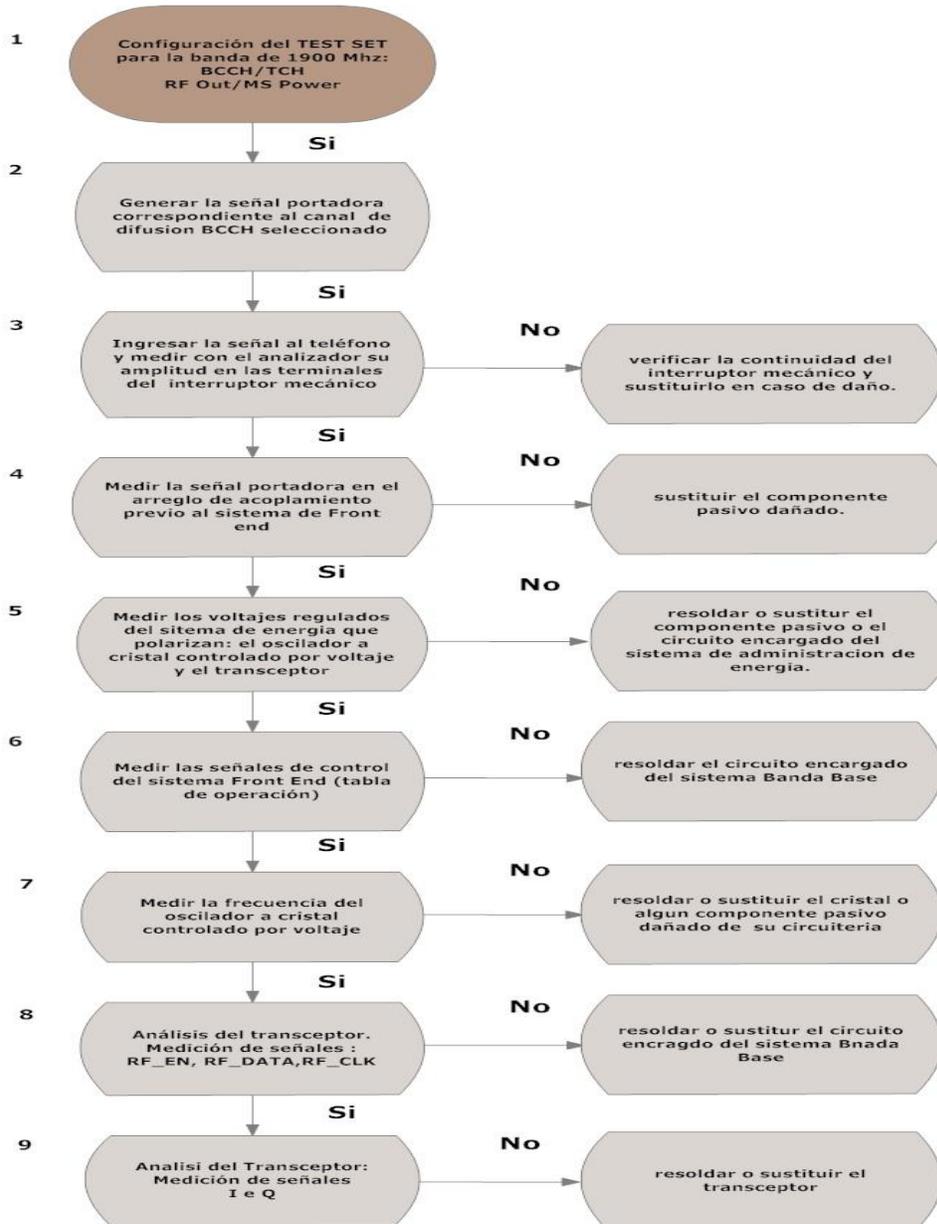
**Componentes positivas de la señal *In phase* (amarillo) y *Quadrature* (verde)  
Figura 22**

Hasta este momento podemos decir que el análisis de Recepción se ha completado, una vez realizadas las mediciones anteriores y de no encontrar ninguna variación u omisión de alguna señal ó voltaje de

control, el análisis de esta falla , se continuaría con a el estudio del sistema banda base hasta encontrar el origen de la falla.

En resumen , la *Secuencia de mediciones* de la falla **Sin Servicio** sería la siguiente:

**Sin Servicio**  
**Secuencia de Análisis**



#### **4.5 Consideraciones finales:**

La variedad de fallas de las que podemos hablar es muy amplia de manera que podemos generalizar el proceso de análisis de la siguiente forma para poder considerar cualquier falla:



Será muy importante contar con una *GOLDEN UNIT* para obtener las mediciones de referencia que nos servirán como parámetro en futuros análisis y para poder diseñar nuestro Mapa de puntos de prueba.

Cuando no se cuenta con los diagramas eléctricos del teléfono, se puede proceder de la siguiente forma: Identificar visualmente en la PCB los sistemas y subsistemas pasar a elaborar *el Mapa de localización de componentes*, para entonces vaciar la información obtenida del análisis de nuestra *GOLDEN UNIT* y crear nuestro *Mapa de puntos de prueba*. que finalmente quedará como memoria para futuros análisis de la misma falla o una relacionada.

## CONCLUSIONES

Si hablamos desde el punto de vista práctico, el gran volumen de reparación y el *reducido tiempo de respuesta* que se exige actualmente a los Centros de servicio certificados por cada uno de los fabricantes de teléfonos, llegan a ser factores que influyen mucho en el que se pueda realizar un buen análisis y por lo tanto un diagnóstico correcto de muchas de las fallas que son reportadas por un sinnúmero de usuarios. Por otro lado la documentación que en muchas ocasiones hace llegar el fabricante a sus Centros de servicio no es lo suficientemente clara para entenderla y muchas veces incompleta que no llega a ser de gran ayuda al momento de analizar una unidad, además de carecer de información práctica. Es por ello que al definir este trabajo como un plan definido o secuencia de análisis facilita el trabajo en el laboratorio ya que esta se centra en los aspectos prácticos y concretos al momento de realizar cualquier medición, lo que lo convierte en una información muy valiosa.

Con las secuencias expuestas aquí, cualquier analista podrá realizar su propia “receta” por decirlo así y simplificar su tiempo de diagnóstico y reparación, lo cual involucrará mayor volumen en menor tiempo, ya que una vez que uno diseña sus *Mapas de puntos de prueba* y sus *secuencias de mediciones*, el proceso de diagnóstico se convierte en una acción rápida y automática, “de memoria” a pesar de que en muchos de los casos ciertas fallas involucran una gran cantidad de mediciones.

Aunque las aplicaciones y funciones entre un teléfono diseñado por un fabricante y el diseñado por otro pueden ser muy diferentes, el proceso de análisis general que se ha descrito aquí es el mismo para todos los casos ya que los sistemas antes descritos son los mismos para todos los teléfonos independientemente del grado de integración que maneje un fabricante de chipsets de telefonía o la tecnología implementada en cada uno de ellos.

Este trabajo expuso un método de análisis para muchos desconocido y si lo han llegado a escuchar no se le da la debida importancia por ignorar la forma de interpretar la medición, estamos hablando de la gráfica de corriente contra tiempo ( $I$  vs  $t$ ), con ella es posible inclusive en unos segundos darnos cuenta de que el teléfono es irreparable o caso contrario poder repararlo en unos par de minutos mediante cargarle el sistema de arranque del mismo que reside en la memoria. Esta gráfica es muy útil cuando tenemos una falla conocida como “aleatoria” y que es muy difícil de identificar en que instante de su operación se presenta, por ejemplo el teléfono no podría presentar servicio en algún instante del día, en este caso podemos tener un registro de la gráfica durante un tiempo determinado de prueba y observar gráficamente el comportamiento de los componentes involucrados y determinar cuál está fallando, para entonces tomar la acción correctiva correspondiente. Por lo tanto en cuanto a éste método de análisis, se invita a poder considerarlo como una alternativa más para detección de fallas difíciles.

