

**Ing. Edwin Fernando Herrera García**

**octubre, 2007**

# **ESCUELA POLITECNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y  
ELECTRÓNICA**

**OPTIMIZACIÓN DEL PERFORMANCE DE LA RED GSM DE  
OTECEL (MOVISTAR) A PARTIR DEL MONITOREO Y ANÁLISIS  
DE SUS PRINCIPALES INDICADORES**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN  
ELECTRONICA Y REDES DE INFORMACIÓN**

**EDWIN FERNANDO HERRERA GARCÍA**

**DIRECTOR: ING. SORAYA SINCHE MSC.**

**Quito, octubre 2007**

## ÍNDICE

DECLARACIÓN.....	I
CERTIFICACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
DEDICATORIA.....	IV
PRESENTACIÓN.....	V
RESUMEN.....	VI
ÍNDICE.....	1
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>6</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DE LA TECNOLOGÍA DE TELEFONÍA CELULAR GSM, CALIDAD Y PERFORMANCE DE REDES MÓVILES.....</b>	<b>7</b>
1.1 CONCEPTOS Y FUNCIONAMIENTO DE LAS REDES DE TELEFONÍA CELULAR GSM .....	7
1.1.1 DEFINICIONES.....	8
1.1.1.1 Red del Sistema Global de Telefonía GSM.....	8
1.1.1.2 Red Pública Móvil Terrestre .....	8
1.1.1.3 Generaciones de servicios móviles.....	9
1.1.2 INTRODUCCIÓN A GSM .....	10
1.1.2.1 Historia de GSM.....	10
1.1.2.2 Servicios proporcionados por la red GSM .....	11
1.1.2.3 Recomendaciones GSM .....	13
1.1.2.4 Introducción técnica .....	14
1.2 ARQUITECTURA Y COMPONENTES DE LA RED DE TELEFONÍA CELULAR GSM.....	14
1.2.1 ESTACIÓN MÓVIL (MS).....	16
1.2.1.1 Terminal GSM (Mobile Equipment).....	17
1.2.1.2 SIM (Subscriber Identity Module) .....	18
1.2.2 SUBSISTEMA DE ESTACIONES BASE (BSS) .....	19
1.2.2.1 Base Transceiver Station (BTS) .....	20
1.2.2.2 Base Station Controller (BSC) .....	22
1.2.2.3 Transcoder and Rate Adapter Unit (TRAU).....	23
1.2.3 SUBSISTEMA DE CONMUTACIÓN Y GESTIÓN (SMSS).....	24
1.2.3.1 Mobile Switching Center (MSC).....	24
1.2.3.2 Home Location Register (HLR) .....	26
1.2.3.3 Visitor Location Register (VLR).....	27
1.2.3.4 Autentication Center (AUC).....	28
1.2.3.5 Equipment Identity Register (EIR).....	29
1.2.4 SUBSISTEMA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO (OMS).....	30
1.2.5 OTROS COMPONENTES DE LA RED GSM .....	32
1.2.6 INTERFACES Y PROTOCOLOS.....	33

1.3	DESCRIPCIÓN DE LOS CANALES DE TRÁFICO Y CONTROL .....	35
1.3.1	BANDAS DE FRECUENCIA DE LOS DISTINTOS SISTEMAS GSM.....	36
1.3.2	ACCESO AL MEDIO .....	37
1.3.3	CANALES FÍSICOS Y LÓGICOS.....	40
1.3.3.1	Canales de tráfico .....	42
1.3.3.2	Canales de control .....	43
1.3.3.3	Estructura de ráfaga (burst) .....	44
1.3.3.4	Codificación de la voz .....	45
1.4	CONCEPTOS DE CALIDAD Y PERFORMANCE DE REDES MÓVILES.....	46
1.4.1	CONCEPTOS BÁSICOS .....	47
1.4.2	PRINCIPALES PARÁMETROS DE MEDIDA DE LA CALIDAD .....	49
1.4.2.1	Accesibilidad de la red .....	49
1.4.2.2	Accesibilidad del servicio.....	50
1.4.2.3	Integridad del servicio .....	51
1.4.3	FACTORES PRINCIPALES QUE AFECTAN A LA CALIDAD DE LA SEÑAL RADIO.....	52
1.5	PROCESOS DE MEDIDA DE LA CALIDAD DE REDES MÓVILES .....	54
1.5.1	MEDIDA DE LA CALIDAD.....	54
1.5.2	TÉCNICAS DE MEDIDA .....	55
1.5.3	SISTEMAS Y HERRAMIENTAS DE MEDIDA .....	56
1.5.3.1	Sistemas de medida de la señal radio .....	57
1.5.3.2	Sistemas de extracción de datos de la red.....	57
1.6	PROCESOS DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE REDES MÓVILES.....	59
1.7	CAMPOS DE APLICACIÓN.....	62
1.7.1	PRINCIPALES CAMPOS DE APLICACIÓN.....	62
1.7.2	VALIDACIÓN DEL DESPLIEGUE DE RED.....	62
1.7.3	OPTIMIZACIÓN DE LA RED.....	62
1.7.4	OTROS CAMPOS DE APLICACIÓN .....	63
1.7.4.1	Ajuste de los modelos de propagación .....	63
1.7.4.2	Benchmarking entre operadoras .....	64
<b>CAPÍTULO II.....</b>		<b>65</b>
<b>2. ANÁLISIS DE INDICADORES DEL PERFORMANCE DE LA RED GSM....</b>		<b>65</b>
2.1	ANÁLISIS DE INDICADORES DEL PERFORMANCE DE LOS SERVICIOS MÁS POPULARES DE LA RED GSM.....	65
2.1.1	SERVICIOS GSM.....	65
2.1.1.1	Servicios Portadores (BS).....	67
2.1.1.2	Teleservicios (TS).....	68
2.1.1.3	Servicios Suplementarios (SS) .....	70
2.1.2	IDENTIFICACIÓN DE LOS ASPECTOS DE CALIDAD DE SERVICIO DE LOS SERVICIOS POPULARES GSM Y 3G.....	71
2.1.2.1	Background de QoS.....	72

2.1.2.2	Lista de Indicadores.....	73
2.1.2.3	Aspectos de Calidad de Servicio .....	74
2.1.3	DEFINICIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD DE SERVICIO Y SU CÓMPUTO.....	75
2.1.3.1	Modelo para los parámetros de QoS.....	76
2.1.3.2	Parámetros Independientes del Servicio.....	77
2.1.3.3	Servicio de Telefonía.....	79
2.1.3.4	Servicio de Mensajes Cortos .....	83
2.1.4	PROCEDIMIENTOS TÍPICOS PARA LOS EQUIPOS DE MEDIDA DE LA QoS .....	86
2.1.4.1	Tipos de llamada.....	87
2.1.4.2	Fases de la transacción de una llamada .....	87
2.2	SELECCIÓN DE LOS INDICADORES MÁS RELEVANTES A SER MONITOREADOS Y DEFINICIÓN DE SUS UMBRALES Y CRITICIDAD.....	91
2.2.1	KEY PERFORMANCE INDICATOR (KPI) BSS .....	92
2.2.1.1	Accesibilidad al servicio.....	93
2.2.1.2	Continuidad de servicio .....	98
2.2.1.3	Calidad.....	106
2.2.1.4	Capacidad .....	107
2.2.1.5	Disponibilidad BTS .....	110
2.2.1.6	Utilización Canales.....	110
2.2.2	CRITERIO DE LA ENTIDAD REGULADORA.....	111
2.2.3	VALORES DE LOS INDICADORES CRÍTICOS .....	114
2.3	SELECCIÓN DE LA APLICACIÓN PARA EL MONITOREO DE LOS INDICADORES DEL PERFORMANCE DE LA RED .....	115
2.3.1	DESCRIPCIÓN DE LA APLICACIÓN .....	116
2.3.1.1	Descripción de la adquisición de datos.....	116
2.3.1.2	Descripción de la aplicación de monitoreo de los KPIs .....	117
2.3.2	DESARROLLO DE LA APLICACIÓN.....	119
2.3.2.1	Adquisición de datos .....	119
2.3.2.2	Aplicación para el monitoreo del performance .....	139
<b>CAPÍTULO III .....</b>		<b>142</b>
<b>3. ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DEL PERFORMANCE DE LA RED GSM..</b>		<b>142</b>
3.1	PROCEDIMIENTO DE ESCALAMIENTO PARA LA ATENCIÓN DE LOS PROBLEMAS DE PERFORMANCE DE LA RED .....	142
3.1.1	ÁMBITO DE APLICACIÓN.....	143
3.1.2	DEFINICIONES.....	144
3.1.3	ASPECTOS A OPTIMIZAR EN LAS REDES MÓVILES .....	144
3.1.3.1	Criterios para la clasificación de las técnicas de optimización .....	145
3.1.3.2	Actividades de optimización concretas en redes GSM .....	150
3.1.4	DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE ESCALAMIENTO DE OPTIMIZACION RF .....	163

3.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL MONITOREO DE LOS INDICADORES DEL PERFORMANCE DE LA RED .....	166
3.2.1 TASA DE LLAMADAS COMPLETADAS.....	167
3.2.1.1 Recomendaciones para el proceso de análisis: .....	167
3.2.1.2 Acciones de optimización y aspectos a tener en cuenta: .....	169
3.2.2 TASA DE CAÍDAS SDCCH .....	170
3.2.2.1 Recomendaciones para el proceso de análisis: .....	170
3.2.2.2 Acciones de optimización y aspectos a tener en cuenta: .....	170
3.2.3 CONGESTIÓN DE VOZ - TCH BLOCKING RATE.....	170
3.2.3.1 Recomendaciones para el proceso de análisis: .....	170
3.2.3.2 Acciones de optimización y aspectos a tener en cuenta: .....	171
3.2.4 CONGESTIÓN DE SEÑALIZACIÓN - SDCCH BLOCKING RATE .....	172
3.2.4.1 Recomendaciones para el proceso de análisis: .....	172
3.2.4.2 Acciones de optimización y aspectos a tener en cuenta: .....	173
3.2.5 TASA DE LLAMADAS CAÍDAS .....	174
3.2.5.1 Recomendaciones para el proceso de análisis: .....	174
3.2.5.2 Acciones de optimización: .....	175
3.2.5.3 Otros aspectos a tener en cuenta:.....	177
3.2.6 TASA DE HANDOVERS INTERBSC EXITOSOS - INTERBSCHOSUCCESSRATE .....	178
3.2.6.1 Recomendaciones para el proceso de análisis: .....	178
3.2.6.2 Acciones de optimización y aspectos a tener en cuenta: .....	178
3.2.7 TASA DE HANDOVERS INTERCELL EXITOSOS - INTERCELLHOSUCCESSRATE.....	180
3.2.7.1 Recomendaciones para el proceso de análisis: .....	180
3.2.7.2 Acciones de optimización y aspectos a tener en cuenta: .....	180
3.2.8 TASA DE HANDOVERS INTRACELL EXITOSOS - INTRACELLHOSUCCESSRATE .....	182
3.2.8.1 Recomendaciones para el proceso de análisis: .....	182
3.2.8.2 Acciones de optimización y aspectos a tener en cuenta: .....	182
3.2.9 TASA DE HANDOVERS CAÍDOS - DROP HANDOVER RATE.....	184
3.2.9.1 Recomendaciones para el proceso de análisis y optimización: .....	185
3.2.10 UTILIZACIÓN SDCCH .....	185
3.2.10.1 Recomendación para el proceso de análisis y optimización: .....	185
3.2.11 FER UL .....	186
3.2.11.1 Recomendaciones para el proceso de análisis: .....	186
3.2.11.2 Acciones de optimización y aspectos a tener en cuenta: .....	186
3.3 ALTERNATIVAS DE PROCEDIMIENTOS DE OPTIMIZACIÓN DEL PERFORMANCE DE LA RED GSM .....	187
3.3.1 INTRODUCCIÓN A LA OPTIMIZACIÓN DE REDES MÓVILES 2,5G Y 3G .....	188
3.3.1.1 Tráfico de datos en GPRS .....	188
3.3.1.2 Tráfico en UMTS .....	192
3.3.1.3 Tráfico en redes heterogéneas .....	199
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>202</b>
<b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>202</b>

4.1 CONCLUSIONES.....	202
4.2 RECOMENDACIONES.....	206
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	207
ÍNDICE DE FIGURAS.....	210
ÍNDICE DE TABLAS.....	214
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	215

## ANEXOS

ANEXO N° 1: FUNDAMENTOS DEL PLANEAMIENTO DEL RADIO ENLACE

ANEXO N° 2: CONFIGURACIÓN DEL CANAL Y ESTRATEGIA DE ASIGNACIÓN

ANEXO N° 3: DISEÑO DE RADIO CELDAS

ANEXO N° 4: ESTRUCTURA DE CELDAS JERÁRQUICA

ANEXO N° 5: REDUCCIÓN DE INTERFERENCIA

ANEXO N° 6: MÉTODOS Y ALGORITMOS AVANZADOS PARA LA OPTIMIZACIÓN  
DE REDES MÓVILES

ANEXO N° 7: REGLAMENTO PARA EL SERVICIO DE TELEFONÍA MÓVIL  
CELULAR

## **CAPÍTULO I**

### **1. INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DE LA TECNOLOGÍA DE TELEFONÍA CELULAR GSM, CALIDAD Y PERFORMANCE DE REDES MÓVILES**

El desarrollo de todo proyecto de investigación requiere del conocimiento teórico básico de los conceptos y procedimientos necesarios para el adecuado manejo de las herramientas requeridas, cuyo uso lleve a cumplir con los objetivos planteados. Por ello en este capítulo se revisan los conceptos y funcionamiento básicos de la telefonía celular GSM (*Global System for Mobile Communications*), se describe su arquitectura, se analizan las características de los canales de voz y control; por otro lado se estudian los conceptos de calidad y *performance* en redes móviles y se detallan los procesos de medida y gestión de la calidad y los campos de aplicación de estos, dentro de los cuales la optimización de Radio Frecuencia es el de primordial interés en este trabajo.

#### **1.1 CONCEPTOS Y FUNCIONAMIENTO DE LAS REDES DE TELEFONÍA CELULAR GSM**

En esta sección se presentan las definiciones de red GSM y PLMN, se citan brevemente las características de las generaciones de los servicios móviles y dentro de ello la ubicación de GSM, se da una introducción técnica básica de su funcionamiento y finalmente se expone la historia de esta tecnología con el objeto de presentar una visión de su desarrollo y su importancia actual como referente mundial de telefonía móvil celular.

## **1.1.1 DEFINICIONES**

### **1.1.1.1 Red del Sistema Global de Telefonía GSM**

Se define la Red del Sistema Global de Telefonía GSM como aquel servicio portador constituido por todos los medios de transmisión y conmutación necesarios que permiten enlazar a voluntad dos equipos terminales móviles mediante un canal digital que se establece específicamente para la comunicación y que desaparece una vez que se ha completado la misma.

### **1.1.1.2 Red Pública Móvil Terrestre**

La red pública móvil terrestre PLMN (*Public Land Mobile Network*), es aquella que está establecida y manejada por operadores autorizados por el ente regulador de las telecomunicaciones en la región (en el Ecuador la instancia reguladora es el CONATEL), para el propósito específico de proveer servicios de comunicaciones móviles al público. La red se divide en un determinado número de celdas, las cuales representan el área de servicio más pequeña atendida por una estación base, representada como un hexágono.

El estándar GSM define una red telefónica móvil terrestre (PLMN) completa, de naturaleza digital y de servicios integrados, que comprende el acceso radio con estructura celular, la transmisión, conmutación y señalización específicas para soportar las funciones de movilidad y los mecanismos de seguridad para el establecimiento de las llamadas y la protección de la información transmitida durante éstas.

La red PLMN-GSM proporciona a usuarios móviles la intercomunicación con abonados o con recursos de otras redes fijas o móviles, incluidos los servicios asociados a ellas.

Sin embargo tiene un grado de conectividad limitado. Estrictamente hablando, como red, sólo puede manejar internamente llamadas entre estaciones móviles que dependan de una misma central. Para todas las demás llamadas entre móviles que requieran la intervención de diferentes centrales y en las llamadas en que intervenga un terminal de la red de telefonía convencional, se requiere el concurso de la PSTN (*Public Switching Telephony Network*). Por ello, en la PLMN no hay jerarquía de conmutación.

Una de las características más importantes es la especificación de interfaces abiertas entre las distintas unidades funcionales de la red, en el marco del modelo OSI y siguiendo la normativa ISDN (*Integrated Services Digital Network*) para la caracterización de la señalización y las funciones de red.

### **1.1.1.3 Generaciones de servicios móviles**

Es conocido que los servicios móviles han evolucionado en generaciones, en cada una de ellas resulta plenamente reconocible un conjunto de características que las definen.

La primera generación fue la de los servicios analógicos, únicamente transmisión de voz con calidad de servicio aceptable, un bajo nivel de estandarización y una baja velocidad de transmisión usando conmutación de circuitos.

La segunda generación es la de los servicios digitales; teniendo además de voz digital, servicio de mensajes cortos, un fuerte nivel de estandarización y una baja velocidad de transmisión usando conmutación de circuitos.

La tercera generación es la de los servicios multimedia, ofrece servicios de voz y datos con una alta calidad de servicio (QoS), existe un fuerte nivel de estandarización y una alta velocidad de transmisión usando conmutación de paquetes (IP).

GSM está dentro de las tecnologías de segunda generación; GPRS (*General Packet Radio System*), es una tecnología de generación 2.5, es decir, representa un estado de transición entre la segunda y tercera generaciones; por el contrario UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) es una tecnología de tercera generación.

## 1.1.2 INTRODUCCIÓN A GSM

### 1.1.2.1 Historia de GSM

En los comienzos de los años ochenta, muchos países en Europa habían desarrollado su propio sistema de telefonía celular analógica que impedía la interoperabilidad más allá de las fronteras de cada país. En 1982, el CEPT (*Conference of European Post and Telecommunications*) estableció un grupo de trabajo para desarrollar un sistema paneuropeo al que se denominó *GSM-Groupe Speciale Mobile*.

Entre 1982 y 1985 se planteó qué tipo de sistema construir: digital o analógico. Pero en 1985, tras numerosas discusiones el grupo decidió implantar un sistema basado en tecnología digital. El siguiente paso fue el de elegir entre la solución de banda ancha (*broadband*) o banda estrecha (*narrowband*). Por esta razón en 1987 se efectuaron pruebas de campo en París, en las que diferentes fabricantes propusieron soluciones diversas. En mayo de 1987 se eligió la solución *narrowband TDMA (Time Division Multiple Access)*.

El grupo propuso desarrollar un nuevo sistema inalámbrico móvil con las siguientes premisas: itinerancia (*roaming*) internacional, soporte para la introducción de nuevos servicios, eficiencia espectral y compatibilidad con la ISDN. En 1989, la responsabilidad por el desarrollo de GSM fue transferida al ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) que denominó al proyecto como *Global System for Mobile Communications*.

Los primeros servicios comerciales fueron lanzados a mediados de 1991, y en 1993 estaban operativas 36 redes GSM en 22 países. Las normativas se ampliaron en seguida para incluir una interfaz aérea también para la banda de los 1800-1900 MHz (*DCS1800-PCS1900*). En particular a USA se le ha concedido la banda de los 1900 MHz y a Europa y a los otros países la de los 1800 MHz.

La evolución de GSM ha estado marcada por tres fases de evolución; la fase 1, en la que se produjeron sus especificaciones; la fase 2, en la que se propuso la inclusión de servicios de datos y de fax; y finalmente, la Fase 2+, en la que se realizan mejoras sobre la codificación de voz y se implementan servicios de transmisión de datos avanzados, entre ellos GPRS y EDGE.

GSM es un sistema de conmutación de circuitos, diseñado originalmente para voz, al que posteriormente se le adicionaron algunos servicios de datos: servicio de mensajes cortos y un servicio de datos GSM. Actualmente GSM es la referencia mundial para redes de radio móviles.

### **1.1.2.2 Servicios proporcionados por la red GSM**

Los servicios básicos ofrecidos son los de telefonía y datos, que comprenden transmisiones de textos, imágenes, fax, ficheros y mensajes. El servicio básico de telefonía es similar al que prestan las redes clásicas fijas. El usuario puede realizar y recibir llamadas hacia/desde cualquier red telefónica. Este servicio tiene asociado el de mensajería vocal que permite el almacenamiento de los mensajes para su posterior recuperación.

Los servicios de datos utilizan la red GSM principalmente como red de acceso. Es posible entablar comunicación con diferentes redes destino a velocidades de datos comprendidas entre 300 y 9600 bit/s, en modo sincrónico o asincrónico. Los servicios de datos en conmutación de circuitos pueden ser de tipo transparente o no transparente (con detección de errores y retransmisión). En el modo transparente la red usa el protocolo RLP (*Radio Link Protocol*), con un sistema de

control de errores que realiza la detección de errores y la retransmisión consiguiente.

El tipo de conexión y las características de los servicios de datos, dependen de la red destinataria. Para la PSTN, que es de naturaleza analógica, se requiere el uso de un módem en el punto de interconexión GSM-PSTN. En el caso de la ISDN hace falta disponer de un adaptador de velocidad de 9,6 kbit/s en GSM a 64 kbit/s en ISDN. Para las redes públicas de datos con conmutación de paquetes, la conexión depende de la norma usada en esa red.

El servicio de mensajes cortos, SMS (*Short Message Service*) permite el intercambio de mensajes breves, de hasta 160 caracteres, que pueden leerse en la pantalla del equipo portátil o en la de un PC dotado de programas para la gestión del servicio. Los mensajes del servicio SMS llegan a sus destinatarios aunque éstos no estén disponibles (terminal apagado) o su línea esté ocupada. Una vez que el terminal se encuentra en el estado activo desocupado, la red genera una llamada indicando al usuario que tiene uno o más mensajes depositados en su buzón.

Este servicio es similar al de radiobúsqueda (*paging*) pero más completo ya que permite el intercambio bidireccional, el almacenamiento y envío, y el acuse de recibo de los mensajes entregados. Otro servicio interesante es el de difusión celular, SMS-CB (*Cell Broadcasting*), mediante el cual pueden difundirse mensajes a grupos de usuarios situados en determinadas celdas.

Los servicios suplementarios enriquecen las prestaciones de los teleservicios básicos. Brindan al usuario la posibilidad de elección del tratamiento de las llamadas entrantes o salientes: prohibiciones, desvíos; le facilitan información sobre la llamada: aviso de tasación, identificación de línea llamante, indicación de llamada en espera; o le permiten ejercer ciertas funciones como retención, multiconferencia, etc.

### 1.1.2.3 Recomendaciones GSM

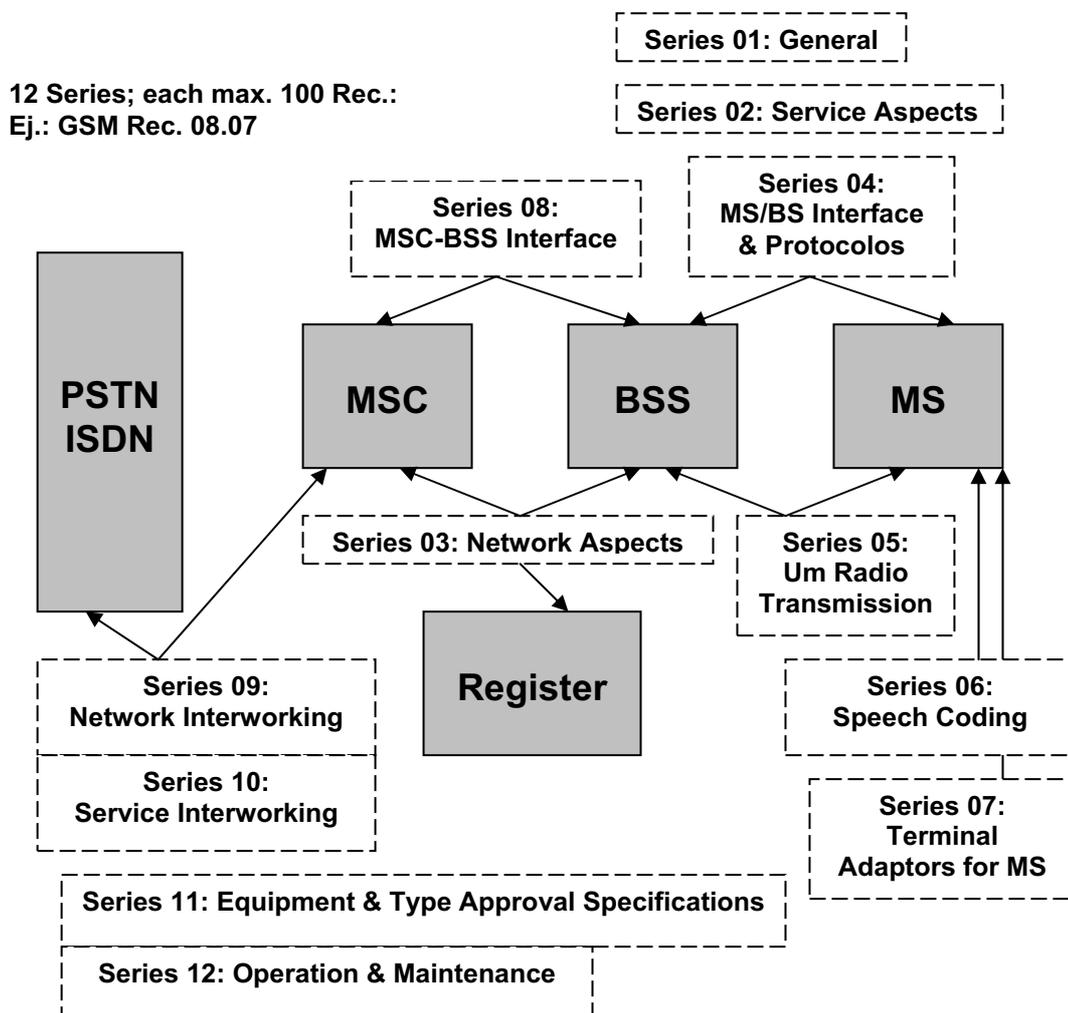


Figura 1.1 Recomendaciones GSM <sup>[1]</sup>

El estándar GSM es un estándar estable y abierto para sistemas de comunicación móvil celular establecido por el ETSI. Todos los aspectos de la realización del estándar GSM se han establecidos en más de 150 recomendaciones (Especificaciones técnicas). Subsistemas, componentes de red, interfaces, señalización, pruebas, aspectos de mantenimiento, etc.; son descritos.

Estas permiten una interacción armoniosa de todos los elementos de una red de comunicaciones móviles. Al mismo tiempo las recomendaciones son lo suficientemente flexibles para las diferentes realizaciones de varios vendedores.

Las recomendaciones están organizadas en 12 series de acuerdo a diferentes aspectos. La Figura 1.1 refleja la estructura de un sistema PLMN y sus interfaces.

#### **1.1.2.4 Introducción técnica**

A diferencia de lo que sucede en la red telefónica fija, en la que el terminal de cada usuario está conectado a la red mediante un punto de acceso unívoco, en una red radio-móvil, el abonado puede desplazarse por cualquier punto de la misma. Por tanto, los datos relativos al abonado deben ser memorizados en una base de datos que se pueda consultar y actualizar desde cualquier punto de la red.

Los sistemas de telefonía móvil automática necesitan conseguir una amplia cobertura y una gran capacidad de tráfico con un limitado número de frecuencias. Ello es posible gracias a la reutilización sistemática de las frecuencias, lo que se logra mediante las estructuras celulares.

El estándar GSM utiliza la tecnología de acceso por división de frecuencia (FDD) combinada con la de acceso por división de tiempo (TDMA): 8 canales vocales (*Full rate*) o bien 16 (*Half rate*) “multiplexados” en un único canal de radio, junto con la información para el control de errores, necesarias para disminuir la interferencia debida al ruido, y a la información de sincronización y señalización.

## **1.2 ARQUITECTURA Y COMPONENTES DE LA RED DE TELEFONÍA CELULAR GSM**

La arquitectura base del sistema GSM prevé cuatro subsistemas principales, cada uno de los cuales contiene un cierto número de unidades funcionales y están interconectados con el otro a través de diferentes interfaces estándar mediante protocolos de señalización específicos.

Puede definirse un subsistema como una entidad constituida por uno o más equipos físicos encargados de ejecutar una tarea específica. La unión de todas estas tareas asegura el funcionamiento de la red.

En la PLMN-GSM se distinguen los siguientes subsistemas:

- Estación Móvil (MS)
  - ME (*Mobile Equipment*)
  - SIM (*Suscriber Identity Module*)
  
- Subsistema de estaciones base, BSS (*Base Station SubSystem*)
  - BSC (*Base Station Controller*)
  - BTS (*Base Transceiver Station*)
  - TRAU (*Transcoder and Rate Adapter Unit*)<sup>1</sup>
  
- Subsistema de conmutación y gestión, SMSS (*Switching and Management Subsystem*)
  - MSC (*Mobile Switching Center*)
  - HLR (*Home Location Register*)
  - VLR (*Visitor Location Register*)
  - AUC (*Authentication Center*)
  - EIR (*Equipment Identity Register*)
  
- Subsistema de operación y mantenimiento, OMS (*Operation and Maintenance Subsystem*)

---

<sup>1</sup> TRAU: En el estándar GSM, la TRAU no está definida como un componente de la red; sin embargo Siemens lo considera como tal; en el caso presente se lo cita de esta manera por ser ésta la marca usada en la red.

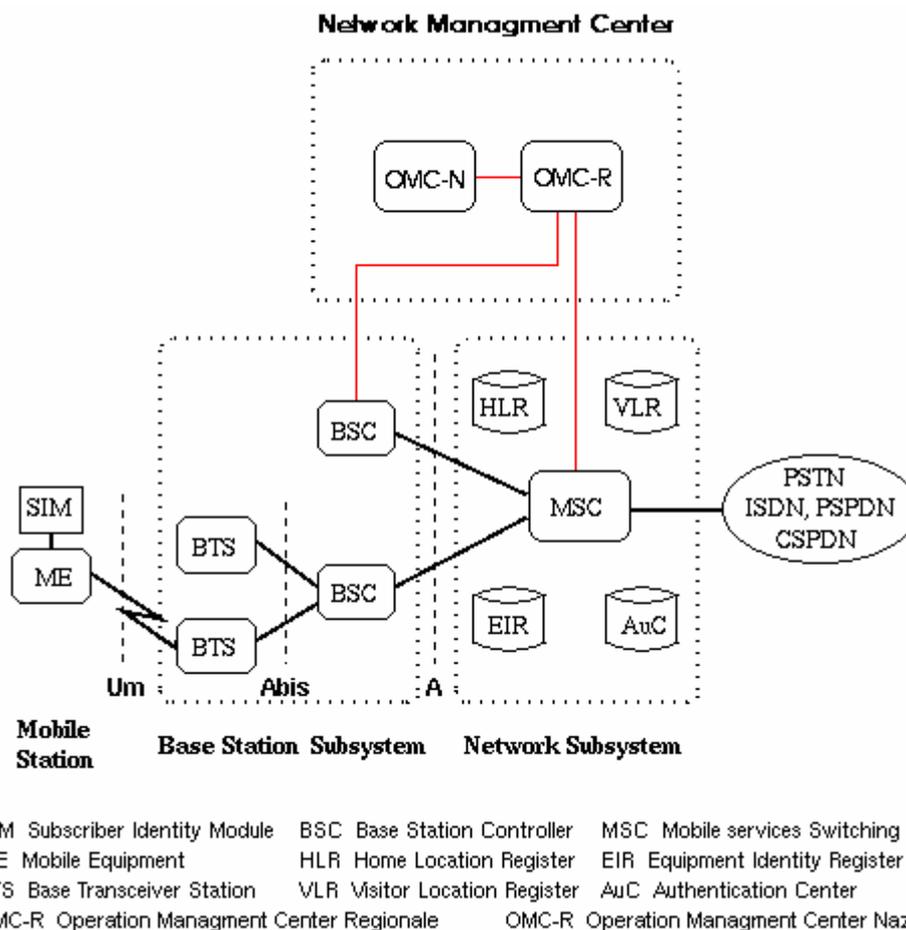


Figura 1.2 Arquitectura y componentes de la red de telefonía celular GSM <sup>[24]</sup>

### 1.2.1 ESTACIÓN MÓVIL (MS)

La estación móvil está formada por el terminal ME (*Mobile Equipment*) GSM y por el SIM (*Subscriber Identity Module*), una pequeña tarjeta dotada de memoria y microprocesador, que permite identificar el abonado independientemente del terminal usado; y por tanto da la posibilidad de continuar recibiendo y efectuando llamadas y utilizar todos los servicios suscritos insertando el SIM en un terminal que no le sea propio.

La estación móvil se comunica con el subsistema de estaciones base a través de la interfaz de radio (Um), también conocida como “interfaz de aire” o “enlace de radio”.

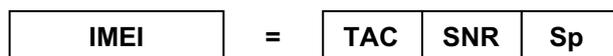
La MS debe desempeñar las siguientes funciones básicas:

- Proporciona una interfaz de comunicaciones entre los usuarios y la red vía radio.
- Realiza la transmisión/recepción de las informaciones de usuario y de señalización a través de esa interfaz radio.
- Efectúa la inicialización de la conexión con la red.
- Realiza la sintonización de frecuencias y seguimiento automático de las estaciones base en cuya zona de cobertura se encuentre.
- Efectúa funciones de procesamiento de la voz: conversión analógico/digital y viceversa.
- Realiza la adaptación de interfaces y velocidades para las señales de datos.

#### 1.2.1.1 Terminal GSM (*Mobile Equipment*)

El *Mobile Equipment* está inequívocamente identificado dentro de cualquier red GSM por el IMEI (*International Mobile Equipment Identity*).

El IMEI es un número de 15 cifras y tiene la siguiente estructura:



Donde:

TAC = *Type Approval Code*, determinado por el cuerpo central del GSM (6 cifras)

FAC = *Final Assembly Code*, identifica al fabricante (2 cifras)

SNR = *Serial Number* (6 cifras)

Sp = Cifra suplementaria de reserva (1 cifra)

Los terminales GSM están subdivididos en cinco clases basándose en la potencia con la que pueden transmitir sobre el canal radio, que varía desde un máximo de

20 Watt a un mínimo de 0.8 Watt. La Tabla 1.1 muestra las características de estas cinco clases de terminales GSM.

CLASE	POTENCIA MÁXIMA	TIPO
1	20	Vehicular
2	8	Portátil
3	5	Palmario
4	2	Palmario
5	0.8	Palmario

**Tabla 1.1 Clases de terminales GSM de acuerdo a su potencia <sup>[24]</sup>**

La potencia de la MS determina la capacidad de ésta para alejarse de la estación transmisora/receptora (BTS) de la red y poder seguir disfrutando del servicio.

Una peculiaridad de las MSs es la capacidad de variar la potencia de emisión de la señal sobre el canal radio de forma dinámica en 18 niveles, con el fin de poder mantener en cada momento la potencia de transmisión óptima, limitando así las interferencias co-canal inducidas sobre las celdas adyacentes y por tanto reduciendo los consumos del terminal. Estos dos últimos aspectos están mejorados por el DTX (*Discontinuous Transmit*) que inhibe la transmisión cuando el usuario no habla, gracias a la función VAD (*Voice Activity Detection*) que verifica la presencia o no de actividad vocal. El aumento o la disminución de la potencia de la señal transmitida llega a la MS desde el BSS que monitoriza constantemente la calidad de la comunicación.

### **1.2.1.2 SIM (*Suscriber Identity Module*)**

La tarjeta SIM contiene la IMSI (*International Mobile Subscriber Identity*), usada para identificar al abonado en cualquier sistema GSM; los procedimientos de criptografía que garantizan la confidencialidad de la información del usuario; otros datos como por ejemplo memorias alfanuméricas del teléfono y memorias para

mensajes de texto; y finalmente una contraseña para impedir el uso no autorizado de dicha tarjeta y para el acceso a posteriores funciones.

La IMSI tiene la siguiente estructura:



Donde:

MCC = *Mobile Country Code* (2 o 3 cifras)

MNC = *Mobile Network Code* (2 cifras)

MSIN = *Mobile Station Identification Number* (max 13 cifras)

(MCC Ecuador = 740)

(MNC Telefónica = 00, Porta =01)

## 1.2.2 SUBSISTEMA DE ESTACIONES BASE (BSS)

Comprende las funciones de la capa física, según el modelo OSI. Controla la interfaz radio, para lo cual hace uso de un conjunto de canales lógicos. Los canales lógicos son estructuras de datos y protocolos que realizan funciones de intercambio de información necesarias para:

- Seguimiento/localización de las MSs y aviso a las mismas.
- Establecimiento de las llamadas.
- Mantenimiento de las comunicaciones establecidas.
- Supervisión y control de la calidad.
- Facilidades operativas.

Debido al elevado número de BTSs en una red y a que éstas funcionan en lugares donde no hay mantenimiento, los equipos BTSs deben ser sencillos, fiables, duraderos y de costo moderado. Por ello la mayoría de las funciones de control se realizan en el BSC. El BSC se encarga de la gestión de varias BTSs en lo relativo a los recursos de radio: asignación, utilización y liberación de las frecuencias, etc. También puede realizar ciertas funciones de conmutación.

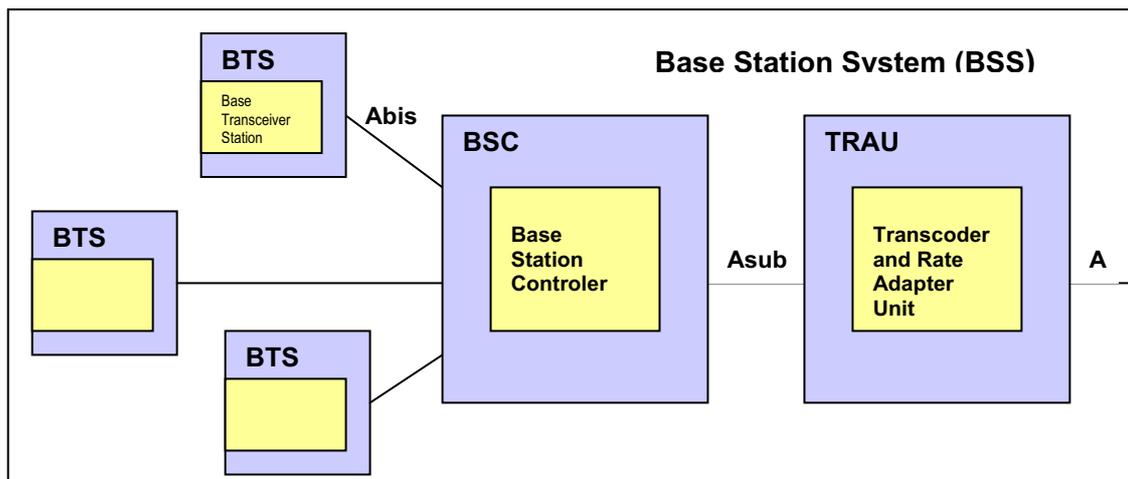


Figura 1.3 Componentes de red del BSS e interfaces que los comunican <sup>[2]</sup>

El BSS está compuesto por una o más BTSs (*Base Transceiver Station*), por un BSC (*Base Station Controller*) y por una o más TRAU (*Transcoder and Rate Adapter Unit*). Las BTSs y el BSC se comunican entre sí a través de una interfaz estandarizada tipo A-bis, con el fin de permitir operaciones incluso entre componentes construidos por fabricantes diferentes, además el BSC está conectado al MSC (*Mobile Switching Center*) mediante una interfaz tipo A. La TRAU se conecta al BSC a través de la interfaz llamada Asub.

### 1.2.2.1 *Base Transceiver Station (BTS)*

Comprende los equipos de transmisión y recepción, los elementos de conexión al sistema radiante (combinadores, multiacopladores, cables coaxiales), las antenas y los accesorios (torres soporte, pararrayos, tomas de tierra, etc.). La BTS contiene uno o más transreceptores (TRX) y da servicio hasta un máximo de tres sectores. Se encarga del procesamiento de voz, entendiéndose incluidos los métodos utilizados para garantizar una conexión sin errores entre la MS y la BTS. Los sectores de una estación se encuentran físicamente agrupados dentro de la BTS. La BTS realiza principalmente dos tareas: proveer el enlace de radio frecuencia con las estaciones móviles y proveer el enlace PCM (*Pulse Code Modulation*) para conectarse con el BSC a través de fibra o microondas.

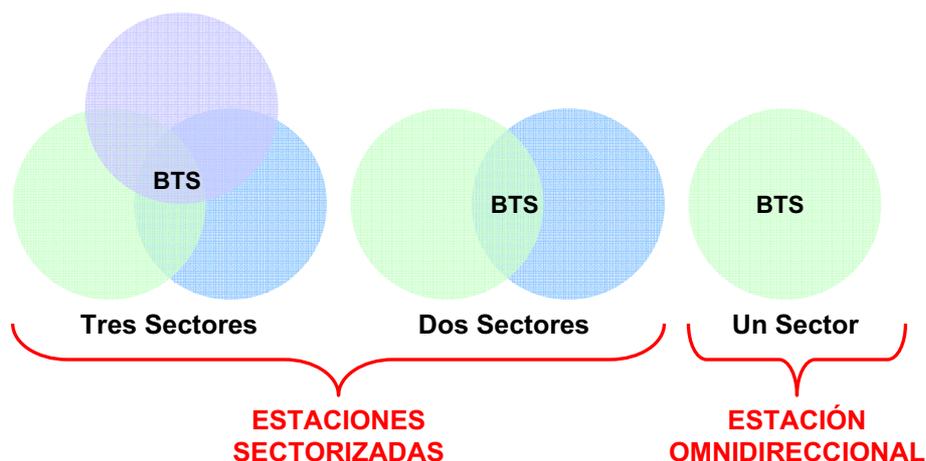


Figura 1.4 Tipos de BTSs de acuerdo al número de sectores <sup>[17]</sup>

La Figura 1.4 muestra la forma de cómo se pueden organizar los sectores en una BTS, esta configuración depende de la topografía del terreno en donde se encuentre la estación dando servicio, así como del tráfico que generan los usuarios en la zona.