Es importante agregar que el hecho de plantear el análisis del teléfono con un enfoque sistémico, permite al Técnico analista o Ingeniero de Servicio ubicar rápidamente en el circuito impreso los sistemas y componentes con relativa sencillez y facilidad y determinar que sección está generando el problema.

Visión Global de la reparación de teléfonos celulares:

La visión de la reparación de teléfonos móviles por cada uno de los fabricantes de ellos ha cambiado debido a las condiciones económicas actuales, antes la tendencia era cambiar el teléfono por uno nuevo cuando el usuario reportara una falla, después fue la de cambiar sólo el circuito impreso ( o PCB ) el día de hoy es reparar el mayor número de fallas posibles y solo en el caso de fallas difíciles comprobadas y sin solución es cambiar el circuito impreso. Es por ello que a nivel Mundial los Centros especializados y certificados en reparación tiene la gran necesidad de contar con analistas que puedan diseñar secuencias de diagnóstico y reparación, que por un lado consuman el menor tiempo posible para obtener el mayor volumen de equipos reparados y por el otro reduzcan el número de equipos irreparable que se traducen en pérdidas millonarias.

En nuestro país existe muchos centros de servicio actualizados pero la mayoría no cuenta con información tan precisa para el diagnóstico y es que uno de los problemas es que los manuales de servicio originales son diseñados en el país de origen del fabricante, en el idioma de ese país y con las secuencias de prueba en las frecuencias de los proveedores locales. Otro inconveniente es que las fallas que presenta determinado modelo aunque sea distribuido o vendido por todo el mundo , no siempre presenta la misma falla debido a factores del área geográfica como lo es el clima. En resumen, los fabricantes no hacen manuales de servicio para cada país , sino uno sólo y normalmente no hay una adecuación o adaptación a otra región.

El presente trabajo ha tenido como meta poder contribuir para que esta necesidad de falta de información orientada a mejorar el trabajo de los centros de servicio sea cubierta y que sirva como modelo o inspiración al desarrollo posterior de manuales o guías de reparación que formen parte del procedimiento de cualquier laboratorio de reparación de móviles.

Por todo esto consideramos que el presente trabajo es una aportación muy positiva para quienes se dedican a reparar teléfonos celulares o quienes deseen empezar a hacerlo.

## **Anexo A**

ARM (Advanced RISC Machines) / **Arquitectura computacional RISC**

## **ARM**

Se denomina **ARM (Advanced RISC Machines)** a una familia de microprocesadores RISC diseñados por la empresa Acorn Computers y desarrollados por Advanced RISC Machines Ltd., una empresa derivada de la anterior. Abajo la figura muestra un microprocesador diseñado por Acorn



**Figura 1**  
**Procesador ARM**

### **Historia**

---

Microprocesador ARM en un router:

El diseño del ARM comenzó en 1983 como un proyecto de desarrollo en la empresa Acorn Computers Ltd. Roger Wilson y Steve Furber lideraban el equipo, cuya meta era, originalmente, el desarrollo de un procesador avanzado, pero con una arquitectura similar a la del MOS 6502. La razón era que Acorn tenía una larga línea de ordenadores personales basados en dicho micro, por lo que tenía sentido desarrollar uno con el que los desarrolladores se sintieran cómodos.

El equipo terminó el diseño preliminar y los primeros prototipos del procesador en el año 1985, al que llamaron ARM1. La primera versión utilizada comercialmente se bautizó como ARM2 y se lanzó en el año 1986.

La arquitectura del ARM2 posee un bus de datos de 32 bits y ofrece un espacio de direcciones de 26 bits, junto con 16 registros de 32 bits. Uno de estos registros se utiliza como contador de programa, aprovechándose sus 4 bits superiores y los 2 inferiores para contener los flags de estado del procesador.

El ARM2 es probablemente el procesador de 32 bits útil más simple del mundo, ya que posee sólo 30 000 transistores. Su simplicidad se debe a que no está basado en microcódigo (sistema que suele ocupar en torno a la cuarta parte de la cantidad total de transistores usados en un procesador) y a que, como era común en aquella época, no incluye caché. Gracias a esto, su consumo en energía es bastante bajo, a la vez que ofrece un mejor rendimiento que un 286. Su sucesor, el ARM3, incluye una pequeña memoria caché de 4 KB, lo que mejora los accesos a memoria repetitivos.

A finales de los años 80, Apple Computer comenzó a trabajar con Acorn en nuevas versiones del núcleo ARM. En Acorn se dieron cuenta de que el hecho de que el fabricante de un procesador fuese también un fabricante de ordenadores podría echar para atrás a los clientes, por lo que se decidió crear una nueva compañía llamada Advanced RISC Machines, que sería la encargada del diseño y gestión de las nuevas generaciones de procesadores ARM. Ocurre esto en el año 1990.

Este trabajo derivó en el ARM6, presentado en 1991. Apple utilizó el ARM 610 (basado en el ARM6), como procesador básico para su innovador PDA, el Apple Newton. Por su parte, Acorn lo utilizó en 1994 como procesador principal en su RiscPC.

El núcleo mantuvo su simplicidad a pesar de los cambios: en efecto, el ARM2 tiene 30 000 transistores, mientras que el ARM6 sólo cuenta con 35 000. La idea era que el usuario final combinara el núcleo del ARM con un número opcional de periféricos integrados y otros elementos, pudiendo crear un procesador completo a la medida de sus necesidades.

La mayor utilización de la tecnología ARM se alcanzó con el procesador ARM7TDMI, con millones de unidades en teléfonos móviles y sistemas de videojuegos portátiles.

DEC licenció el diseño, lo cual generó algo de confusión debido a que ya producía el DEC Alpha, y creó el StrongARM. Con una velocidad de reloj de 233 MHz, este procesador consumía solo 1 W de potencia (este consumo de energía se ha reducido en versiones más recientes). Esta tecnología pasó posteriormente a manos de Intel, como fruto de un acuerdo jurídico, que la integró en su línea de procesadores Intel i960 e hizo más árdua la competencia.

Freescale (una empresa que derivó de Motorola en el año 2004), IBM, Infineon Technologies, OKI, Texas Instruments, Nintendo, Philips, VLSI, Atmel, Sharp, Samsung y STMicroelectronics también licenciaron el diseño básico del ARM.

El diseño del ARM se ha convertido en uno de los más usados del mundo, desde discos duros hasta juguetes. Hoy en día, cerca del 75% de los procesadores de 32 bits poseen este chip en su núcleo.

La tabla 1 muestra las diferentes familias de estos procesadores y sus aplicaciones:

**Los núcleos**

Familia	Núcleo	Característica	Cache (I/D)/MMU	MIPS @ MHz	Uso
<b>ARM7TDMI</b>	ARM7TDMI(-S)	segmentación de 3 etapas	ninguna	15 MIPS @ 16,8 MHz	<u>Game Boy Advance</u>
	ARM710T	MMU			
	ARM720T		8KB unificados, MMU		
	ARM740T		MPU		
	ARM7EJ-S	Jazelle DBX	sin		
<b>ARM9TDMI</b>	ARM9TDMI	segmentación de 5 etapas	sin		
	ARM920T		16KB/16KB, MMU	200 MIPS @ 180 MHz	Videocónsola GPX2, Calculadoras HP-49/50
	ARM922T		8KB/8KB, MMU		
	ARM940T		MPU		
<b>ARM9E</b>	ARM946E-S		variable, altamente acopladas, MPU		<u>Nintendo DS</u>
	ARM966E-S		sin cache, TCMs		
	ARM968E-S		sin cache, TCMs		
	ARM926EJ-S	Jazelle DBX	variable, TCMs, MMU		
<b>ARM10E</b>	ARM1020E	(VFP)	32KB/32KB, MMU		
	ARM1022E	(VFP)	16KB/16KB, MMU		
	ARM1026EJ-S	Jazelle DBX	variable, MMU or MPU		
<b>ARM11</b>	ARM1136J(F)-S	SIMD, Jazelle DBX, (VFP)	variable, MMU		Motorola Z6
	ARM1156T2(F)-S	SIMD, Thumb-2, (VFP)	variable, MPU		
	ARM1176JZ(F)-S	SIMD, Jazelle DBX, (VFP)	variable, MMU+TrustZone	420 MHz	<u>iPhone</u>
	ARM11 MPCore	1-4 núcleos SMP, SIMD, Jazelle DBX, (VFP)	variable, MMU		
<b>Cortex</b>	Cortex-M3	Microcontroller profile	sin cache, (MPU)		
	Cortex-A8	NEON, Jazelle RCT, Thumb-2	variable (L1+L2), MMU+TrustZone	hasta 2000 (2.0 DMIPS/MHz) velocidades desde 600MHz hasta más de 1GHz)	<u>Pandora (consola)</u>
	Cortex-A9	Núcleos múltiples o simples, hasta 4 núcleos. NEON, Thumb®-2, TrustZone, Jazelle, CoreSight	L2 hasta 2MB	Más de 8000 Dhrystone MIPS agregados a 1GHz	Versiones futuras de Symbian
<b>XScale</b>	80200/IOP310/IOP315	Procesador de entrada/salida			
	80219				
	IOP321				
	IOP33x				
	PXA210/PXA250	Procesador de aplicaciones			
	PXA255				
	PXA26x				
	PXA27x			800 MIPS @ 624 MHz	
	PXA800(E)F				
	Monahans			1000 MIPS @ 1,25 GHz	

	IXC1100	Procesador de control de plano			
	IXP2400/IXP2800				
	IXP2850				
	IXP2325/IXP2350				
	IXP42x				
	IXP460/IXP465				

Familias de procesadores ARM

Tabla 1

### Diseño

---

El juego de instrucciones del ARM es similar al del MOS 6502, pero incluye características adicionales que le permiten conseguir un mejor rendimiento en su ejecución. Para mantener el concepto tradicional de RISC, se incluyó el comando de ejecución en un tiempo bastante bueno, siendo por lo general, en un ciclo. La característica más interesante es el uso de los 4 bits como código condicional en la parte superior de cada instrucción, haciendo que cada instrucción pueda ser una condición.

Este corte permite aumentar el espacio para algunos desplazamientos en el acceso a la memoria, pero también permite evitar caer en ciclos fuera de control cuando la aplicación sea para pequeñas instrucciones condicionadas. El ejemplo estándar es el Máximo común divisor, según el algoritmo de Euclides.

Ejemplo en C

```
int gcd(int i, int j)
{
    while (i != j)
        if (i > j)
            i -= j;
        else
            j -= i;
    return i;
}
```

Expresado en código ensamblador ARM, el ciclo, con una pequeña rotación, permite ver algo similar a esto

```
        b test
loop    subgt  Ri, Ri, Rj
        suble Rj, Rj, Ri
test    cmp    Ri, Rj
        bne  loop
```

el cual permite rotar en torno a la condición.

Otra característica única del juego de instrucciones es la posibilidad de añadir shifts y rotar en el procesamiento de datos (aritmético, lógico y movimiento de registros), por ejemplo, la instrucción en C "a += (j << 2);" puede ser mejorada como una instrucción simple en el ARM, permitiendo la reubicación del registro.

Todo esto ocasiona que se necesiten menos operaciones de carga y almacenamiento, mejorando el rendimiento.

El procesador ARM también tiene algunas características que son raras en otras arquitecturas también consideradas RISC, como el direccionamiento relativo, y el pre y post incremento en el modo de direccionamiento.

Tiene dos modos de funcionamiento: el ARM con instrucciones que ocupan 4 bytes, más rápidas y potentes (hay instrucciones que sólo están en este modo) pero con mayor consumo de memoria y de electricidad. Y el modo THUMB, más limitado, con instrucciones que ocupan 2 bytes y con menor consumo de corriente.

### Tecnologías

---

#### Thumb

Quizás en parte por el uso condicional de usar 4 bytes por cada instrucción, los procesadores más recientes traen una instrucción de 16 bits, llamada **Thumb**. Este pretende disminuir la cantidad de código escrito. Así como mejorar la densidad del código, el rendimiento puede ser superior a un código de 32 bits en donde el puerto de memoria o ancho del bus de comunicaciones son menores a 32 bits. Por lo general en aplicaciones inserta un pequeño rango de direcciones de memoria con un *datapath* de 32 bits (por ejemplo: Game Boy Advance), y el resto son 16 bits en modo *wide* o *narrower*.

El primer procesador con la tecnología **Thumb** fue el ARM7TDMI. Toda la familia posterior al ARM9, incluyendo el procesador Intel XScale, tienen incorporada la tecnología en su núcleo.<sup>3</sup>

#### Jazelle

ARM tiene implementada una tecnología que permite que ciertos tipos de arquitecturas ejecuten Java bytecode nativamente en el hardware. El primer procesador en usar **Jazelle** fue el **ARM926EJ-S**, siendo denominados con una J a todos los procesadores que soportaran esta tecnología.

## RISC



DEC Alpha AXP 21064, un microprocesador RISC

De Arquitectura computacional, **RISC** (del inglés *Reduced Instruction Set Computer*), Computadora con Conjunto de Instrucciones Reducidas.

Es un tipo de microprocesador con las siguientes características fundamentales:

1. Instrucciones de tamaño fijo y presentadas en un reducido número de formatos.
2. Sólo las instrucciones de carga y almacenamiento acceden a la memoria por datos.

Además estos procesadores suelen disponer de muchos registros de propósito general.

El objetivo de diseñar máquinas con esta arquitectura es posibilitar la segmentación y el paralelismo en la ejecución de instrucciones y reducir los accesos a memoria. Las máquinas RISC protagonizan la tendencia actual de construcción de microprocesadores. PowerPC, DEC Alpha, MIPS, ARM, ... son ejemplos de algunos de ellos.

**RISC** es una filosofía de diseño de CPU para computadora que está a favor de conjuntos de instrucciones pequeñas y simples que toman menor tiempo para ejecutarse. El tipo de procesador más comúnmente utilizado en equipos de escritorio, el x86, está basado en CISC en lugar de RISC, aunque las versiones más nuevas traducen instrucciones basadas en CISC x86 a instrucciones más simples basadas en RISC para uso interno antes de su ejecución.

La idea fue inspirada por el hecho de que muchas de las características que eran incluidas en los diseños tradicionales de CPU para aumentar la velocidad estaban siendo ignoradas por los programas que eran ejecutados en ellas. Además, la velocidad del procesador en relación con la memoria de la computadora que accedía era cada vez más alta. Esto conllevó la aparición de numerosas técnicas para reducir el procesamiento dentro del CPU, así como de reducir el número total de accesos a memoria.

Terminología más moderna se refiere a esos diseños como **arquitecturas de carga-almacenamiento**.

## **Filosofía de diseño antes de RISC**

---

Uno de los principios básicos de diseño para todos los procesadores es añadir velocidad al proveerles alguna memoria muy rápida para almacenar información temporalmente, estas memorias son conocidas como registros. Por ejemplo, casi cada CPU incluye una orden para sumar dos números. La operación básica de un CPU sería cargar esos dos números en los registros, sumarlos y almacenar el resultado en otro registro, finalmente, tomar el resultado del último registro y devolverlo a la memoria principal.