La BTS ejerce una serie de funciones, descritas a continuación:

- Capacidad de gestionar canales *Full Rate* y *Half Rate*.
- *Antenna Diversity*, es decir la utilización de dos antenas de recepción para mejorar la calidad de la señal recibida; las dos antenas reciben de forma independiente la misma señal y están afectadas de distinto modo por el *fading*; la posibilidad de que ambas sean afectadas al mismo tiempo por un *fading* profundo es muy pequeña.
- Supervisión de la Relación de Ondas Estacionarias (ROS) en la antena.
- *Frequency Hopping* (FH): cambio de la frecuencia usada en un canal radio a intervalos regulares, con el fin de mejorar la calidad del servicio a través de las distintas frecuencias.
- *Discontinuos Transmssion* (TDX) ya sea en el up-link como en el down-link.
- El *Control Dinámico de la Potencia* (DPC) de la MS y de la BTS: el BSC determina la potencia óptima con la que la MS y la BTS deben transmitir

sobre el canal radio (explotando las mediciones realizadas por la MS y la BTS), para mejorar la eficiencia espectral.

- Gestión de los algoritmos de clave: la información de los usuarios se encripta para garantizar al abonado una cierta discreción sobre el canal de tráfico y el de señalización. El proceso de criptografía de los datos debe ser realizado por la BTS sobre las informaciones transmitidas al canal radio, el algoritmo que debe utilizarse es comunicado a la BTS por el BSC en base a las indicaciones recibidas por el MSC y la clave de criptografía única para cada usuario. Actualmente el estándar GSM fase II admite 8 algoritmos de clave.
- Monitorización de la conexión de radio realizando medidas significativas sobre las señales RF, medidas que luego se envían al BSC con la finalidad de asegurar un elevado nivel de la calidad de la conexión.

### 1.2.2.2 *Base Station Controller (BSC)*

Es el responsable de las funciones inteligentes dentro del BSS, asigna los canales de tráfico conectando al SMSS con la BTS, por tanto todos los componentes vitales están duplicados de manera de asegurar su operación continua ante cualquier eventualidad. Se encarga de gestionar varias estaciones, cumpliendo diferentes funciones de comunicación y monitoreo. Para el tráfico del abonado procedente de las estaciones base se comporta como un concentrador y para el tráfico que proviene del conmutador actúa como un enrutador hacia la estación base destinataria.

En las funciones de explotación de la red el BSC, es por un lado, un repetidor para las alarmas y las estadísticas procedentes de las estaciones bases que se dirigen al OMS (*Operation and Maintenance Subsystem*), y por el otro, es una base de datos para las versiones de *software* y los datos de configuración que el operador carga de forma remota en las estaciones base que pasan por el controlador. Almacena y proporciona información bajo petición del operador o de una estación base que entra en funcionamiento. Para el operador, el BSC gestiona los recursos de radio de su zona, constituido por el conjunto de celdas

que tiene asociado, en consecuencia, asigna las frecuencias que puede utilizar cada una de sus estaciones base.

En particular las funciones del BSC son:

- La gestión y configuración del canal radio: para cada llamada tiene que elegir la celda correcta y una vez en su interior seleccionar el canal radio más apto para efectuar la conexión.
- La gestión de *handover*: sobre la base de las medidas recibidas por la BTS, decide cuando efectuar el *handover*.

### 1.2.2.3 Transcoder and Rate Adapter Unit (TRAU)

Es la unidad encargada de la codificación y decodificación, además de adaptar la velocidad neta utilizada en los canales de radio (inferior a 16 Kbps) a la velocidad normalmente utilizada en la red fija (64 Kbps). Sus dos funciones principales son:

- Transcodificación: mediante la codificación y compresión de la señal de voz.
- Adaptación de las velocidades de transmisión.

La TRAU es una componente clave en la gestión y el enrutamiento de la información. Este elemento pertenece funcionalmente al BSS pero puede estar ubicado físicamente en la BTS, en el BSC o externo al BSS.

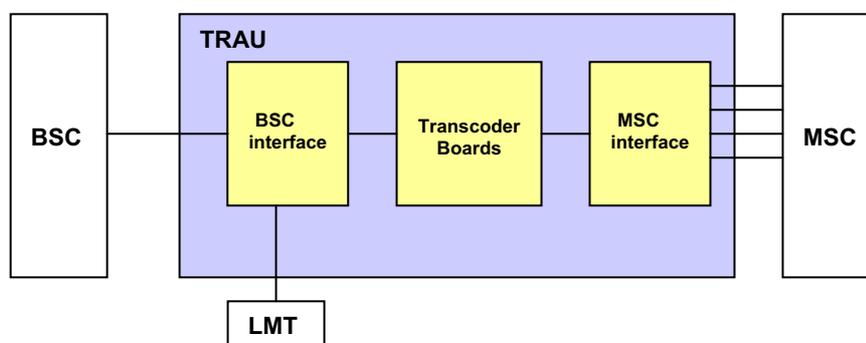


Figura 1.5 Estructura de una TRAU [2]

### 1.2.3 SUBSISTEMA DE CONMUTACIÓN Y GESTIÓN (SMSS)

El SMSS es el subsistema de la red GSM encargado de proveer la interfaz entre los equipos específicos de GSM y las demás redes. Maneja la conmutación de las llamadas entre redes externas y el BSC y es responsable del manejo y acceso externo a cuatro diferentes bases de datos (HLR, VLR, AUC, EIR) para la identificación de los usuarios y los terminales, la actualización de su posición, la autenticación y la conducción de las llamadas a un abonado en roaming. El Centro de Conmutación de Servicios Móviles (*MSC-Mobile Services Switching Center*) es la unidad central en el SMSS y controla el tráfico a lo largo de los BSCs.

Las funciones básicas del SMSS, son:

- Localización y registro con autenticación de los abonados.
- Encaminamiento y control de las llamadas.
- Gestión de los recursos de radiofrecuencia durante las llamadas.
- Tratamiento de los aspectos de las llamadas relacionados con la movilidad de los usuarios (Radiobúsqueda, traspaso, etc.).
- Intercambio de señalización entre entidades funcionales de la red GSM y con redes externas.
- Sistema de cobro.
- Manejo de movilidad.
- Manejo de seguridad.
- Recolección de datos estadísticos.

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

El MSC es el elemento central del SMSS. Se ocupa de la conducción (*routing*) y gestión de la señal de todas las llamadas directas y provenientes desde varios tipos de redes, basándose en las informaciones recibidas desde el HLR y el VLR. Implementa además las funciones de *gateway* con los otros componentes del

sistema y de gestión de los procesos de handover, conmutando las llamadas en curso entre BSCs diferentes o hacia otro MSC.

Dentro del servicio pueden estar presentes más MSCs y cada una es responsable de la gestión del tráfico de una o más BSS, desde el momento en que los usuarios se trasladan por toda el área de cobertura, para garantizar a cada uno un nivel de servicio constante.

Otras funciones fundamentales del MSC se describen a continuación:

- Autenticación del que llama; la identificación de la MS que ha efectuado la llamada es necesaria para determinar si el usuario está habilitado para usar el servicio.
- Confidencialidad acerca de la identidad del usuario, para garantizar la confidencialidad acerca de un usuario en el canal radio, aún ya estando todas las informaciones encriptadas, el sistema no transmite nunca el IMSI; sin embargo se le asigna el TMSI (*Temporary Mobile Subscriber Identity*), en el momento de la llamada, el cual tiene un significado temporal; crear la correspondencia entre TMSI e IMSI es tarea del MSC y cuando el móvil se desplaza a la *location area* controlado por otro MSC, se le tiene que asignar un número TMSI.
- Proceso de *handover*: en la red GSM un usuario puede continuar usando el servicio aunque atraviese durante la conversación los límites de la celda en la que se encuentra. Se pueden verificar dos casos de *handover*, desde el punto de vista del MSC:
  1. La MS se traslada a una celda controlada siempre por el mismo MSC; en este caso el proceso de *handover* es gestionado por el mismo MSC.
  2. La nueva celda a la que se traslada la MS está controlada por otro MSC; en este caso el proceso de *handover* se produce desde dos MSCs basándose en las medidas de señal monitoreadas por la BTS que recibe la MS.

### 1.2.3.2 *Home Location Register (HLR)*

Es una base de datos donde los usuarios son creados, borrados y modificados por el operador de la red. Cuando un usuario solicita un nuevo uso de la red GSM, todas las informaciones para su identificación se memorizan en el HLR. Tiene la función de comunicar al VLR algunos datos relativos a los abonados, en el momento en que estos se desplacen desde una *Location Area* a otra. Dentro del HLR los abonados son identificados por el número:

$$\boxed{\text{MSISDN}} = \boxed{\text{CC}} \boxed{\text{NDC}} \boxed{\text{SN}}$$

Donde:

CC = *Country Code*, prefijo internacional

NDC = *Nacional Destination Call*, prefijo nacional del abonado

SN = *Subscriber Number*, número que identifica al usuario móvil

CC Ecuador = 593

NDC = 9

El HLR puede ser único para toda la red, o pueden haber varios distribuidos por el sistema, se puede por tanto tener un MSC sin HLR, pero dicho MSC debe estar conectado al HLR de otro MSC. Cuando existen más HLRs, a cada uno de ellos se les asigna un área de numeración, es decir un set de MSISDN (*Mobile Station ISDN Number*). El MSISDN identifica unívocamente una suscripción de teléfono móvil en el plano de numeración de la red telefónica pública conmutada internacional.

El HLR, como las otras bases de datos, está implementado en una *workstation* cuyas prestaciones (memoria, procesadores, capacidad de disco) son actualizables cuando crece el número de abonados. Aquel contiene todos los datos relativos a los abonados y en particular las informaciones que están contenidas en él son:

- Informaciones de tipo permanente:
  - La IMSI, es información que identifica al abonado dentro de cualquier red GSM y está contenida también en el interior del *SIM*.
  - El MSISDN (*Mobile Station ISDN Number*).
  - Los tipos de servicios suscritos por el abonado a los cuales tiene derecho a acceder.
  
- Informaciones de tipo dinámico:
  - Posición actual de la MS, es decir la dirección del VLR en que está registrada.
  - El estado de eventuales servicios auxiliares.

Resumiendo las funciones implementadas por el HLR se tiene:

- Seguridad: diálogo con el AUC y el VLR.
- Registro de posición: diálogo con el VLR.
- Costo de la llamada: diálogo con el MSC
- Gestión de los datos del abonado: diálogo con el OMC y el VLR.
- Gestión de los datos estadísticos: los datos recogidos se envían al OMC.

### 1.2.3.3 *Visitor Location Register (VLR)*

El VLR es una base de datos que memoriza de modo temporal los datos de todos los abonados que se encuentran en un área geográfica bajo su control. Estos datos se piden al HLR al cual pertenece el abonado. En general para simplificar las señalizaciones requeridas y la estructura del sistema, los fabricantes implementan el VLR y el MSC juntos, de modo que el área geográfica controlada por el MSC corresponde a la controlada por el VLR.

En particular las informaciones que contiene son:

- TMSI, usado para garantizar la seguridad del IMSI, se asigna cada vez que se cambia de LA.

- Estado de la MS (*standby*, ocupado, apagado).
- El estado de los servicios suplementarios como llamada en espera, etc.
- Los tipos de servicios suscritos por el abonado al que se le permite acceder (voz, datos, SMS, otros servicios auxiliares)
- LAI (*Location Area Identity*) en la que se encuentra la MS dentro de aquellas bajo el control del MSC/VLR.

#### 1.2.3.4 *Authentication Center (AUC)*

El AUC es una función del sistema que se ocupa de verificar si el servicio ha sido solicitado por un abonado legítimo, proporcionando ya sea los códigos para la autenticación como la clave para proteger tanto al abonado como al operador de red de intrusiones del sistema por parte de terceros.

El mecanismo de autenticación verifica la legitimidad del SIM, sin transmitir sobre el canal radio las informaciones personales del abonado como IMSI y llaves de clave, a fin de verificar que el abonado que está intentando el acceso sea verdadero. Los códigos de autenticación y clave son generados por cada abonado en particular, mediante algunos algoritmos definidos por el estándar y que son memorizados en el AUC como en el SIM.

La autenticación se produce cada vez que la MS se conecta a la red y más precisamente en los siguientes casos:

- Cada vez que la MS recibe o realiza una llamada.
- Cada vez que se realiza la actualización de la posición de la MS (*location updating*)
- Cada vez que se solicita la activación, desactivación o información sobre los servicios suplementarios.

El AUC puede ser implementado también como otra aplicación en la misma *workstation* en la que se encuentra el HLR, que es el único elemento del sistema

con el que está interactuando; además no puede ser gestionado por control remoto por motivo de seguridad.

#### 1.2.3.5 *Equipment Identity Register (EIR)*

El EIR es una base de datos que verifica si un ME (*Mobile Equipment*) está autorizado o no para acceder al sistema. La base de datos está dividida en tres secciones:

- *White List*: contiene todos los IMEI designados a todos los operadores de las varias naciones con las que se tienen acuerdos de roaming internacional.
- *Black List*: contiene todos los IMEI que se consideran bloqueados.
- *Grey List*: contiene todos los IMEI marcados como *faulty* o también los relativos a aparatos no homologados. Los terminales introducidos en esta lista generan una alarma a los operadores cuando se solicita el acceso, permitiendo la identificación del abonado que utiliza el terminal y del área donde se encuentra.

A cada intento de conexión de la MS con la red, el MSC mediante el EIR verifica la existencia de uno de los siguientes casos, que permiten o no el acceso:

- El terminal está homologado para la conexión con una red GSM.
- El terminal no ha sido robado o utilizado fraudulentamente.
- El terminal no está marcado como *faulty*.

El EIR puede ser único para todo el sistema o bien puede estar implementado en una configuración distribuida. Puede encontrarse en la misma *workstation* en que se encuentra el HLR y el AUC, pero generalmente es preferible tenerlo en una máquina aparte por razones de seguridad. Se puede acceder también por control remoto para permitir la actualización de las diferentes listas contenidas en él desde cada punto de la red. En el futuro está prevista la interconexión con todos

los EIRs de los diferentes operadores GSM, para evitar el uso de aparatos robados en países distintos a aquellos en los que ocurrió el robo.

#### 1.2.4 SUBSISTEMA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO (OMS)

El OMS está constituido por el OMC (*Operation and Maintenance Center*), el cual ha sido creado para ser utilizado en la monitorización y el manejo de los elementos de la red GSM. Este centro de operaciones es capaz de manejar, supervisar y controlar el BSS y el SMSS, además de otras funciones que hacen posible el manejo efectivo de la red.

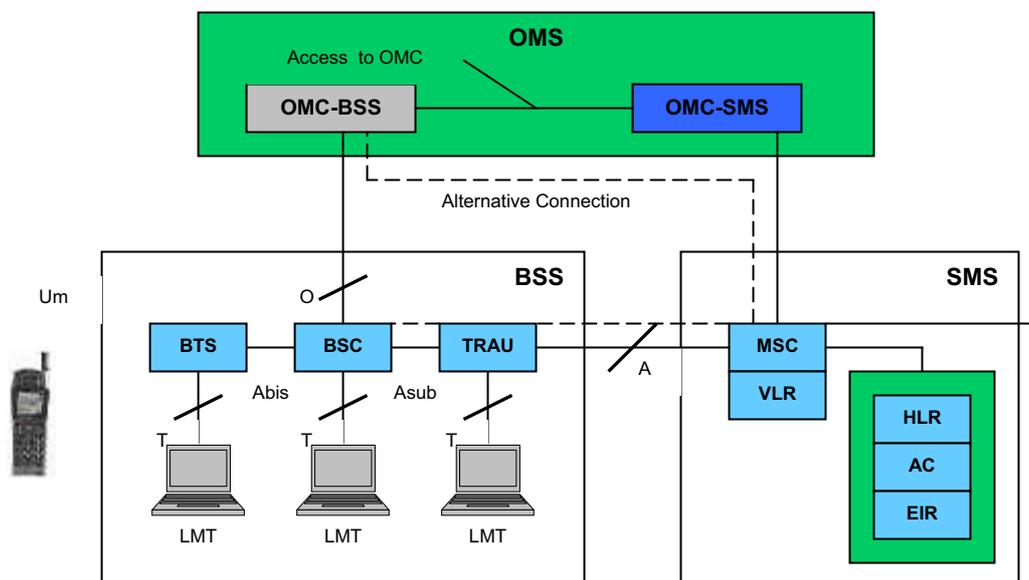


Figura 1.6 Estructura del OMS y elementos de la red GSM que supervisa <sup>[2]</sup>

La administración de una red PLMN implica un gran número de actividades que agrupadas de acuerdo a sus funciones básicas son:

- Gestión de Fallas.
- Gestión de Pruebas.
- Gestión de *Performance* (Desempeño)
- Gestión de Configuración.
- Gestión de Seguridad.
- Gestión de *Software*.

- Transmisión por Celdas.

El OMC centraliza las funciones de operación y mantenimiento de la red GSM, aquí se recolecta la información referente a alarmas, tráfico, mantenimiento y configuración de todos los elementos de la red. El OMC genera reportes, realiza el procesamiento estadístico de desempeño y presenta al operador la situación de las alarmas de la red GSM.

La arquitectura del OMC consiste en una estructura cliente-servidor en donde al cliente se le llama Terminal de Operación y Mantenimiento (OMT – *Operation & Maintenance Terminal*) y al servidor se le llama Procesador de Operación y Mantenimiento (OMP – *Operation & Maintenance Processor*). En cada uno de los OMT se puede acceder a la información que recopila el OMC. Los OMT se conectan con el OMP mediante una red LAN.

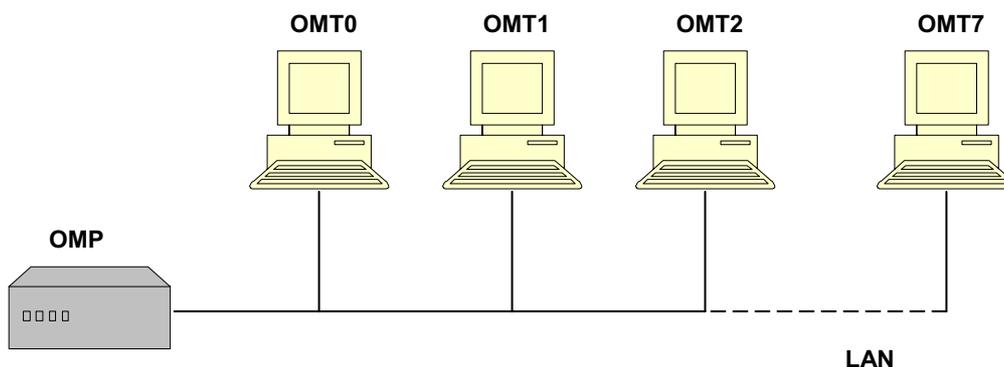


Figura 1.7 Conexión entre los elementos del OMC <sup>[2]</sup>

El operador interactúa con el OMC a través de una estación de trabajo gráfica contenida en los OMT.

Las funciones del OMC son:

- Acceso remoto a todos los elementos que componen la red GSM (BSSS, MSC, VLR, HLR, EIR y AUC)

- Gestión de las alarmas y del estado del sistema, con posibilidad de efectuar varios tipos de *test* para verificar el correcto funcionamiento del mismo.
- Recolección de todos los datos relativos al tráfico de los abonados necesarios para la facturación.
- Supervisión del flujo de tráfico a través de las centrales.
- Visualización de la configuración de la red con posibilidad de cambiarla por control remoto.
- Administración de los abonados y posibilidad de poder conocer su posición dentro del área de cobertura.
- En algunos sistemas de grandes dimensiones, pueden existir más OMCs. En este caso existirá un OMC general desde el que es posible controlarlo todo (OMC-N) y otros OMCs limitados al control de algunas zonas (OMC-R).
- Carga y descarga de archivos como base de datos y *software*.

Además del OMC, existen terminales de mantenimiento local LMT (*Local Maintenance Terminal*) para realizar tareas de operación y mantenimiento de manera fácil, actuando directamente sobre los elementos físicos de la red y permitiendo obtener información sobre su estado actual. El LMT consiste en la conexión a través de un cable especial entre una computadora portátil y el elemento de red. El *software* se encuentra almacenado en la *laptop*.

### 1.2.5 OTROS COMPONENTES DE LA RED GSM

- El GMSC (*Gateway Mobile Switching Center*): Es el punto hacia el cual es encaminada una terminación de llamada cuando no se tiene conocimiento de la ubicación de la estación móvil. Este componente tiene la responsabilidad por el encaminamiento de la llamada al MSC correcto, es decir las conexiones originadas o dirigidas hacia otras redes

- **SMS-G** (*Short Message Services Gateways*): Este término es usado para describir colectivamente a dos *Gateways* que soportan el servicio de mensajería corta, descritos en las recomendaciones GSM. El **SMS-GMSC** (*Short Message Service-Gateway Mobile Switching Service*) encargado de la terminación de los mensajes cortos y el **IWMSC** (*Short Message Service-Inter Working Mobile Switching Center*) encargado de originar los mensajes cortos.

## 1.2.6 INTERFACES Y PROTOCOLOS

Entre cada par de elementos de la arquitectura GSM existe una interfaz independiente. Cada interfaz requiere de su propio conjunto de protocolos. En la Tabla 1.2 se describen las principales interfaces, los tipos de información y los protocolos de la arquitectura GSM.

En la Figura 1.8 se muestran los protocolos de señalización entre la MS y la BTS, entre la BTS y el BSC; y entre el BSC y el MSC.

En la Figura 1.8 aparecen tres niveles: CM, MM y RR. El nivel CM (*Communications Management*) es responsable por la gestión de las llamadas a solicitud de los usuarios. El nivel MM (*Mobility Management*) es responsable por el mantenimiento de la información de localización del usuario. El nivel RR (*Radio Resource*) es responsable por el establecimiento y mantenimiento del enlace entre la MS y el MSC, que corresponden con el nivel 3 del modelo de referencia OSI. El nivel RR' corresponde a aquella parte de la funcionalidad del nivel RR que es administrada por la BTS. Los protocolos LAPD y LAPDm corresponden con el nivel dos del Modelo OSI. El protocolo BTSM (*Base Transceiver Station Management*) es responsable por la transferencia de información de nivel RR al BSC. Los protocolos SCCP (*Signalling Connection Control Part*) y MTP (*Message Connection Control*) hacen parte del sistema de señalización 7 (SS7).

El BSC se comunica con el GMSC a través de la unidad de transcodificación (TRAU) que se encarga de efectuar el traslado entre una tasa de 16 Kbps, que

recibe del lado de la BTS, a una tasa de 64 Kbps, que debe entregar del lado del GMSC.

Interfaz	Situada entre	Descripción	Intercambio de Información	
			Tráfico Usuario	Protocolo Señalización
A	MSC-BSC	Permite el intercambio de información sobre la gestión del subsistema BSS, de las llamadas y de la movilidad. A través de ella, se negocian los circuitos que serán utilizados entre el BSS y el MSC.	SI	SS7
Abis	BSC-BTS	Permite el control del equipo de radio.	SI	LAPD
B	VLR-MSC asociados	VLR es la base de datos que contiene toda la información que permite ofrecer el servicio a los clientes que se encuentran en el área de influencia de sus MSC asociados. Por lo tanto, cuando un MSC necesite proporcionar información sobre un móvil acudirá a su VLR. Esta interfaz NO debe ser externa (por desempeño, por el volumen de información intercambiado).	NO	MAP/B
C	HLR-GMSC	Es la interfaz utilizada por los <i>gateways</i> GMSC para enrutar la llamada hacia el MSC destino. La GMSC no necesita contar con un VLR, se trata de un nodo que sólo transmite llamadas.	NO	MAP/C
D	HLR-HLR	Permite intercambiar información entre ambas bases de datos, esta información se encuentra relacionada con la posición del móvil y la gestión del servicio contratado por el usuario.	NO	MAP/D
E	MSC-MSC	Permite intercambiar información necesaria para iniciar y realizar un intercambio <i>Inter</i> -MSC cuando el móvil cambia de área de influencia de un MSC a otro.	SI 64 Kbps	MAP/E, RDSI, ISUP
F	MSC-EIR	Utilizada cuando el MSC desea comprobar el IMEI de un equipo.	NO	
G	VLR-VLR	Utilizada para permitir la interconexión entre dos VLRs de diferente MSCs.	NO	MAP/G
H	MSC-SMSG		SI	MAP/H
I	MSC-MS	Permite el intercambio transparente de datos entre el MSC y la MS a través del BSS.		
Um	BSSS-MS	Es la interfaz de radio, se encuentra entre la estación móvil y el BSS.	Voz: 13 Kbps Datos:9.6 Kbps	LAPDm

Tabla 1.2 Interfaces GSM <sup>[16]</sup>

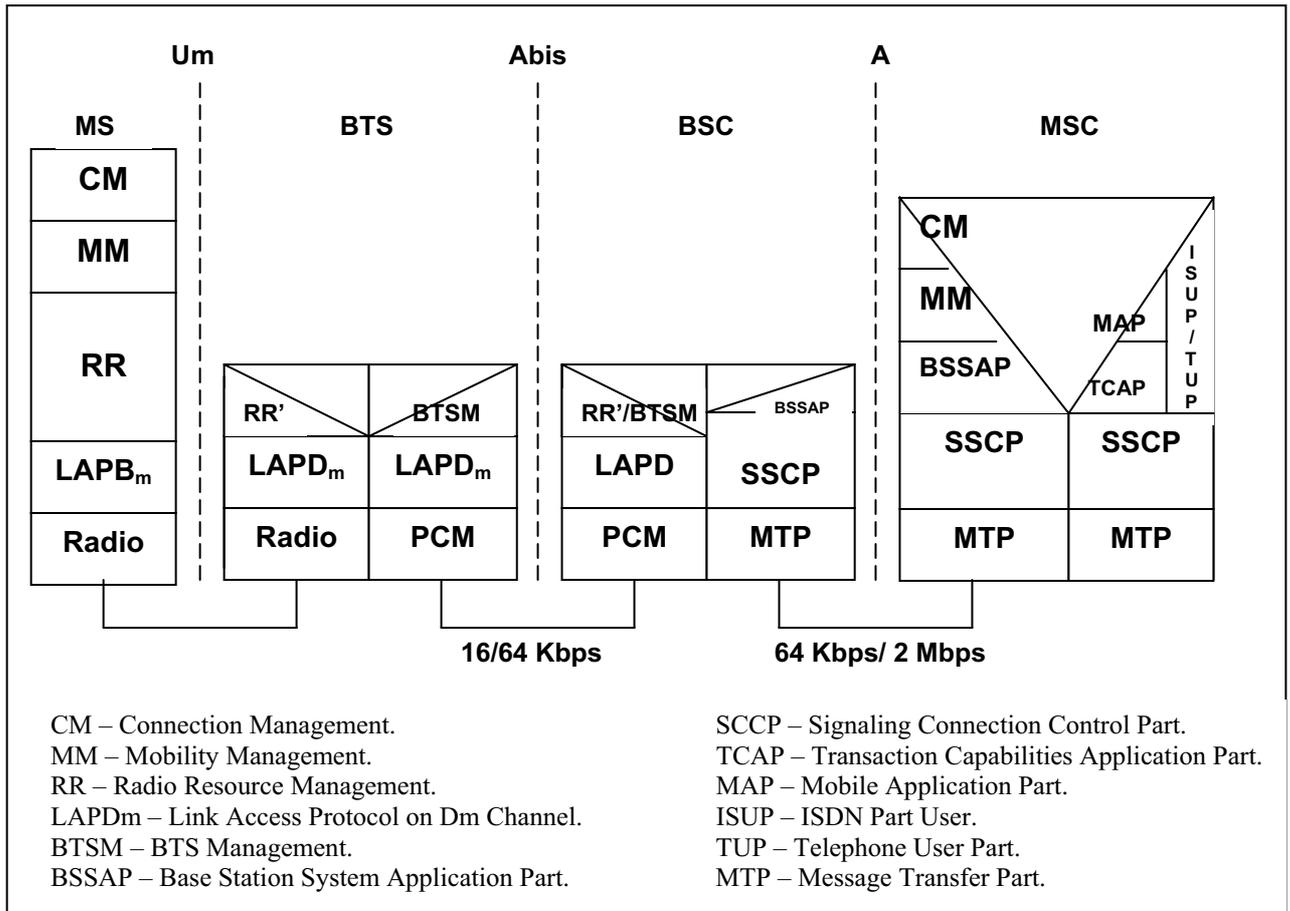


Figura 1.8 Protocolos sobre las interfaces A, Abis y Um <sup>[16]</sup>

A través de algunas interfaces se transfiere únicamente información de señalización, para hacerlo, se utiliza el protocolo MAP (*Mobile Application Part*) del protocolo SS7.

El GMSC establece una llamada de tráfico (64 Kbps) en la RTPC (Red Telefónica Pública Conmutada) a través del protocolo ISUP (*ISDN User Part*) que es un protocolo SS7.

### 1.3 DESCRIPCIÓN DE LOS CANALES DE TRÁFICO Y CONTROL

En esta sección se inicia describiendo brevemente las especificaciones de las tres bandas de frecuencia usadas para los sistemas GSM; se explica el acceso al

medio en esta tecnología, se expone las características de FDMA/TDMA en GSM; se estudia la diferencia entre canales físicos y lógicos, dentro de los segundos se pondrá énfasis en conocer los distintos tipos de canales de tráfico y de control. Finalmente se explicará la estructura de las ráfagas de datos y la codificación de la voz en GSM.

### 1.3.1 BANDAS DE FRECUENCIA DE LOS DISTINTOS SISTEMAS GSM

Las normativas establecen tres bandas para la implementación de la tecnología de telefonía celular GSM, las bandas de 900, 1800 y 1900 MHz, a continuación se describe cada una.

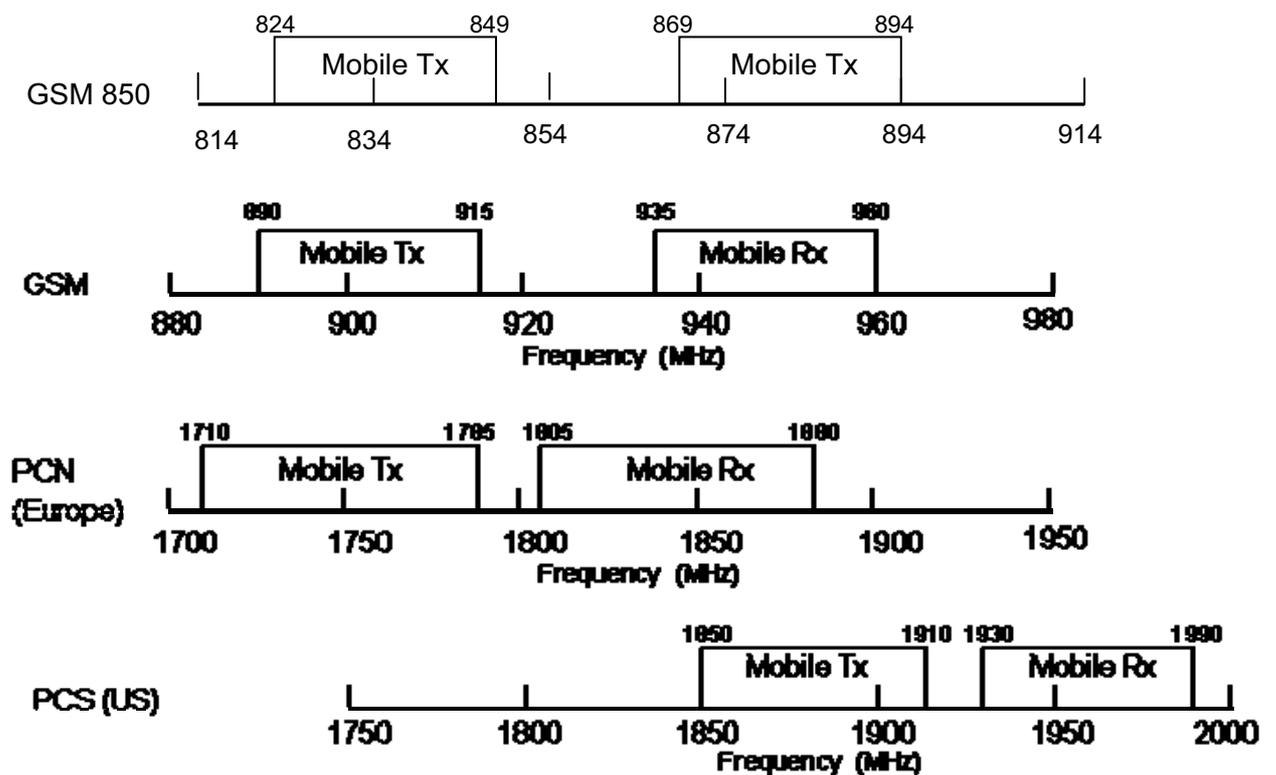


Figura 1.9 Bandas de frecuencia de GSM [25]

GSM-850: Consta de 124 canales en dos sub-bandas de 25 MHz cada una, en los rangos de 824-849 MHz y 869-894 MHz, con un ancho de banda por canal de 200 KHz. Cada portadora se divide en *frames*, donde cada *frame* tiene 8 *slots* de

tiempo (*time slot*), con una duración de *frame* de 4.6 ms. La separación entre la portadora del *Downlink* y del *Uplink* es de 45 MHz

GSM-900: Consta de 124 canales en dos sub-bandas de 25 MHz cada una, en los rangos de 890-915 MHz y 935-960 MHz, con un ancho de banda por canal de 200 KHz Cada portadora se divide en *frames*, donde cada *frame* tiene 8 *slots* de tiempo (*time slot*), con una duración de *frame* de 4.6 ms. La separación entre la portadora del *Downlink* y del *Uplink* es de 45 MHz

Existe una extensión de esta, llamada E-GSM (*Extended GSM*) cuyos rangos se incrementan a dos sub-bandas de 35 MHz cada una en los rangos de 880-915 MHz y 925-960 MHz.

DCS-1800: Tiene 374 canales en dos sub-bandas de 75 MHz, cada una en los rangos de 1710-1785 MHz y 1805-1880 MHz, con un ancho de banda de 200 KHz por canal. La separación entre la portadora del *Downlink* y del *Uplink* es 75 MHz.

PCS-1900: Tiene 374 canales en dos sub-bandas de 75 MHz cada una, en los rangos de 1850-1925 MHz y 1930-2005 MHz, con 200 KHz de ancho de banda por canal. La separación entre la portadora del *Downlink* y del *Uplink* es de 75 MHz En USA se asignó parte del rango de la banda de 1800 MHz a aplicaciones de comunicaciones punto a punto.

### **1.3.2 ACCESO AL MEDIO**

GSM utiliza una combinación de TDMA y FDMA. Dos bandas de frecuencias son usadas en modo FDD (*Frequency Division Duplex*). Para GSM 900 el enlace de subida (*uplink*, entre el móvil y la estación base), se implementa entre 890 y 915 MHz y el enlace de bajada (*downlink*, entre la estación base y el móvil), se implementa entre los 935 y los 960 MHz Se usan las frecuencias menores en el *uplink* debido a la potencia del móvil.

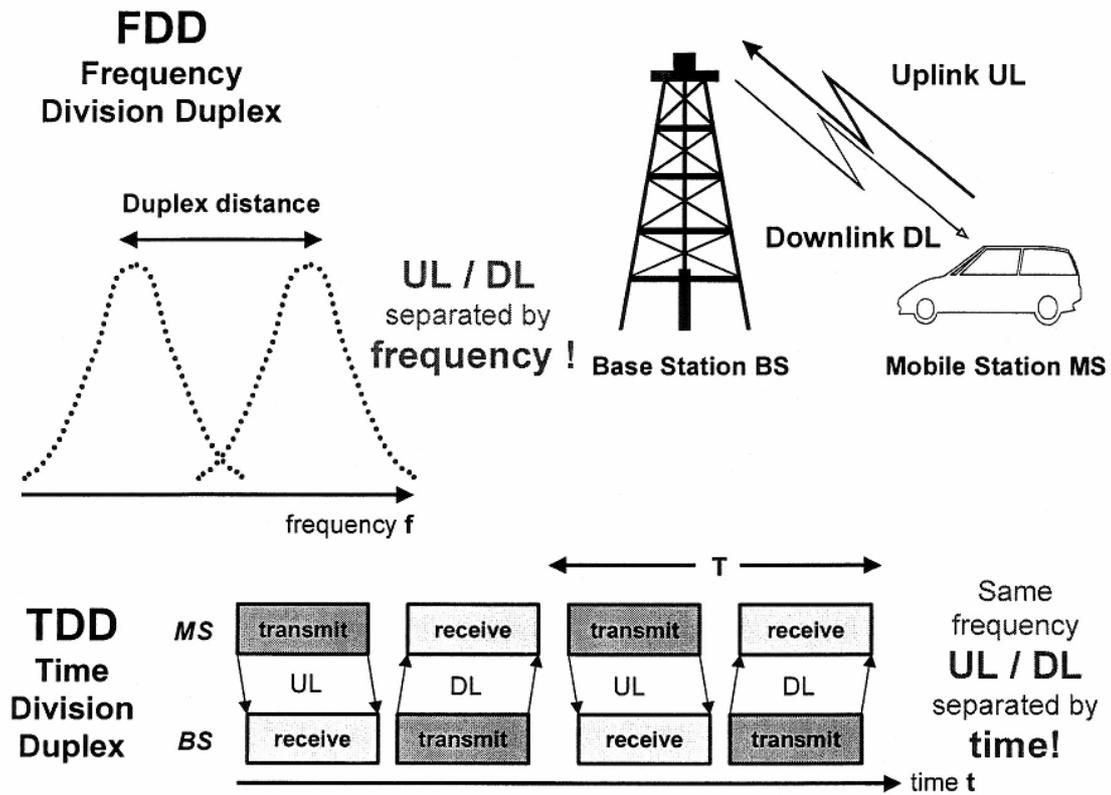


Figura 1.10 Acceso al medio en GSM [1]

Por ejemplo, para el caso de una BTS Siemens en GSM850:

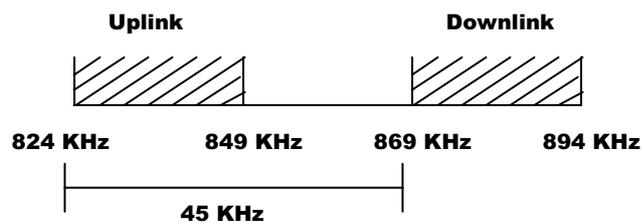


Figura 1.11 Ejemplo TDMA/ FDMA BTS Siemens [1]

$$\# \text{canales} = \frac{849 - 824}{200} = 125$$

Se deja un canal de guarda, entonces

$$\# \text{usuarios} = 124 * 8 = 992 \text{ (FR)}$$

$$1984 \text{ (HR)}$$

Una BTS en Siemens puede manejar máximo 24 canales

$$24 * 8 = 192 \text{ (FR)}$$

$$384 \text{ (HR)}$$

$$1\text{ts} = 577 \mu\text{s.}$$

$$\text{FR} = 4.6 \text{ ms (8 ts)}$$

$$\text{HR} = 9.2 \text{ ms}$$

Cada banda se encuentra dividida en 124 canales portadores de 200 KHz de tamaño. Se asignan uno o más portadoras de frecuencia a cada estación base. El enfoque de TDMA es aplicado a los canales de subida y de bajada, cada canal es dividido en ocho ranuras (*slots*) en cada una de las cuales se transmite una unidad de información. Este proceso se muestra en la Figura 1.12. El esquema de modulación usado en una ranura es GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*), con él se pueden alcanzar tasas de 270 Kbps aproximadamente. Los datos en una ranura son denominados ráfagas (*burst*) y alcanzan los 148 bits de longitud, los 8.25 bits restantes son utilizados como guardas en el tiempo. El número de bits que constituyen la cabecera y la cola son constantes. Si un usuario es propietario de una ranura puede alcanzar una tasa máxima de 24.7 Kbps (sin ningún esquema de corrección de errores). Todo esto se muestra en la Figura 1.12.

El período de ráfaga (*burst period*) dura  $15/26$  ms (o aprox. 0.577 ms). Grupos de ocho *slots* de tiempo o período de ráfaga consecutivos forman un *frame* TDMA, con una duración de  $120/26$  ms, o aprox. 4.615 ms. Un canal de transmisión ocupa una posición de *time slot* dentro de un *frame* TDMA. Las tramas TDMA de una portadora de frecuencia particular son numeradas, y la estación móvil y la estación base son sincronizadas en este número. Se forman *frames* más grandes, grupos de 26 y 51 *frames* TDMA (hay también grupos más grandes), y la posición dentro de tales *frames* define el tipo y función de un canal.