Sin embargo, los registros tienen el inconveniente de ser algo complejos para implementar. Cada uno está representado por transistores en el chip, en este aspecto la memoria principal tiende a ser mucho más simple y económica. Además, los registros le añaden complejidad al cableado, porque la CPU necesita estar conectada a todos y cada uno de los registros para poder utilizarlos por igual.

Como resultado de esto, muchos diseños de CPU limitan el uso de registros de alguna u otra manera. Algunos incluyen pocos registros, aunque esto limita su velocidad. Otros dedican sus registros a tareas específicas para reducir la complejidad; por ejemplo, un registro podría ser capaz de hacer operaciones con uno o más de los otros registros, mientras que el resultado podría estar almacenado en cualquiera de ellos.

En el mundo de la micro computación de los años setenta, este era un aspecto más de las CPU, ya que los procesadores eran entonces demasiado lentos – de hecho había una tendencia a que el procesador fuera más lento que la memoria con la que se comunicaba. En esos casos tenía sentido eliminar casi todos los registros, y entonces proveer al programador de una buena cantidad de maneras de tratar con la memoria para facilitar su trabajo.

Dado el ejemplo de la suma, la mayoría de los diseños de CPU se enfocaron a crear una orden que pudiera hacer todo el trabajo automáticamente: llamar los dos números que serían sumados, sumarlos, y luego almacenarlos fuera directamente. Otra versión podría leer los dos números de la memoria, pero almacenaría el resultado en un registro. Otra versión podría leer uno de la memoria y otro desde un registro y almacenarlo en la memoria nuevamente. Y así sucesivamente.

La meta en general en aquel tiempo era proveer cada posible modo de direccionamiento para cada instrucción, un principio conocido como ortogonalidad. Esto llevó a un CPU complejo, pero en teoría capaz de configurar cada posible orden individualmente, haciendo el diseño más rápido en lugar de que el programador utilizara órdenes simples.

La última representación de este tipo de diseño puede ser vista en dos equipos, el MOS 6502 por un lado, y el VAX en el otro. El chip 6502 de \$25 USD efectivamente tenía solamente un registro, y con la configuración cuidadosa de la interfaz de memoria fue capaz de sobrepasar diseños corriendo a velocidades mayores (como el Zilog Z80 a 4MHz). El VAX era un minicomputador que en una instalación inicial requería 3 gabinetes de equipo para un solo CPU, y era notable por la sorprendente variedad de estilos de acceso a memoria que soportaba, y el hecho de que cada uno de éstos estaba disponible para cada instrucción.

## **Filosofía de diseño RISC**

---

A finales de los setenta, investigaciones en IBM (y otros proyectos similares en otros lugares) demostraron que la mayoría de esos modos de direccionamiento *ortogonal* eran ignorados por la mayoría de los programas. Esto fue un efecto colateral en el incremento en el uso de compiladores para generar los programas, algo opuesto a escribirlos en lenguaje ensamblador. Los compiladores tendían a ser demasiado tontos en términos de las características que usaban, un efecto colateral del intento por hacerlos pequeños. El mercado se estaba moviendo hacia un uso más generalizado de los compiladores, diluyendo aun más la utilidad de los modelos ortogonales.

Otro descubrimiento fue que debido a que esas operaciones eran escasamente utilizadas, de hecho tendían a ser más lentas que un número pequeño de operaciones haciendo lo mismo. Esta paradoja fue un efecto colateral del tiempo que se utilizaba diseñando los CPU, los diseñadores simplemente no tenían tiempo de optimizar cada instrucción posible, y en vez de esto sólo optimizaban las más utilizadas. Un famoso ejemplo de esto era la instrucción VAX INDEX, que se ejecutaba más lentamente que un ciclo que implementara el mismo código.

Casi al mismo tiempo, las CPU comenzaron a correr a velocidades mayores que las de la memoria con la que se comunicaban. Aún a finales de los setenta, era aparente que esta disparidad continuaría incrementándose al menos durante la siguiente década, para entonces los CPU podrían ser cientos de veces más rápidos que la memoria. Esto significó que los avances para optimizar cualquier modo de direccionamiento serían completamente sobrepasados por las velocidades tan lentas en las que se llevaban a cabo.

Otra parte del diseño RISC llegó desde las medidas prácticas de los programas en el mundo real. Andrew Tanenbaum reunió muchos de éstos, demostrando así que la mayoría de los procesadores estaban sobredimensionados. Por ejemplo, él demostró que el 98 % de todas las constantes en un programa podían acomodarse en 13 bits, aún cuando cada diseño de CPU dedicaba algunos múltiplos de 8 bits para almacenarlos, típicamente 8, 16 o 32, una palabra entera. Tomando este hecho en cuenta sugiere que una máquina debería permitir que las constantes fuesen almacenadas en los bits sin utilizar de otras instrucciones, disminuyendo el número de accesos a memoria. En lugar de cargar números desde la memoria o los registros, éstos podrían estar *ahí mismo* para el momento en el que el CPU los necesitara, y por lo tanto el proceso sería mucho más rápido. Sin embargo, esto requería que la instrucción misma fuera muy pequeña, de otra manera no existiría suficiente espacio libre en los 32 bits para mantener constantes de un tamaño razonable.

Fue el pequeño número de modos y órdenes que dio lugar al término *Conjunto de Instrucciones Reducidas*. Ésta no es una definición correcta, ya que los diseños RISC cuentan con una vasta cantidad de conjuntos de instrucciones para ellos. La verdadera diferencia es la filosofía para hacer todo en registros y llamar y guardar los datos hacia ellos y en ellos mismos. Ésta es la razón por la que la forma más correcta de denominar este diseño es *cargar-almacenar*. Con el paso del tiempo las técnicas de diseño antiguas se dieron a conocer como *Computadora con Conjunto de Instrucciones Complejo*, CISC por sus siglas en inglés, aunque esto fue solamente para darles un nombre diferente por razones de comparación.

Por esto la filosofía RISC fue crear instrucciones pequeñas, implicando que había pocas, de ahí el nombre *conjunto de instrucciones reducido*. El código fue implementado como series de esas instrucciones simples, en vez de un sola instrucción compleja que diera el mismo resultado. Esto hizo

posible tener más espacio dentro de la instrucción para transportar datos, resultando esto en la necesidad de menos registros en la memoria. Al mismo tiempo la interfaz con la memoria era considerablemente simple, permitiendo ser optimizada.

Sin embargo RISC también tenía sus desventajas. Debido a que una serie de instrucciones son necesarias para completar incluso las tareas más sencillas, el número total de instrucciones para la lectura de la memoria es más grande, y por lo tanto lleva más tiempo. Al mismo tiempo no estaba claro dónde habría o no una ganancia neta en el desempeño debido a esta limitación, y hubo una batalla casi continua en el mundo de la prensa y del diseño sobre los conceptos de RISC.

---

Mientras la filosofía de diseño RISC se estaba formando, nuevas ideas comenzaban a surgir con un único fin: incrementar drásticamente el rendimiento de la CPU.

Al principio de la década de los ochenta se pensaba que los diseños existentes estaban alcanzando sus límites teóricos. Las mejoras de la velocidad en el futuro serían hechas con base en *procesos* mejorados, esto es, pequeñas características en el chip. La complejidad del chip podría continuar como hasta entonces, pero un tamaño más pequeño podría resultar en un mejor rendimiento del mismo al operar a más altas velocidades de reloj. Se puso una gran cantidad de esfuerzo en diseñar chips para computación paralela, con vínculos de comunicación interconstruidos. En vez de hacer los chips más rápidos, una gran cantidad de chips serían utilizados, dividiendo la problemática entre éstos. Sin embargo, la historia mostró que estos miedos no se convirtieron en realidad, y hubo un número de ideas que mejoraron drásticamente el rendimiento al final de la década de los ochenta.

Una idea era la de incluir un canal por el cual se pudieran dividir las instrucciones en pasos y trabajar en cada paso muchas instrucciones diferentes al mismo tiempo. Un procesador normal podría leer una instrucción, decodificarla, enviar a la memoria la instrucción de origen, realizar la operación y luego enviar los resultados. La clave de la canalización es que el procesador pueda comenzar a leer la siguiente instrucción tan pronto como termine la última instrucción, significando esto que ahora dos instrucciones se están trabajando (una está siendo leída, la otra está comenzando a ser decodificada), y en el siguiente ciclo habrá tres instrucciones. Mientras que una sola instrucción no se completaría más rápido, la *siguiente* instrucción sería completada enseguida. La ilusión era la de un sistema mucho más rápido. Esta técnica se conoce hoy en día como Segmentación de cauce.

Otra solución más era utilizar varios elementos de procesamiento dentro del procesador y ejecutarlos en paralelo. En vez de trabajar en una instrucción para sumar dos números, esos procesadores superescalares podrían ver la siguiente instrucción en el canal y tratar de ejecutarla al mismo tiempo en una unidad idéntica. Esto no era muy fácil de hacer, sin embargo, ya que algunas instrucciones dependían del resultado de otras instrucciones.

Ambas técnicas se basaban en incrementar la velocidad al añadir complejidad al diseño básico del CPU, todo lo opuesto a las instrucciones que se ejecutaban en el mismo. Siendo el espacio en el chip una cantidad finita, para poder incluir todas esas características algo más tendría que ser eliminado para hacer hueco. RISC se encargó de tomar ventaja de esas técnicas, esto debido a que su lógica para el CPU

era considerablemente más simple que la de los diseños CISC. Aun con esto, los primeros diseños de RISC ofrecían una mejora de rendimiento muy pequeña, pero fueron capaces de añadir nuevas características y para finales de los ochenta habían dejado totalmente atrás a sus contrapartes CISC. Con el tiempo esto pudo ser dirigido como una mejora de proceso al punto en el que todo esto pudo ser añadido a los diseños CISC y aun así caber en un solo chip, pero esto tomó prácticamente una década entre finales de los ochenta y principios de los noventa.

### Características

---

En pocas palabras esto significa que para cualquier nivel de desempeño dado, un chip RISC típicamente tendrá menos transistores dedicados a la lógica principal. Esto permite a los diseñadores una flexibilidad considerable; así pueden, por ejemplo:

- Incrementar el tamaño del conjunto de registros.
- Mayor velocidad en la ejecución de instrucciones.
- Implementar medidas para aumentar el paralelismo interno.
- Añadir cachés enormes.
- Añadir otras funcionalidades, como E/S y relojes para microcontroladores.
- Construir los chips en líneas de producción antiguas que de otra manera no serían utilizables.
- No hacer nada, ofrecer el chip para aplicaciones de bajo poder o de tamaño limitado.

Las características que generalmente son encontradas en los diseños RISC son:

- Codificación uniforme de instrucciones (ejemplo: el código de operación se encuentra siempre en la misma posición en cada instrucción, la cual es siempre una palabra), lo que permite una decodificación más rápida.
- Un conjunto de registros homogéneo, permitiendo que cualquier registro sea utilizado en cualquier contexto y así simplificar el diseño del compilador (aunque existen muchas formas de separar los ficheros de registro de entero y coma flotante).
- Modos de direccionamiento simple con modos más complejos reemplazados por secuencias de instrucciones aritméticas simples.
- Los tipos de datos soportados en el hardware (por ejemplo, algunas máquinas CISC tienen instrucciones para tratar con tipos byte, cadena) no se encuentran en una máquina RISC.

Los diseños RISC también prefieren utilizar como característica un modelo de memoria Harvard, donde los conjuntos de instrucciones y los conjuntos de datos están conceptualmente separados; esto significa que el modificar las direcciones donde el código se encuentra podría no tener efecto alguno en las instrucciones ejecutadas por el procesador (porque la CPU tiene separada la instrucción y el caché de datos, al menos mientras una instrucción especial de sincronización es utilizada). Por otra parte, esto permite que ambos cachés sean accedidos separadamente, lo que puede en algunas ocasiones mejorar el rendimiento.

Muchos de esos diseños RISC anteriores también compartían una característica no muy amable, el slot de salto retardado (Delay Slot). Un slot de salto retardado es un espacio de instrucción siguiendo inmediatamente un salto. La instrucción en este espacio es ejecutada independientemente de si el salto se produce o no (en otras palabras el salto es retardado). Esta instrucción mantiene la ALU de la CPU

ocupada por el tiempo extra normalmente necesario para ejecutar una brecha. Para utilizarlo, recae en el compilador la responsabilidad de reordenar las instrucciones de manera que el código sea coherente para ejecutar con esta característica. En nuestros días el slot de salto retardado se considera un desafortunado efecto colateral de la estrategia particular por implementar algunos diseños RISC. Es por esto que los diseños modernos de RISC, tales como PowerPC, y versiones más recientes de SPARC y de MIPS, generalmente eliminan esta característica.

## **Primeros diseños RISC**

---

El primer sistema que pudiera ser considerado en nuestros días como RISC no lo era así en aquellos días; era la supercomputadora CDC 6600, diseñada en 1964 por Seymour Cray.

Cray la diseñó como un CPU para cálculos a gran escala (con 74 códigos, comparada con un 8086 400, además de 12 computadores simples para manejar los procesos de E/S (la mayor parte del sistema operativo se encontraba en uno de éstos).

El CDC 6600 tenía una arquitectura de carga/almacenamiento con tan solo dos modos de direccionamiento. Había once unidades de canalización funcional para la aritmética y la lógica, además de cinco unidades de carga y dos unidades de almacenamiento (la memoria tenía múltiples bancos para que todas las unidades de carga/almacenamiento pudiesen operar al mismo tiempo). El nivel promedio de operación por ciclo/instrucción era 10 veces más rápido que el tiempo de acceso a memoria.

Los diseños RISC que más se dieron a conocer sin embargo, fueron aquellos donde los resultados de los programas de investigación de las universidades eran ejecutados con fondos del programa DARPA VLSI. El programa VLSI prácticamente desconocido hoy en día, llevo a un gran número de avances en el diseño de chips, la fabricación y aún en las gráficas asistidas por computadora.

El proyecto RISC de la Universidad de Berkeley comenzó en 1980 bajo la dirección de David A. Patterson, basándose en la obtención de rendimiento a través del uso de la canalización y un agresivo uso de los registros conocido como ventanas de registros. En una CPU normal se tienen un pequeño número de registros, un programa puede usar cualquier registro en cualquier momento. En una CPU con ventanas de registros, existen un gran número de registros (138 en el RISC-I), pero los programas solo pueden utilizar un pequeño número de estos (32 en el RISC-I) en cualquier momento.

Un programa que se limita asimismo a 32 registros por procedimiento puede hacer llamadas a procedimientos muy rápidas: la llamada, y el regreso, simplemente mueven la ventana de 32 registros actual para limpiar suficiente espacio de trabajo para la subrutina, y el regreso *restablece* esos valores).

El proyecto RISC entregó el procesador RISC-I en 1982. Consistiendo de solo 44.420 transistores (comparado con promedios de aproximadamente 100.000 en un diseño CISC de esa época) RISC-I solo tenía 32 instrucciones, y aun así sobrepasaba el desempeño de cualquier otro diseño de chip simple. Se continuó con esta tendencia y RISC-II en 1983 tenía 40.760 transistores y 39 instrucciones, con los cuales ejecutaba 3 veces más rápido que el RISC-I.