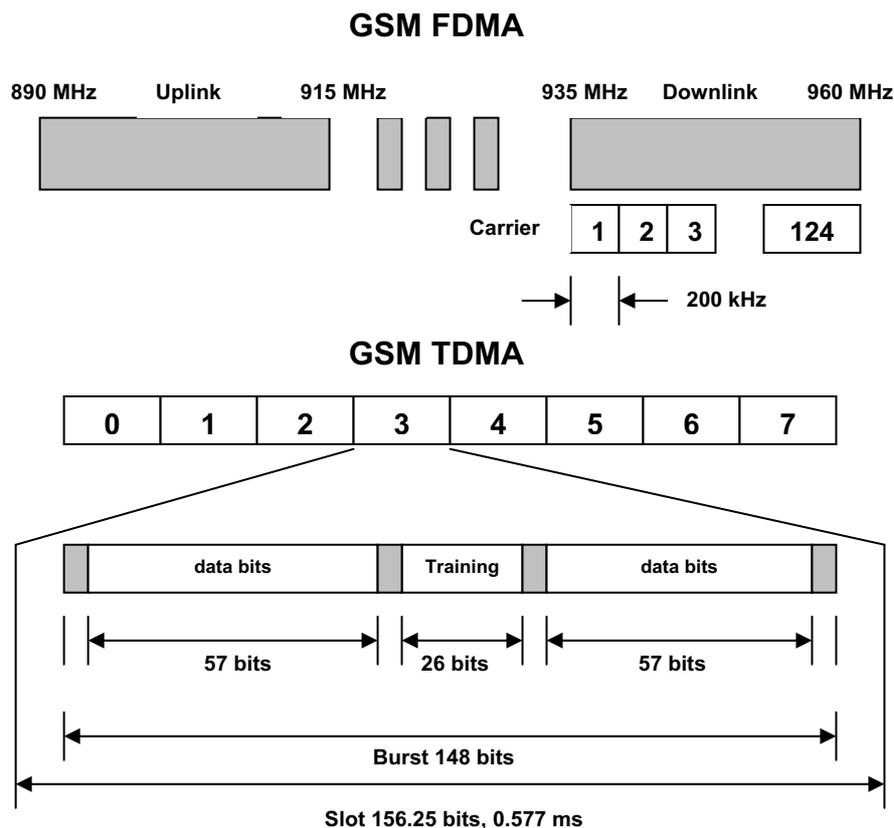


Figura 1.12 FDMA y TDMA en GSM <sup>[16]</sup>

### 1.3.3 CANALES FÍSICOS Y LÓGICOS

GSM distingue entre canales físicos (las ranuras de tiempo) y canales lógicos (la información portada por los canales físicos). Algunas ranuras de tiempo en una portadora constituyen un canal físico el cual es usado por diferentes canales lógicos para transferir información, tanto de señalización como del usuario. Existen dos tipos de canales lógicos en GSM: Los canales de tráfico (*TCH-Traffic Channels*), que transportan información (voz o datos) del usuario y los canales de control (*CCH-Control Channels*), que transportan señalización y sincronización entre la estación base y la estación móvil. Sus funciones y formas varían según el enlace. En la Tabla 1.4 se presentan detalles de cada uno de estos canales.

Los canales son definidos por el número y posición de sus correspondientes períodos de ráfaga. Todas estas definiciones son cíclicas, y el modelo entero se repite cada 3 horas aproximadamente.

Tipo de Canal	Denominación		Descripción
Canales de Tráfico (Traffic Channel TCH)	TCH/FS		S: Voz (Speech) 9.6: Datos a 9600 bps.
	TCH/F9.6		4.8: Datos a 4800 bps 2.4: Datos a 2400 bps
	TCH/F4.8		F: Full Rate. La información de un usuario se envía en una ranura de tiempo, en cada trama.
	TCH/F2.4		
	TCH/HS		H: Half Rate. La información de un usuario se envía en una ranura de tiempo, trama de por medio. Dos usuarios comparten una misma ranura en diferentes instantes de tiempo.
	TCH/H4.8		
	TCH/H2.4		
Canales de Control (Control Channel CCH)	Canales de Broadcast (Broadcast Channels) BCH	BCCH	Canales de control utilizados para permitir el enganche de los móviles y el monitoreo de las potencias de los móviles en celdas vecinas (MAHO).
		FCCH	
		SCH	
	Canales Comunes de Control (Common Control Channels) CCCH	PCH	Estos canales permiten el establecimiento de las llamadas y la asignación de canales de control.
		RACH	
		AGCH	
	Canales de Control Dedicados (Dedicated Control Channels) DCCH	SDCCH	Canales de control bidireccionales utilizados para prestar los servicios de señalización y supervisión al usuario.
		SACCH	
		FACCH	

**Tabla 1.3 Descripción de los canales lógicos GSM** <sup>[16]</sup>

Los canales pueden ser divididos en canales dedicados, los cuales se asignan a una estación móvil, y canales comunes, los cuales son usados por estaciones móviles en modo *idle*. Los canales dedicados, o de tráfico, proporcionan un enlace de transmisión bidireccional punto a punto a un suscriptor móvil. Los canales de tráfico *Full-rate* (TCH/F) y canales de tráfico *half-rate* (TCH/H) se asignan junto con un canal de bajo *bit-rate* SACCH (*Show Associated Control*

Channel), el cual típicamente transmite medidas necesarias para las decisiones del *handover*. Hay también canales de tráfico *eighth-rate*, también llamados SDCCH (*Stand-alone Dedicated Control Channels*), que se usan principalmente para transmitir información de actualización de la ubicación.

Además, un *slot* TCH puede ser previamente vaciado para señalización en cuyo caso se llama FACCH (*Fast Associated Control Channel*), el cual puede ser *full-rate* o *half-rate*.

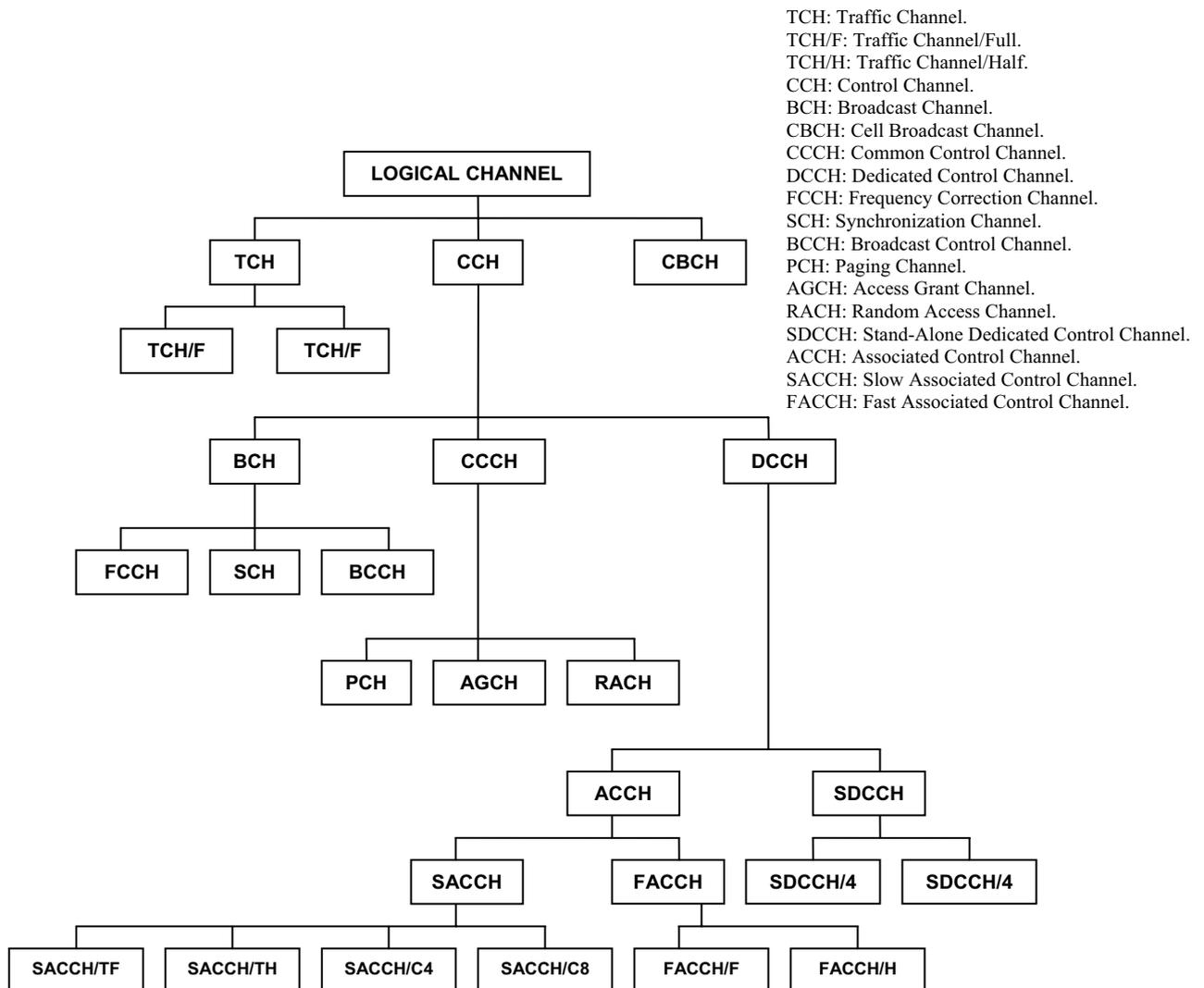


Figura 1.13 Canales lógicos GSM<sup>[26]</sup>

### 1.3.3.1 Canales de tráfico

Un canal de tráfico (TCH) se usa para llevar tráfico de voz y datos. Los canales de tráfico se definen usando un *multiframe* de 26 *frames* TDMA. La longitud de un

*multiframe* de 26 *frames* es 120 ms (divididos en 8 períodos de ráfaga por *frame*). De los 26 *frames*, se usan 24 para tráfico, 1 se usa para el SACCH (*Slow Associated Control Channel*) y 1 actualmente no se usa. Los canales TCHs para el *uplink* y *downlink* son separados en tiempo por 3 períodos de ráfaga, para que la estación móvil no tenga que transmitir y recibir simultáneamente.

Además de los canales TCHs *full-rate*, se definen también TCHs *half-rate*. Los TCHs *half-rate* doblan la capacidad de un sistema una vez que los codificadores de voz se especifican (es decir, el código de voz es de alrededor de 7 kbps, en lugar de 13 kbps). Se especifican también TCHs de ocho velocidades y son usados para señalización. En las recomendaciones, ellos son llamados SDCCH (*Stand-alone Dedicated Control Channels*).

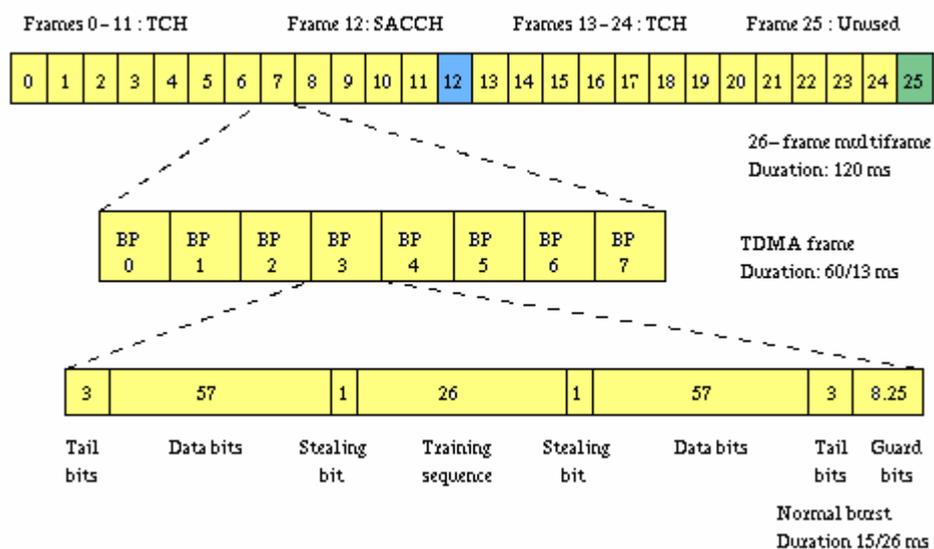


Figura 1.14 Organización de *bursts*, *frames* TDMA, y *multiframe*s para voz y datos<sup>[27]</sup>

### 1.3.3.2 Canales de control

Los canales comunes pueden accederse por móviles en modo *idle* y modo dedicado. Los canales comunes son usados por móviles en modo *idle* para intercambiar la información de señalización requerida para cambiar al modo dedicado. Los móviles ya en modo dedicado rodean las estaciones base para el *handover* y otra información. Los canales comunes se definen dentro de un

*multiframe* de 51 *frames*, para que los móviles dedicados usen el *multiframe* de 26 *frames*. La estructura TCH todavía puede supervisar los canales de control. Los canales comunes incluyen:

- BCCH (*Broadcast Control Channel*).- Continuamente las transmisiones en el downlink incluyen información de la identidad de la estación base, asignaciones de frecuencia y secuencias de salto de frecuencia.
- FCCH (*Frequency Correction Channel*) y SCH (*Synchronisation Channel*).- Usados para sincronizar el móvil a la estructura del time slot de una celda definiendo los límites de periodo de ráfaga y la numeración del time slot. Cada celda en una red GSM transmite exactamente un FCCH y un SCH, los cuales están definidos en el time slot 0 (dentro de un frame TDMA).
- RACH (*Random Access Channel*).- Canal Aloha usado por el móvil para solicitar acceso a la red.
- PCH (*Paging Channel*).- Usado para alertar a la estación móvil de una llamada entrante.
- AGCH (*Access Grant Channel*).- Usado para asignar un SDCCH a un móvil para señalización (para obtener un canal dedicado), siguiendo una petición en el RACH.

### 1.3.3.3 Estructura de ráfaga (*burst*)

Hay cuatro tipos diferentes de ráfaga usados para transmitir en GSM. La ráfaga normal se usa para llevar datos y la mayoría de señalización, tiene una longitud total de 156.25 bits, se compone de dos partes de 57 bits de información, una secuencia de 26 bits para ecualización, 1 bit por cada bloque de información (usado para FACCH), 3 bits de cola a cada extremo, y una secuencia de guardia de 8.25 bits, como se muestra en Figura 1.12. Los 156.25 se transmiten en 0.577 ms, dando una tasa total de 270.833 kbps.

La ráfaga F, es usada en el FCCH; y la ráfaga S, es usada en el SCH, tienen la misma longitud que una normal, pero una diferente estructura interna que la diferencia de una ráfaga normal (así permite sincronización). La ráfaga de acceso es más corta que la ráfaga normal y es usada sólo en el RACH.

#### 1.3.3.4 Codificación de la voz

GSM es un sistema digital, por ello la voz que es inherentemente analógica, tiene que ser digitalizada. El método empleado por ISDN, y por los actuales sistemas telefónicos para multiplexar las líneas de voz sobre troncales de alta velocidad o líneas de fibra óptica es PCM (Modulación por Codificación de Pulsos). El *stream* de salida de PCM es 64 kbps, tasa demasiado alta para ser factible transmitirla sobre un enlace de radio. Aunque la señal de 64 kbps, es simple de implementar, contiene mucha redundancia.

El grupo GSM estudió varios algoritmos de codificación de voz en base a la calidad de voz subjetiva y a la complejidad (la cual se relaciona con el costo, retraso de procesamiento, y consumo de energía una vez implementado) antes de llegar a la opción de RPE-LPC (*Regular Pulse Excited - Linear Predictive Coder*).

Básicamente, se usa la información de muestras previas, las cuales no han cambiado muy rápidamente, para predecir las muestras actuales. Los coeficientes de la combinación lineal de las muestras anteriores más una forma codificada del residuo dan la diferencia entre las muestras predichas y reales, estas diferencias representan la señal. La voz es dividida en muestras de 20 ms, cada una de las cuales se codifica con 260 bits, dando una tasa total de 13 kbps. Esta es la llamada codificación de voz *Full-rate*. Recientemente, un algoritmo de codificación de voz EFR (*Enhanced Full-Rate*) ha sido implementado por alguna operadora norteamericana en GSM1900. Se dice que esta proporciona mejor calidad de voz usando la tasa existente de 13 kbps.

## **1.4 CONCEPTOS DE CALIDAD Y PERFORMANCE DE REDES MÓVILES**

La calidad ha sido desde siempre uno de los aspectos más importantes a la hora de diseñar las redes de telefonía móvil, así como de los servicios que se prestan en ellas. Su importancia cada vez es mayor, no sólo porque los clientes ya no se conforman simplemente con acceder a los servicios, sino que demandan cada vez más una mayor calidad, tanto en el uso privado de los servicios móviles, como en el uso profesional que muchos han hecho de ellos, al hacer depender una buena parte de sus negocios de la utilización de la red móvil. Por otro lado, los organismos gubernamentales también han empezado a exigir a los operadores de redes móviles ciertos criterios de calidad a la hora de ofrecer los servicios a los clientes.

En esta sección se realiza una introducción inicial a lo que se entiende por calidad en las redes y servicios móviles, y cómo se cuantifican. También se presentan los principales parámetros utilizados en la medida de la calidad y se analizan los principales factores a tener en cuenta, pasando a continuación a describir como se realiza la medida de la calidad y los sistemas y herramientas de medida y análisis utilizados. Por último se presentan los mecanismos de gestión de la calidad que incorporan las redes actuales y sus campos de aplicación.

En primera instancia se deben enunciar los procesos relativos a la ingeniería de redes de acceso, (estudio, prospección, planificación, despliegue y optimización) para los distintos sistemas en operación, planificados o potenciales que involucran tecnologías móviles, inalámbricas y/o celulares, tanto para voz como para servicios de datos. La ingeniería de la red propiamente dicha la llevan a cabo los operadores, apoyados en herramientas y sistemas que posibilitan su ejecución de forma cómoda y eficiente.

Los procesos involucrados constituyen un ciclo continuo, realimentado. Un esquema clásico es el que muestra la Figura 1.15, formado por los procesos de

planificación, despliegue, medida y optimización; apoyados en procesos de operación y mantenimiento (O&M):

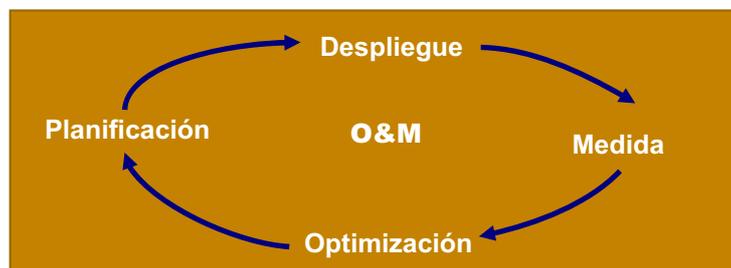


Figura 1.15 Procesos de construcción de la red de acceso <sup>[7]</sup>

El rigor y la eficiencia con la que se lleven a cabo todos estos procesos tienen un impacto directo en la calidad de servicio percibida por los clientes, lo que supone una relación fundamental con los procesos correspondientes de estrategia, marketing, recursos humanos, etc.

#### 1.4.1 CONCEPTOS BÁSICOS

Existen diferentes conceptos de calidad dependiendo de los elementos implicados, de manera que:

- Desde el punto de vista del cliente, la calidad se entiende como la satisfacción de éste; es decir, como el grado de cumplimiento de sus expectativas del servicio global (conformadas mediante la publicidad, las tarifas, etc.) frente a su percepción subjetiva del funcionamiento de la red y del terminal, así como del servicio preventa y posventa.
- Desde el punto de vista de la red, la calidad ofrecida es el resultado de las prestaciones ofrecidas por cada una de las partes implicadas; esto es, los terminales, la red de acceso, la red de transporte (*core*) y los servicios. Al tratarse de elementos tan heterogéneos, aunque íntimamente relacionados, es necesario abordar este tema por separado para cada uno de ellos.

Para evaluar el grado de satisfacción del cliente se emplean diversas técnicas, como las encuestas telefónicas o por correo. Existen otras más sofisticadas, que se basan en el análisis de determinados parámetros, como la evolución de la facturación de cada cliente (medida en general por el ARPU) o su grado de fidelidad (medido en este caso por el *cburn*).

Al hablar de calidad, el concepto más ampliamente aceptado es el de “calidad de servicio”, también conocido por QoS (*Quality of Service*) y que la ITU-T define como “el efecto colectivo de funcionamiento del servicio que determina el grado de satisfacción del usuario”. Se pueden identificar tres aspectos que conforman la calidad de servicio:

1. La accesibilidad de la red. Se refiere a la disponibilidad de recursos de red suficientes para conectarse a un servicio: cobertura, disponibilidad de la red, etc.
2. La accesibilidad del servicio. Incluye los aspectos relacionados con la disponibilidad del servicio: tiempo de acceso, fuera de servicio, etc.
3. La integridad del servicio. Se refiere a la calidad ofrecida durante el uso del servicio: caídas, calidad de voz, *throughput*, etc.

En adelante, este capítulo se centrará en los aspectos técnicos de la calidad, en lo que se refiere a las redes móviles y a los servicios ofrecidos en ellas, dejando aparte temas como la operación de los terminales, los servicios de atención al cliente, etc. Aunque el enfoque pretende ser lo más amplio posible, dado que es la interfaz radio la diferencia fundamental entre los sistemas móviles y otros sistemas más tradicionales como los fijos, se hará especial hincapié en los aspectos y parámetros relativos al acceso radio.

## 1.4.2 PRINCIPALES PARÁMETROS DE MEDIDA DE LA CALIDAD

Es importante destacar que los aspectos de calidad que se pueden evaluar han de ser mensurables de alguna manera, por tanto se han de fijar para ellos metas alcanzables por los operadores móviles con las tecnologías disponibles en cada momento, y han de cumplir ciertos criterios de satisfacción óptimos para los clientes.

Los parámetros de medida de la calidad de las redes y servicios móviles son de muchos tipos, y tener en cuenta uno u otro depende del tipo de servicio que se esté prestando en la red. Tal como se ha comentado anteriormente se pueden agrupar según tres aspectos, denominados:

### 1.4.2.1 Accesibilidad de la red

En este aspecto se incluyen parámetros como:

- **El nivel de potencia recibido.-** Depende de la posición del móvil dentro de la celda e indica la zona de cobertura que tiene cada celda de la red móvil. La falta de cobertura temporal o permanente de la red en una determinada ubicación es una de las causas más frecuentes de pérdidas de calidad por parte de la red móvil. El parámetro que indica la cobertura de un terminal móvil es el *RxLev* en la tecnología GSM y el RSSI en la tecnología UMTS.
- **La disponibilidad de la red.-** Cuando un usuario intenta acceder a un servicio, puede que la red atienda esta petición y por tanto provea el servicio solicitado sin mayor problema (en este caso será una petición que ha evolucionado correctamente), o puede que por el contrario la petición no llegue a desembocar en la provisión del servicio solicitado. Las causas por las cuales no es posible realizar la provisión del servicio pueden ser varias, pero en todos los casos el efecto que sufre el usuario es el de un defecto o

pérdida de calidad. Entre las posibles causas se encuentran, por ejemplo, la congestión de la red o la falta de recursos para atender al usuario, las interferencias creadas por otros equipos circundantes que hacen que no se puedan atender las peticiones de un usuario, etc.



Figura 1.16 Aspectos técnicos de la calidad de servicio <sup>[8]</sup>

#### 1.4.2.2 Accesibilidad del servicio

En este segundo caso se incluyen parámetros como:

- **El tiempo de acceso a un servicio.-** Es el tiempo que transcurre desde el momento en que el usuario realiza la petición de acceso a un determinado servicio hasta el instante en que se recibe la respuesta de éste. La contestación a la petición de acceso puede ser la provisión del servicio o la indicación de que el servicio no está disponible, que puede deberse bien a la falta de recursos por congestión del servicio o bien a la indisponibilidad de éste por avería.
- **Las indisponibilidades del servicio.-** Las indisponibilidades del servicio se pueden deber a muchas causas, entre las que destacan las siguientes: servicio caído por avería, por congestión de recursos, por desactivación temporal, etc.

- **El resultado del acceso al servicio.-** El resultado de un acceso a un servicio puede ser correcto si el servidor responde correctamente a la petición, o fallido si el servidor no responde o no proporciona alguna de las respuestas esperadas.

### 1.4.2.3 Integridad del servicio

En este último aspecto se incluyen parámetros como:

- **Las caídas del servicio.-** Una caída de un servicio significa la imposibilidad de continuar accediendo a él tras establecerse la comunicación en un primer momento, siempre y cuando la imposibilidad sea motivada por cualquier causa ajena a la voluntad de sus usuarios y siempre que éstos se encuentren en todo momento en la zona de cobertura de la red.
- **La calidad de la señal vocal.-** Permite valorar la calidad de la señal de voz recibida por el terminal en cada instante, y constituye por tanto una indicación del estado de la calidad de la red. En el caso de GSM/GPRS se indica con el parámetro *RXQual* y en UMTS con el parámetro *C/I*.
- **La calidad de la transmisión de datos.-** Permite valorar la calidad en la transmisión de archivos. Se mide mediante la tasa de error BER, que mide la calidad del canal establecido por la cantidad de errores que se producen en la transmisión de datos.
- **El tiempo de navegación.-** Es el tiempo que tarda el usuario en recorrer el árbol de navegación que existe desde la entrada en el servicio hasta la llegada a la página deseada.
- **La velocidad de acceso a un servicio o velocidad de transmisión (*throughput*).-** Es la cantidad de bits por segundo que se miden en una determinada transmisión durante el tiempo que dura la conexión.

- **La efectividad del servicio.-** Es el porcentaje de accesos al servicio realizados y completados satisfactoriamente, frente a la totalidad de los accesos realizados.

### 1.4.3 FACTORES PRINCIPALES QUE AFECTAN A LA CALIDAD DE LA SEÑAL RADIO

La calidad del servicio proporcionado al cliente se encuentra afectada por una serie de factores, normalmente relacionados con la naturaleza de la señal radio.

La propagación de la señal radio depende de las condiciones de propagación de la atmósfera, así como de los obstáculos que la señal encuentra en el camino desde la estación base hasta el terminal móvil. Por tanto, las condiciones de propagación varían de forma notable tanto en el tiempo como en el espacio, dada la variación temporal y espacial del entorno móvil, y debido a esto, el canal radio presenta una serie de efectos que empeoran la calidad de la señal, como son:

- **Los desvanecimientos de la señal.-** Pueden ser prolongados en el tiempo pero cortos en intensidad, lo que implica una disminución de la potencia disponible en un lugar durante un tiempo, o cortos en el tiempo pero profundos en intensidad de la señal, de forma que durante unos instantes de tiempo la potencia de la señal cae a valores por debajo, incluso, del umbral de sensibilidad de los receptores de los equipos móviles.
- **Las interferencias.-** Son algo consustancial a la propagación radio, debido a la gran cantidad de equipos que hacen uso a la vez de este canal, por lo cual dichas interferencias pueden provenir de equipos que nada tienen que ver con la telefonía móvil, pero que interfieren en su banda de frecuencias. Este es un tipo de interferencias (externas), y que en principio no se deberían producir, y por tanto han de ser evitadas respetando las bandas de frecuencia asignadas. Además de estas interferencias, también se

encuentran las interferencias implícitas al propio servicio móvil (internas), ya que este es un canal en el que se hace reutilización de frecuencias para poder aumentar la cantidad de canales disponibles y, dependiendo de las condiciones de propagación, se pueden producir sobrealcances, y por tanto interferencias entre celdas que en teoría no se deberían producir.

- **El multitrayecto.-** Se produce debido a los rebotes de la señal móvil en los múltiples obstáculos que ésta puede encontrar en el camino entre las estaciones base y los terminales móviles. De esta forma, una señal que sale de un transmisor llega al receptor por múltiples caminos y esto produce en el receptor una interferencia debida a los retrasos con que llega la misma señal dependiendo de la longitud del camino recorrido. Esta interferencia puede ser tolerada por el receptor o no, dependiendo del retraso acumulado en la señal por los distintos caminos de propagación.
  
- **Las pérdidas de penetración en obstáculos.-** Dependiendo de la distancia a la que se encuentren el transmisor y el receptor, se producen una serie de pérdidas en la señal que limitan su alcance, además estas pérdidas se pueden ver incrementadas por la presencia de obstáculos entre el transmisor y el receptor, como pueden ser los edificios existentes en las ciudades, montañas, colinas y árboles en los entornos rurales. Este efecto es necesario tenerlo especialmente en cuenta en la cobertura de interiores de edificios, en donde pueden aparecer elementos tales como paredes, puertas y mobiliario.
  
- **La influencia del equipo de medida.-** El propio equipo con el que se está midiendo la calidad puede afectar al resultado de la medida, en dos aspectos principalmente:
  - En primer lugar, el hecho de que los terminales del equipo de medida sean de un tipo determinado, da lugar a unos valores de potencia y sensibilidad ligeramente distintos a los que se podrían

obtener con otros. Este efecto se puede minimizar con la calibración periódica de los equipos.

- En segundo lugar, el hecho de introducir unos determinados terminales en la red para realizar las medidas da lugar a una serie de perturbaciones sobre la propia red, que pueden afectar a las medidas realizadas. Esto puede producir dos efectos: la disminución de los recursos disponibles y el aumento de interferencias.

## **1.5 PROCESOS DE MEDIDA DE LA CALIDAD DE REDES MÓVILES**

### **1.5.1 MEDIDA DE LA CALIDAD**

La calidad de redes y servicios es uno de los conceptos que más preocupa a los operadores de telefonía que prestan sus servicios en un entorno de competencia con otros operadores que proporcionan unos servicios similares a sus clientes.

La medida de la calidad es necesaria para poder garantizar que el usuario recibe unos niveles de calidad satisfactorios y de acuerdo al compromiso alcanzado con los organismos gubernamentales encargados de vigilar por los intereses de los usuarios. Por otro lado, el operador necesita tener la certeza de que la red está funcionando conforme a lo que se espera de ella.

Además, la comparación de los niveles de calidad propios y los de la competencia, permite conocer cómo se está posicionado en el mercado, así como detectar nuevas oportunidades de negocio o conocer las propias debilidades. Por último, la medida de la calidad permite a un tercero comparar la calidad ofrecida por diferentes operadores o proveedores de servicio.

### **1.5.2 TÉCNICAS DE MEDIDA**

Las técnicas de medida de la calidad a aplicar serán de distinto tipo dependiendo del parámetro de calidad que se pretenda medir.

De este modo, para la medida de la cobertura se suelen realizar medidas de la potencia mínima admisible recibida de una determinada estación base, relacionándolas con una determinada posición geográfica del móvil de medida, de forma que lo que se muestra como resultado de la medida es la zona geográfica de cobertura de una determinada estación base.

En el caso de los restantes parámetros que afectan a la calidad de los servicios, lo que se suele realizar son medidas estadísticas. Estas medidas se hacen teniendo en cuenta dos factores importantes: el tiempo en el que se realizan las medidas y la posición geográfica en la que se toman. Con los resultados de las medidas se generan estadísticas e informes de la calidad.

Una vez tomadas las muestras estadísticas de las medidas de calidad, hay que realizar el procesamiento de los datos. Este proceso permite hacer correlaciones entre los distintos factores que se han mencionado: parámetros de calidad, tiempo, posición geográfica, y muchos otros, como comparativas entre operadores, comparativas entre las medidas realizadas antes y después de un cambio en la red o después de solucionar algún tipo de problema o avería detectada en la red.

El resultado de estas medidas se muestra en un conjunto de tablas estadísticas donde se recogen los valores de los parámetros en el tiempo y en una localización determinada. También se generan informes donde se comentan los resultados obtenidos según los criterios mencionados.

Por otro lado, tal como se ha descrito anteriormente, existen multitud de factores que afectan a la calidad, por lo cual es necesario definir ciertos conceptos comunes de medida, así como establecer procedimientos y normas para su

correcta realización y análisis. De no ser así, resultaría imposible poder comparar las medidas realizadas por dos herramientas diferentes o correspondientes a distintos operadores. Con todo, en ocasiones se olvidan estas consideraciones y aparecen divergencias en la interpretación de los resultados.

### 1.5.3 SISTEMAS Y HERRAMIENTAS DE MEDIDA

Existen dos aproximaciones diferentes y complementarias a la hora de medir la calidad:

- La primera se basa en la realización de medidas discretas, en zonas concretas y periodos de tiempo determinados, mediante algún equipo o teléfono capaz de recibir y decodificar la señal radio. Esta es la técnica utilizada en los sistemas de medida a bordo de vehículos, también conocidos como “*drive-test*”. Este tipo de técnica da una visión local del funcionamiento de la red, permitiendo emular el comportamiento de un usuario típico, y pudiendo así detectar problemas de cobertura, de interferencia, de *handovers*, etc.
- La segunda técnica se basa en la utilización de contadores de la red, extraídos normalmente de los diferentes elementos que la conforman o a través de sus sistemas de gestión. Aunque también permiten analizar zonas o celdas en particular, ofrecen una imagen global del funcionamiento y prestaciones de la red.

La utilización conjunta de ambos tipos de herramientas multiplica su eficacia ayudando a identificar problemas de configuración o de prestaciones que por sí solas no podrían.

### 1.5.3.1 Sistemas de medida de la señal radio

Según los parámetros de calidad que se quieran medir, se pueden elegir unos sistemas de medida u otros. Entre los sistemas que se pueden usar están:

- **Los teléfonos de ingeniería.-** Un teléfono de ingeniería permite medir la potencia de la señal radioeléctrica radiada en una determinada posición de la celda, así como dar una estimación de la medida de la calidad de la voz recibida.
- **Los sistemas de “drive-test”.-** Si el teléfono anterior se conecta a un PC y se van almacenando los datos medidos en el disco duro del PC, mediante una aplicación informática se puede establecer un mapa de la zona geográfica de cobertura de una determinada señal, así como la calidad de la voz recibida en cada posición.
- **Los sistemas automáticos de medida de la calidad.-** Si se utiliza un sistema de medida que sea capaz de realizar, además de la funcionalidad anterior, llamadas con varios teléfonos a la vez, a varios servicios de valor añadido, en distintos instantes de tiempo y en distintas posiciones geográficas, e ir recogiendo los datos medidos en una base de datos, se puede llegar a obtener no sólo el mapa de cobertura de una zona, sino también el mapa de calidad de los servicios de valor añadido prestados a los usuarios en función del tiempo. Con un sistema de medida como éste, se está en disposición de realizar una medida estadística de la calidad en función del tiempo y la posición, y según un criterio que se establezca a priori. Con el análisis de estas medidas se pueden obtener las estadísticas e informes de las medidas de calidad descritas anteriormente.

### 1.5.3.2 Sistemas de extracción de datos de la red

Otra forma de medir la calidad de servicio se basa en la extracción de datos de la red, a través de sus sistemas de gestión o directamente de los elementos de red

(BSC, MSC, según corresponda). En algunos casos, dado que puede empobrecer el rendimiento de la red, se activan únicamente a petición del operador en aquellas celdas que se desea monitorear, y durante un período determinado.

Existen sistemas y herramientas de análisis que se encargan de tratar esos datos, procesarlos y entregar indicadores clave o KPIs (*Key Performance Indicators*), capaces de ofrecer una imagen fiel del funcionamiento de la red. Estos indicadores pueden referirse a la hora cargada (*busy hour*), o bien ser el valor medio diario.

Algunos de los KPIs más significativos para evaluar la calidad de servicio son:

- La tasa de llamadas con éxito (*call success rate*).
- La tasa de llamadas caídas (*dropped call rate*).
- La tasa de *handovers* con éxito (*handover success rate*).
- La velocidad de transferencia por celda (*throughput per cell*).
- La ocupación de TCHs (*TCH utilization*).
- El bloqueo de TCHs (*TCH blocking*).

Estos sistemas permiten identificar problemas de red o de congestión. El tratamiento adecuado de estos datos puede permitir la localización de zonas con problemas de funcionamiento por cuestiones de configuración, capacidad o interferencia, reflejados en indicadores como el número de llamadas no atendidas, caídas, reintentos, etc.

Otros sistemas más inteligentes van más allá y pueden facilitar el mantenimiento preventivo de la red. Estudiando la evolución temporal de ciertos parámetros y extrapolando valores al medio plazo es posible prever posibles futuros problemas y anticiparse a ellos tomando las decisiones adecuadas, como la reconfiguración de la red o la ampliación de su capacidad.

## 1.6 PROCESOS DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE REDES MÓVILES

### 1.6.1 GESTIÓN DE LA CALIDAD

Como se ha descrito anteriormente, existen diferentes atributos que definen la calidad de cada uno de los servicios. Las diversas combinaciones posibles de estos atributos conforman diferentes perfiles de QoS.

En la *Release 97* y *98* de GPRS se definen cuatro atributos denominados precedencia (prioridad), retardo, fiabilidad y tasa de transferencia (*throughput*). La *Release 99* introdujo ciertas novedades (BER residual, porcentaje de SDUs erróneos, etc.) con el objeto de armonizar los atributos de QoS para GPRS y UMTS, pudiendo establecerse un *mapeo* con los antiguos atributos, tal y como muestra la Tabla 1.4

Atributo <i>Release 98</i>	Atributo <i>Release 99</i>
Precedencia	Prioridad de asignación/retención
Retardo	Prioridades de manejo (clases <i>background</i> e interactiva)
Habilidad	Varías combinaciones de BER <sup>2</sup> residual, porcentaje de SDUs erróneos y transmisión de SDUs <sup>3</sup> erróneos.
Velocidad de transmisión	Velocidad máxima de bits.

**Tabla 1.4 Relación entre los atributos del *Release 98* y *Release 99* <sup>[8]</sup>**

<sup>2</sup> BER: Tasa binaria de error (*Bit Error Rate*)

<sup>3</sup> SDU: *Sing Data Unit*

Por todo esto, las redes móviles han ido incorporando progresivamente mecanismos y procedimientos de gestión de la calidad que permitiesen ofrecer las calidades requeridas, desde los protocolos o esquemas de transmisión más idóneos hasta la asignación de los recursos de red necesarios. Sin embargo, mientras determinadas redes como GSM tratan a todos los usuarios por igual, independientemente de su perfil o del servicio al que acceden, otras como GPRS o UMTS, más orientadas a paquetes de datos, incorporan en su implementación diversas posibilidades de gestión de la QoS.

Los mecanismos de gestión de la calidad en las redes móviles se encargan básicamente de negociar y gestionar los perfiles y clases de QoS.

El mecanismo básico de gestión es la definición del servicio portador (BS, *Bearer Service*), que se apoya fundamentalmente en el concepto de contexto PDP<sup>4</sup>, introducidos ambos por primera vez en la *Release 97*. El contexto PDP se puede definir como la conexión lógica establecida entre el terminal móvil y la red para el transporte del tráfico IP. De este modo, todas las aplicaciones a las que un usuario acceda por medio del mismo contexto PDP tendrán los mismos atributos de QoS.

Mientras que en la *Release 97* un mismo terminal podía establecer varios contextos PDP, cada uno con una dirección PDP diferente, el 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) introdujo ya en la *Release 99* la posibilidad de usar varios contextos PDP por dirección PDP, de modo que cada uno de ellos pudiese ofrecer un perfil de QoS diferente. En otras palabras, diferentes usuarios podrían acceder al mismo servicio con diferentes perfiles de QoS, sin necesidad de proveer servidores específicos para cada uno de ellos.

La *Release 99*, además, define cuatro clases diferentes de QoS (también denominadas clases de tráfico), cuya diferencia fundamental estriba en la

---

<sup>4</sup> PDP: *Packet Data Protocol*. Protocolo de datos por paquetes.

sensibilidad de cada una de ellas frente al retardo, agrupando así las posibles aplicaciones a ofrecer. Estas clases reciben el nombre de:

- Clase “conversacional”: voz, voz sobre IP, vídeo sobre IP, juegos *online*, etc.
- Clase “*streaming*”: *streaming* de audio y vídeo.
- Clase “interactiva”: navegación por Internet, aplicaciones interactivas, etc.
- Clase “tráfico en *background*”: MMS, *e-mail*, servicios de *broadcasting*, etc.

Para mantener los requisitos de cada una de las clases descritas, se definen diversos mecanismos que trabajan en dos planos diferentes:

- El plano de control, que se encarga de mantener la QoS antes de establecer la conexión, mediante funciones como la asignación de recursos o el control de admisión.
- El plano de usuario, que se encarga de proporcionar y mantener la QoS una vez que se ha establecido la portadora, e incorpora funciones tales como el control de potencia, la adaptación del enlace o la priorización de paquetes (*packet scheduling*).

Por último, la convergencia entre las redes móviles y las redes IP es cada vez mayor, de modo que parte de los requerimientos de calidad de servicio de las redes IP se han ido trasladando a las redes móviles. En concreto, la IETF (*Internet Engineering Task Force*) especifica dos entornos: IntServ (*Integrated Services*) y DiffServ (*Differentiated Services*), y tanto GPRS como UMTS ya incorporan en sus estándares los mecanismos necesarios para soportarlos.

## **1.7 CAMPOS DE APLICACIÓN**

### **1.7.1 PRINCIPALES CAMPOS DE APLICACIÓN**

La realización de medidas de calidad en las redes móviles tiene lugar en distintas fases (con diferentes requisitos) del proceso de construcción y operación de la red móvil, como pueden ser la validación del despliegue de nuevas redes y la optimización de éstas.