Casi al mismo tiempo, John Hennessy comenzó un proyecto similar llamado MIPS en la Universidad de Stanford en 1981. MIPS se centraba casi completamente en la segmentación, asegurándose de que ejecutara tan *lleno* como fuera posible. Aunque la segmentación ya había sido utilizada en otros diseños, varias características del chip MIPS hacían su segmentación mucho más rápida. Lo más importante, y quizá molesto de estas características era el requisito de que todas las instrucciones fueran capaces de completarse en un solo ciclo. Este requisito permitía al canal ser ejecutado a velocidades más altas (no había necesidad de retardos inducidos) y es la responsable de la mayoría de la velocidad del procesador. Sin embargo, también tenía un efecto colateral negativo al eliminar muchas de las instrucciones potencialmente utilizables, como una multiplicación o una división.

El primer intento por hacer una CPU basada en el concepto RISC fue hecho en IBM el cual comenzó en 1975, precediendo a los dos proyectos anteriores. Nombrado como proyecto RAN, el trabajo llevó a la creación de la familia de procesadores IBM 801, la cual fue utilizada ampliamente en los equipos de IBM. El 801 fue producido eventualmente en forma de un chip como *ROMP* en 1981, que es la abreviatura de *Research Office Products Division Mini Processor*. Como implica el nombre, esta CPU fue diseñada para *tareas pequeñas*, y cuando IBM lanzó el diseño basado en el IBM RT-PC en 1986, el rendimiento no era aceptable. A pesar de esto, el 801 inspiró varios proyectos de investigación, incluyendo algunos nuevos dentro de IBM que eventualmente llevarían a su sistema IBM POWER.

En los primeros años, todos los esfuerzos de RISC eran bien conocidos, pero muy confinados a los laboratorios de las universidades que los habían creado. El esfuerzo de Berkeley se dio a conocer tanto que eventualmente se convirtió en el nombre para el proyecto completo. Muchos en la industria de la computación criticaban el que los beneficios del rendimiento no se podían traducir en resultados en el mundo real debido a la eficiencia de la memoria de múltiples instrucciones, y ésta fue la razón por la que nadie los estaba utilizando. Pero a comienzos de 1986, todos los proyectos de investigación RISC comenzaron a entregar productos. De hecho, casi todos los procesadores RISC modernos son copias directas del diseño RISC-II.

### **RISC moderno**

---

La investigación de Berkeley no fue comercializada directamente, pero el diseño RISC-II fue utilizado por Sun Microsystems para desarrollar el SPARC, por Pyramid Technology para desarrollar sus máquinas de multiprocesador de rango medio, y por casi todas las compañías unos años más tarde. Fue el uso de RISC por el chip de SUN en las nuevas máquinas el que demostró que los beneficios de RISC eran reales, y sus máquinas rápidamente desplazaron a la competencia y esencialmente se apoderaron de todo el mercado de estaciones de trabajo.

John Hennessy dejó Stanford para comercializar el diseño MIPS, comenzando una compañía conocida como MIPS Computer Systems Inc. Su primer diseño fue el chip de segunda generación MIPS-II conocido como el *R2000*. Los diseños MIPS se convirtieron en uno de los chips más utilizados cuando fueron incluidos en las consolas de juego Nintendo 64 y PlayStation. Hoy son uno de los procesadores integrados más comúnmente utilizados en aplicaciones de alto nivel por Silicon Graphics.

IBM aprendió del fallo del RT-PC y tuvo que continuar con el diseño del RS/6000 basado en su entonces nueva arquitectura IBM POWER. Entonces movieron sus computadoras centrales S/370 a los chips basados en IBM POWER, y se sorprendieron al ver que aun el conjunto de instrucciones muy complejas (que era parte del S/360 desde 1964) corría considerablemente más rápido. El resultado fue la nueva serie System/390 que aún hoy en día es comercializada como zSeries. El diseño IBM POWER también se ha encontrado moviéndose hacia abajo en escala para producir el diseño PowerPC, el cual eliminó muchas de las instrucciones *solo IBM* y creó una implementación de chip único. El PowerPC fue utilizado en todas las computadoras Apple Macintosh hasta 2006, y está comenzando a ser utilizado en aplicaciones automotrices (algunos autos tienen más de 10 de ellos), las consolas de videojuegos de última generación (PlayStation 3, Nintendo Wii y Xbox 360) están basadas en PowerPC.

Casi todos los demás proveedores se unieron rápidamente. De los esfuerzos similares en el Reino Unido resultó el INMOS Traspouter, el Acorn Archimedes y la línea Advanced RISC Machine, la cual tiene un gran éxito hoy en día. Las compañías existentes con diseños CISC también se unieron a la revolución. Intel lanzó el i860 y el i960 a finales de los ochenta, aunque no fueron muy exitosos. Motorola construyó un nuevo diseño pero no le vio demasiado uso y eventualmente lo abandonó, uniéndose a IBM para producir el PowerPC. AMD lanzó su familia 29000 la cual se convirtió en el diseño RISC más popular a principios de los noventa.

Hoy en día los microcontroladores y CPU RISC representan a la vasta mayoría de todos los CPU utilizados. La técnica de diseño RISC ofrece poder incluso en medidas pequeñas, y esto ha venido a dominar completamente el mercado de CPU integrados de bajo consumo de energía. Los CPU integrados son por mucho los procesadores más comunes en el mercado: considera que una familia completa con una o dos computadoras personales puede poseer varias docenas de dispositivos con procesadores integrados. RISC se ha apoderado completamente del mercado de estaciones de trabajo. Después del lanzamiento de la SUN SPARCstation los otros proveedores se apuraron a competir con sus propias soluciones basadas en RISC. Incluso el mundo de las computadoras centrales está ahora basado completamente en RISC.

Esto es sorprendente en vista del dominio del Intel x86 en el mercado de las computadoras personales de escritorio y el mercado de servidores de la gama baja. Aunque RISC fue capaz de avanzar en velocidad muy rápida y económicamente.

Los diseños RISC han llevado a un gran número de plataformas y arquitecturas al éxito, algunas de las más grandes:

- La línea MIPS Technologies Inc., que se encuentra en la mayoría de las computadoras de SGI, en la Nintendo 64 y PlayStation.
- La serie IBM POWER, utilizado principalmente en Servidores de IBM.

- La versión PowerPC de Motorola e IBM (una versión de la serie IBM POWER) utilizada en los ordenadores Amiga, Apple Macintosh como el iMac, eMac, Power Mac y posteriores.
- El procesador SPARC de SUN Microsystems y el UltraSPARC, que se encuentra en todos sus últimos modelos de equipos.
- El PA-RISC y el HP/PA de Hewlett-Packard.
- El DEC Alpha en servidores HP AlphaServer.
- El ARM – Se encuentra en dispositivos PALM, Nintendo DS, Game Boy Advance y en múltiples PDAs así como en casi todos los teléfonos móviles.

## **Anexo B**

Hojas de especificaciones de circuitos integrados en los diferentes sistemas.

Chipset empleado para implementar el Sistema de radio frecuencia del fabricante Infineon Technologies

Product Brief



# PMB 6272

SMARTI PM

SMARTI PM (PMB 6272) is a low-cost, highly integrated quad-band single chip CMOS transceiver for GSM850/GSM900/GSM1800/GSM1900 voice and high performance data transfer applications.

THE TRANSCIEVER IS DESIGNED for lowest power consumption, and provides an analog I/Q baseband interface, a Zero IF direct conversion receiver and a quad-band polar modulator for EDGE with integrated PGA functionality.