### **1.7.2 VALIDACIÓN DEL DESPLIEGUE DE RED**

Con los sistemas de medida de la calidad se puede realizar la validación del despliegue de una nueva red, como podría ser en la actualidad la red UMTS, ya que con las medidas realizadas se puede tener una idea bastante certera de cuál va a ser la calidad que van a percibir los usuarios de la red, tanto en cobertura como en la calidad de los servicios que prestará la red que se está desplegando.

Se usan sistemas de medida de la calidad para determinar niveles de señal en una zona geográfica en estudio. Estos sistemas de medida también sirven para detectar posibles problemas que se estén produciendo en el despliegue, durante las primeras fases de realización de la nueva red.

### **1.7.3 OPTIMIZACIÓN DE LA RED**

El análisis de las medidas de calidad realizadas permite llevar a cabo la optimización de la red una vez que ha sido desplegada, permitiendo ajustar los parámetros y características de la red definidas durante la fase de planificación. En la mayoría de los casos, existen diferencias entre las condiciones y criterios aplicados para la planificación de la red y las que luego realmente se dan cuando se despliega. No solamente eso, sino que, además, las prestaciones de la propia red van evolucionando según crece el número de usuarios o se van añadiendo

nuevos servicios. La realización de medidas de calidad de manera más o menos periódica puede permitir identificar aspectos de prestaciones y rendimiento por debajo de lo esperado o susceptibles de ser mejorados. Algunas áreas típicas de optimización son la asignación de frecuencias (o códigos), la definición de adyacencias o la definición de algún parámetro de red como, por ejemplo, la inclinación de antena (*tilt*).

Por otra parte, las últimas tendencias proponen soluciones de gestión optimizadas de los recursos de red basadas precisamente en la medida y monitorización de la calidad de servicio ofrecida por la red, y demandada en cada momento por los usuarios. Estas propuestas hacen uso de algunos de los parámetros o KPIs mencionados anteriormente, y permiten no sólo la gestión de ciertas funciones de la red, como el control del *handover* o de potencia, sino también la asignación dinámica a los usuarios de unos u otros recursos de la red (o redes, en caso de existir varias) en función del estado de ésta.

#### **1.7.4 OTROS CAMPOS DE APLICACIÓN**

Otros posibles campos de aplicación de las medidas de la calidad en las redes móviles son el ajuste de los modelos de propagación o la realización de *benchmarking* entre diferentes operadoras.

##### **1.7.4.1 Ajuste de los modelos de propagación**

Dada la complejidad de los mecanismos de propagación, existen modelos empíricos o estadísticos, como el de Okumura-Hata, que tratan de prever los efectos de la propagación sobre las señales radioeléctricas. Normalmente son aproximaciones que parten de un modelo general y luego son particularizadas a diferentes escenarios y condiciones de contorno. En términos generales existen dos mecanismos de ajuste básicos: el de los coeficientes ( $k$ ) y el de las constantes ( $C$ ), que de manera simplificada aparecen en el cálculo de las pérdidas de propagación según la siguiente ecuación:

$$L \text{ (dB)} = k \cdot f \text{ (distancia, frecuencia, etc.)} + C \quad \text{(Ec. 1.1)}$$

Donde  $L$  es la pérdida de propagación resultante, y  $k$  y  $C$  son coeficientes (factor y sumando, respectivamente) que modifican una función dependiente de parámetros como la distancia entre emisor y receptor, la frecuencia utilizada, y otros.

Las medidas realizadas en campo pueden utilizarse para ajustar los modelos de propagación a los diferentes tipos de escenarios contemplados. Para ello se diseña una campaña de medidas, estructurada en función de las diferentes variables a considerar en el modelo (tipo de entorno, tipo de vegetación, etc.) y que sea representativa estadísticamente (suficiente número de muestras). La comparación entre la estimación del modelo con las medidas obtenidas en campo permiten obtener factores de corrección para cada combinación o rango de parámetros.

Como resultado, se obtienen modelos de propagación más ajustados que permiten realizar planificaciones más precisas, con lo cual se optimizan las inversiones y se ofrece un mejor servicio.

#### 1.7.4.2 *Benchmarking* entre operadoras

Otra aplicación de estos sistemas de medida es realizar un *benchmarking* entre operadoras para conocer el estado de la red propia y el de la competencia. Los resultados de dicha comparativa pueden servir para definir los planes de crecimiento de una operadora frente a sus competidores más directos, y establecer prioridades en la cobertura de los diferentes objetivos planificados.

Estos sistemas pueden ser utilizados también por entidades ajenas a las operadoras, como consultoras independientes, asociaciones de consumidores, o incluso organismos gubernamentales, para comprobar la calidad de servicio ofrecida por cada operadora y obtener, por ejemplo, un *ranking* de todas ellas.

## **CAPÍTULO II**

### **2. ANÁLISIS DE INDICADORES DEL PERFORMANCE DE LA RED GSM**

#### **2.1 ANÁLISIS DE INDICADORES DEL PERFORMANCE DE LOS SERVICIOS MÁS POPULARES DE LA RED GSM**

En esta sección se presentarán los diferentes tipos de servicios GSM, de los cuales se analizarán los más populares; luego para cada uno de ellos se identifican los aspectos de calidad de servicio desde el punto de vista del usuario; posteriormente se definen los parámetros más relevantes de QoS para cada servicio mencionado y la manera de calcularlos; finalmente se hace referencia a los procedimientos de medida de QoS de los servicios GSM.

##### **2.1.1 SERVICIOS GSM**

Los servicios GSM habilitan a los usuarios de una red para transmitir o recibir diferentes tipos de información.

Las estaciones móviles reconocen el servicio requerido automáticamente o por una entrada del usuario y envían el requerimiento de servicio apropiado a la red.

Los servicios definidos en la fase 2 de GSM son similares a los servicios de ISDN (*Integrated Services Digital Network*). Sin embargo cuando se compara con ISDN, GSM también contiene servicios y modificaciones específicas móviles.

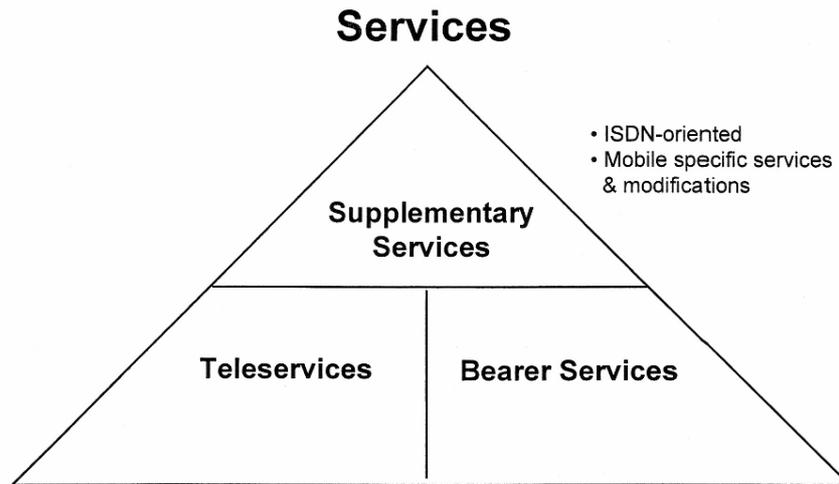


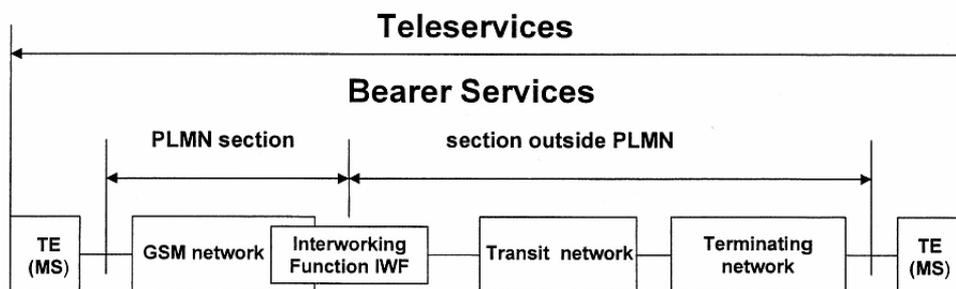
Figura 2.1 Servicios GSM Fase 1/2 <sup>[1]</sup>

Los servicios GSM están divididos en tres categorías:

- Servicios Portadores (BS)
- Teleservicios (TS)
- Servicios Suplementarios (SS)

**Tele Services TS:**  
 defines services "end-to-end"  
 incl. application

**Bearer Services BS:**  
 defines data transmission



**Supplementary Services SS:**  
 enhance/modify TS / BS

Figura 2.2 Categorías de servicios GSM <sup>[1]</sup>

### 2.1.1.1 Servicios Portadores (BS)

Los servicios portadores GSM definen las capacidades para transmitir datos digitales, es decir las funcionalidades de las capas 1-3 del modelo OSI. De esta manera se logra la transmisión de información entre terminales a puntos de acceso particulares (interfaz red-usuario). En esta definición la aplicación como tal, no es incluida.

Los servicios portadores definidos en las recomendaciones GSM 02.01 y GSM 02.02 habilitan la transmisión de datos entre las respectivas interfaces de los equipos terminales y ofrecen transporte de datos asincrónico y sincrónico en conmutación de circuitos y de paquetes. En las fases 1 y 2 de GSM (expuestas en la Historia de GSM, en el capítulo 1) se proporcionan tasas de datos de 2000 bps a 9.6 Kbps ó 13 Kbps para transmisiones de voz.

En la Tabla 2.1 se pueden observar los servicios portadores con la información del número de servicio con el que se los identifica, junto con algunas de sus principales características.

Los servicios portadores 21-53 ofrecen transmisión de datos a tasas de 0.3-9.6Kbps. La subdivisión en UDI (*Unrestricted Digital Information*) y 3.1KHz se asocia con la manera en la cual los servicios serán transmitidos fuera de la PLMN y determina la función de *Interworking* que debe ser activada para cada servicio cuando existe un cambio de red. UDI corresponde a los servicios de ISDN y proporciona un canal para transmisión ilimitada de información digital. La categoría correspondiente a 3.1KHz es usada para habilitar una transmisión a una red análoga (PSTN).

Los servicios transparentes, con excepción de la función de *Interworking* (habilita un cambio en la red) no son editados en los elementos de la red. Ellos son protegidos por FEC (*Forward Error Correction*). El modo no transparente activa una protección adicional BEC (*Backward Error Correction*) vía la interfaz de radio.

Es posible un cambio entre voz y datos vía los servicios portadores 61 y 81. El servicio portador 61 permite un cambio múltiple entre voz y datos. En el caso del servicio portador 81, no es permitido volver a un servicio de voz después de cambiar a un servicio de datos.

BS N°	Service	Structure	Bitrate [bit/s]	Mode	Transmisión
21	<i>line oriented</i>	<i>asynchronous</i>	300	T/NT	UDI /3.1 KHz
22			1200	T/NT	UDI /3.1 KHz
23			1200/75	T/NT	UDI /3.1 KHz
24			2400	T/NT	UDI /3.1 KHz
25			4800	T/NT	UDI /3.1 KHz
26			9600	T/NT	UDI /3.1 KHz
31	<i>line oriented</i>	<i>synchronous</i>	1200	T	UDI /3.1 KHz
32			2400	T/NT	UDI /3.1 KHz
33			4800	T/NT	UDI /3.1 KHz
34			9600	T/NT	UDI /3.1 KHz
41	PAD	<i>asynchronous</i>	300	T/NT	UDI
42			1200	T/NT	UDI
43			1200/75	T/NT	UDI
44			2400	T/NT	UDI
45			4800	T/NT	UDI
46			9600	T/NT	UDI
51	PAD	<i>synchronous</i>	2400	NT	UDI
52			4800	NT	UDI
53			9600	NT	UDI
61	<i>alternating speech/data</i>		13000/9600		
81	<i>speech followed by data</i>		13000/9600		

T/NT: *Transparent / Non-transparent*  
UDI: *Unrestricted Digital Information*  
PAD: *Packet Assembler / Disassembler*

**Tabla 2.1 Servicios Portadores GSM <sup>[1]</sup>**

### 2.1.1.2 Teleservicios (TS)

Los teleservicios GSM son definidos “terminal a terminal”. Ellos ofrecen la transmisión de voz y datos e incluyen la aplicación.

Los servicios portadores y los teleservicios son llamados servicios básicos. Esto no significa que un usuario puede usarlos automáticamente después de completar un contrato de suscripción. Esto ocurre solo con los servicios esenciales tal como el servicio de emergencia. Otros servicios tales como SMS se ofrecen adicionalmente.

Los teleservicios están definidos en GSM 02.03 y ofrecen el rango completo de servicios de comunicaciones entre usuarios. Las más importantes categorías de TS son representados por los servicios de voz (TS11/12), Servicio de Mensajes Cortos (SMS: TS21-23), Teletexto (TS51) y transmisión de fax (TS61/62).

Category	TS N°	Service
Speech	11	Telephony ; MOC, MTC
	12	Emergency Call
Short Message Service	21	Short Message MT, PP
	22	Short Message MO, PP
	23	Short Message Service Cell Broadcast SMSCB
Teletext transmission	51	Teletext
Fax transmission	61	Alternating speech / fax (Group 3), T/NT
	62	Fax (Group 3) automatic, T/NT

T/NT: Transparent / Non-transparent

**Tabla 2.2 Teleservicios GSM<sup>[1]</sup>**

- **TS11:** para una llamada de voz entre un suscriptor móvil (PLMN) y un suscriptor fijo (ISDN/PSTN) u otro suscriptor móvil. Hay una diferenciación en la partida de la llamada: Un llamada originada en el móvil (MOC) significa que el suscriptor móvil a iniciado la llamada, una llamada terminada en el móvil (MTC) significa que el suscriptor móvil es llamado.
- **TS12:** para una llamada de voz entre un suscriptor móvil (PLMN) y un servicio de emergencia de la oficina central, el cual es asignado a una localización respectiva.
- **TS21 & TS22:** En el caso de Servicio de Mensajes Cortos TS21 y TS22, es posible recibir o transmitir mensajes con una longitud de hasta 160 caracteres alfanuméricos.

- **TS23:** En el caso de TS23, el Servicio *Broadcast* Celular de Mensajes Cortos, es posible recibir mensajes de una longitud de hasta 93 caracteres alfanuméricos de un Centro Celular de *Broadcast*. Se usan para mensajes en diferentes tópicos como por ejemplo información meteorológica.

### 2.1.1.3 Servicios Suplementarios (SS)

Los servicios suplementarios modifican o extienden un servicio básico portador o un teleservicio y no pueden nunca ser ofrecidos solos a un suscriptor. Un servicio suplementario debe ser ofrecido junto con uno o con un rango de servicios básicos de telecomunicaciones.

Los servicios suplementarios se definen en GSM 02.8x. Pero en GSM 02.04 se da una revisión global que considera aspectos generales, definiciones y recomendaciones de regulaciones de los servicios suplementarios.

En la fase GSM 1 fue especificado solo un pequeño grupo de servicios suplementarios concerniente a llamadas enviadas, transferencia de llamadas y restricción de llamadas. Un rango más completo de servicios suplementarios de ISDN fue introducido en la fase 2 de GSM.

Los siguientes grupos de servicios suplementarios son ofrecidos:

- Servicio de Identificación de número
- Servicios para llamadas
- Servicios de terminación de llamadas
- Comunidad de Interés
- Servicios de restricción de llamadas
- Servicios de transferencia de información adicional
- Servicio multidestino
- Servicio de carga
- Uso simultáneo de servicios

<b>Category</b>	<b>Abbreviation</b>	<b>Service</b>
<b>Number Identification</b>	CLIP CLIR CoLP CoLR MCI	<i>Calling Line Identification Presentation</i> <i>Calling Line Identification Restriction</i> <i>Connected Line Identification Presentation</i> <i>Connected Line Identification Restriction</i> <i>Malicious Call Identification</i>
<b>Call Offering</b>	CFU CFB CFNRy CFNRc CT MAH	<i>Call Forwarding Unconditional</i> <i>Call Forwarding on mobile subscriber Busy</i> <i>Call Forwarding on No Reply</i> <i>Call Forwarding on mobile subscriber Not Reachable</i> <i>Call Transfer</i> <i>Mobile Access Hunting</i>
<b>Community of Interest</b>	CUG	<i>Closer User Group</i>
<b>Call Restriction</b>	BAOC BOIC BAIC BOIC-ex HC BIC-Roam	<i>Barring of All Outgoing Calls</i> <i>Barring of Outgoing International Calls</i> <i>Barring of All Incoming Calls</i> <i>BOIC except those to home PLMN</i> <i>Barring of Incoming Calls when Roaming outside the home PLMN</i>
<b>Additional Information Transfer</b>	UUS	<i>User-to-User Signaling</i>
<b>Multi Party</b>	3PTY CONF	<i>Three Party Service</i> <i>CONFerence calling</i>
<b>Charging</b>	AoC FPH REVC	<i>Advice of Change</i> <i>FreePhone Service</i> <i>REVerse Charging</i>

**Tabla 2.3 Servicios Suplementarios GSM <sup>[1]</sup>**

### **2.1.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS ASPECTOS DE CALIDAD DE SERVICIO DE LOS SERVICIOS POPULARES GSM Y 3G**

En esta sección se identifican los aspectos de QoS para los servicios populares en GSM y 3G. Para cada servicio se escoge un grupo de indicadores de QoS. Ellos son considerados por ser convenientes para la caracterización cuantitativa de los aspectos técnicos dominantes de la QoS desde la perspectiva del usuario final.

Los indicadores son descritos por su nombre y una descripción corta desde el punto de vista del cliente.

Donde es posible se hace referencia a definiciones existentes UIT-T o ETSI. Si no existen definiciones UIT-T o ETSI o se consideran demasiado genéricas, se crea una definición específica para el servicio y red móvil.

### 2.1.2.1 *Background de QoS*

Para un entendimiento común de QoS y *Performance* de Red (NP) los principios fundamentales de acuerdo a las definiciones de la recomendación de la ITU-T E 800, son:

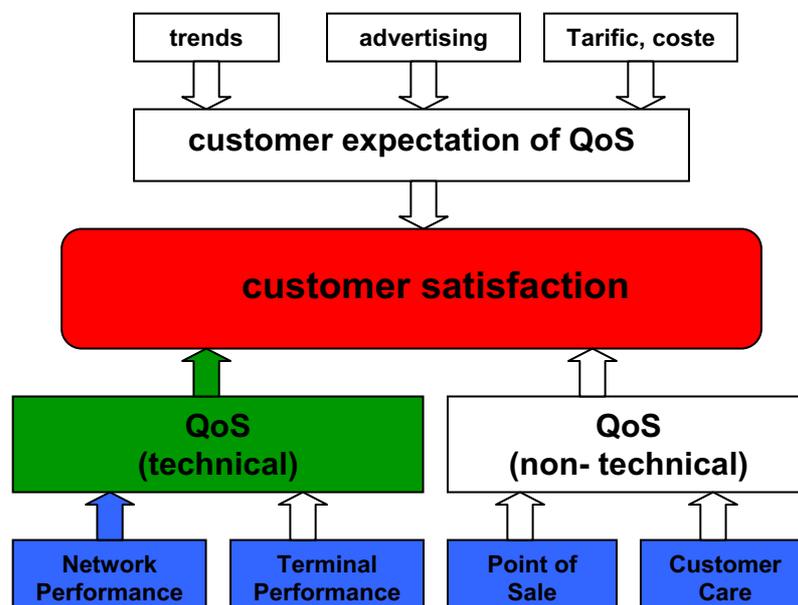


Figura 2.3 Relación entre satisfacción del cliente, QoS y *performance* de red <sup>[10]</sup>

- Calidad de Servicio:

“El efecto colectivo del *performance* del servicio el cual determina el grado de satisfacción de un usuario del servicio”

- *Performance* de la Red:

“La habilidad de una porción de la red para proporcionar las funciones relacionadas a la comunicación entre usuarios”

La relación entre satisfacción del cliente, QoS y NP se muestra en la Figura 2.3, este estudio tiene su enfoque en los aspectos técnicos relacionados a la satisfacción del cliente.

#### **2.1.2.2 Lista de Indicadores**

La asociación GSM (*GSM Association*) en sus Documentos de Referencia Permanentes (*Permanent Reference Document*) IR.41 sobre QoS, define una lista de indicadores cuyo objetivo es que fabricantes y operadores estén de acuerdo en el grupo de indicadores de QoS. Ellos deben permitir *benchmarking* externo e interno de manera más fácil.

Los servicios escogidos son considerados de una alta relevancia al cliente final en un mercado nacional e internacional y son comunes para la mayoría de los operadores de red.

Se han seleccionado indicadores que cumplan con las siguientes consideraciones:

- Tener mucha influencia en la satisfacción de los clientes con respecto al servicio.
- Identificar aspectos técnicos de la QoS.
- Ser susceptibles de medir por medios técnicos.
- Ser pertinentes para el *benchmarking* nacional e internacional del operador de red.

Existe la necesidad de especificar indicadores independientes de QoS para cada servicio.

### 2.1.2.3 Aspectos de Calidad de Servicio



Figura 2.4 Fases de uso del servicio desde el punto de vista del cliente <sup>[10]</sup>

La Figura 2.4 muestra las diferentes fases (aspectos de Calidad de Servicio) durante el uso del servicio desde el punto de vista del usuario. El significado de estos aspectos de QoS se explica a continuación.

#### 2.1.2.3.1 Accesibilidad a la red

Está dada por una indicación de la red en el *display*<sup>1</sup> del móvil y es una señal que dice al cliente que puede usar el servicio de este operador de red.

La accesibilidad a la red es la estimación básica de la cobertura de radio, y es influenciada por el nivel del umbral para acceder a la red.

Así cada red puede poner su propio valor de umbral, y sólo permite el acceso si estima que el nivel de señal de radio está sobre el umbral. La red no permitirá el acceso a niveles inferiores de señal de radio, aún cuando el móvil es capaz de operar a tales niveles.

#### 2.1.2.3.2 Accesibilidad al servicio

Si el cliente quiere usar un servicio, el operador de red debe proporcionarle acceso al servicio tan rápido como sea posible.

---

<sup>1</sup> La indicación de la red a los clientes está aún en discusión, porque los mensajes en el *display* dependen de la implementación del móvil. No se recomienda usar este parámetro sin otros indicadores de QoS.

La accesibilidad al servicio se puede dar cuando hay acceso a la red. Donde hay acceso a la red, el acceso al servicio puede no ser posible porque no existen canales de radio disponibles para soportar el servicio o porque no existe un enlace de transmisión disponible entre la estación base y el centro de conmutación móvil.

La disponibilidad de un servicio es por consiguiente una combinación de accesibilidad a la red y accesibilidad al servicio.

#### *2.1.2.3.3 Integridad de servicio*

Este aspecto describe la Calidad de Servicio durante el uso del mismo. Las medidas de la calidad de la voz en una Red Pública Móvil Terrestre (PLMN) serán influenciadas por la capacidad de transmisión de la red y por el estado del acceso radio.

#### *2.1.2.3.4 Continuidad del servicio*

Describe la terminación de los servicios de acuerdo o en contra a la voluntad del usuario.

### **2.1.3 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD DE SERVICIO Y SU CÓMPUTO**

Esta sección define los principales parámetros de QoS y su cómputo para los servicios populares de GSM y redes 3G, agrupados de acuerdo a los cuatro aspectos de QoS explicados en la sección anterior.

Se comienza exponiendo los parámetros referentes al acceso a la red, los cuales son independientes del servicio. Luego, para los servicios de telefonía y de

mensajes cortos (SMS); se definen los parámetros para acceso al servicio, integridad del servicio y continuidad del servicio.

Por cada parámetro se cita la definición ITU-T E.800, de carácter general para redes telefónicas e ISDN, si existe; se expone la definición específica de la *GSM Association*; se presenta la descripción genérica del método de medida a través de la fórmula general con los respectivos puntos de disparo y finalmente si es necesario se exponen algunas observaciones.

Las definiciones descritas en esta sección son independientes de la infraestructura, y son consideradas como los requisitos previos para la comparación de medidas de QoS y los resultados de la medida.

Se asume que el cliente puede manejar su móvil y los servicios que quiere usar (la operabilidad no se evalúa en este momento). Para el propósito de la medida se asume que el servicio está disponible y no se obstruyó por ninguna razón, que la ruta se define correctamente sin errores y que el equipo del subscriptor designado está listo para contestar la llamada.

Para el análisis estadístico de los valores medidos de calidad de voz sólo deben emplearse las llamadas terminadas con éxito.

### **2.1.3.1 Modelo para los parámetros de QoS**

La Figura 2.5 muestra un modelo para los parámetros de calidad de servicio. Este modelo tiene tres capas:

- La primera capa es el Acceso de la Red, el requisito básico para todos los otros aspectos de QoS, y parámetros de QoS. El resultado de esta capa es el parámetro de QoS Accesibilidad a la Red.
- La segunda capa contiene los otros tres aspectos de QoS: Acceso al Servicio, Integridad de Servicio y Continuidad de Servicio.

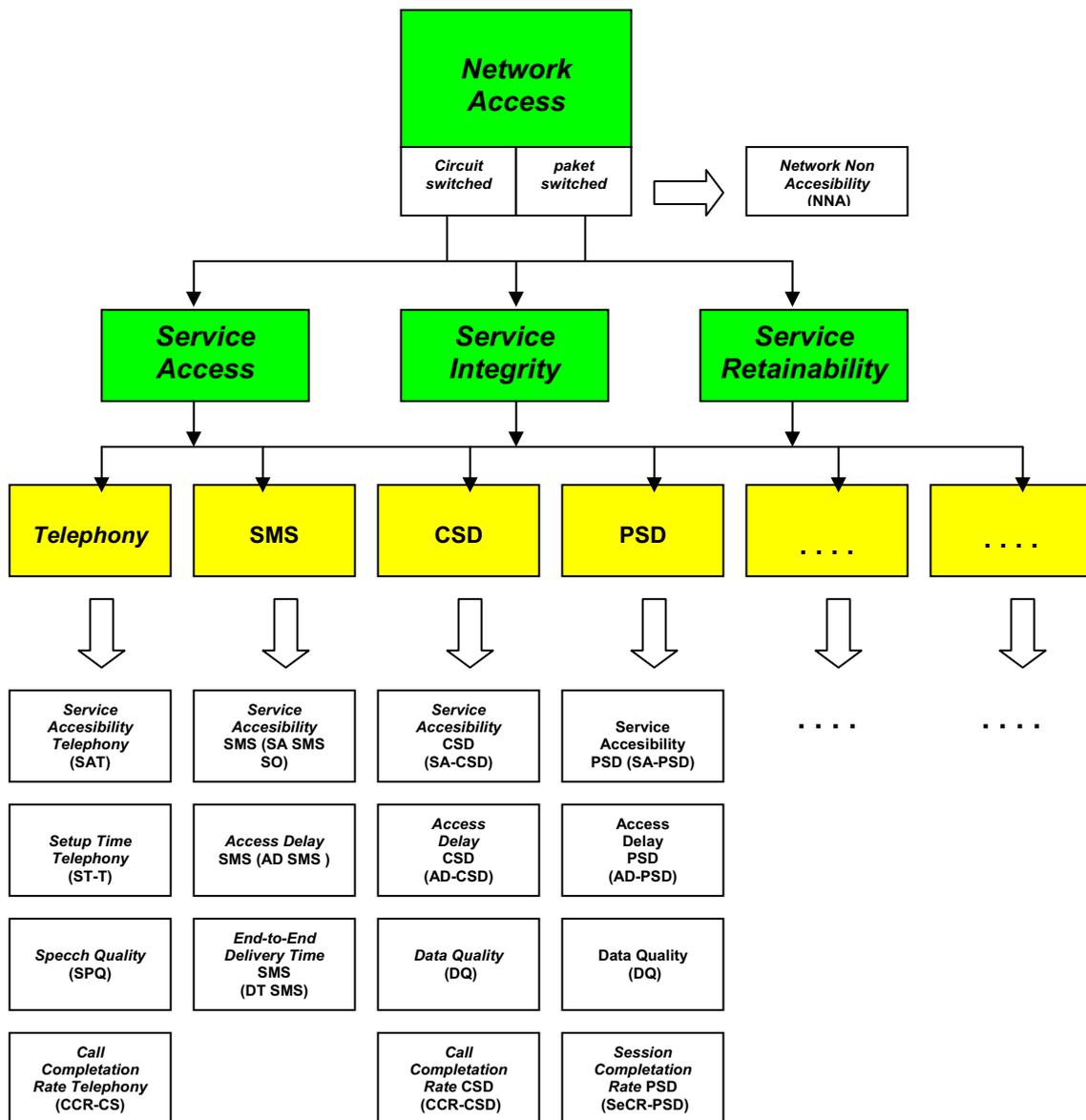


Figura 2.5 Aspectos de QoS y los correspondientes parámetros de QoS <sup>[11]</sup>

- En la tercera capa se localizan los diferentes servicios. Su resultado son los parámetros de QoS.

### 2.1.3.2 Parámetros Independientes del Servicio

Dentro del acceso a la red el parámetro definido es la tasa de accesibilidad a la red y es independiente del servicio que se ofrezca.

### 2.1.3.2.1 Aspecto de QoS: Acceso a la red

El indicador accesibilidad a la red puede distinguirse entre red de conmutación de circuitos y red de conmutación de paquetes.

#### 2.1.3.2.1.1 Accesibilidad a la red – Conmutación de Circuitos (NA–CS)

##### Definición ITU-T E.800:

La probabilidad que el usuario de un servicio después de un requerimiento reciba la señal de invitación a marcar (*proceed-to-select*) dentro de las condiciones especificadas.

##### Definición GSM Association:

Probabilidad de que los Servicios Móviles sean ofrecidos a un usuario final por los indicadores de red designados en el equipo móvil en modo *idle*.

##### Puntos de disparo:

- $C1 > 0$ . No se considera cualquier emergencia que se localiza en cualquier otra red que no sea la designada.
- Las redes designadas podrían constituir más de una red. Ej. para cubrir *roaming* nacional o internacional.

##### Fórmula:

$$NA - CS_{gsm} [\%] = \frac{\text{Number of measurement } t \text{ samples with } CI > 0}{\text{Number of all measurement } t \text{ samples}} * 100\% \quad (\text{Ec. 2.1})$$

##### Observaciones:

- Para poder comparar la tasa de accesibilidad a la red con de la tasa de accesibilidad al servicio, las tasas de muestreo deben ser las mismas.
- El indicador complementario de QoS es: No accesibilidad a la red (NNA)

### 2.1.3.2.1.2 Accesibilidad a la red – Conmutación de Paquetes (NA–PS)

#### Definición GSM Association:

Probabilidad de que los Servicios Móviles sean ofrecidos a un usuario final por los indicadores de red designados en el equipo móvil en modo *standby*.

#### Puntos de disparo:

- C1 > 0. La disponibilidad GPRS en la celda es designada en mensajes de información del sistema.
- Las redes designadas podrían constituir más de una red, Ej. para cubrir *roaming* nacional o internacional.

#### Fórmula:

$$NA-PS_{gsm} [\%] = \frac{\text{Number of measurement } t \text{ samples with } CI > 0 \text{ and GPRS enabled for Cell}}{\text{Number of all measurement } t \text{ samples}} * 100\%$$

(Ec. 2.2)

### 2.1.3.3 Servicio de Telefonía

Dentro del servicio de telefonía se definen parámetros de calidad para la accesibilidad al servicio, integridad de servicio y continuidad de servicio.

#### 2.1.3.3.1 Aspecto de QoS: Acceso al servicio de telefonía

Dentro del servicio de telefonía los indicadores más relevantes respecto al acceso al servicio son: la tasa de accesibilidad al servicio y el retardo medio de acceso al servicio.

#### 2.1.3.3.1.1 Accesibilidad al servicio de telefonía (SA-T)

#### Definición ITU-T E.800:

Probabilidad de que un servicio pueda obtenerse dentro de tolerancias especificadas y en condiciones operacionales dadas cuando lo solicite el usuario.

Definición GSM Association:

Probabilidad de que el usuario final pueda acceder al Servicio de Telefonía Móvil cuando es ofrecido por el indicador de red en el *display* del equipo móvil.

Puntos de disparo:

- Al inicio del intento de la llamada: momento en que se presiona el botón *send* (es importante chequear si existe cobertura en ese instante, caso contrario sería un caso de no accesibilidad a la red).
- Intento de llamada exitoso: momento en que se escucha el timbre de alerta o que el usuario A escucha el tono de ocupado.

Fórmula:

$$\text{Service Accessibility Telephony } [\%] = \frac{\text{Number of successful call attempts}}{\text{Number of call attempts}} * 100\% \quad (\text{Ec. 2.3})$$

Observaciones:

- Hay dos posibilidades para considerar exitoso un intento de llamada (*successful call attempt*): que el usuario B escuche el timbre de alerta o que este ocupado.
- Se asume que la asignación de ruta al destino es exitosa (sin ninguna falla).
- El Indicador de QoS complementario es: No accesibilidad al servicio de Telefonía (SNAT).

2.1.3.3.1.2 Retardo medio de acceso - *Setup Time Telephony* (ST-T)

Definición ITU-T E.800:

Esperanza matemática de la duración de tiempo entre un intento inicial de llamada efectuado por el usuario para la obtención de un servicio y el instante en el cual lo obtiene dentro de tolerancias especificadas y en condiciones operacionales dadas.

Definición GSM Association:

Tiempo entre el envío de la información completa de dirección y la recepción de la notificación *Call Setup*.

Puntos de disparo:

- Al principio de la medida *Setup Time*: momento en que se presiona el botón *send*.
- Conexión exitosa: momento en que se escucha el timbre de alerta o que el usuario A escucha el tono de ocupado.

Fórmula:

$$\text{Setup Time Telephony [s]} = t_2 - t_1 \quad (\text{Ec. 2.4})$$

$t_2$ : tiempo donde la conexión se establece (ej. alerta o suscriptor ocupado)

$t_1$ : tiempo donde el cliente aprieta el botón *SEND* en el equipo móvil

2.1.3.3.2 *Aspecto de QoS: Integridad del servicio de telefonía*

Para chequear la integridad del servicio de telefonía, el parámetro más importante es la calidad de la voz.

2.1.3.3.2.1 Calidad de la voz (SpQ)

Definición ITU-T E.800:

Grado en que un servicio, una vez obtenido, se presta sin degradaciones excesivas.

Definición GSM Association:

Indicador que representa la cuantificación de la calidad de la transmisión de la voz extremo a extremo del Servicio de Telefonía Móvil <sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> El comportamiento acústico de los terminales no es parte de esta medida de calidad de voz.

Fórmula:

$$\begin{aligned} SpQ (\text{received } A\text{-side}) &= f (MOS) \\ SpQ (\text{received } B\text{-side}) &= f (MOS) \end{aligned} \quad (\text{Ec. 2.5})$$

Opcionalmente podría ser útil agregar ambos valores de calidad de voz en un solo valor. En este caso el peor de los dos será usado. Esta agregación del valor de calidad de voz se llamará SpQ (min).

Puntos de disparo:

- Inicio de la conexión: el intercambio de las muestras de voz entre el usuario A y el usuario B.
- Fin de la conexión: el instante en el que se libera la conexión.

Observaciones:

- La validación de la calidad extremo-a-extremo se hace usando la escala MOS.
- Esta escala describe la opinión de los clientes de la transmisión de voz y sus problemas (ruido, voz robot, eco, abandonos, etc.). La medida de calidad de voz se toma por llamada.

*2.1.3.3.3 Aspecto de QoS: Continuidad del servicio de telefonía*

La continuidad del servicio es evaluada mediante el parámetro tasa de completación de llamadas

*2.1.3.3.3.1 Tasa de completación de llamadas (CCR-T)*

Definición GSM Association:

Probabilidad de que un intento de llamada exitoso se mantenga durante un tiempo predeterminado hasta que sea terminada intencionalmente por el usuario A o B.

Fórmula:

$$CCR - CS - T [\%] = \frac{\text{Number of intentionally terminated telephony calls}}{\text{Number of successful telephony calls attempts}} * 100\% \quad (\text{Ec. 2.6})$$

Puntos de disparo:

- Intento de llamada exitoso: momento en que se escucha el timbre de alerta o que el usuario A escucha el tono de ocupado.
- Llamada terminada: liberación de la conexión intencional por el usuario A o B.
- El Indicador de QoS complementario es: Tasa de No completación de llamadas (CNCR)

#### 2.1.3.4 Servicio de Mensajes Cortos

Para el servicio de mensajes cortos se definen únicamente parámetros de calidad para la accesibilidad al servicio e integridad de servicio.

##### 2.1.3.4.1 Aspecto de QoS: Acceso al servicio en SMS

Para el servicio de mensajes cortos los indicadores más relevantes dentro del acceso al servicio son la tasa de accesibilidad al servicio y el retraso de acceso al servicio.

##### 2.1.3.4.1.1 Accesibilidad al servicio de SMSs originados en el móvil (SA SMS MO)

Definición GSM Association:

Probabilidad de que el usuario final pueda acceder al Servicio de Mensajes Cortos cuando lo solicite mientras es ofrecido por el indicador de red en el *display* del equipo móvil.

Fórmula:

$$\text{Service Accessibility SMS MO} [\%] = \frac{\text{Number of successful SMS service attempts}}{\text{Number of all SMS service attempts}} * 100\% \quad (\text{Ec. 2.7})$$

Puntos de disparo:

- Inicio del intento de servicio SMS: instante de inicio del envío de un SMS
- Intento exitoso del servicio SMS: recepción del mensaje de éxito (*acknowledgement*) enviado por el Centro de Mensajes Cortos.

2.1.3.4.1.2 Retraso de acceso del SMS originado en el móvil (DC SMS-MO)

Definición GSM Association:

Tiempo entre el envío de un Mensaje Corto a un Centro de Mensajes Cortos y recepción de la notificación del Centro de Mensajes Cortos.

Fórmula:

$$\text{Access Delay SMS MO} [s] = t_{\text{receive}} - t_{\text{send SMS}} \quad (\text{Ec. 2.8})$$

$t_{\text{receive}}$ : tiempo en el cual el equipo móvil recibe la confirmación del Centro de SMS

$t_{\text{send SMS}}$ : tiempo en que el cliente envía su SMS al Centro de SMS

Puntos de disparo:

- Inicio del intento de servicio SMS: instante de inicio del envío de un SMS
- Intento exitoso del servicio SMS: recepción del mensaje de éxito (*acknowledgement*) enviado por el Centro de Mensajes Cortos.

2.1.3.4.2 Aspecto de QoS: Integridad del servicio de SMS

Para el servicio de mensajes cortos los indicadores más relevantes dentro del acceso al servicio son la tasa de accesibilidad al servicio y el retraso de acceso al servicio.

#### 2.1.3.4.2.1 Tiempo de entrega extremo a extremo SMS (DT SMS)

##### Definición GSM Association:

Tiempo entre el envío de un mensaje corto a un Centro de Mensajes Cortos y recepción del mismo mensaje corto en otro equipo móvil.

##### Fórmula:

$$\text{End-to-End Delivery Time SMS [s]} = t_{\text{receive SMS}} - t_{\text{send SMS}} \quad (\text{Ec. 2.9})$$

$t_{\text{receive SMS}}$ : tiempo en el cual el equipo móvil 2 recibe el mensaje corto enviado por el equipo móvil 1.

$t_{\text{send SMS}}$ : tiempo en el cual el equipo móvil 1 envía un mensaje corto al Centro de SMS.

##### Puntos de disparo:

- Inicio del intento de servicio SMS: instante de inicio del envío de un SMS
- El instante de la recepción del SMS en el equipo móvil 2:

##### Observaciones:

- Se asume que el equipo receptor del SMS está listo para recibir el mensaje.

#### 2.1.3.4.2.2 Tasa de completaciones de SMS (CR SMS)

##### Definición GSM Association:

Tasa de SMSs de prueba enviados y recibidos de un móvil a otro móvil, excluyendo SMSs recibidos duplicados y adulterados.

Para propósitos de prueba y medida un mensaje es considerado válido si se entrega con éxito dentro de una ventana de tiempo definida.

Fórmula:

$$CR_{SMS} CS [\%] = \frac{\text{successful received Test SMS} - \text{duplicated received Test SMS} - \text{corrupted Test SMS}}{\text{Number of all send Test SMS}} * 100\%$$

(Ec. 2.10)

Puntos de disparo:

- Envío y recepción exitosas de un SMS.
- Tiempo de medición de la ventana según el perfil del cliente.

Observaciones:

- Se asume que el equipo receptor del SMS está listo para recibir el mensaje.

## 2.1.4 PROCEDIMIENTOS TÍPICOS PARA LOS EQUIPOS DE MEDIDA DE LA QoS

Esta sección describe los procedimientos típicos usados para las mediciones de QoS en los servicios de telefonía GSM, junto con las características y parámetros para tales medidas.

Donde es posible se hace referencia a definiciones UIT-T o ETSI existentes. Si no existen definiciones UIT-T o ETSI o se consideran demasiado genéricas, se crea una definición específica para el servicio y red móvil.

La meta de las medidas descritas en esta sección es evaluar la red bajo la prueba de sus parámetros de calidad tal como fueron definidos anteriormente, esto es, para determinar la calidad de la red por las transacciones respectivas desde el punto de vista de los subscriptores.