FURTHER ON IT COMPRISES a completely integrated digital  $\Sigma\Delta$ -synthesizer with HSCSD and GPRS/EDGE capability, a digitally controlled reference oscillator with three outputs and a fully integrated quad-band RF oscillator (VCO). The Universal I/Q Interface and three wire bus, fit to Infineon and all common basebands available on the market.

THE OPTIMIZED ARCHITECTURE of the SMARTI PM ensures an easy-to-use EDGE solution enabling a very size effective RF Engine Implementation.

### Features

- Receiver
  - Direct conversion receiver optimized for 72 dB dynamic range ADC RX baseband Interface
  - Automatic DC offset compensation
  - Very low power budget
  - GPRS/EDGE class 1 to 12
- Transmitter
  - Polar modulator for EDGE
  - Single-ended 50  $\Omega$  outputs enable direct connection with Power Amplifier
  - PA bias control Interface for efficiency EDGE enhancement of contemporary linear EDGE-Power Amplifier
  - Programmable Gain Amplifier (PGA) for accurate output power level control in 8PSK mode
  - Integrated ramping generator for 8PSK mode
  - Integrated low tolerance base band filter
  - Very low power budget
  - GPRS/EDGE class 1 to 12
- RF-Synthesizer
  - $\Sigma\Delta$ -synthesizer for multi-slot operation supports GPRS/EDGE (class 1 to 12)
  - Fast lock-in times (<150  $\mu$ s)
  - Integrated loop filter
- RF Oscillator
  - Fully integrated, low noise RF VCO for quad-band operation
- Reference Oscillator
  - Fully integrated VCXO
  - Fully digital controlled crystal oscillator core with highly linear tuning characteristic
  - 26 MHz Reference Oscillator can be applied externally
  - Three single ended clock outputs
- Baseband Interface
  - Multiplexed differential I/Q baseband TX-Input voltages and RX-output voltages
  - Three wire bus for transceiver control
- Frontend module Interface
  - Two FEM control outputs
- Ultra Low RF BOM < 20 components needed

[www.infineon.com/mobilesolutions](http://www.infineon.com/mobilesolutions)

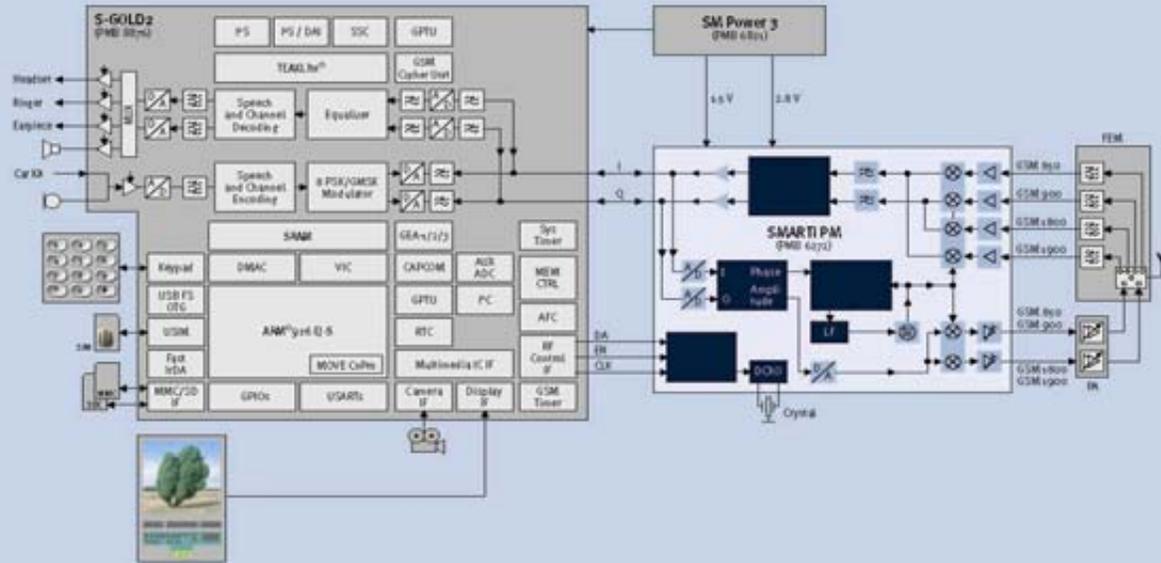
## Mobile Solutions



Never stop thinking.

Product Brief

Infiniteon GSM/EDGE Quad-Band Solution using SMARTi PM (PMB 6272), S-GOLD2 (PMB 8876) and SM-POWER3 (PMB 6821)



**Applications**

- GSM/EDGE single, dual, triple, and quad band Mobile Phones and Data Modems / PC cards

**Technology**

- Based on Infineon's C11 0.13 μm RF-CMOS Technology
- Supply voltage 1.4 V ... 1.6 V and 2.7 V ... 2.9 V
- VQFN-40 green package (5.5 x 6.5 mm<sup>2</sup>)

Note: TEAKLite® is a registered trademark of ParthusCeva, Ltd.  
ARM® is a registered trademark of ARM, Ltd.

How to reach us:  
<http://www.infineon.com>  
Published by  
Infineon Technologies AG  
St. Martin Strasse 43  
81669 München  
© Infineon Technologies AG 2004.  
All Rights Reserved.  
Template: pb\_w\_tmp1.fm/2

**Attention please!**  
The information herein is given to describe certain components and shall not be considered as a guarantee of characteristics. Terms of delivery and rights to technical change reserved.  
We hereby disclaim any and all warranties, including but not limited to warranties of non-infringement, regarding circuits, descriptions and charts stated herein.  
**Information**  
For further information on technology, delivery terms and conditions and prices please contact your nearest Infineon Technologies Office.

**Warnings**  
Due to technical requirements components may contain dangerous substances. For information on the types in question please contact your nearest Infineon Technologies Office.  
Infineon Technologies Components may only be used in life support devices or systems with the express written approval of Infineon Technologies, if a failure of such components can reasonably be expected to cause the failure of that life support device or system, or to affect the safety or effectiveness of that device or system. Life support devices or systems are intended to be implanted in the human body, or to support and/or maintain and sustain and/or protect human life. If they fail, it is reasonable to assume that the health of the user or other persons may be endangered.

Published by infineon Technologies AG

Ordering No. B04-H02457X7600  
Printed in Germany  
PS 04555 nb

**Chipset empleado para implementar el Modulo del amplificador de potencia (PAM) del fabricante Skyworks**



**PRELIMINARY PRODUCT SUMMARY**

**SKY77340 PA Module for Quad-Band GSM / EDGE**

**Applications**

- Quad-band cellular handsets:
  - GMSK Modulation
  - Class 4 GSM850/900
  - Class 1 DCS1800/PCS1900
  - Class 12 GPRS multi-slot operation
- EDGE modulation
  - Class E2 GSM850/900
  - Class E2 DCS1800/PCS1900

**Features**

- High efficiency:
  - GSM850, 55%
  - GSM900, 55%
  - DCS, 53%
  - PCS, 53%
- Input/Output matching 50 Ω internal (with DC blocking)
- 16-pin MCM
- Small outline
  - 6 x 8 mm
- Low profile
  - 1.2 mm
- Gold-plated, lead-free contacts
- Low APC current
  - 10 uA

**Description**

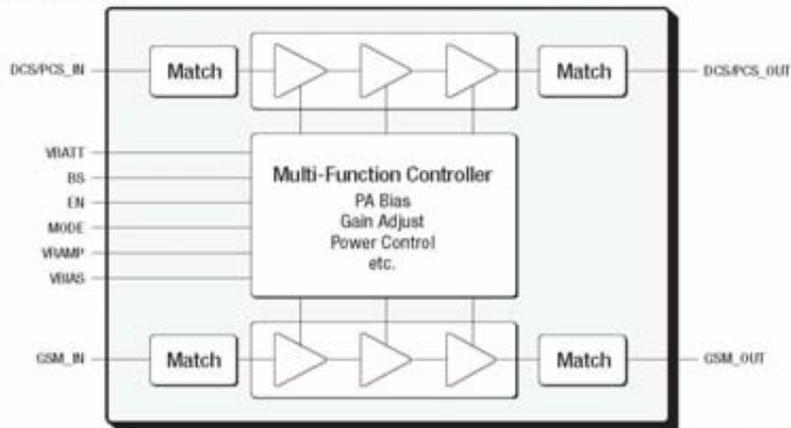
The SKY77340 Power Amplifier Module (PAM) is designed in a compact form factor for quad-band cellular handsets comprising GSM850/900, DCS1800, PCS1900, supporting GMSK and linear EDGE modulation. Class 12 General Packet Radio Service (GPRS) multi-slot operation is also supported.

The module consists of a GSM850/900 PA block and a DCS1800/PCS1900 PA block, impedance-matching circuitry for 50 Ω input and output impedances, and a Multi-function Power Amplifier Control (MFC) block. A custom CMOS integrated circuit provides the internal MFC function and interface circuitry.

Two separate Heterojunction Bipolar Transistor (HBT) PA blocks are fabricated onto InGaP die; one supports the GSM850/900 bands, the other supports the DCS1800 and PCS1900 bands. Both PA blocks share common power supply pins to distribute current. The InGaP die, the silicon die, and the passive components are mounted on a multi-layer laminate substrate. The assembly is encapsulated with plastic overmold.

RF input and output ports are internally matched to 50 Ω to reduce the number of external components. Extremely low leakage current (2.5 μA, typical) maximizes handset standby time. Band select (BS) circuitry selects GSM transmit frequency band (logic 0) and DCS/PCS transmit frequency band (logic 1). MODE circuitry selects GMSK modulation (logic 0) or EDGE modulation (logic 1). VRAMP controls the output power for GMSK modulation and provides bias optimization for EDGE modulation depending on the state of MODE control.

The integrated multi-function control (MFC) provides envelope amplitude control in GMSK mode, reducing sensitivity to input drive, temperature, power supply, and process variation. In EDGE mode, the MFC configures the PA for fixed gain, and provides the ability to optimize the PA bias operation at different power levels. This circuitry regulates PA bias conditions, reducing sensitivity to temperature, power supply, and process variation. The Enable input signal (pin 8) provides a standby state to minimize battery drain.



**Figure 1. SKY77340 Functional Block Diagram**

Skyworks Solutions, Inc. • Phone [781] 376-3000 • Fax [781] 376-3100 • sales@skyworksinc.com • www.skyworksinc.com  
 200633P1 • Skyworks Proprietary and Confidential Information • Products and Product Information are Subject to Change Without Notice. • April 10, 2006

Chipset empleado para implementar el Sistema banda base del fabricante Infineon Technologies

Product Brief



**PMB 8877**  
S-GOLD3™ - Turbo Engine for  
EDGE-enabled Multimedia Phones

S-GOLD3™ TAKES Infineon Technology's well-known S-GOLD® architecture to new performance spheres. Its performance-optimized implementation nearly doubles the multimedia power of previous S-GOLD® controllers. High processor speed combined with multimedia hardware accelerators and advanced connectivity make this device the "turbo engine" of the S-GOLD® family. Even the most performance-greedy applications such as video telephony and 3D graphics can easily be handled without additional hardware. S-GOLD3™'s proven architecture known as "application-enhanced modem" is extremely efficient with respect to overall system cost, footprint, feature set, power consumption, and application performance. Its EDGE capable modem marks the third generation of Infineon's EDGE-enabled baseband solutions. Configurable with a UMTS co-processor, S-GOLD3™ extends into the growing 3G market, offering easy migration from a GSM/GPRS/EGPRS phone to a dual-mode wideband CDMA/GSM terminal.

AS NEXT-GENERATION mobile phones go further and further beyond pure communication functionality, S-GOLD3™ offers cost-optimized access to multimedia functions such as camera support of up to 5 MPixel (with JPEG camera module), video replay up to 15 fps/CIF resolution, video streaming over EDGE in MPEG4/H.264/Real format, video recording, and advanced audio codecs like AAC++. Supporting all this functionality without the need for additional hardware, S-GOLD3™ enables a true 3-chip system solution with minimum cost and size requirements. For even more demanding feature need S-GOLD3™ is configurable with a number of co-devices such as multimedia companion chips and/or WCDMA co-modem for 3G feature phones.

S-GOLD3™'S™ OVERALL SYSTEM performance is based on the outstanding processor speed of its ARM®926 CPU which is tailored to run at up to 312 MHz. Data and instruction caches as well as general-purpose zero-wait-state memories allow for fast memory access, fully exploiting the processing power of the CPU core. To keep power consumption at a minimum several power measures control the activation, the frequency selection, and the power-down modes of the various on-chip resources. To enable efficient access to external memory devices S-GOLD3™ allows for low-latency access to a number of memory types such as NOR/NAND Flash, SDRAM, cellular RAM, PSRAM. DDR SDRAMs can be operated "high speed", transferring data twice per clock cycle.

COMBINED WITH Infineon's latest SMART™ RF devices and SM-POWER™ power management ICs, S-GOLD3™ comprises the system solution for next-generation, EDGE-enabled mobile phones with minimum bill-of-material and space constraints.

[www.infineon.com/mobilesolutions](http://www.infineon.com/mobilesolutions)

Mobile Solutions

  
Never stop thinking

**Key Application Features**

- ARM®926 based single modem and application processor with cache support and fast tightly-coupled memories
- Parallel/serial display interface supporting high resolution color displays
- High-speed serial display interface for cost-effective clam-shell mechanics
- Camera interface supporting camera applications of up to 5 MPixel
- MPEG4/H.263 accelerator hardware (MOVE® coprocessor)
- 2x MMC/SD interfaces, SD IO capable
- USB 2.0 on-the-go, full speed
- Fast IRDA
- Dedicated NAND flash controller supporting burst mode and error detection
- Standardized multimedia extension interface (MMIC-IF) supporting external hardware accelerator ICs such as complex display/camera modules or graphic accelerators
- 2 bi-directional digital audio interfaces (PIS) to connect audio companion ICs and Bluetooth modules
- Support for video streaming + video telephony
- Support of DDR-SDRAM devices

**Key Modem Features**

- E-GPRS/GPRS/GSM modem supporting up to multislots class 12
- FR, HR, EFR, AMR
- HSCSD class 10
- SAIC
- DTM class 11
- Polyphonic Ringer support for up to 64 voices at up to 48 kHz sampling rate
- Echo cancellation/noise reduction
- GTT/TTY

## **Bibliografía**

Service Manual LG KP570  
Service Manual LG KM800  
Service Manual LG Kf755  
Manual de Servicio nivel 3 Benq Z2  
Service Manual Triplets Motorola

### **URLs:**

<http://www.infineon.com/>  
<http://www.analog.com/en/index.html>  
<http://www.ti.com/>  
<http://forum.gsmhosting.com/vbb/index.php>  
<http://www.ufsxhwk.com/>  
<http://www.lgmobile.com/web/web.common.Gateway.laf>  
<http://cellphoneforums.net/compal-phone-comments/>  
<http://www.htc.com/tw/>  
<http://www.95mobi.com/>  
<http://www.3gamericas.org/Spanish/>  
<http://www.wirelessphonegallery.com/>  
<http://www.seaztec.com/tienda/index.php>  
<http://www.meizume.com/>

### **Revistas:**

Mobile Technology