### 2.1.4.1 Tipos de llamada

El tipo de llamada puede ser: originada en el móvil (MO) o terminada en el móvil (MT). Básicamente, se asume que una vez una establecida la conexión, para medidas más extensas no importa de cual lado se ha iniciado la llamada. Por consiguiente, los parámetros de audio que se discutirán posteriormente serán independientes del tipo de llamada.

### 2.1.4.2 Fases de la transacción de una llamada

Tal como se muestra en la Figura 2.6 durante una llamada se tienen las siguientes fases: *Call setup*, *Call connect*, *Call clear-down* y *Pause*.

A continuación se explica en mayor detalle cada una de ellas

Test Case					
<b>Repeat</b>	<b>Control</b>	Call Type Time-out setting	Audio data flow	Dropped Call behaviour	
	<b>Parameters</b>	Call number Codec settings	Call Duration		Guard time
	<b>Sequence</b>	<b>Call set-up</b>	<b>Call Connect</b>	<b>Call clear-down</b>	<b>Pause</b>
	<b>QoS Values</b>	Network accessibility Service accessibility Set-up time	Speech Quality and audio verification	Call Completion Rate	
	<b>[Other values]</b>	e.g. Signalling pattern	e.g. (GSM) RxQual, FER	e.g. Signalling pattern	

Figura 2.6 Fases de transacción de una llamada <sup>[12]</sup>

#### 2.1.4.2.1 Fase Call Setup

Dentro de esta fase se definen las siguientes condiciones:

- Acceso fallido: El acceso a la red falló.

- *Setup failure*: Fue alcanzado el acceso a la red, pero la llamada no alcanzó el estado de una conexión bidireccional utilizable extremo a extremo. Si no puede verificarse ninguna conexión de audio, el intento *setup* se considerará fallido y el intento de llamada (*call attempt*) será terminado.

Un intento de llamada que consigue una conexión utilizable es terminado en *Setup Success*.

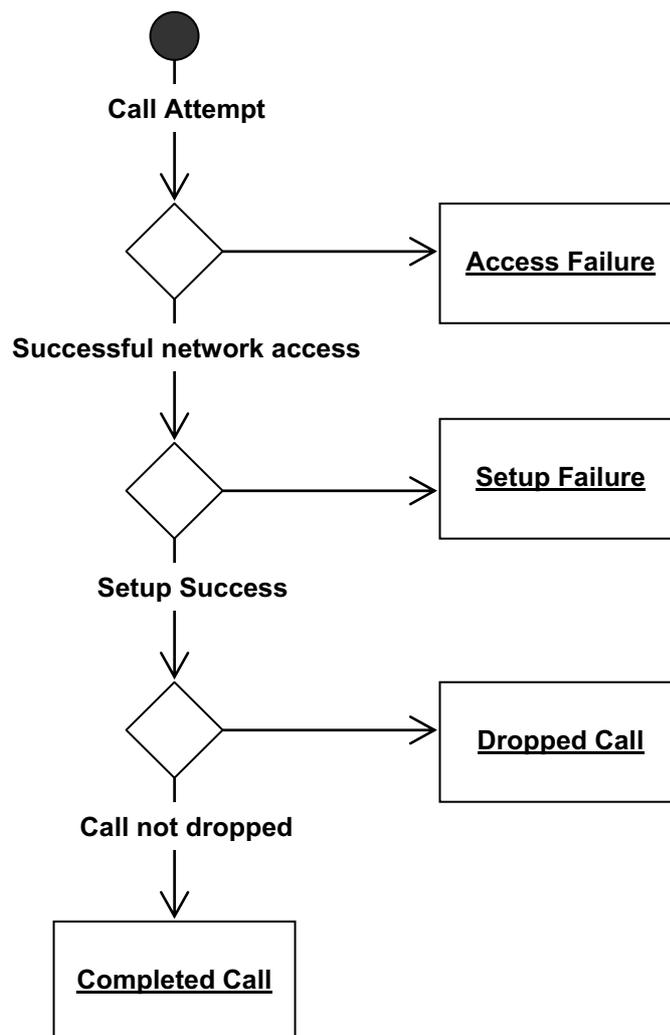


Figura 2.7 Árbol de decisión de una llamada <sup>[12]</sup>

Esta descripción para el resultado de una llamada es mostrada en la Figura 2.7 (este diagrama incluye el caso fin de llamada el cual se describe más abajo).

En la fase *call setup* son determinados los siguientes objetos de QoS:

- Para la accesibilidad al servicio: se utiliza un objeto de tipo contador “*try/success*”. Se graba una prueba cuando se ha realizado un intento de llamada. Cuando un *Setup Success* es detectado se graba un éxito.
- Para *Setup Time*: se usa un objeto de tipo “*time*”. El inicio corresponde al punto de disparo respectivo “*try*” del objeto de accesibilidad al servicio. El final del punto de disparo es fijado por el evento que indica la conexión lógica.

#### 2.1.4.2.2 Fase Call Connect

La fase *call connect* empieza cuando la conexión se ha establecido totalmente, es definida por la condición exitosa del *call setup*.

Sólo las llamadas con una conexión de audio bidireccional válida extremo a extremo serán consideradas para la valoración de la calidad de la voz (llamadas válidas).

Una llamada no válida se tratará como una llamada caída (*dropped call*), con un modificador que indica esta causa particular.

Los siguientes objetos de QoS son determinados para la fase *call connect*:

- Para la calidad de la voz: para la valoración de este parámetro, los datos se generan en el extremo receptor. Por consiguiente para la voz en el *downlink*, el almacenamiento de datos es real; para la voz del *uplink* los datos son almacenados y en algún instante tienen que ser integrados con los demás datos.

Para evaluar la calidad de la voz son posibles por lo menos los siguientes métodos:

- Valoración en tiempo real (modo *streaming*), donde el algoritmo de valoración de la calidad de la voz produce continuamente datos MOS.
  - Valoración “*Offline*”, donde la voz primero se graba de alguna manera y después se procesa.
- 
- Para la tasa de completación de llamadas: una llamada que acaba prematuramente se conoce como llamada caída. Es considerada activa sólo cuando ambos lados de la conexión la consideren activa, por lo tanto una llamada es considerada caída si cualquier lado la detecta como caída.

La tasa de completación de llamadas se calcula como un objeto de tipo *try/success*, donde se graba una prueba en el *Setup Success*, y se cuenta una llamada como exitosa cuando la medida determina que la llamada no ha caído.

#### 2.1.4.2.3 Fase *Call clear-down*

La fase *clear-down* es la transición entre el estado conectado y el estado *idle*. No se ha definido ningún parámetro de QoS referente a esta fase. Sin embargo, los equipos de medida, típicamente grabarán secuencias de Capa 3 que pueden usarse para determinar la información específica sobre el *cleardown*.

#### 2.1.4.2.4 Fase *Pausa*

Se dice que en esta fase se da al móvil y a la red, un tiempo para alcanzar nuevamente su estado neutro, para que la próxima transacción empiece teniendo las mismas condiciones que la anterior. Para los equipos actuales de GSM, se recomienda un tiempo de pausa de por lo menos 15 segundos (tiempo de guardia).

Sin embargo, esta duración puede ajustarse a condiciones locales o metas de prueba especiales.

Si la duración de la pausa es demasiado corta, pueden ocurrir efectos laterales, produciendo todo tipo de efectos transitorios y distorsiones en los datos de medida. Todos los parámetros de QoS deben ser medidos sin ser afectados por el tiempo de pausa.

## **2.2 SELECCIÓN DE LOS INDICADORES MÁS RELEVANTES A SER MONITOREADOS Y DEFINICIÓN DE SUS UMBRALES Y CRITICIDAD**

El mejor representante del *performance* de la red es la evaluación de KPIs (*Key Performance Indicator*), los mismos que representan el desempeño de los recursos de red (TRXs, BTSs, BSCs) y de las conexiones (ABISs, *Circuit Groups*). Los KPIs definen la calidad percibida por el usuario final y permiten efectuar una evolución anticipada de la red.

Basados en la lista general de indicadores se seleccionan aquellos ofrecidos por el fabricante, que para el caso del BSS en esta red es Siemens, los cuales permitirán evaluar la calidad de servicio de la red a nivel del sistema radio para el servicio de telefonía. Se distinguirán indicadores de calidad de radio, de tráfico y de disponibilidad de la red, utilizados en el proceso de optimización.

Finalmente en base al criterio de los departamentos de la empresa relacionados, se definirá el grupo de parámetros a ser monitoreado con sus respectivos umbrales.

### 2.2.1 KEY PERFORMANCE INDICATOR (KPI) BSS

Para evaluar una llamada se tienen tres grupos importantes de KPIs, de acuerdo a los aspectos de accesibilidad, continuidad y calidad del servicio de telefonía en GSM.

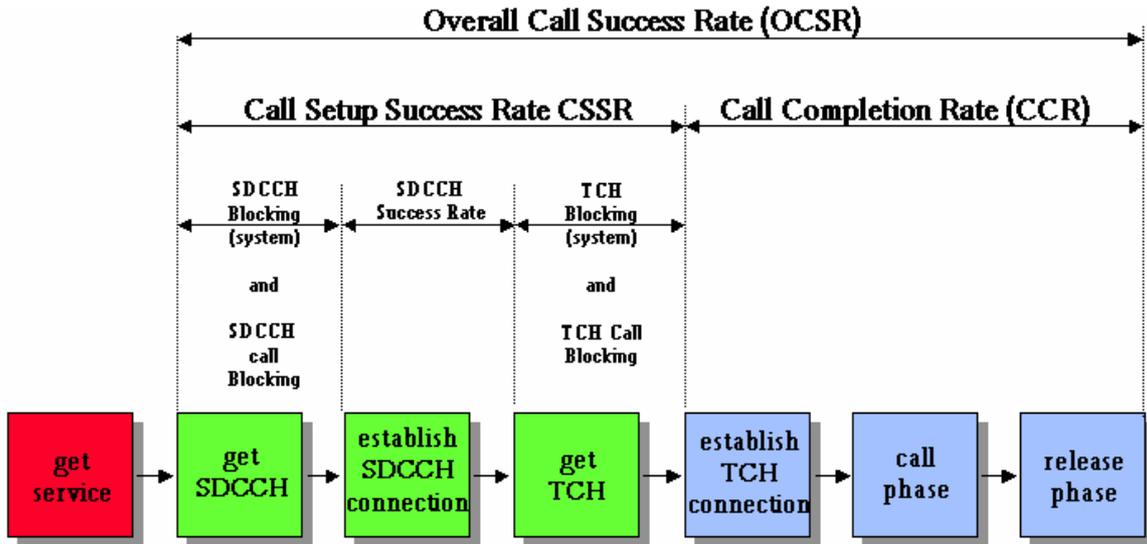


Figura 2.8 Fases de llamada GSM <sup>[22]</sup>

La Figura 2.8 permite entender de mejor manera las fases de una llamada GSM y los parámetros relacionados a estas fases, los mismos que servirán para la optimización del *performance* de la red a nivel del sistema radio.

En una llamada originada en el móvil (MOC) la MS que desea obtener un servicio, en primer lugar solicita un canal SDCCH usando el canal RACH. Existe un tiempo de retraso entre la petición y la asignación de un SDCCH debido a la carga de tráfico. Si hay un SDCCH libre este es asignado, usando un canal AGCH. El SDCCH es usado para autenticación, transmisión de parámetros e inicialización de la llamada. En esta etapa se evalúan la tasa de bloqueos SDCCH y la tasa de asignaciones exitosas de SDCCH.

Luego se solicita un canal de tráfico TCH y si este está libre es asignado. Luego de esto el SDCCH es liberado. La MS confirma la asignación en el canal FACCH. Aquí se evalúa la tasa de bloqueos TCH y la tasa de *call setup* exitosos.

El TCH conjuntamente con su FACCH y SACCH es ocupado hasta el final de la llamada. De esta manera si en esta etapa se pierde de manera involuntaria la asignación del canal TCH se evalúa la tasa de llamadas completadas, en caso contrario se contabilizan la tasa de llamadas exitosas.

A continuación dentro de cada aspecto de QoS se explican en detalle cada uno de los parámetros específicos para GSM; para cada uno de estos parámetros se da el nombre en español, el nombre en inglés y la abreviación con la cual se lo conoce, una pequeña definición, el tipo de objeto de red sobre el cual se define, la formula general, la formula global donde se hace referencia a los contadores que conforman el KPI, la explicación de cada uno de los contadores y algunas observaciones pertinentes si las hubieren.

Debe indicarse que los nombres de los contadores son específicos para el fabricante, pudiendo variar en otra marca distinta.

### **2.2.1.1 Accesibilidad al servicio**

Dentro de este tópico se entiende superada la accesibilidad a la red, por lo que se refiere solamente a la accesibilidad al servicio de telefonía

Los indicadores definidos son: la tasa de completación de llamadas, la tasa de no completación de llamadas, la tasa de bloqueo de canales de señalización SDCCH, la tasa de caídas de canales SDCCH, la tasa de bloqueo de canales de tráfico TCH y la tasa de fallas de asignación (TCHs perdidos).

#### *2.2.1.1.1 Tasa de completación de llamadas - Call Setup Success Rate BSS (CSSuccRateBSS)*

Tasa de establecimiento exitoso de llamadas con respecto a llamadas extremo a extremo.

Objeto: celda

Formula General:

$$CSSuccRateBSS = A \times B \times C$$

$$A = \frac{ImmAssSucc}{ImmAssAtt - ImmAssNoSeiz}$$

$$B = 1 - \frac{SDCCHDrop}{SuccImmAssSigCH}$$

$$C = \frac{AssSucc}{AssAtt} \quad (\text{Ec. 2.11})$$

Formula Global:

$$A = \frac{NSUCCHPC[1..6,9..14,17..22]}{ATIMASCA[1..14] - \left( SUIMASCA[1..6] - \frac{TACCBPR[2] - NACSUCPR[2]}{TACCBPR[2]} - NSUCCHPC[1..6,9..14,17..22] \right)}$$

$$B = 1 - \frac{NRCLRREQ[19..26]}{NSUCCHPC[1..6]}$$

$$C = \frac{TASSUCC[2,3] + SINTHINT[7] + \sum_{n=0}^{31} SUINBHDC[10 \times n + 7]}{TASSATT[2,3]}$$

$n = \#GSM \text{ neighbour cell relation}$

(Ec. 2.12)

Contadores:

NSUCCHPC.- Asignaciones inmediatas de canales de señalización exitosas

ATIMASCA.- Peticiones de procesos de asignaciones inmediatas

SUIMASCA.- Procesos exitosos de asignación

TACCBPRO.- Número total de accesos por proceso (PCH, AGCH)

NACSUCPR.- Número de accesos con un resultado exitoso por proceso (PCH, AGCH, RACH)

TACCBPRO.- Número total de accesos por proceso (PCH, AGCH)

NRCLRREQ.- Número de llamadas caídas desde la perspectiva de la MS

TASSUCC.- Número total de peticiones de asignación de VBS/VGCS, Broadcast/Group Channels, por BTS

SINTHINT.- Handovers internos exitosos, intercell, por causa

SUINBHDO.- Handovers salientes inter BSC exitosos por BTS adyacente

TASSATT.- Número total de peticiones de asignación por BTS por tipo de canal

Observaciones:

- Solo contabiliza las llamadas rechazadas debidas al BSS.

- Las llamadas rechazadas por el SMSS pueden ser por *IMEI-Checking*, *IMSI Checking*, y cifrado.

### 2.2.1.1.2 Tasa de no completación de llamadas- Call Setup Failure Rate

Tasa total de fallas en el establecimiento de llamadas con respecto a llamadas extremo a extremo.

Objeto: celda

Formula General:

$$CSFailRate = 1 - (A \times B \times C) \quad (\text{Ec. 2.13})$$

$$A = \frac{ImmAssSucc}{ImmAssAtt - ImmAssNoSeiz} \quad C = \frac{AssSucc}{AssAtt}$$

$$B = \frac{AssAtt}{ImmAssSuccCS} \quad n = \# \text{ GSM neighbour cellrelation}$$

Formula Global:

$$CSFailRate = 1 - (A \times B \times C) \quad (\text{Ec. 2.14})$$

$$A = \frac{NSUCCHPC[1..6,9..14,17..22]}{ATIMASCA[1..14] - \left( SUIMASCA[1..6] - \frac{TACCBPRO[2] - NACSUCPR[2]}{TACCBPRO[2]} - NSUCCHPC[1..6,9..14,17..22] \right)}$$

$$B = \frac{TASSATT[2,3]}{NSUCCHPC[1..4,9..12,17..20] - NSUCCHPC[8,16]}$$

$$C = \frac{TASSUCC[2,3] + SINTHINT[7] + \sum_{n=0}^{31} SUINBDO[10 \times n + 7]}{TASSATT[2,3]}$$

$n = \# \text{ GSM neighbour cellrelation}$

Contadores:

NSUCCHPC.- Asignaciones inmediatas exitosas de canales de señalización.

ATIMASCA.- Peticiones de procesos de asignaciones inmediatas.

SUIMASCA.- Procesos exitosos de asignaciones.

TACCBPRO.- Número total de accesos por proceso (PCH, AGCH)

NACSUCPR.- Número de accesos con un resultado exitoso por proceso (PCH, AGCH, RACH)

TACCBPRO.- Número total de acceso por proceso (PCH, AGCH)

TASSUCC.- Número total de peticiones de asignación de VBS/VGCS, *Broadcast/Group Channels*, por BTS

SINTHINT.- *Handovers* internos exitosos, *intercell*, por causa

SUINBHDO.- *Handovers* salientes *inter* BSC exitosos por BTS adyacente

TASSATT.- Número total de peticiones de asignación por BTS por tipo de canal

### 2.2.1.1.3 Tasa de caídas de canales SDCCH - SDCCH DropRate

Tasa de conexiones perdidas durante una conexión a un canal SDCCH con respecto al número total de asignaciones SDCCH.

Objeto: celda

#### Formula General:

$$SDCCHDropRate = \frac{SDCCHDrop}{Succ\ Im\ nAssigofSignCH} \quad (\text{Ec. 2.15})$$

#### Formula Global:

$$SDCCHDropRate = \frac{NRCLRREQ[19..26]}{NSUCCHPC[1..6]} \quad (\text{Ec. 2.16})$$

#### Contadores:

NRCLRREQ.- Número de llamadas caídas desde la perspectiva de la MS.

NSUCCHPC. - Indicador de establecimiento de llamadas.

#### Observaciones:

- Durante esta fase de conexión entre el móvil y la red; el único fracaso que se puede dar es la interrupción de este *link* debido a SDCCH *drop*. Por lo que SDCCH debe ser monitoreado en la fase de accesibilidad
- Son incluidas las caídas de SDCCH controladas por el MSC
- No son incluidos los *handovers* de SDCCH controlados por el BSC

#### 2.2.1.1.4 Tasa de bloqueo de canales TCH - TCH Blocking Rate

Es el cociente entre el número de intentos de asignación fallidos de TCH por hallarse todos los canales ocupados y el número total de intentos de asignación de TCH. TCH *blocking* afecta directamente en el establecimiento de las llamadas, se aumenta el KPI de *call setup failure*. Toma en cuenta el bloqueo de canales TCH FR y TCH HR.

Objeto: celda

Formula Global:

$$TCHBlockRateDR = TCHBlockRateFR \times FRT + TCHBlockRateHR \times HRT$$

$$= \frac{AALTCHTI[1]}{Granularity \times 60s} \times \frac{MEBUSTCH[1,3]}{MEBUSTCH[1..4]} + \frac{AALTCHTI[4]}{Granularity \times 60s} \times \frac{MEBUSTCH[2,4]}{MEBUSTCH[1..4]}$$

(Ec. 2.17)

Contadores:

AALTCHTI.- TCH disponible

MEBUSTCH.- Número de TCHs ocupados (*halfrate/fullrate*)

Observaciones:

- Se toma como referencia todos los canales ocupados

#### 2.2.1.1.5 Tasa de bloqueos de canales SDCCH - SDCCH Blocking Rate

Tasa de bloqueos de SDCCH tomando como referencia todos los SDCCHs ocupados. Afecta directamente en el establecimiento de la llamada, se aumenta el KPI *call setup failure*, se necesita alguna acción urgente revisando el uso de los recursos de señalización, caso contrario se requiere una ampliación del pool de señalización.

Objeto: celda

Formula Global:

$$SDCCHBlockRate = \frac{ASDCALTI[1]}{Granularity * 60s} \quad (\text{Ec. 2.18})$$

Contadores:

ASDCALTI.- Tiempo no disponible de SDCCH

#### 2.2.1.1.6 Tasa de fallas de asignación - Assignment Failure Rate - TCHLoss

Tasa de fallas de asignación TCH (TCH perdidos)

Objeto: Celda

Formula General:

$$TCHLossRate = \frac{TCHLoss}{AssAtt} \quad (\text{Ec. 2.19})$$

Formula Global:

$$TCHLossRate = \frac{TASSFAIL[8,13]}{TASSATT[2,3]} \quad (\text{Ec. 2.20})$$

Contadores:

TASSATT.- Número total de intentos de asignación.

TASSFAIL.- Número total de asignaciones fallidas.

#### 2.2.1.2 Continuidad de servicio

Para el caso de la continuidad del servicio telefónico se evalúan: la tasa de caídas de los canales de tráfico TCH, la tasa de *handovers* exitosos *intracell*, *intercell* e *interBSC* y la tasa de fallas de *handovers intracell*, *intercell* e *interBSC*.

### 2.2.1.2.1 Tasa de caídas de canales TCH - TCH DropRate

Es el cociente entre el número de llamadas caídas sobre el total de las llamadas cursadas. Se consideran llamadas caídas aquellas en las que se produce su desconexión por causas anormales (el usuario no ha cortado la comunicación) cuando la llamada ya tiene un canal de tráfico asignado.

Objeto: celda

Formula General:

$$TCHDropRate = \frac{TCHDrop}{SuccessTrafficChannelSeizures} \quad (\text{Ec. 2.21})$$

Formula Global:

$$TCHDropRate = \frac{NRCLRREQ[1..3,5..12,14..18]}{SUCTCHSE[1..2]} \quad (\text{Ec. 2.22})$$

Contadores:

NRCLRREQ.- Número de Mensajes *Clear Request*. Cuenta el número de llamadas caídas desde la perspectiva de la MS.

SUCTCHSE.- Asignación exitosa de TCH (*Fullrate/Halfrate*)

Observaciones:

- Tasa de todas las caídas de conexiones de TCH causadas en el BSC por terminación de conexiones de TCH. Es decir no se toman en cuenta las terminaciones de conexión ocasionadas por las MSs.
- No se cuentan TCH *drops* debidas al MSC.

### 2.2.1.2.2 Tasa de handovers exitosos IntraCell - Intra Cell Handover Success Rate - IntraCellHOSuccessRate

El *handover* es el proceso por el cual el móvil cambia de un TCH de una BTS a un TCH de otra BTS, esto le permite al móvil moverse libremente dentro de la red

manteniendo siempre una conexión.

Un *handover intracell* es cuando se cambia de un canal de tráfico a otro de la misma BTS. Se inicia un *handover* de este tipo cuando la calidad del canal es mala. Puede hacerse desde canales de la misma portadora o hacia canales de otra portadora de la misma BTS (cuando se tiene FHO en banda base).

Objeto: celda

Formula General:

$$IntraCellHOSuccessRate = 1 - \frac{IntraCellHOFail}{IntraCellHOAtt} \quad (\text{Ec. 2.23})$$

Formula Global:

$$IntraCellHOSuccessRate = 1 - \frac{UNINHOIA[1..12]}{ATINHIAC[1.12]} \quad (\text{Ec. 2.24})$$

Contadores:

UNINHOIA.- Cuenta el número de *handovers* internos (*intracell*) no exitosos

ATINHIAC.- Cuenta el número de intentos de *handovers* internos (*intracell*)

Observaciones:

Los *handovers* SDCCH son tomados en cuenta en estos contadores

#### 2.2.1.2.3 Tasa de *handovers* caídos IntraCell - Intra Cell Handover Drop Rate

Tasa de *handovers* IntraCell fallidos con pérdida de comunicación en la MS.

Objeto: celda

Formula General:

$$IntraCellHODropRate = \frac{IntraCellHODrop}{IntraCellHOAtt} \quad (\text{Ec. 2.25})$$

Formula Global:

$$IntraCellHODropRate = \frac{UNIHIALC[1]}{ATINHIAC[1.12]} \quad (\text{Ec. 2.26})$$

Contadores:

UNIHALC.- Número de *handovers* internos (*intracell*) no exitosos, con pérdida en la MS

ATINHIAC.- Cuenta el número de Intentos de *handovers* internos (*intracell*)

Observaciones:

Los *handovers* SDCCH son tomados en cuenta en estos contadores.

2.2.1.2.4 Tasa de *handovers* exitosos InterCell - Inter Cell Intra BSC Handover Success Rate - InterCellHOSuccessRate

Si la MS se mueve de un área controlada por una BTS a otra controlada por un distinta BTS, tendrá lugar un *handover* del tipo *InterCellHO*.

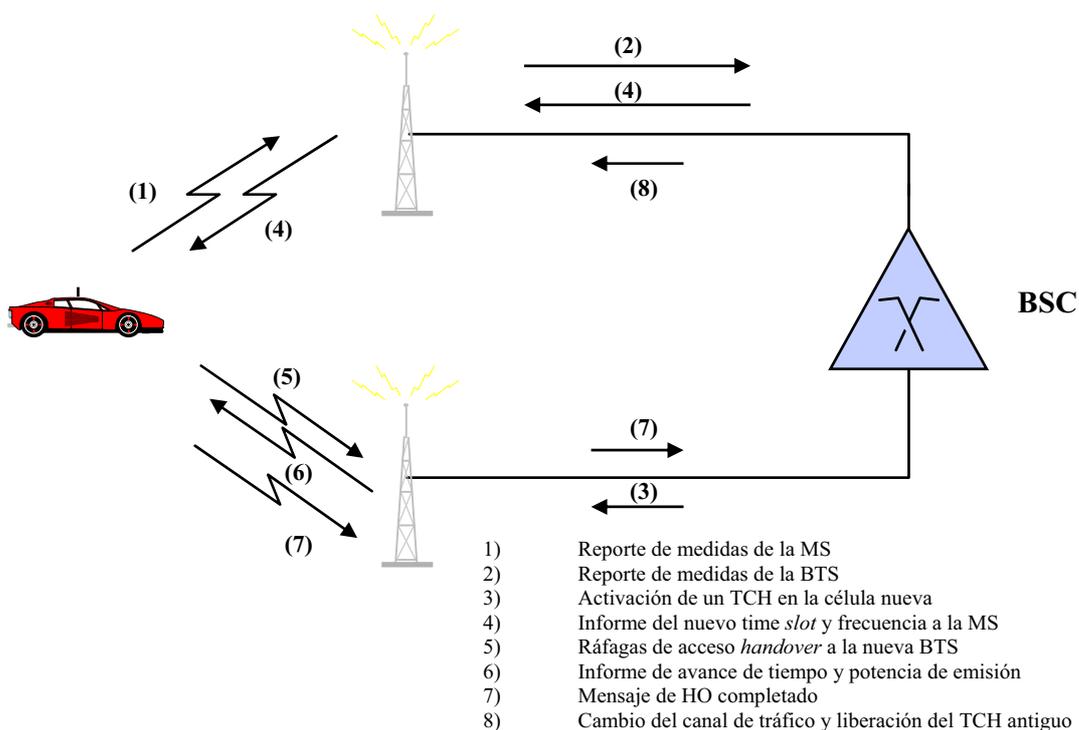


Figura 2.9 Handover InterCell IntraBSC <sup>[23]</sup>

Objeto: Neighbour celda

Formula General:

$$InterCellHOSuccRate[n] = 1 - \frac{InterCellHOFail}{InterCellHOAtt} \quad (\text{Ec. 2.27})$$

siendo  $n$  el número de relación de la celda vecina

Formula Global:

$$InterCellHOSuccRate[n] = 1 - \frac{UNINHOIE[all]}{AOUINIRH[all]} \quad (\text{Ec. 2.28})$$

siendo  $n$  el número de relación de la celda vecina

Contadores:

UNINHOIE.- Cuenta el número de *handovers* internos no exitosos con reconexión al viejo canal a causa de algún problema en la celda destino.

AOUINIRH.- Cuenta el número de peticiones salientes de *handover intercell*.

Observaciones:

- Se tiene que tomar en cuenta la relación con las celdas vecinas.
- Los *handovers* SDCCH son tomados en cuenta en estos contadores

2.2.1.2.5 Tasa de *handovers* caídos InterCell - Inter Cell Intra BSC Handover Drop Rate

Tasa de *handovers* no exitosos entre celdas de una misma BSC que implican pérdida de conexión con la MS.

Objeto: Neighbour celda

Formula General:

$$InterCellHODropRate = \frac{InterCellHODrop[n]}{InterCellHOAtt[n]} \quad (\text{Ec. 2.29})$$

Formula Global:

$$InterCellHODropRate = \frac{\sum_{C=1}^{11} \sum_{i=0}^3 AOUINIRH[n \times 44 + i \times 11 + C] - \sum_{C=1}^{11} \sum_{i=0}^3 SOUINIRH[n \times 44 + i \times 11 + C] - \sum_{C=1}^{11} UNINHOIE[n \times 11 + C]}{\sum_{C=1}^{11} \sum_{i=0}^3 AOUINIRH[n \times 44 + i \times 11 + C]} \quad (\text{Ec. 2.30})$$

Contadores:

AOUINIRH.- Cuenta el número de peticiones salientes de *handover intercell*.

SOUINIRH.- Número de *handovers* salientes *intercell* exitosos por causa, por relación entre celdas vecinas.

UNINHOIE.- Cuenta el número de *handovers* internos no exitosos con reconexión al viejo canal a causa de algún problema en la celda destino.

Observaciones:

- Se tiene que tomar en cuenta la relación con las celdas vecinas.
- Los *handovers* SDCCH afectan estos contadores.
- Existen indicadores que incluyen las causas de HO y se puede tener el número de *handovers* por determinada causa.

2.2.1.2.6 Tasa de *handovers* exitosos InterBSC - Inter Cell Inter BSC Handover Success Rate - InterBSCHOSuccessRate

Si la MS se mueve a un área controlada por una BTS perteneciente a otra BSC, tendrá lugar un *handover* del tipo *InterBSC*.

Objeto: Neighbour celda

Formula General:

$$InterBSCHOSuccRate = 1 - \frac{InterBSCHOFail}{InterBSCHOAtt} \quad (\text{Ec. 2.31})$$

Formula Global:

$$InterBSCHOSuccRate = 1 - \frac{NRUNINHD[all]}{ATINBHDO[all]} \quad (\text{Ec. 2.32})$$

Contadores:

NRUNINHD.-Número de *handovers* salientes *interBSC* no exitosos.

ATINBHDO. - Número de peticiones de *handovers* salientes *interBSC*.

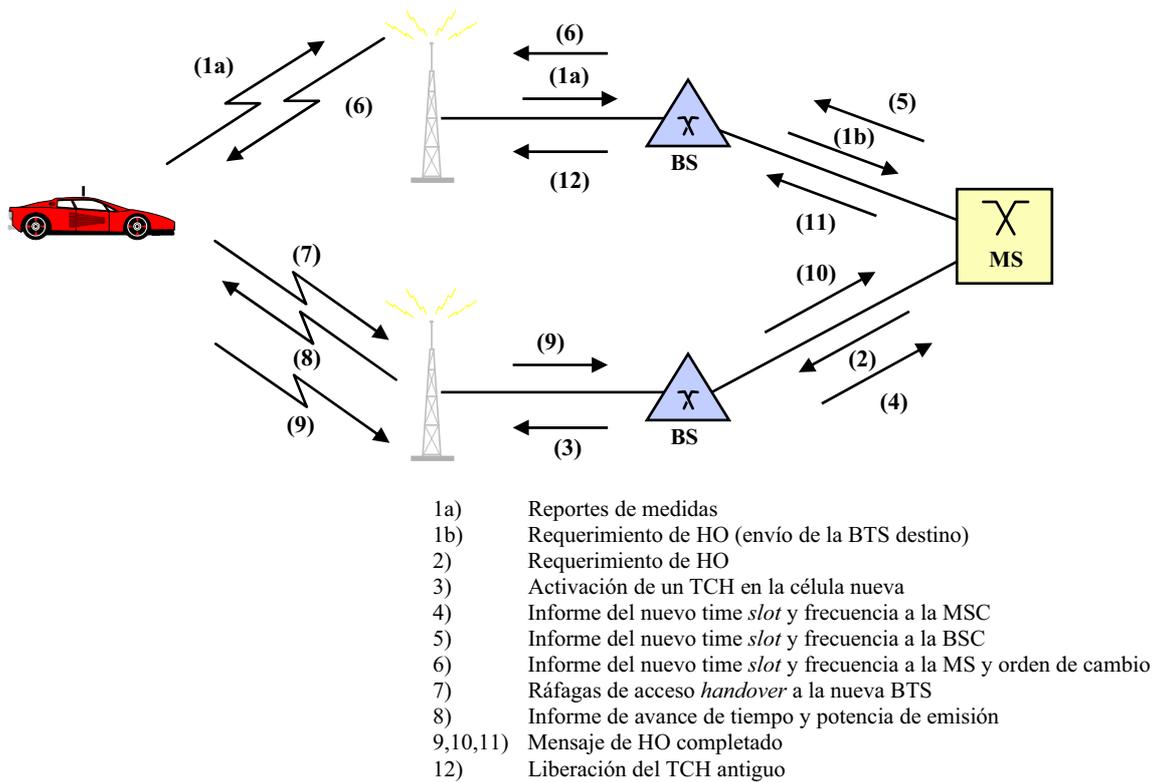


Figura 2.10 Handover InterCell InterBSC <sup>[23]</sup>

Observaciones:

- Existen indicadores que incluyen las causas de HO y se puede tener el número de *handovers* por determinada causa.
- Los *handovers* SDCCH son tomados en cuenta en estos contadores.
- Se tiene que tomar en cuenta la relación con celdas vecinas.

2.2.1.2.7 Tasa de handovers caídos InterBSC - Inter Cell Inter BSC Handover Drop Rate

Tasa de *handovers* no exitosos entre celdas de diferentes BSC que implican pérdida de conexión con la MS.

Objeto: Neighbour celda

Formula General:

$$InterBSCHODropRate[n] = \frac{InterBSCHODrop[n]}{InterBSCHOAtt[n]} \quad (\text{Ec. 2.33})$$

siendo  $n$  el número de relación la celda vecina

Formula Global:

$$InterBSCHODropRate[n] = \frac{\sum_{c=1}^{10} ATINBHDO[n \times 10 + c] - \sum_{c=1}^{10} SUINBHDO[n \times 10 + c] - \sum_{c=1}^{10} NRUNINHD[n \times 10 + c]}{\sum_{c=1}^{10} ATINBHDO[n \times 10 + c]}$$

siendo  $n$  el número de relación la celda vecina

(Ec. 2.34)

Contadores:

ATINBHDO.- Número de peticiones de *handovers* salientes *interBSC*.

SUINBHDO.- *Handovers* salientes *interBSC* exitosos por BTS adyacente.

NRUNINHD.-Número de *handovers* salientes *interBSC* no exitosos.

Observaciones:

- Se incluyen indicadores de las causas de HO y se puede tener el número de *handovers* por determinada causa.
- Los *handovers* SDCCH son tomados en cuenta en estos contadores.

2.2.1.2.8 Tasa de *handovers* caídos - Drop Handover Rate - DropHORate

Tasa de *handovers* fallidos. Da la eficiencia del recurso al transferir a través de la red.

Objeto: Neighbour celda

Formula General:

$$Drop Handover Rate = \frac{Handover Failures}{Handover Attempts} \quad (Ec. 2.35)$$

Formula Global:

$$Drop Handover Rate = \frac{UNIHLAC[1] + (AOUINIRH[all] - SOUINIRH[all] - UNINHOIE[all]) + (ATINBHDO[all] - SUINBHDO[all] - NRUNINHD[all])}{ATINHLAC[1] + AOUINIRH[all] + ATINBHDO[all]}$$

(Ec. 2.36)

Observaciones:

- KPI no incluido en la documentación.
- Definición entregada por *Siemens* por solicitud.

### 2.2.1.3 Calidad

Dentro de la calidad de la voz el parámetro a analizarse es el FER en el *uplink*.

#### 2.2.1.3.1 FER UL

Es el cociente entre el número de tramas erróneas no consecutivas en el canal ascendente (*Reverse FER*) o descendente (*Forward FER*) y el número de tramas de tráfico cursadas. Promedio del valor de FER en el *uplink*

Objeto: TRX

Formula General:

$$MeanFERUL = \frac{CorrelatedFERtoRXQUAL}{CorrelatedFERtoRXQualTotal} \quad (\text{Ec. 2.37})$$

Formula Global:

$$MeanFERUL = \frac{\sum_{i=0}^7 ((i+1) \times CFERRXQU[i \times 8 + 1..i \times 8 + 8])}{CFERRXQU[1..64]} \quad (\text{Ec. 2.38})$$

Contadores:

CFERRXQU.- FER correlacionado a las mediciones de *Rx\_Qual*

Observaciones:

Otra percepción del usuario en el servicio de llamada de voz es la calidad audible. Trazar esta percepción en un indicador es uno de los desafíos para los operadores ya que es un aspecto muy subjetivo.

Un concepto común entre vendedores es el uso de mediciones de *RxQual*. Sin embargo, en redes con DTX las muestras de *RxQual* no representan la experiencia del usuario y una manera más fiable es usando las mediciones de FER. Otros vendedores han desarrollado su propia medida de calidad de voz como el SQI de Ericsson. Otra manera de investigar la calidad de la voz es

tomando las mediciones de MOS, sin embargo no es práctico ni económico en la dinámica de la red. Según los estudios manejados hay una relación fuerte entre FER, SQI y mediciones de MOS que pueden usarse al comparar estas mediciones:

<i>Class</i>	<b>FER</b>	<b>MOS</b>	<b>SQI</b>
0	0% < FER < 0.5%	<i>Excellent</i>	<i>GOOD</i>
1	0.5% < FER < 1%	<i>Excellent</i>	<i>GOOD</i>
2	1% < FER < 2%	<i>Good</i>	<i>GOOD</i>
3	2% < FER < 5%	<i>Aceptable</i>	<i>FAIR</i>
4	5% < FER < 10%	<i>Poor</i>	<i>BAD</i>
5	10% < FER < 20%	<i>Bad</i>	<i>BAD</i>
6	20% < FER < 40%	<i>Bad</i>	<i>BAD</i>
7	40% < FER	<i>Bad</i>	<i>BAD</i>

**Tabla 2.4 Medidas de Calidad** <sup>[22]</sup>

#### 2.2.1.4 Capacidad

Se mide la tasa de ocupación de los canales TCH *half rate* y *full rate*; y la cantidad de tráfico cursado en los canales TCH *half rate*, *full rate* y *dual rate*. Estos últimos se miden en *erlangs*.

##### 2.2.1.4.1 Tasa de tráfico Full Rate - TCH Full Rate Traffic

Tasa de ocupación de canales de TCH a FR referido al tráfico total.

Objeto: Celda

Formula General:

$$FRT = \frac{\text{MeanNumberTCHFR}}{\text{MeanNumberTCHTotal}} \quad (\text{Ec. 2.39})$$

Formula Global:

$$FRT = \frac{\text{MEBUSTCH}[1,3]}{\text{MEBUSTCH}[1..4]} \quad (\text{Ec. 2.40})$$

Contadores:

MEBUSTCH.- Número medio de canales TCH ocupados

Observaciones:

KPI usado para el cálculo de TRX por celda

2.2.1.4.2 Tasa de tráfico Half Rate -TCH Half Rate Traffic

Tasa de ocupación de canales de TCH a HR referido al tráfico total.

Objeto: Celda

Formula General:

$$FRT = \frac{MeanNumberTCHHR}{MeanNumberTCHTotal} \quad (\text{Ec. 2.41})$$

Formula Global:

$$FRT = \frac{MEBUSTCH[2,4]}{MEBUSTCH[1..4]} \quad (\text{Ec. 2.42})$$

Contadores:

MEBUSTCH.- Número medio de canales TCH ocupados

Observaciones:

KPI usado para el cálculo de TRX por celda

2.2.1.4.3 Tráfico cursado por canales TCH Full Rate - TCH Traffic Carried Full Rate

Tráfico cursado por la celda a FR. Se mide en *erlangs*.

Objeto: Celda

Formula Global:

$$TCHTrafcarrFR = MEBUSTCH[1,3] \quad (\text{Ec. 2.43})$$

Contadores:

MEBUSTCH.- Número medio de canales TCH ocupados

2.2.1.4.4 *Tráfico cursado por canales TCH Half Rate -TCH Traffic Carried Half Rate*

Tráfico cursado por la celda a HR. Se mide en *erlangs*.

Objeto: Celda

Formula Global:

$$TCHTrajCarrFR = MEBUSTCH[2,4] \quad (\text{Ec. 2.44})$$

Contadores:

MEBUSTCH.- Número medio de canales TCH ocupados

2.2.1.4.5 *Tráfico cursado por canales TCH Dual Rate-TCH Traffic Carried Dual Rate*

Tráfico cursado por la celda. Se mide en *erlangs*.

Objeto: Celda

Formula Global:

$$TCHTrajCarrFR = MEBUSTCH[1..4] \quad (\text{Ec. 2.45})$$

Contadores:

MEBUSTCH.- Número medio de canales TCH ocupados

### 2.2.1.5 Disponibilidad BTS

#### 2.2.1.5.1 *Tranceiver Availability*

Se mide la disponibilidad de los TRXs

Objeto: TRX

Formula Global:

$$TRXAvail = \frac{TRANAVTI[1]}{Granularity * 60s} \quad (\text{Ec. 2.46})$$

Contadores:

TRANAVTI.- Tiempo de disponibilidad *Transceiver*

Observaciones:

Ayudan a determinar si existe falla de *hardware* en los TRXs.

### 2.2.1.6 Utilización Canales

#### 2.2.1.6.1 *Utilización de canales SDCCH*

Los canales SDCCH incluyen la comprobación de identidad del abonado, autenticación del móvil, el número al que se llama y el establecimiento de los parámetros necesarios para el cifrado de la conversación, IMSI *Attach/Detach*, indicación del valor del nuevo LAC en el que quiere registrarse el móvil, envío/recepción de SMS. Además los SDCCH tienen canales SACCH asociados en los que se transmite información asociada a los SDCCH como medidas de nivel y calidad en los SDCCH.

Objeto: Celda

Formula Global:

$$SDCCHTrajUtil = \frac{MBUSYSDC[1]}{A} \quad (\text{Ec. 2.47})$$

*Erlang B formula*

$$A = f(N, B) = f(NDESDCCH[2], B)$$

*A = Offered Load in Erlang*

*B = Blocking Probability*

Contadores:

MBUSYSDC.-Número promedio de ocupación de SDCCH.

NDESDCCH.- Número de SDCCH definidos.

### 2.2.2 CRITERIO DE LA ENTIDAD REGULADORA

En el Ecuador, la Superintendencia de Telecomunicaciones (SUPTTEL) es el organismo estatal de control técnico de las empresas que explotan servicios de telecomunicaciones, siendo el cuerpo legal para el presente caso: La Ley Especial de Telecomunicaciones, El Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada, el Reglamento para el Servicio de Telefonía Móvil Celular y los convenios para verificar la calidad de servicio suscritos entre la SUPTTEL y las operadoras.

En lo pertinente a la calidad de servicio se transcribe textualmente a continuación el artículo 28 del Reglamento para el Servicio de Telefonía Móvil Celular:

“Art. 28.- Parámetros mínimos de calidad del servicio.- La Operadora presentará a la Superintendencia de Telecomunicaciones informes trimestrales sobre los siguientes parámetros mínimos de calidad de servicio:

- a. Reutilización de frecuencias con un diseño de cobertura basado en una relación portadora a interferencia mayor o igual que 17dB, para sistemas digitales y mayor o igual a 24dB para sistemas analógicos;
- b. Grado de servicio del canal de acceso <UN> 1 % (menor o igual que uno por ciento);

- c. Grado de servicio del canal de voz <UN> 2% (menor o igual que dos por ciento), según la Tabla de Erlang B, en la hora cargada de cada estación del sistema.
- d. Grado de servicio de las troncales hacia la red telefónica pública <UN> 1% (menor o igual que uno por ciento);
- e. Bloqueo de llamadas transferidas (Hand-Off) <UN>2% (menor o igual que dos por ciento).
- f. Caída de llamadas: Si durante la hora cargada se establecen Q llamadas en una hora y n llamadas se caen, con lo cual Q-n se mantienen, entonces el porcentaje de caída de llamadas es  $n \times 100/Q$ . Se establece un valor no mayor que 2% para estaciones con celda o celdas adyacentes en todo su perímetro, no mayor que 5% para estaciones con celda o celdas adyacentes, pero que éstas no cubran el perímetro total de la estación, y no mayor que 7% para estaciones sin celdas adyacentes; y,
- g. Llamadas completadas: La tasa de completación de las llamadas, será superior al 60% hacia abonados fijos y superior al 80% hacia abonados celulares. “

Se cita también el artículo 32 del mismo reglamento referente a la encuesta de calidad de servicio:

“Art. 32.- Encuesta de calidad del servicio.- La Operadora contratará una empresa encuestadora la que será seleccionada entre firmas encuestadoras profesionales inscritas en la Superintendencia de Telecomunicaciones. La encuestadora evaluará semestralmente la opinión del usuario con relación a:

- Calidad del servicio, incluyendo calidad de voz.
- Atención al cliente.
- Sistema de facturación.
- Sistema de venta.
- Número de reclamos y reparación.
- Relación Operadora-usuario.
- Otros parámetros que requiera la Operadora.

El formulario de preguntas será aprobado por la Superintendencia de Telecomunicaciones cada semestre, previo a la realización de la encuesta.

La encuestadora remitirá los resultados directamente a la Operadora y a la Superintendencia de Telecomunicaciones quien informará al CONATEL.”

La primera observación que puede hacerse al respecto del marco legal es que el Reglamento de Telefonía Móvil Celular de 1998 es inaplicable al momento, puesto que los parámetros de calidad son inexistentes y no son válidos para las nuevas tecnologías celulares, lo cual de acuerdo a información proporcionada por la empresa es reconocido por la SUPTEL. El criterio que se maneja es que serían aplicables los estándares internacionales.

Por ello se han suscrito convenios entre la SUPTEL y las operadoras CONECEL y OTECEL, el 28 de Mayo y en Junio del 2003, a fin de poder realizar un control más efectivo de la QoS. La suscripción de estos convenios ha facilitado la elaboración del Plan de Control Integral del Servicio de Telefonía Móvil Celular que comprende la verificación de estos parámetros de calidad, la medición continua de la calidad del servicio y la supervisión del contrato de la siguiente manera:

- Verificaciones de parámetros 2 veces al año de acuerdo al Plan de Control del Servicio de Telefonía Móvil Celular y la elaboración de sus respectivos informes.
- Para el control de la calidad del servicio se ha previsto que luego de un mes de que se ha ejecutado el Plan previsto en el ítem anterior, las regionales debe realizar verificaciones acerca de la calidad del servicio que presta la operadora, de conformidad con los siguientes indicadores:
  - Quejas de los usuarios recibidas.
  - Encuestas de Calidad del servicio realizadas por la SUPTEL y por la Operadora.
  - Modelos de Difusión y público en general.

- Problemas detectados durante la ejecución del Plan de Control del STMC.

Parámetro	Procedimiento
Reutilización de frecuencias con diseño de cobertura basado en relación portadora a interferencia mayor o igual 17 dBm para sistemas digitales y 24 dBm para análogos	Mediciones de Campo
Grado de servicio del canal de voz menor o igual que 2%	Mediciones de campo y datos obtenidos de la Central
Grado de Servicio de troncales hacia la red telefónica publica menor o igual al 1 %	Datos obtenidos de la Central
Bloqueo de llamadas transferidas HandOff o igual al 2%	Mediciones de campo y datos obtenidos de la Central
Caídas de llamadas	Mediciones de campo y datos obtenidos de la Central

**Tabla 2.5 Parámetros de calidad acordados entre la SUPTEL y las operadoras** <sup>[30]</sup>

La verificación de contratos, control de instalación de cabinas telefónicas y el control del espectro radioeléctrico estarán a cargo de las Intendencias Regionales y la Delegación Centro.

Los parámetros de calidad a medirse en base a estos acuerdos se indican en la Tabla 2.5.

### 2.2.3 VALORES DE LOS INDICADORES CRÍTICOS

En base a la información descrita a lo largo de este capítulo y a los criterios y recomendaciones emitidas por el fabricante y el departamento de calidad & procesos, se definen los siguientes valores de los indicadores críticos de calidad esperados para cada tipo de BTS GSM:

Para definir los valores estadísticos para la evaluación de la calidad de la red, por cada uno de los indicadores (KPI) se obtienen datos de la hora pico por sector y

se realiza un promedio de los 5 días hábiles de cada semana. Excluyéndose los días atípicos, festivos y feriados.

KPI	Urbano	Suburbano	Rural
TCH Drop Rate	≤ 2 %	≤ 5 %	≤ 7 %
SDCCH Drop Rate	≤ 3 %	≤ 3 %	≤ 3 %
IntraCellHO Success Rate	≥ 96 %	≥ 92 %	≥ 90 %
InterCellHO Success Rate	≥ 94 %	≥ 90 %	≥ 80 %
InterBSCHO Success Rate	≥ 90 %	≥ 85 %	≥ 75 %
Drop Handover Rate	≤ 2 %	≤ 5 %	≤ 7 %
TCH Blocking Rate	≤ 2 %	≤ 2 %	≤ 2 %
SDCCH Blocking Rate	≤ 1 %	≤ 1 %	≤ 1 %
Utilización SDCCH	≤ 95 %	≤ 95 %	≤ 95 %
FER UL (% FER < 1%)	≥ 90 %	≥ 88 %	≥ 85 %
CSSuccRateBSS	≥ 97 %	≥ 97 %	≥ 97 %

**Tabla 2.6 Valores de los indicadores críticos** <sup>[22]</sup>

Debe entenderse como celdas de tipo urbano aquellas que tengan configuradas vecindades alrededor de todo su perímetro, suburbanas aquellas que tengan alguna o algunas vecindades y como celdas rurales aquellas que no dispongan de vecindades.

### **2.3 SELECCIÓN DE LA APLICACIÓN PARA EL MONITOREO DE LOS INDICADORES DEL *PERFORMANCE* DE LA RED**

En esta sección se describe el procedimiento ejecutado en el desarrollo de la aplicación para el monitoreo de los KPIs escogidos, se explica en primer lugar los pasos necesarios para la obtención de los datos estadísticos de los indicadores a ser monitoreados en cada uno de los elementos de red involucrados; posteriormente se expone el tratamiento que se ha dado a estos datos dentro de la aplicación desarrollada para visualizar de manera fácil las alarmas, que indican si alguna de las estaciones ha superado el umbral de alguno de los KPIs.

### 2.3.1 DESCRIPCIÓN DE LA APLICACIÓN

En el NOC (*Network Operation Center*) la tarea fundamental es el monitoreo continuo de las fallas en el funcionamiento de los componentes de la red, pero existe la necesidad del monitoreo continuo del *performance* de la red y específicamente del enlace radio; lo deseable es que este monitoreo se realice a través de alguna alarma de tipo visual que indique si en alguna de las estaciones, se ha superado el umbral de alguno de los KPIs, esta información podría ayudar a anticipar alguna eventual falla dentro de la red radio; además servirá para el trabajo habitual del departamento de optimización.

La planificación del desarrollo de la aplicación prevista debió en primer lugar decidir de cual de los componentes o base de datos de la red se tomarían los datos estadísticos de los KPIs, posteriormente se ocupó del mecanismo de tratamiento de esta información y finalmente la manera de visualizar las alarmas que se generen.

#### 2.3.1.1 Descripción de la adquisición de datos

Para la adquisición de los datos estadísticos la primera opción prevista fue la de realizar consultas directamente a las base de datos propias de los componentes de la red dentro del OMS; esta posibilidad tuvo que ser descartada, debido al impedimento de acceder directamente a esos recursos por exigencia expresa del fabricante por motivos de garantía y políticas de seguridad informáticas propias de la empresa.

La opción que finalmente se utilizó fue la de adquirir los datos a través de una herramienta intermedia propia del fabricante llamada *Spots*, la cual permite monitorear el desempeño de la red a nivel de estaciones base y entrega la información de los datos estadísticos en formato de texto; luego de estudiar la filosofía de *Spots* se realizaron las siguientes tareas:

- Para *Spots*, cada componente o grupo de componentes de red es definido como un “objeto”, por lo cual fue necesario crear grupos de objetos por cada estación base, agrupando los sectores correspondientes a cada estación y promediando sus valores estadísticos.
- En *Spots* las fórmulas de los KPIs, se conocen como “contadores virtuales”; los cuales tuvieron que ser construidos en base a las fórmulas de cada KPI de acuerdo a los contadores que los conforman.
- Los resultados del monitoreo de las estaciones con sus respectivos valores para cada uno de los KPIs, se agrupan dentro de un reporte. En este reporte se agrupan las BTSs (objetos virtuales) y los KPIs (contadores virtuales) a ser monitoreados; además se definen los rangos de tiempo del reporte, la manera en la que se presentarán los datos (para este caso un archivo de Excel) y la ubicación dentro del sistema de archivos en el servidor *Spots*, en la cual será guardado el reporte.
- El *Spots* permite definir la frecuencia de entrega de un reporte, a través de la creación de un “*job*”, en el cual debe incluirse una o más tareas, “*task*” dentro del ámbito de *Spots*; cada tarea no es más que uno de los reportes creados o de los reportes por defecto de *Spots* que se ha seleccionado; además el “*job*” define la frecuencia de la tarea (cada hora en este caso) y la hora de inicio de la ejecución.

### 2.3.1.2 Descripción de la aplicación de monitoreo de los KPIs

Posteriormente es necesario recuperar el archivo de salida del reporte entregado cada hora por el *Spots*, para lo cual se procede a realizar una transferencia del archivo (*ftp*) del reporte desde el servidor de *Spots* hacia la máquina local en donde correrá la aplicación. Es necesario que el *ftp* sea ejecutado cada hora, para lo cual se usa la herramienta “tareas programadas”, dentro del Panel de Control del *Windows XP*.

La aplicación para el monitoreo de los KPIs fue desarrollada bajo *Visual Basic 6.0* y con el uso de macros para *Office*; está diseñada para leer los datos correspondientes a la última hora dentro del archivo entregado; para cada uno de los KPIs lee los datos de todas las BTSs y los compara con los umbrales respectivos diferenciando el tipo de estación entre urbana, suburbana y rural; creando arreglos de las estaciones alarmadas, cuya manipulación posterior permite encender las alarmas y mostrar los nombres correspondientes de dichas BTSs. También es posible que la aplicación trate a los datos independientemente para cada provincia.

Dentro de la aplicación, la interfaz principal consta de un mapa político del Ecuador, en el cual automáticamente y de acuerdo a la frecuencia definida se encenderán las alarmas correspondientes a todas las BTSs cuyos KPIs hayan superado sus respectivos umbrales definidos; se tiene también al lado derecho de la interfaz principal un listado en orden alfabético de los nombres de todas las BTSs alarmadas para cada uno de los indicadores en forma de columnas. En la parte inferior izquierda se encuentra un menú con un grupo de botones de color azul, que permiten encender independientemente para cada KPI las alarmas de las BTSs respectivas; y un grupo de botones color marrón que permiten visualizar independientemente para cada KPI las listas respectivas de los nombres de las BTSs alarmadas.

Además en la interfaz principal de la aplicación se han programado vínculos a las 22 interfaces individuales correspondientes a cada una de las provincias del Ecuador, al dar un *clic* sobre el mapa sensible de cada provincia se presenta la vista individual de la provincia correspondiente, con sus respectivas alarmas.

Las interfaces individuales de las provincias se han diseñado con la misma lógica de la interfaz principal, es decir muestran el mapa correspondiente a la provincia y las BTSs alarmadas en dicha provincia, las listas de los nombres de las BTSs alarmadas correspondientes a cada KPI, así como los grupos de botones que funcionan de la manera ya explicada. A más de ello se tiene un botón color amarillo con la forma del Ecuador que permite volver a la interfaz principal.

El programa está diseñado para leer automáticamente los datos y actualizar las alarmas cada hora.

Además toma en cuenta la diferencia entre los distintos valores de umbrales para estaciones urbanas, suburbanas y rurales.

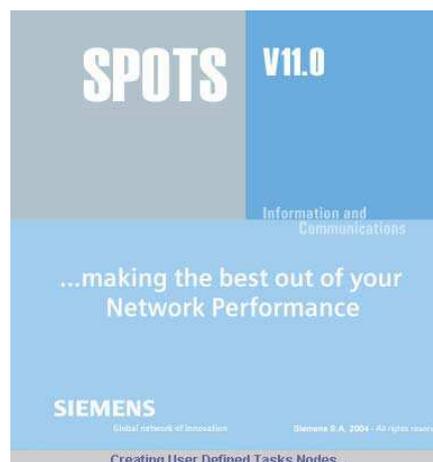
## 2.3.2 DESARROLLO DE LA APLICACIÓN

Se presenta a continuación los gráficos correspondientes a la adquisición de los datos a través del *Spots*; así como los gráficos de la aplicación desarrollada para el monitoreo de los KPIs.

### 2.3.2.1 Adquisición de datos

#### 2.3.2.1.1 Creación de grupos de objetos

En primer lugar, se debe iniciar la aplicación *Spots*



**Figura 2.11** Pantalla de inicio del *Spots*

Se escoge el menú **PM Entities / Set of Objects**

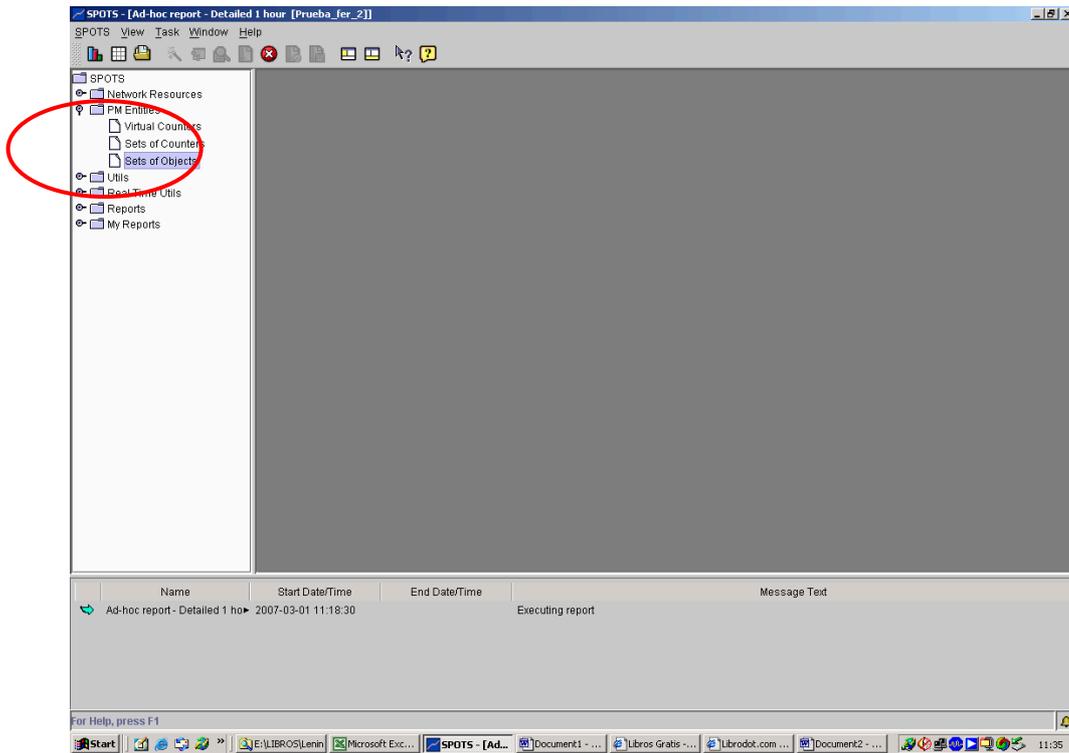


Figura 2.12 Menú PM Entities/Set of Objects

En la ventana *Set of Objects*, se escoge **Private**

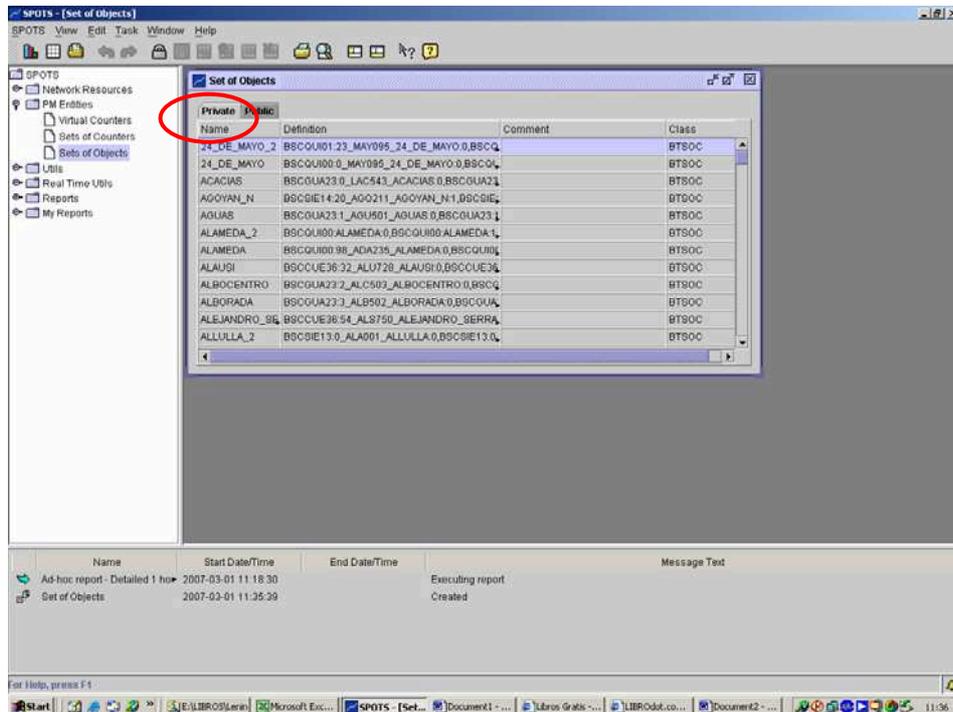


Figura 2.13 Set of Objects /Private

Se cambia el modo de la ventana a **modo Escritura**

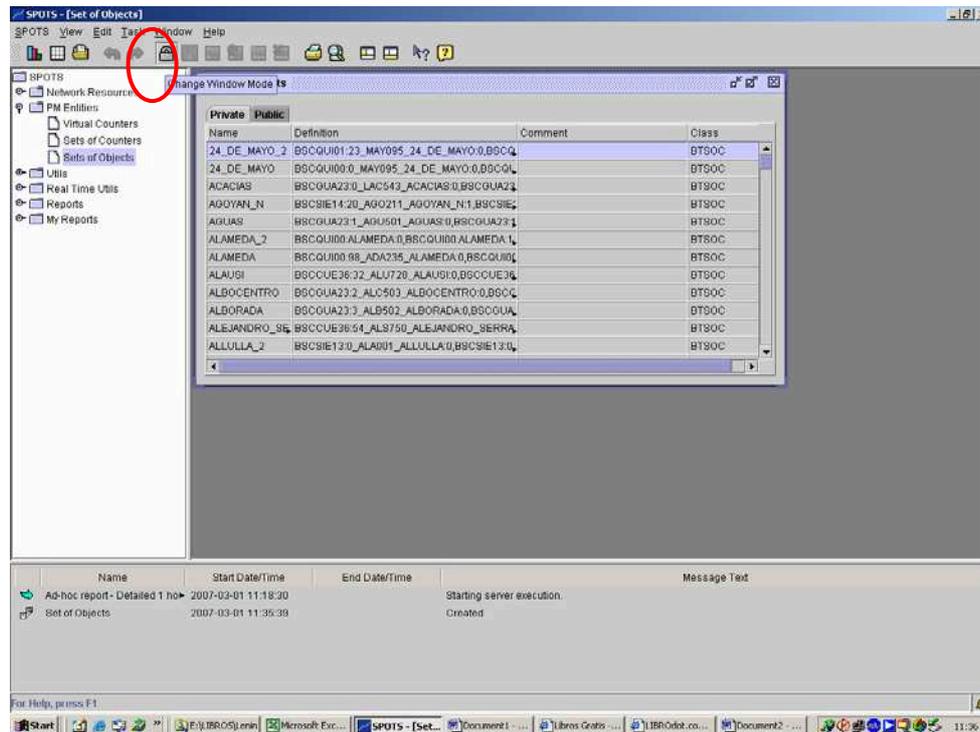


Figura 2.14 Modo de escritura del *Set of Objects*

Se crea un *set* de objetos a través del *Wizard*

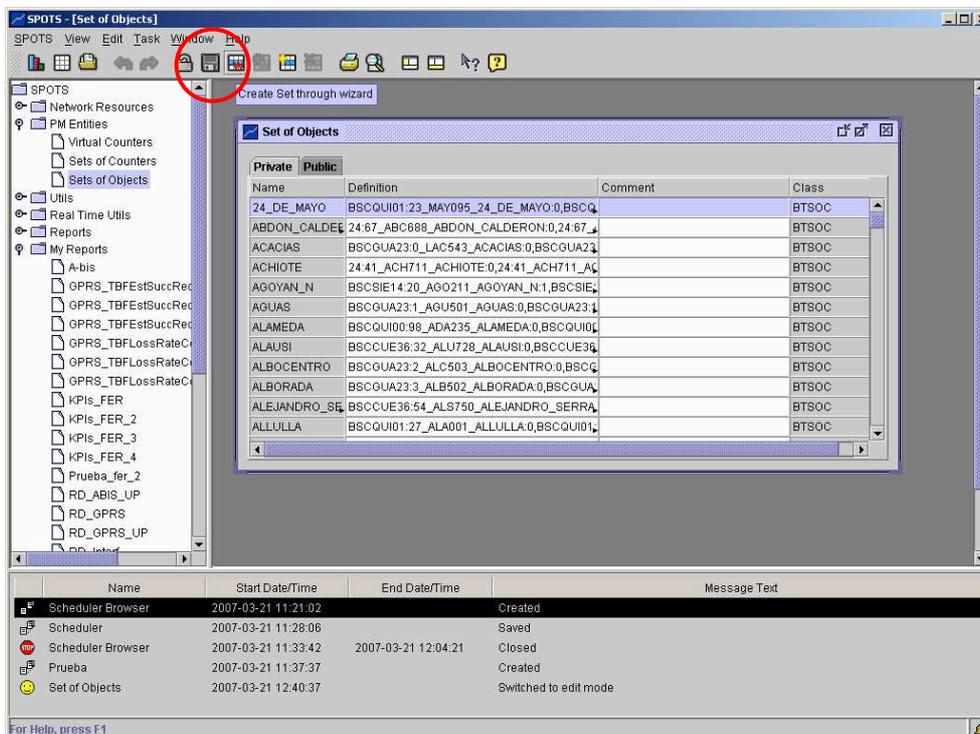


Figura 2.15 Creación *Set of Objects* con el *wizard*

Se escribe el **nombre** del set de objetos, correspondientes a cada BTS; de manera opcional se escribe un **comentario**.

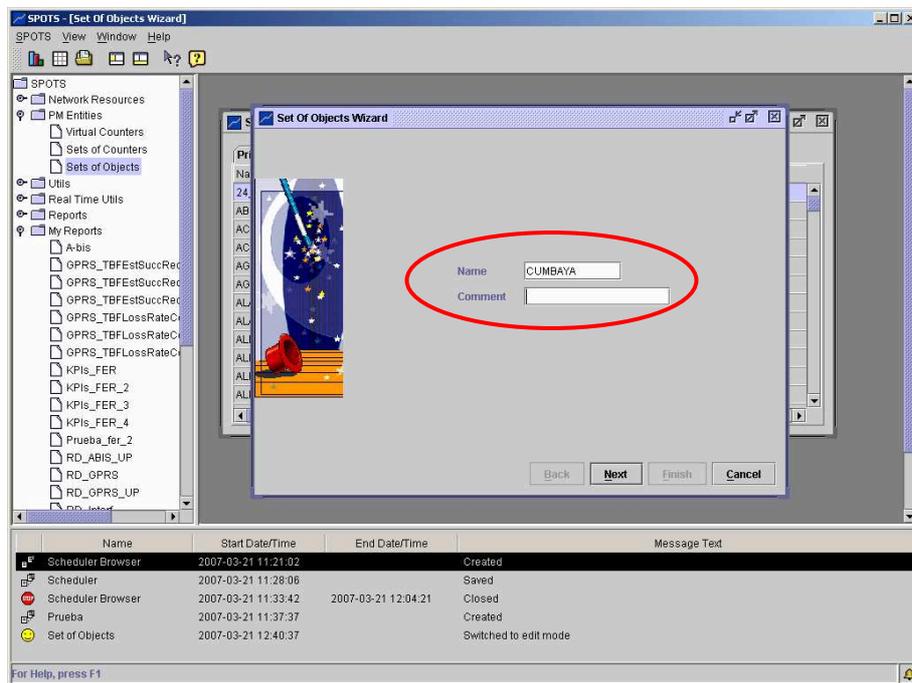


Figura 2.16 Nombre y comentario del *Set of Objects*

Dentro del árbol de objetos se escoge **BTSOC** e *Instances*, para desplegar la lista de sectores.

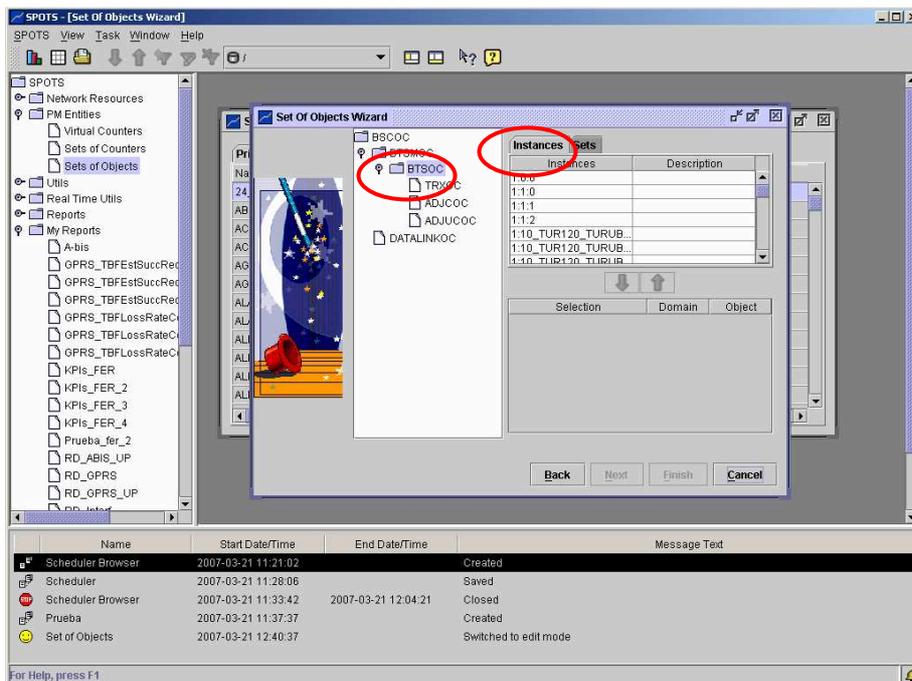


Figura 2.17 Lista de los sectores existentes

Se señalan los sectores pertinentes, y se presiona la flecha hacia abajo para seleccionarlos

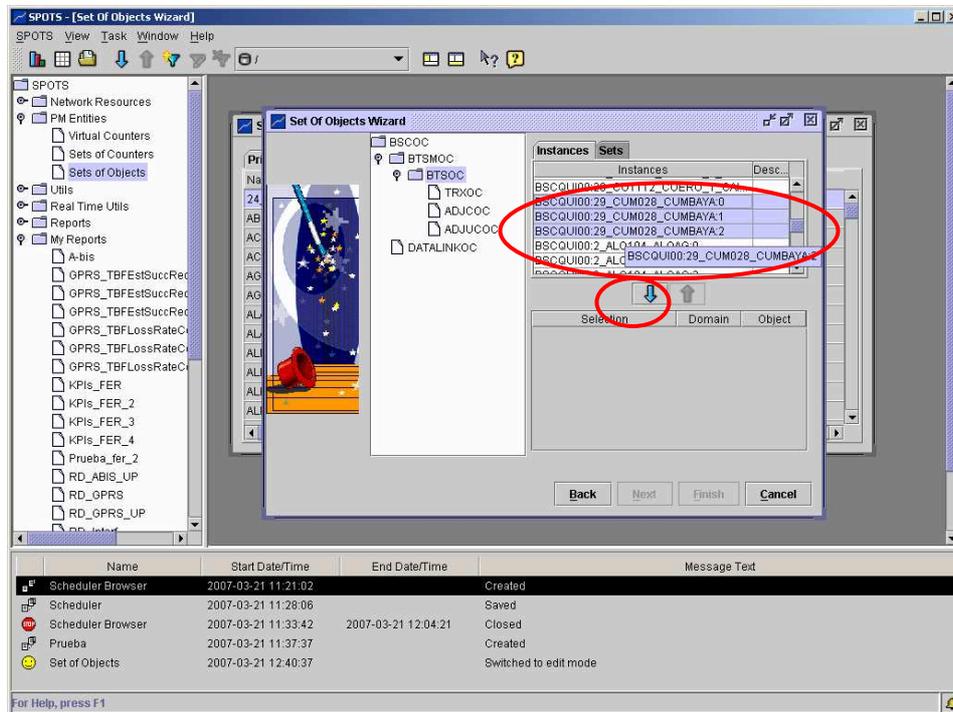


Figura 2.18 Selección de los sectores pertenecientes a una BTS

Una vez seleccionados los sectores correspondientes, se presiona **Finish**

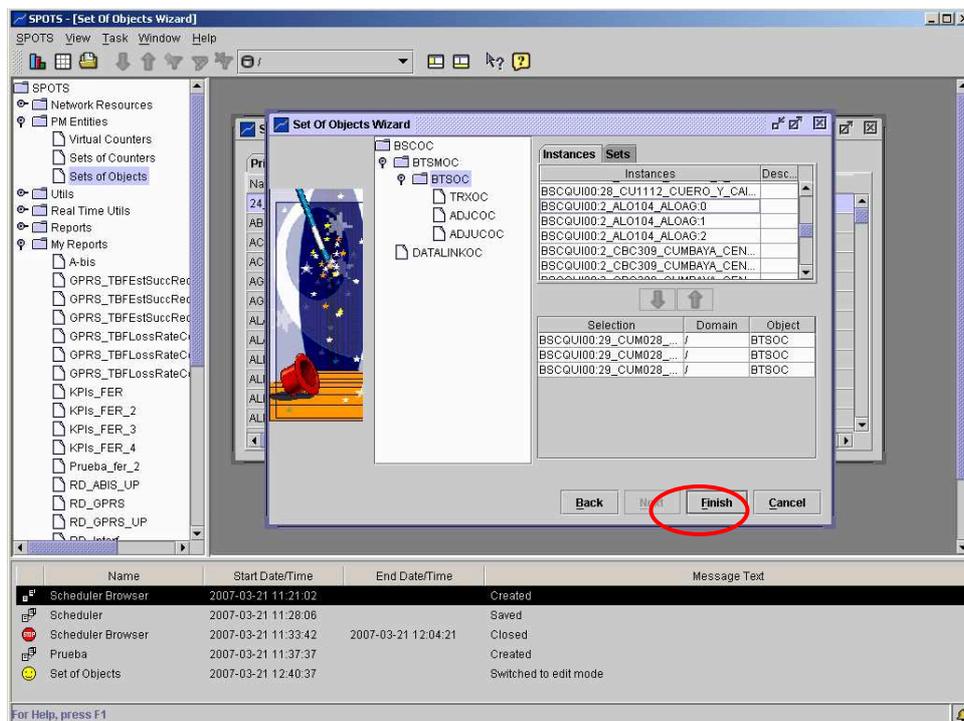


Figura 2.19 Fin del procedimiento Set of Objects

Tardará unos instantes en crear el objeto, finalmente se debe guardar los cambios

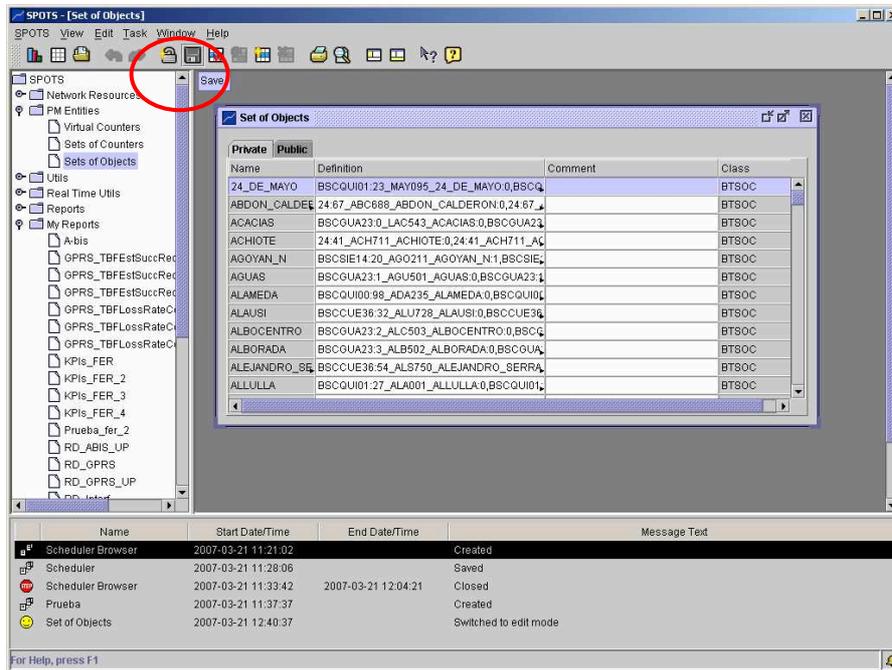


Figura 2.20 Guardar los cambios

### 2.3.2.1.2 Creación de contadores virtuales

Se escoge el menú **PM Entities / Virtual Counters**

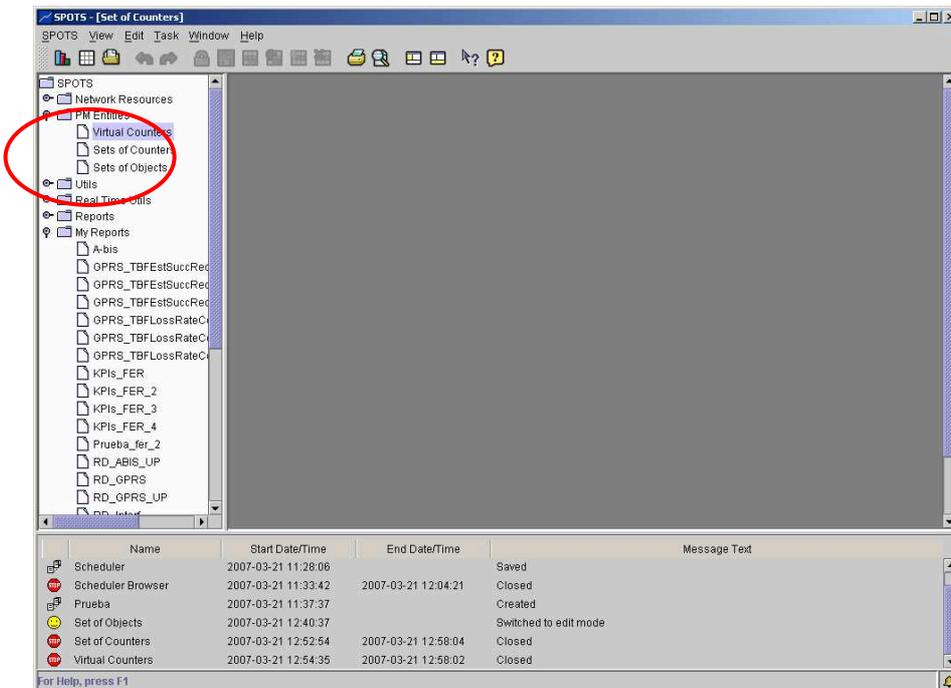


Figura 2.21 Menú PM Entities / Virtual Counters

En la ventana *Virtual Counters*, se escoge **Private**

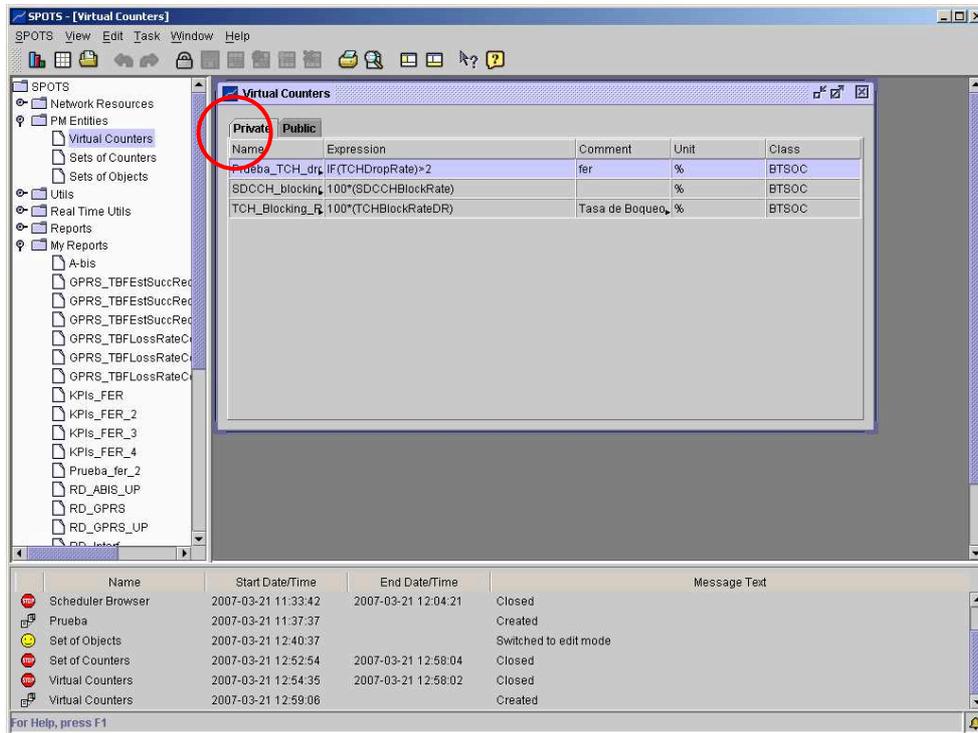


Figura 2.22 Virtual Counters / Private

Se cambia el modo de la ventana a modo **Escritura**

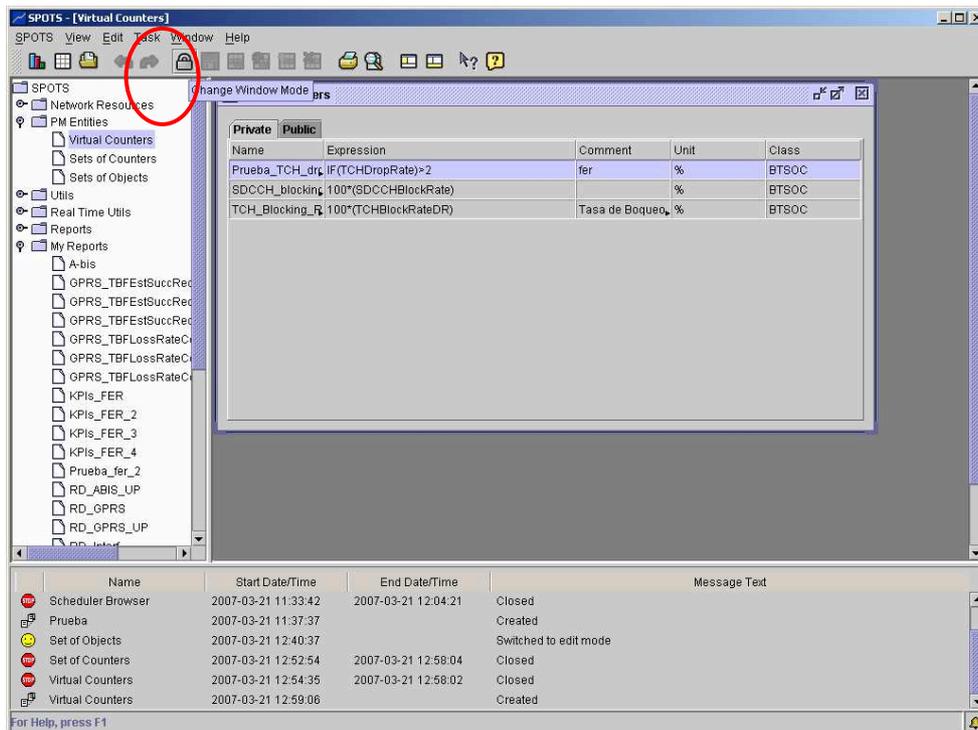


Figura 2.23 Modo de escritura de *Virtual Counters*

Se crea un contador virtual a través del *Wizard*

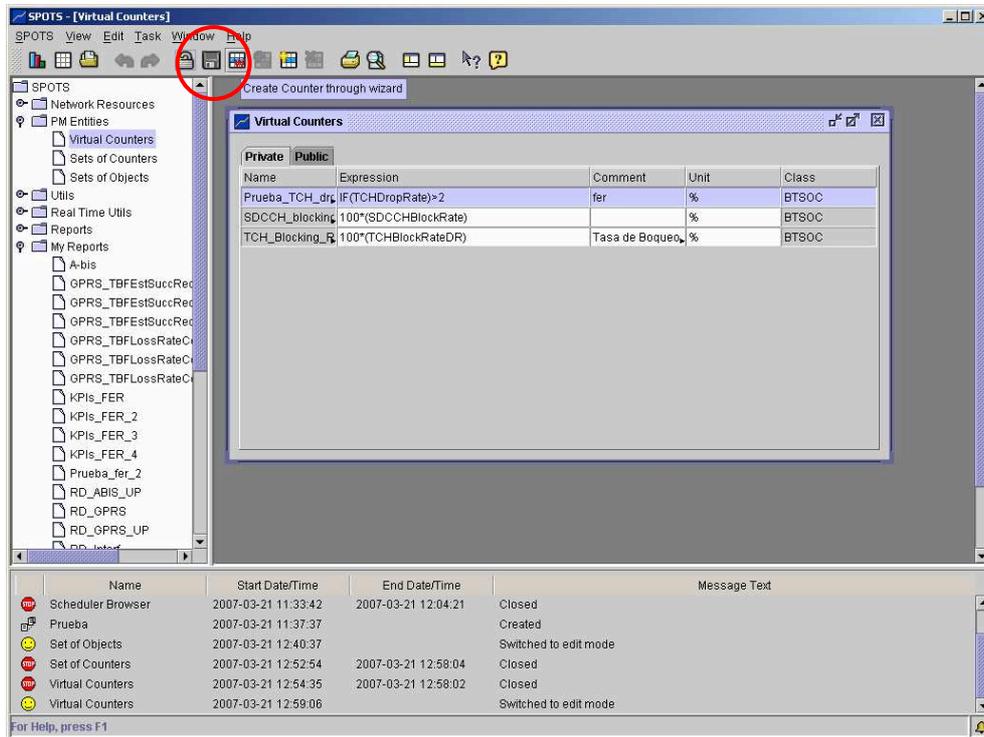


Figura 2.24 Creación de *Virtual Counters* con el *wizard*

Se asigna el **nombre** del KPI, de manera opcional se escribe un **comentario**.

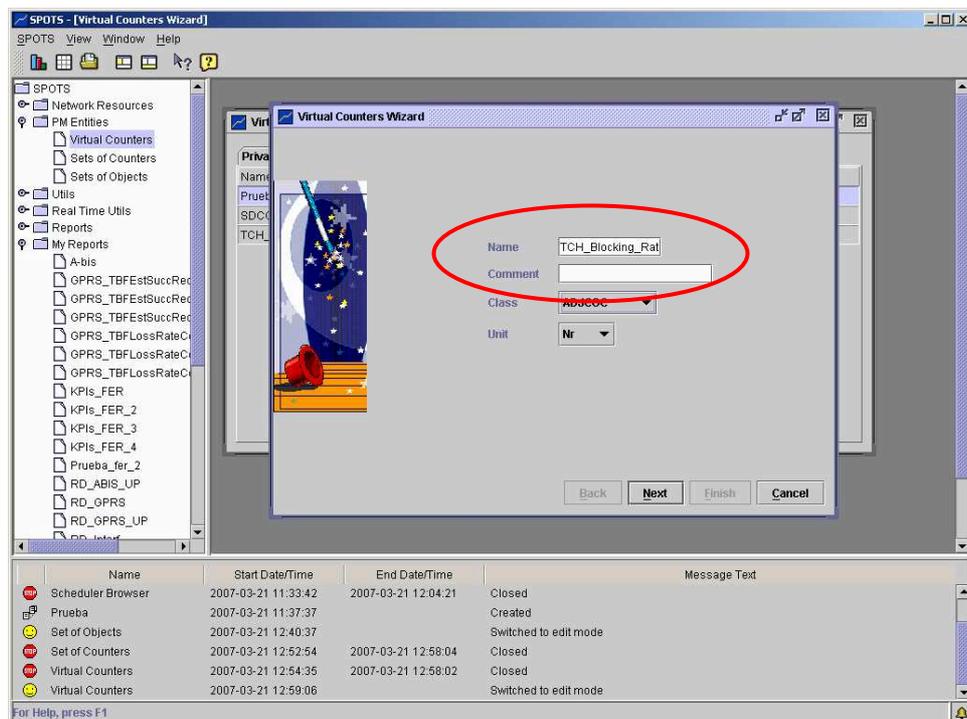


Figura 2.25 Nombre y comentario del *Virtual Counter*

Se escoge la **clase** del objeto de red para el KPI, para el caso **BTSOC**

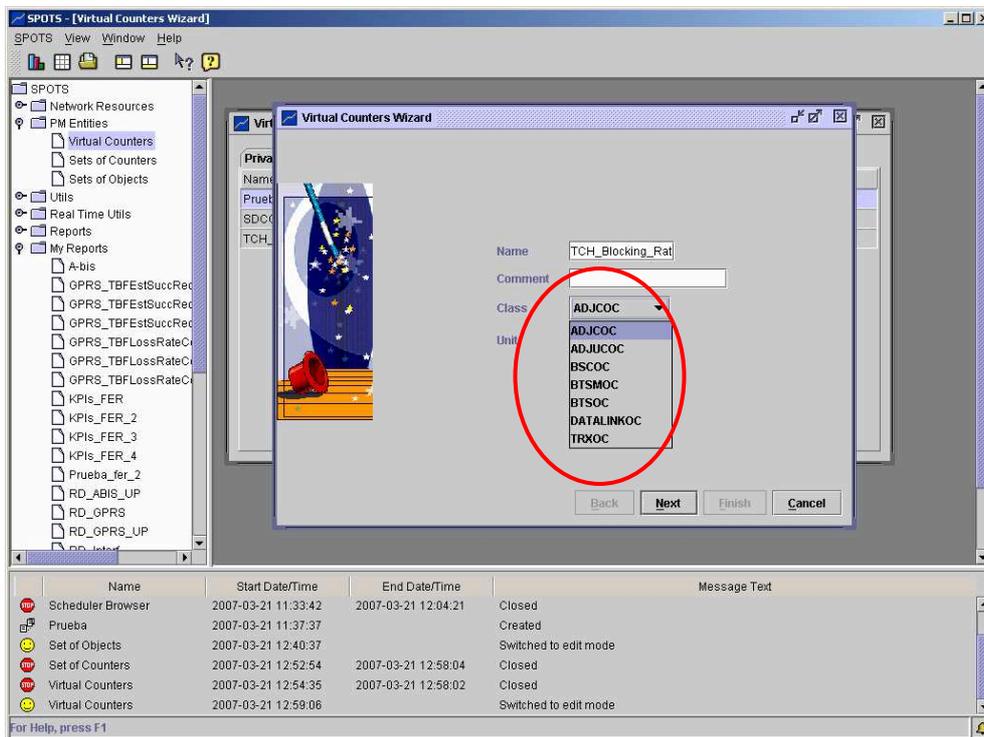


Figura 2.26 Tipo de objeto del *Virtual Counter*

Se escoge la **unidad** para el KPI, para el caso **%**

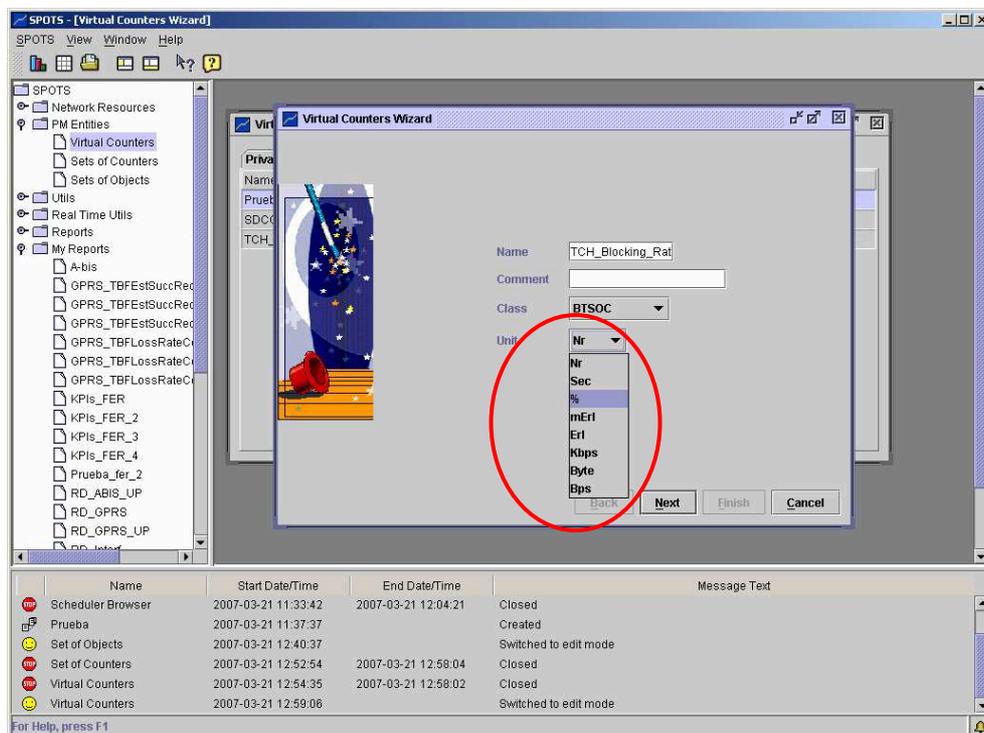


Figura 2.27 Unidad del *Virtual Counter*

Se da un *click* en **Next**

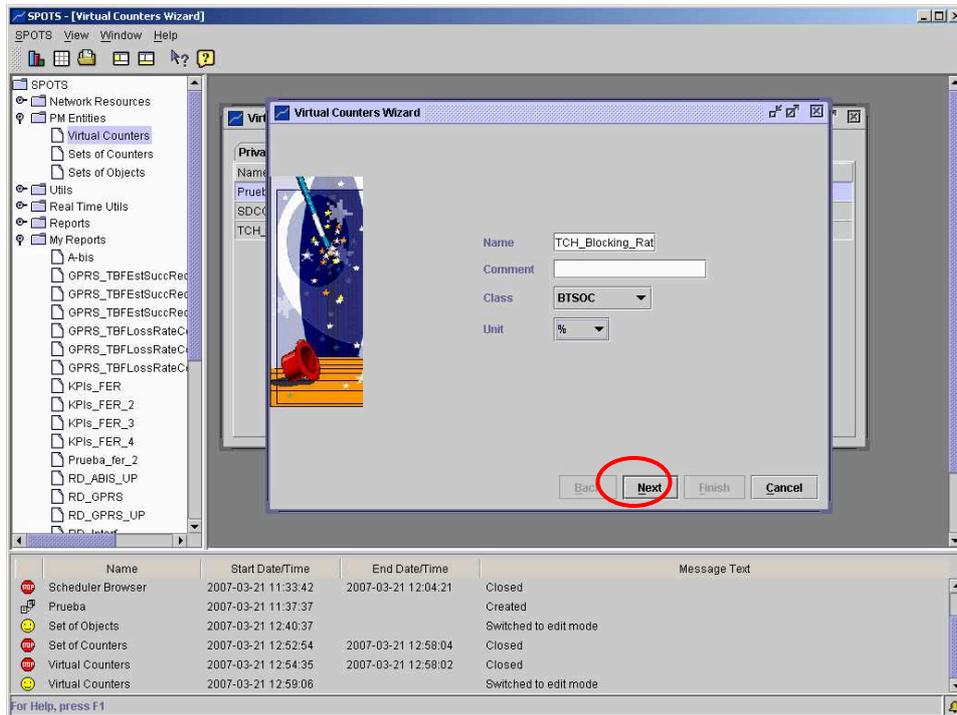


Figura 2.28 Next en el wizard

Dentro de **Measurements**, se escogen los contadores pertinentes para crear cada fórmula, se los señala y se da *click* en la **flecha hacia abajo**.

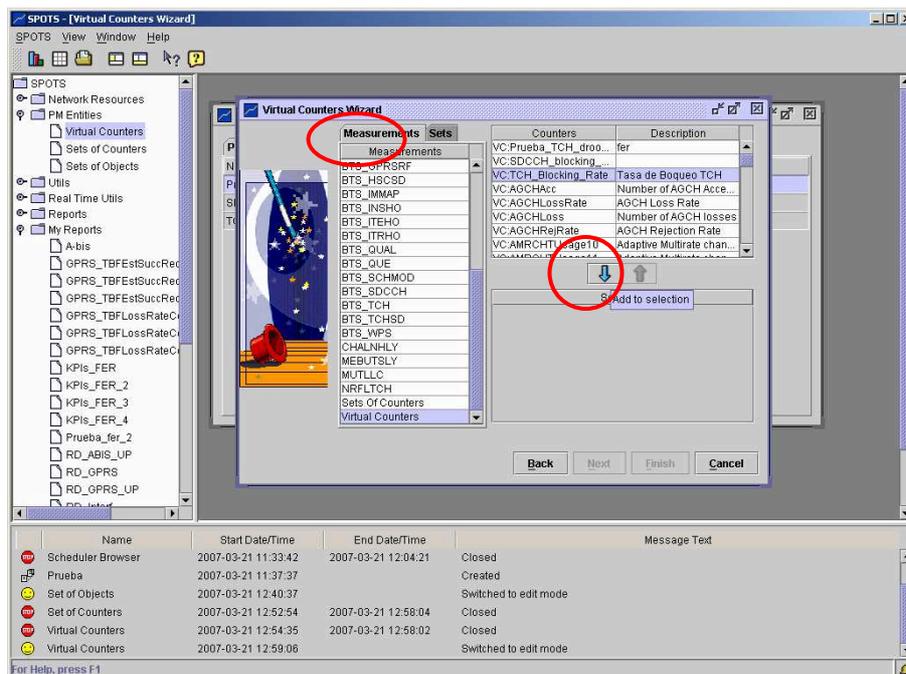


Figura 2.29 Selección de los contadores pertinentes para cada fórmula

Se construye la fórmula del KPI

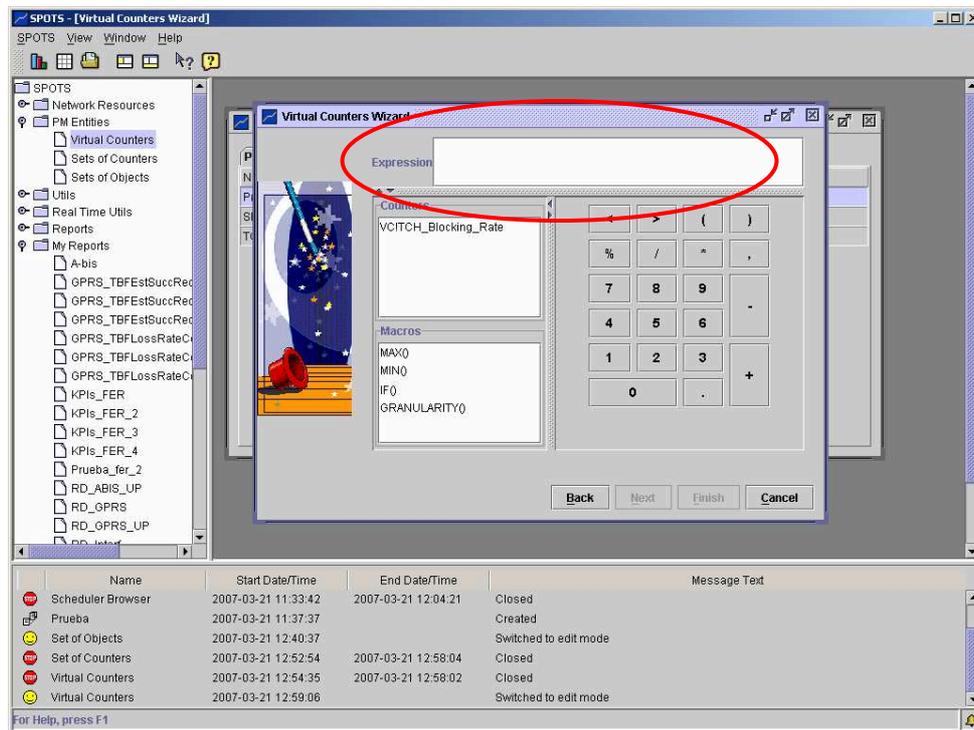


Figura 2.30 Creación de la fórmula del indicador

Se da un clic en *Finish*, y luego se guarda los cambios.

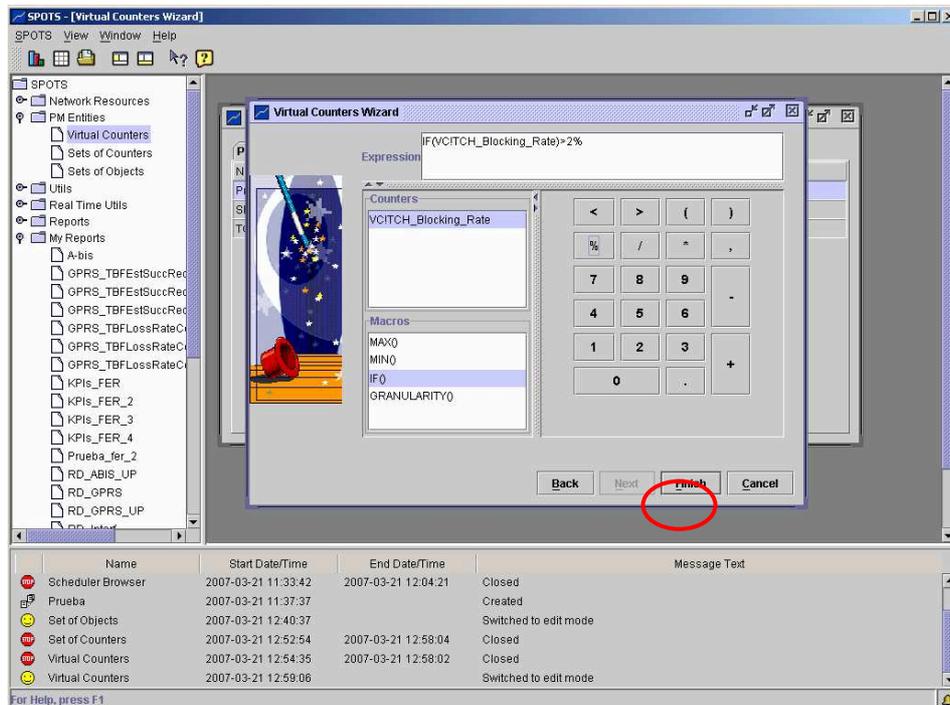


Figura 2.31 Fin del procedimiento de *Virtual Counters*

### 2.3.2.1.3 Generación del reporte

Se escoge del menú **My Reports**, uno de los reportes por defecto como base y se selecciona el **Wizard** para la elaboración de reportes

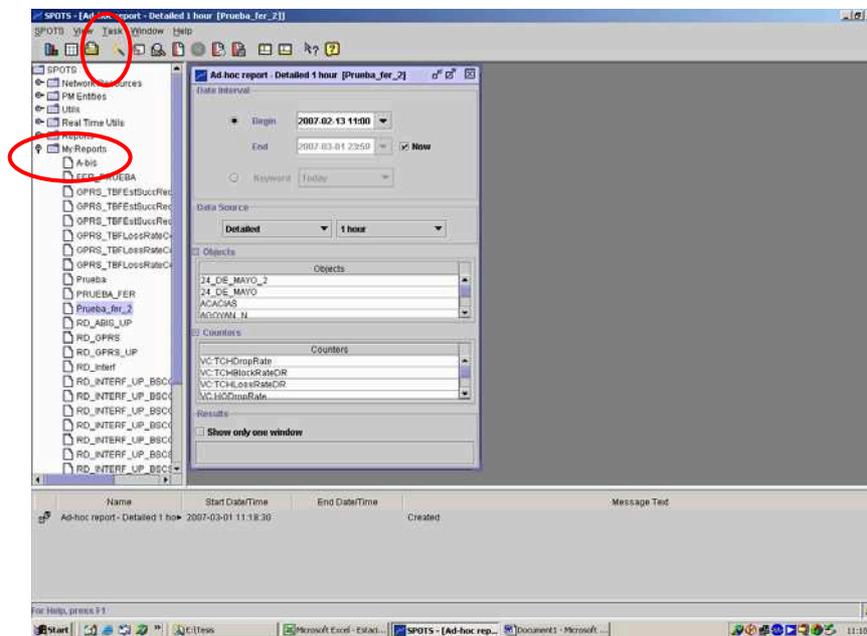


Figura 2.32 Creación del reporte

Se escoge el **rango de tiempo** y la **periodicidad** del reporte, para el caso una hora, luego se da un *clic* en **Next**.

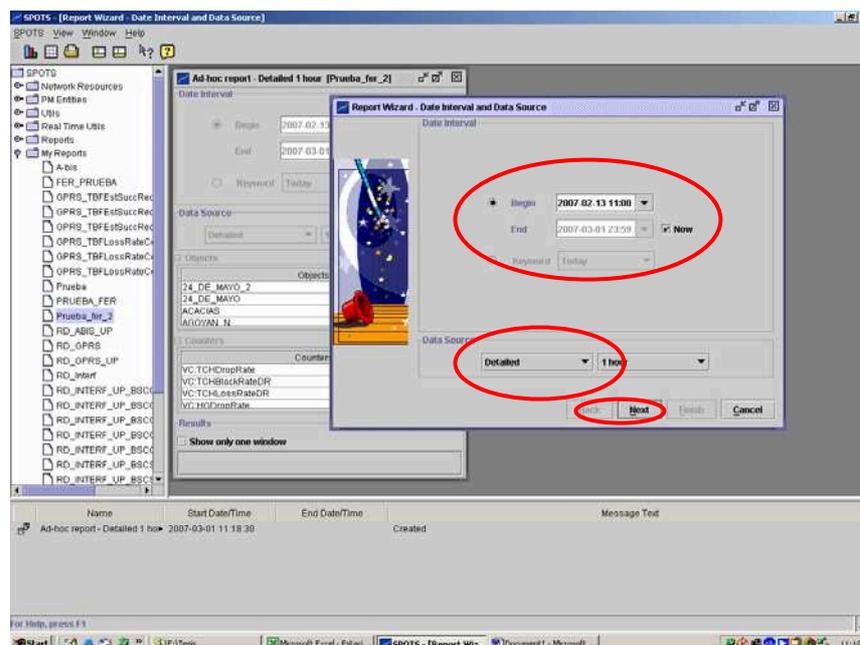


Figura 2.33 Rango de tiempo y periodicidad del reporte

Se escoge **BTSOC** y **Sets** para desplegar los grupos de objetos de tipo **BTSOC**.

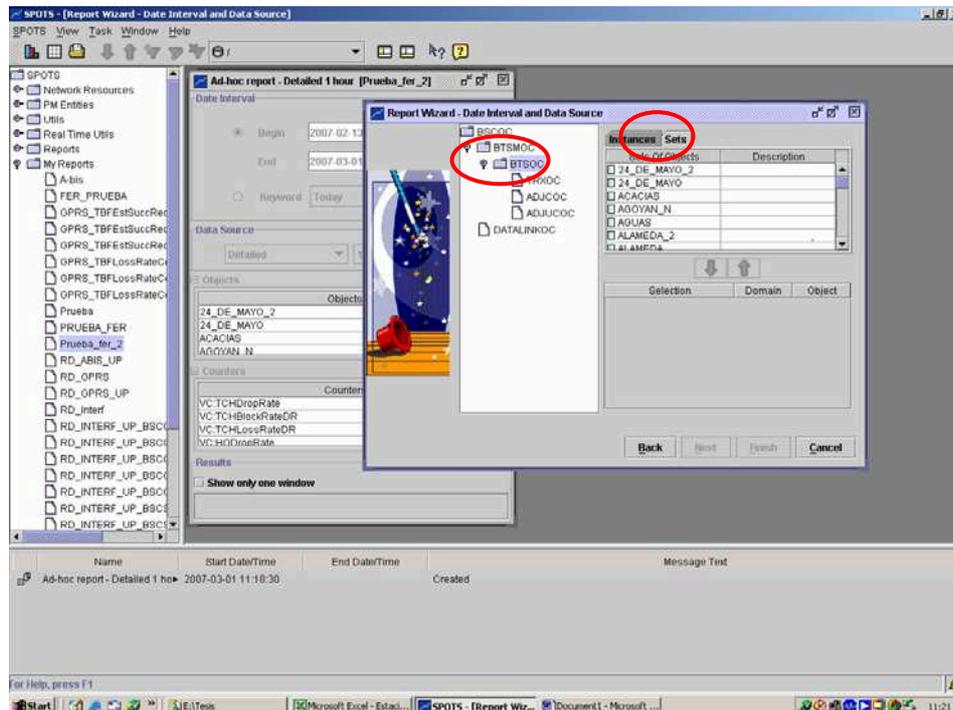


Figura 2.34 Grupos de objetos de tipo **BTSOC**

Se señala todos los objetos correspondientes a las BTSs y se los selecciona con la **flecha hacia abajo**.

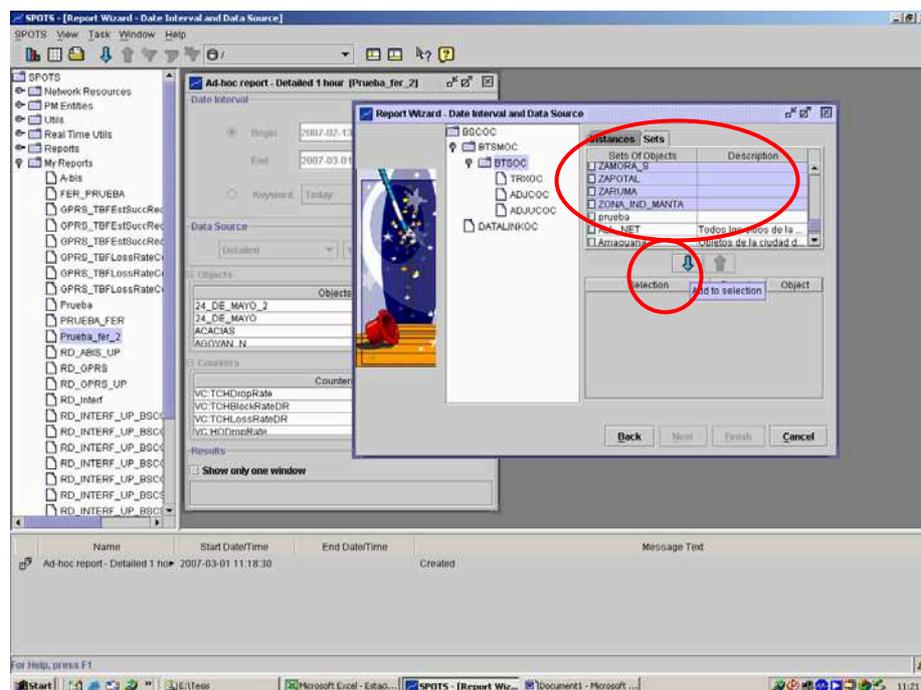


Figura 2.35 Selección de todas las BTSs de la red

Se da un *click* en **Next**

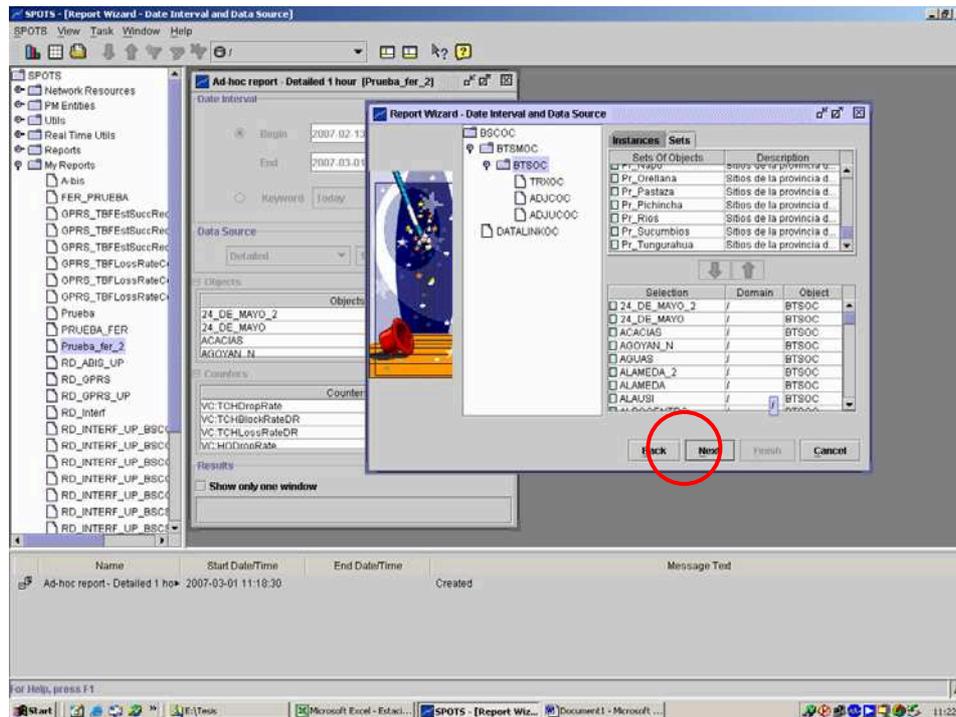


Figura 2.36 Next en el wizard de Virtual Counters

Se escoge el tipo de presentación del reporte, para el caso **Excel** y en **Output** la ubicación donde se guardará el archivo de salida. Se da un *click* en **Finish**.

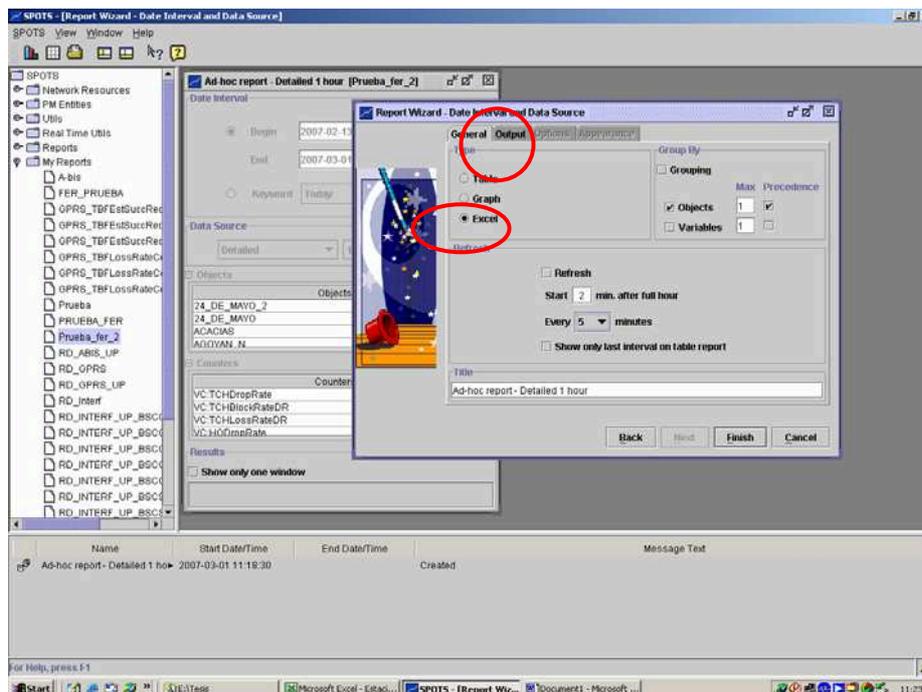


Figura 2.37 Tipo y ubicación del archivo de salida

### 2.3.2.1.4 Generación de la tarea programada

Se escoge el menú **Utils** y **Scheduler**

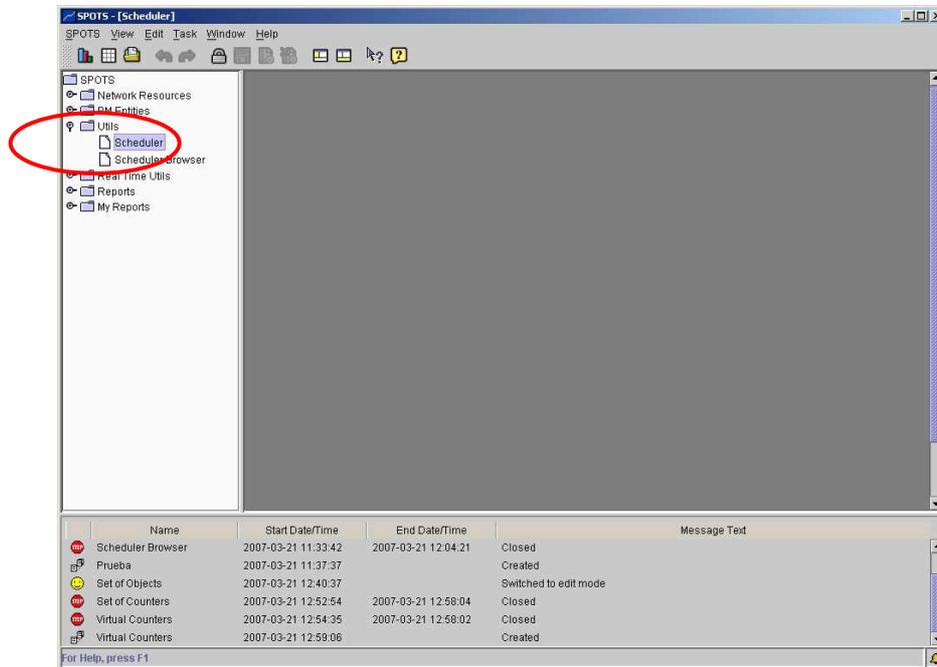


Figura 2.38 Utils / Scheduler

Se cambia el modo de la ventana a modo escritura

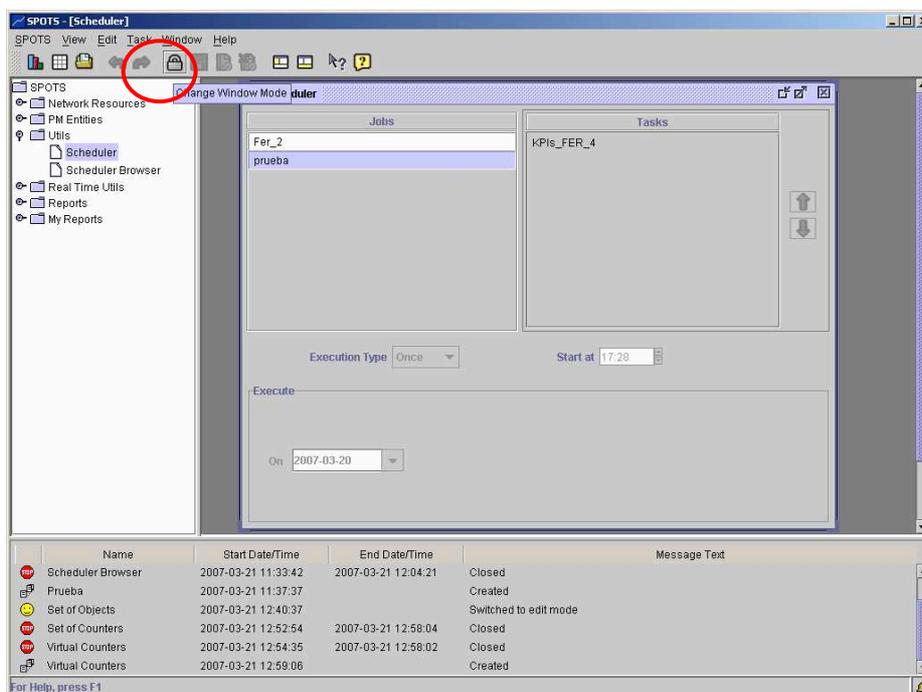


Figura 2.39 Modo de escritura de la tarea programada

Se crea un “new job”

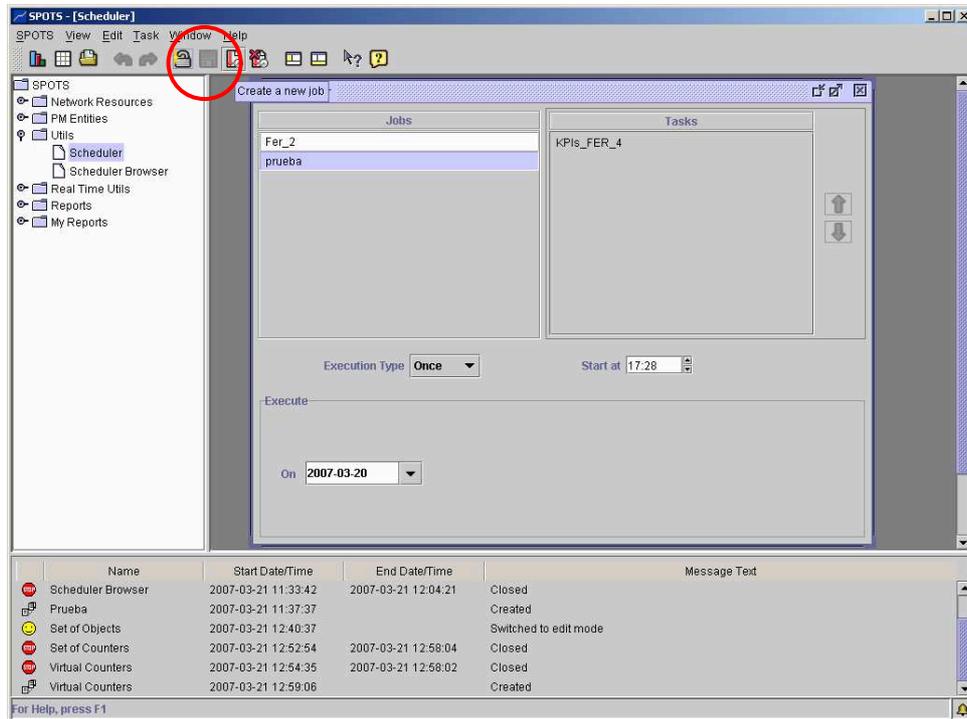


Figura 2.40 Creación de un nuevo job

Se cambia el nombre del nuevo “job”, dando un clic derecho sobre él

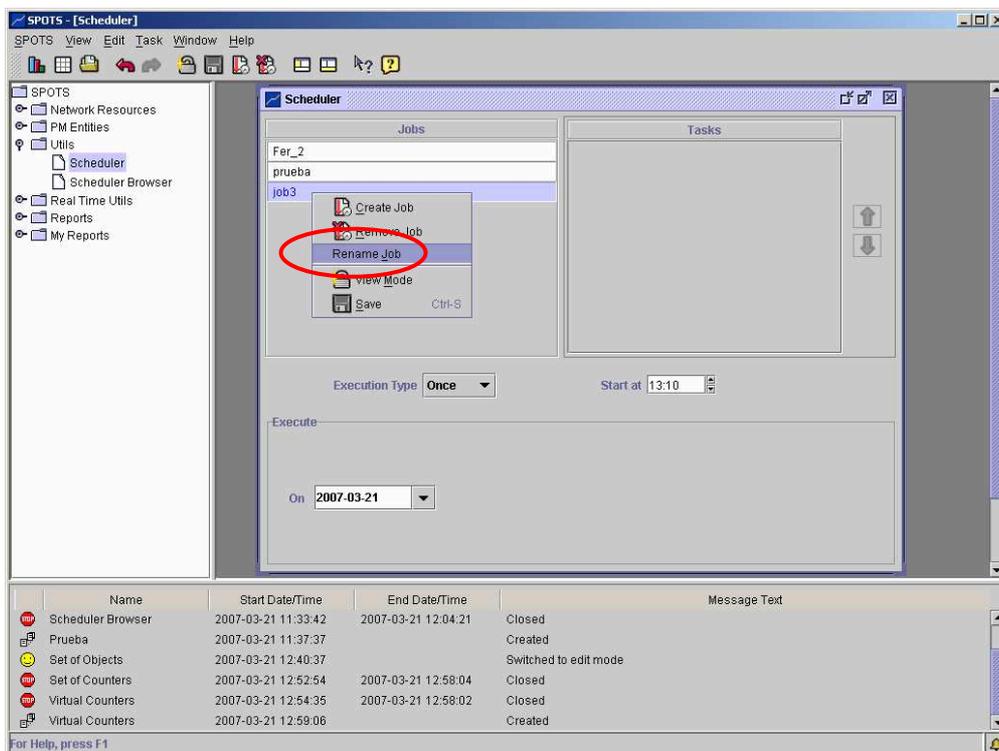


Figura 2.41 Asignación del nombre del job

Aparecerá la siguiente ventana, en donde se escribe el nombre



Figura 2.42 Nombre del nuevo *job*

Aparecerá una ventana que pedirá que se confirme el cambio, se escoge "Yes"

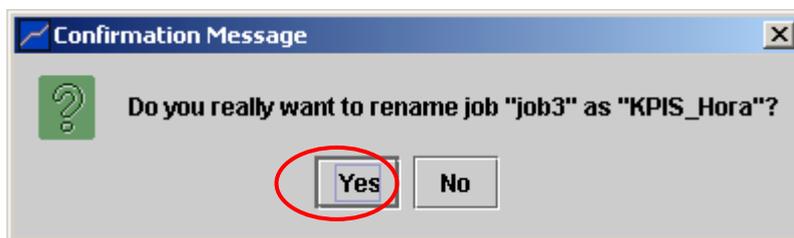


Figura 2.43 Confirmación del nombre del nuevo *job*

Luego de escoger el *job* creado en la barra de menú se escoge **Task / Task Administration** para desplegar el administrador de tareas.

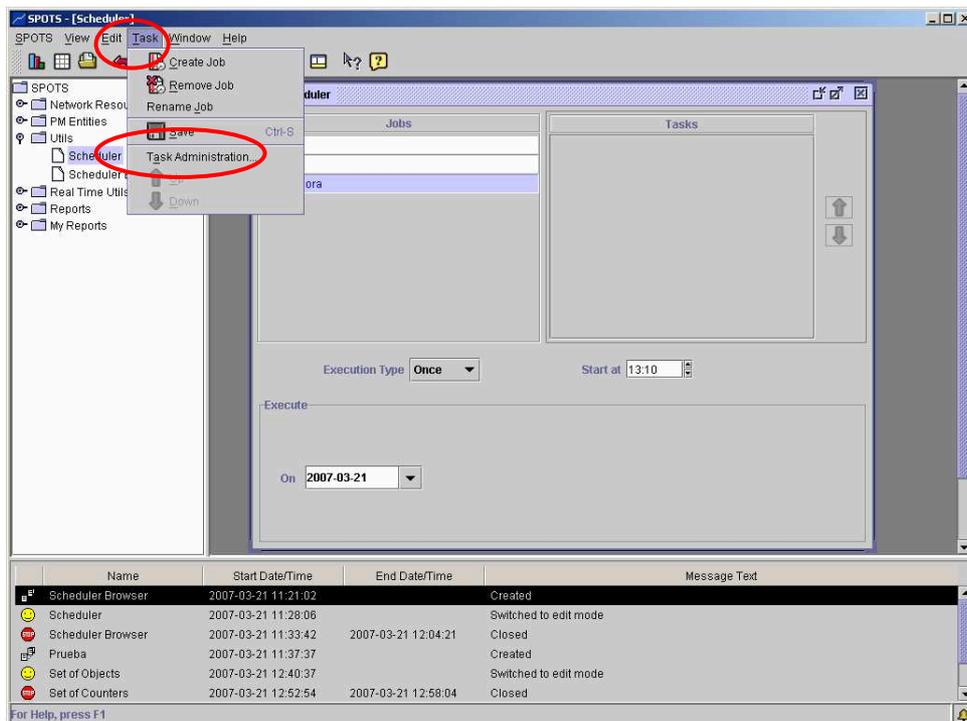


Figura 2.44 Despliegue del administrador de tareas

Se escoge el reporte creado anteriormente, y se da un *clic* en la flecha **hacia abajo**.

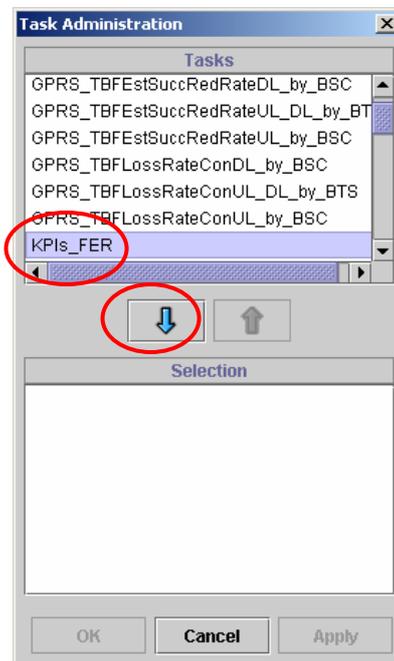


Figura 2.45 Administrador de tareas

Se da un *clic* en **Apply** y luego en **OK**

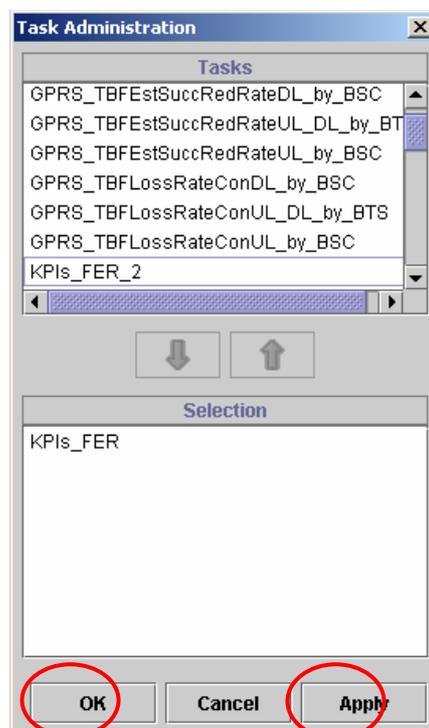


Figura 2.46 Confirmación en el administrador de tareas

Se observa que en la ventana **Tasks** aparece el reporte seleccionado.

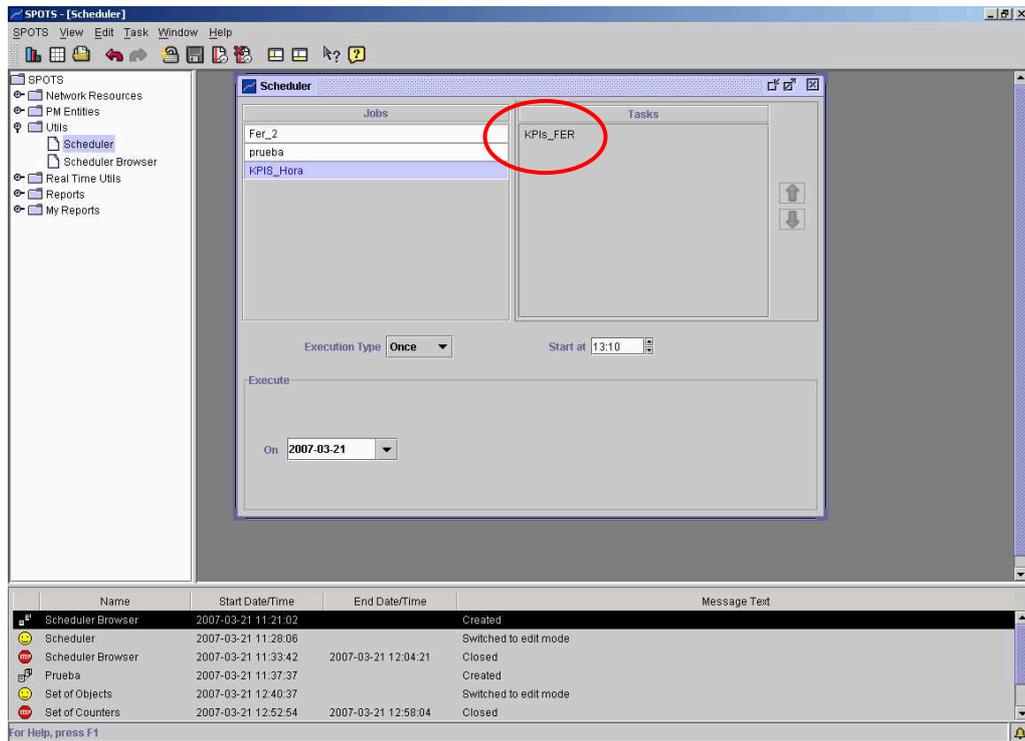


Figura 2.47 Tareas seleccionadas dentro del job creado

Se selecciona la frecuencia de ejecución del job, para el caso **“Hourly”**

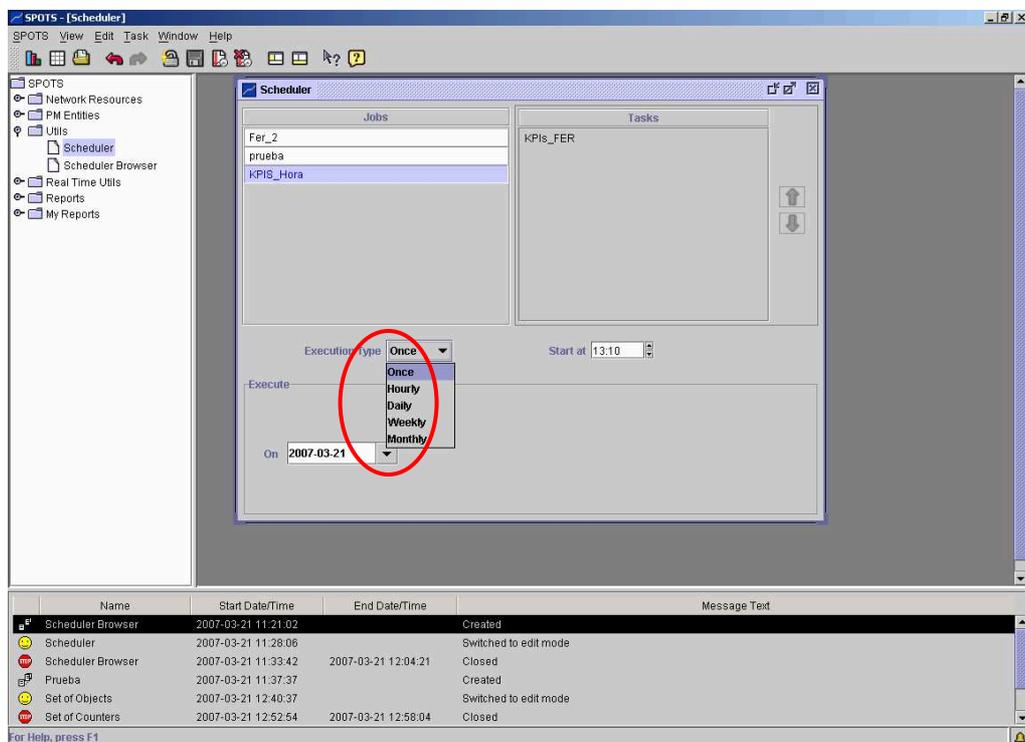


Figura 2.48 Selección de la frecuencia de ejecución del job

Se define la **hora del inicio** de la ejecución del *job*.

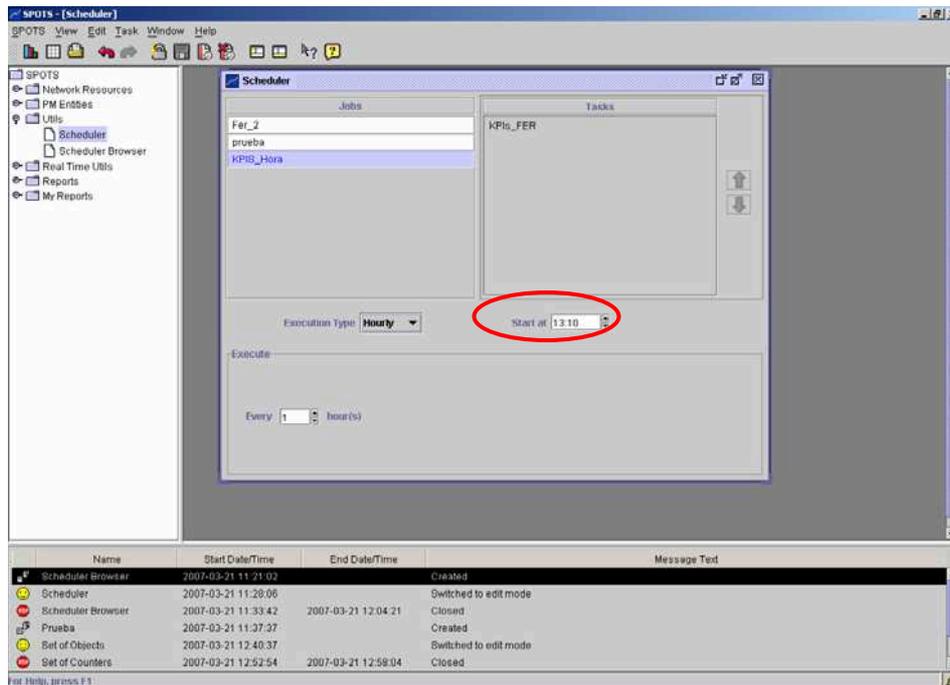


Figura 2.49 Selección de la hora de inicio de la ejecución del *job*

### 2.3.2.1.5 Verificación del proceso de la tarea programada

Si es necesario se puede chequear el proceso de ejecución de las tareas programadas. Selecciono **Utils / Scheduler Browser**.

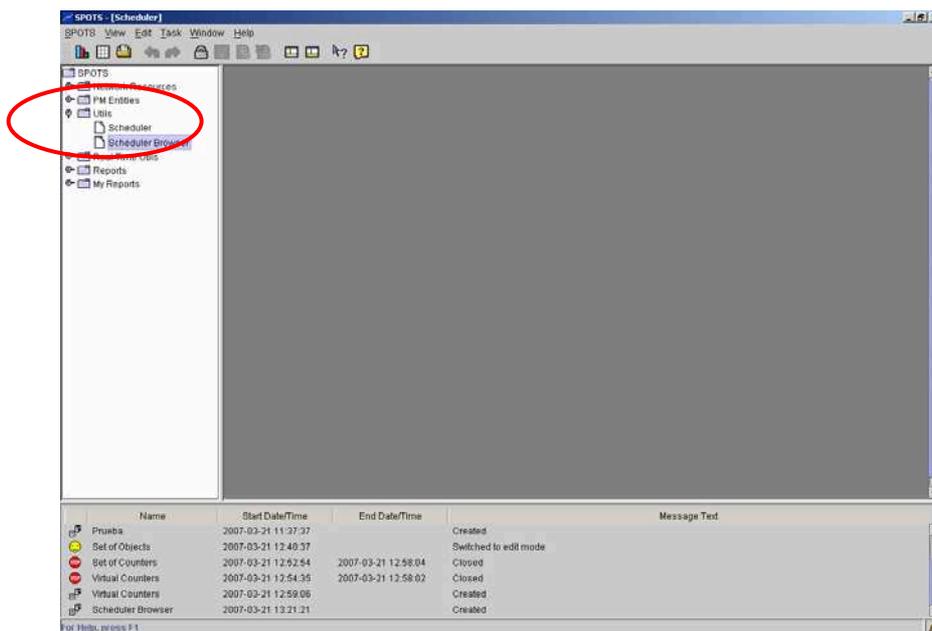


Figura 2.50 Selección de Utils / Scheduler Browser

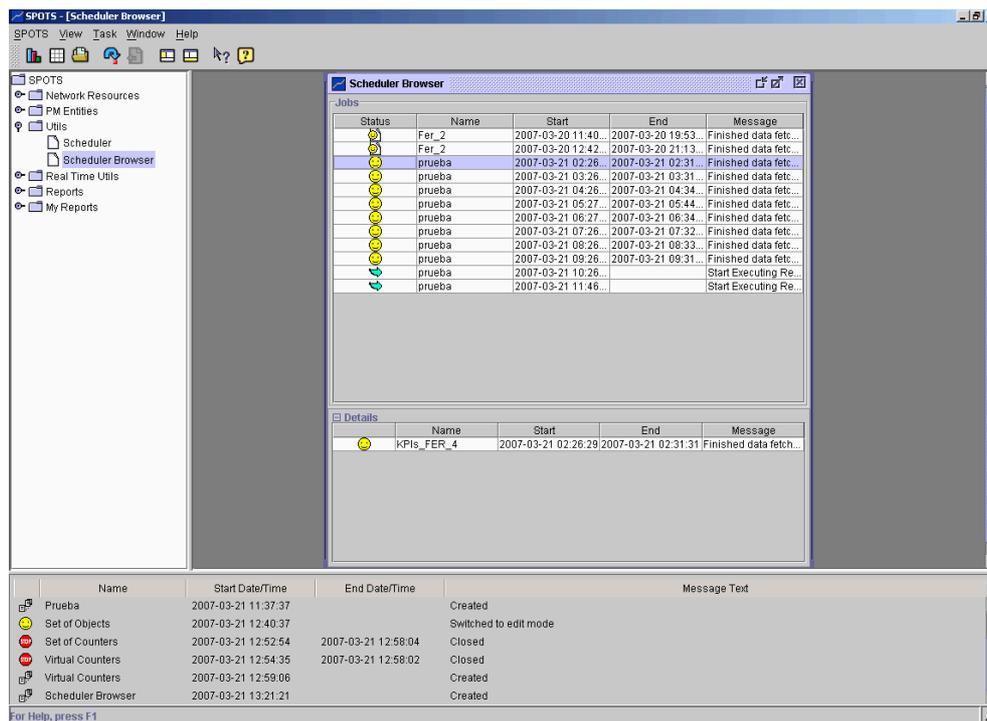


Figura 2.51 Scheduler Browser

Se observará un icono que indica el estado de la tarea, los tiempos de inicio y fin de la misma y el mensaje correspondiente.

Se podría verificar si todo transcurre normalmente o si ocurre por ejemplo una sobrecarga del procesador del servidor de *Spots*.

### 2.3.2.2 Aplicación para el monitoreo del *performance*

La aplicación toma el archivo excel del reporte generado como resultado de la tarea programada, por lo cual está diseñada para actualizar automáticamente cada hora las alarmas de los KPIs en base a los datos estadísticos que cambiarán de valor con esa misma frecuencia.

Los KPIs que pueden ser monitoreados a través de esta aplicación son: la tasa de llamadas completadas (completaciones TCH), la tasa de caídas SDCCH, la tasa de bloqueos TCH, la tasa de asignaciones fallidas TCH, la tasa de llamadas caídas TCH y la tasa de *handovers* caídos TCH

KPI	Urbano	Suburbano	Rural
CSSuccRateBSS	≥ 97 %	≥ 97 %	≥ 97 %
SDCCH Drop Rate	≤ 3 %	≤ 3 %	≤ 3 %
TCH Blocking Rate	≤ 2 %	≤ 2 %	≤ 2 %
Asignaciones Fallidas TCH	≤ 2 %	≤ 2 %	≤ 2 %
TCH Drop Rate	≤ 2 %	≤ 5 %	≤ 7 %
Drop Handover Rate	≤ 2 %	≤ 5 %	≤ 7 %

Tabla 2.7 Valores de los Indicadores a ser monitoreados

Al dar un clic sobre cualquiera de las provincias en la interfaz principal, se muestra la interfaz de la provincia correspondiente pudiendo visualizar únicamente las alarmas de las BTSs pertenecientes a dicha provincia.

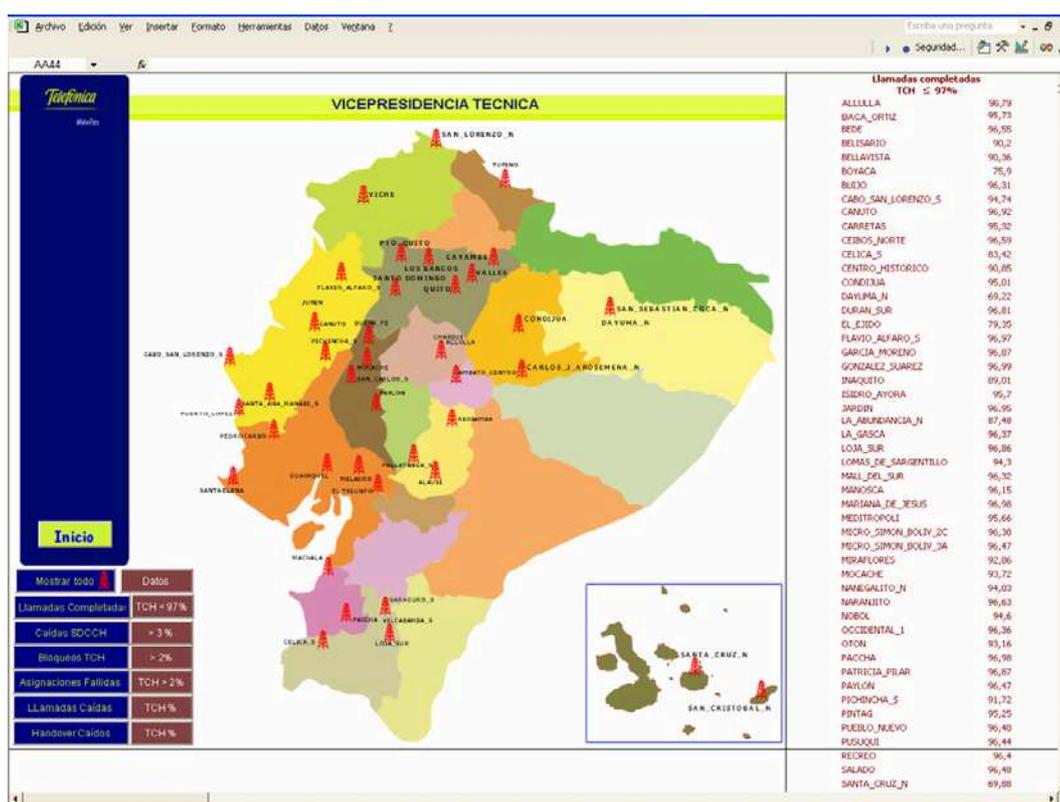


Figura 2.52 Interfaz principal de la aplicación de monitoreo de los KPIs

En las Figuras 2.53 y 2.54 se muestran un par de ejemplos correspondientes a las interfaces de las provincias de Pichincha y Loja respectivamente.

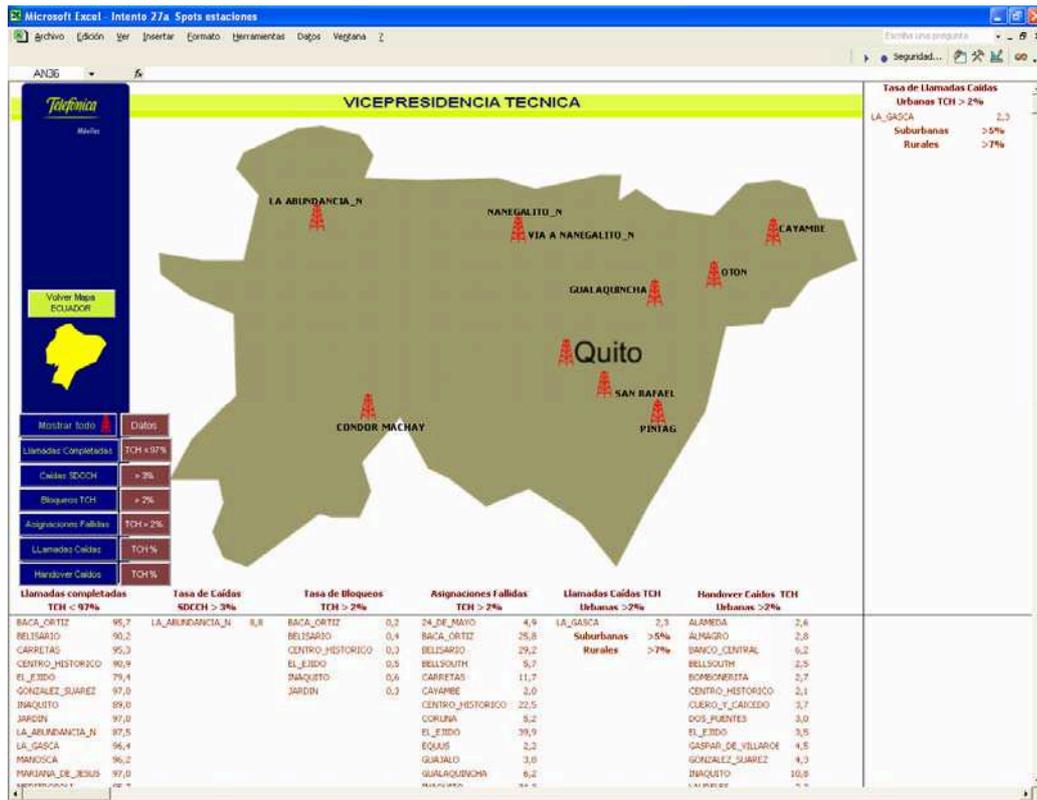


Figura 2.53 Interfaz correspondiente a la provincia de Pichincha

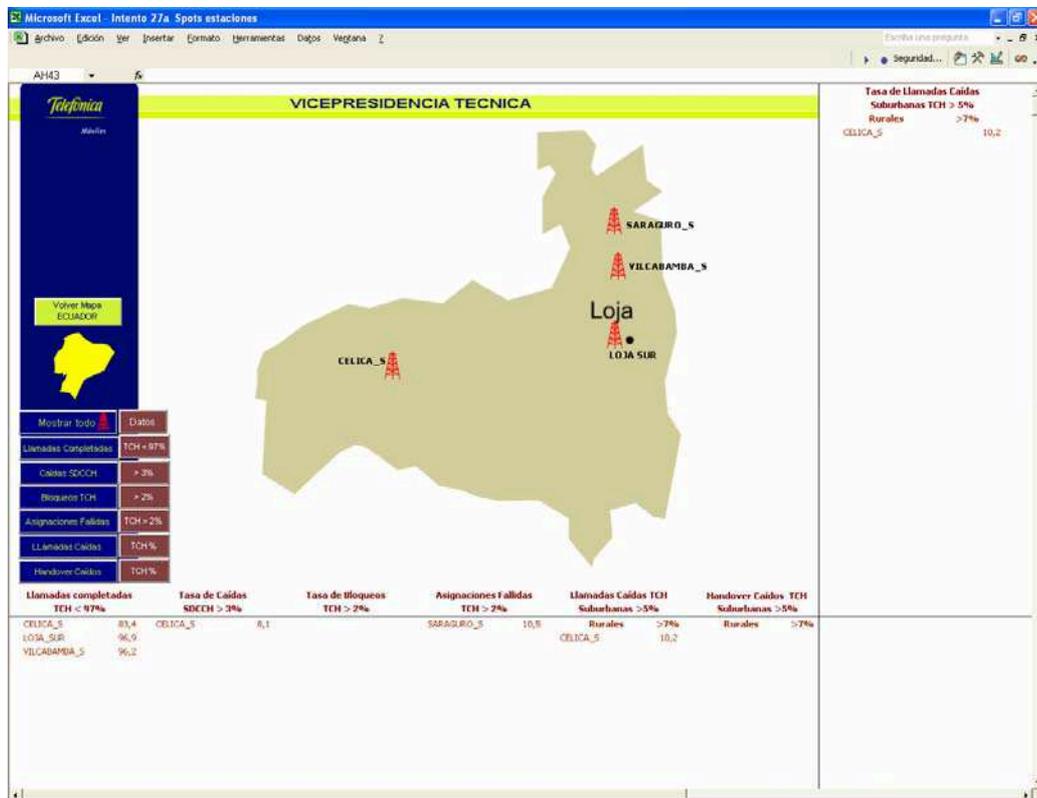


Figura 2.54 Interfaz correspondiente a la provincia de Loja

## **CAPÍTULO III**

### **3. ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DEL PERFORMANCE DE LA RED GSM**

#### **3.1 PROCEDIMIENTO DE ESCALAMIENTO PARA LA ATENCIÓN DE LOS PROBLEMAS DE PERFORMANCE DE LA RED**

El objetivo de esta sección es describir los procedimientos aplicados para el análisis del *performance* RF y su optimización en la red radio celular de Movistar Ecuador.

Se comienza describiendo la organización de las áreas técnicas de la empresa. Posteriormente se explican algunas definiciones propias de Movistar usadas dentro de sus procedimientos.

Se describe también los aspectos a optimizar en redes GSM, empezando por explicar dos criterios de clasificación de las técnicas de optimización en redes 2G, Además se estudia muy brevemente un grupo de actividades concretas usualmente ejecutadas en la optimización de redes GSM.

Finalmente en base a las experiencias anteriores, a los criterios de los ingenieros de optimización y a los criterios de los fabricantes se plantea un procedimiento de escalamiento general para el proceso de optimización de la red radio, a través de un diagrama de flujo.

### 3.1.1 ÁMBITO DE APLICACIÓN

En primer lugar se describe mediante la Figura 3.1 los procesos necesarios para el funcionamiento de la red y los departamentos de la Vicepresidencia Técnica involucrados en los mismos, con el objeto de entender la organización de la división de tareas y responsabilidades concernientes al respecto.

El tratamiento de la red se divide por una parte en *switch* “core” y plataformas; y RF, radiobases y transmisiones por otra parte. Además se separan los procesos de planificación, operación & mantenimiento y gestión de red.

Dentro de este último serán de interés el NOC (*Network Operation Center*), parte del Área de Gestión de Red y el departamento de Calidad de Procesos – Optimización.

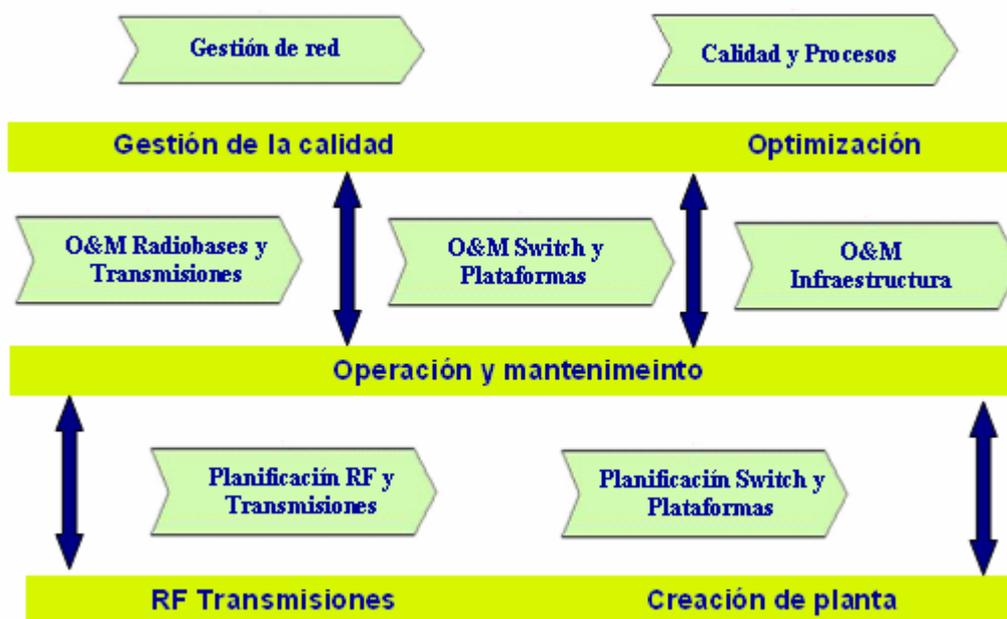


Figura 3.1 Organización de procesos de la red de Movistar Ecuador

Las tareas fundamentales de los mismos son:

**NOC.-** Realiza el monitoreo de la red 7x24x365 notificando vía telefónica y/o e-mail a las respectivas áreas involucradas la existencia de una alarma de falla o *performance* de la red y brinda el soporte e información solicitados para la solución del inconveniente.

**Calidad y Procesos – Optimización.-** Realiza un proceso de análisis continuo de la red celular, cuyo fin es mejorar la calidad del servicio proporcionado a los clientes y cumplir con los estándares establecidos por el ente regulador.

### 3.1.2 DEFINICIONES

**Optimización:** Es el proceso de ajuste de parámetros, cambio de histéresis para *handover*, depuración de vecindades y balance de potencias de una celda. Las celdas pueden ser las que presenten mal desempeño en las estadísticas, las que hayan tenido cambios en sus antenas o aquellas que causen problemas a otras, especialmente a sus cocanales.

**Change Request (CR):** Es una orden de trabajo (OT) escrita en un archivo en Excel en el cual se describe el parámetro que se desea optimizar.

**Action Request (AR):** Es una orden de trabajo (OT) escrita en un archivo en Excel en el cual se describe el cambio físico que se requiere realizar en la radio base.

### 3.1.3 ASPECTOS A OPTIMIZAR EN LAS REDES MÓVILES

La optimización de cualquier red móvil es más sencilla y eficiente si se parte inicialmente de una red bien planificada. Un dimensionamiento inicial pobre repercutirá en tener dificultades para conseguir los objetivos tecnológicos y económicos a largo plazo.

El proceso de optimización se sitúa dentro del proceso de desarrollo de la red, después de los procesos de planificación y construcción, y comienza a ejecutarse tan pronto como en servicio una nueva estación base.

La optimización celular se puede definir como el proceso iterativo de búsqueda del conjunto óptimo de las cuatro "c" que caracterizan una red radio: aumentar la capacidad, disminuir el costo, aumentar la cobertura y aumentar la calidad. Busca el mejor compromiso en cada momento entre los distintos factores, ya que no es posible optimizar simultáneamente todos y, según el momento en que se encuentre la red, será necesario optimizar en mayor medida unos u otros.

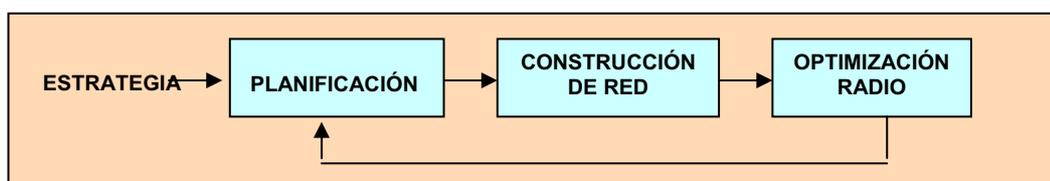


Figura 3.2 Ciclo de desarrollo de la red <sup>[9]</sup>

### 3.1.3.1 Criterios para la clasificación de las técnicas de optimización

Existen diferentes formas de clasificar los procesos de optimización, de entre ellas dos de las más usuales son las que clasifican los procesos por:

- El grado de madurez de la red.
- La rapidez de respuesta de las acciones de optimización frente a los problemas de la red.

A continuación se analizan estos dos enfoques, que llevan a clasificaciones complementarias de las acciones de optimización.

### 3.1.3.1.1 Clasificación según el grado de madurez de la red

Existen diversas técnicas que permiten optimizar la calidad y la capacidad de la red de acceso radio en los sistemas celulares, que pueden dividirse en distintos grupos, específicamente en GSM se tienen técnicas relacionadas con:

- La modificación de los parámetros de configuración de la red: potencia de transmisión, listas de vecinas, parámetros de control de los *handovers*, etc.
- La introducción de nuevas facilidades previstas en los estándares: utilización del salto en frecuencia, control de potencia y/o transmisión discontinua, canal de difusión o *broadcast* (BCCH) común en redes multibanda, etc.
- La introducción de nuevos elementos de red: amplificadores de torre, antenas inteligentes, filtros criogénicos, sincronización de la red, etc.

Por otro lado, el equilibrio más eficaz entre los factores a optimizar varía con el estado de evolución de la red. Así, al principio del despliegue se valora con más peso la cobertura, en una etapa de consolidación posterior es la capacidad la que adquiere más valor, y, por último, en el período de madurez de la red la calidad en la comunicación se exige en todos sus aspectos.

La optimización debe adaptarse a esta circunstancia, y en función de ella pueden distinguirse tres áreas de acción, secuenciales en el tiempo: optimización de red, de celda y de cliente (ver la Figura 3.3).

En función del grado de madurez de la red y del área de acción, las acciones a llevar a cabo y los parámetros a medir son diferentes. Así, en la optimización de red se trata de adecuar el trinomio "cobertura-capacidad-calidad" mediante acciones con repercusión en amplias zonas. Estas acciones pueden ser la definición de planes globales de frecuencias, la adecuación de parámetros radio generales o la adopción de facilidades básicas como el control de potencia o la

transmisión discontinua. La evaluación de la efectividad de las medidas adoptadas se realiza fundamentalmente observando parámetros globales de funcionamiento de la red.

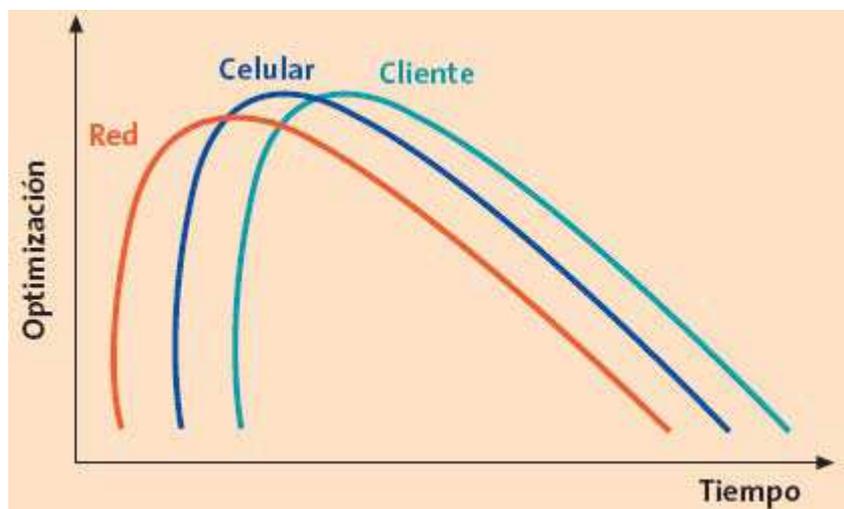


Figura 3.3 Áreas de optimización <sup>[9]</sup>

En la optimización celular el objetivo es la adecuación de la capacidad y calidad en aquellas celdas que más lo demandan. La primera tarea que implica este proceso es la identificación de aquellas celdas que requieren actuación particular. Por otro lado, para actuar eficazmente es necesario un conocimiento detallado del terreno y de la red que rodea a la estación. En este caso, los parámetros a vigilar son contadores específicos para la celda, y las acciones que suelen desarrollarse en esta fase son la modificación de la inclinación de las antenas, de la lista de vecinas o la reingeniería de la estación base.

Por último, la optimización de cliente aborda la adecuación de la calidad para los trayectos, terminales y usuarios que tienen más impacto en la imagen del servicio. Para ello es necesario determinar la movilidad y el uso de la red que tienen los usuarios y terminales de más interés.

### 3.1.3.1.2 Clasificación según la velocidad de actuación

Un segundo criterio de clasificación toma en cuenta la rapidez con la que se atienden las causas asociadas a un determinado problema en la red. Algunas actividades de optimización tienen cierto grado de solape con la planificación de la red, y con la operación y el mantenimiento, como se ve en la Figura 3.4. El control de la red de acceso puede dividirse en consecuencia en tres capas en función del tiempo de respuesta a un determinado problema que se detecte en la red, de manera que:

- La primera capa (bucle "lento") es el modo estadístico. Incluye todas las acciones a realizar con un simulador de red o herramienta de planificación, así como la optimización y ajuste fino del funcionamiento de la red de acceso en función de los datos estadísticos recogidos durante un largo periodo de tiempo. En esta etapa se requiere mucha información de la red y el tiempo de respuesta es grande, pues el procesamiento de toda la información así lo requiere. Es en esta etapa donde se toma la decisión de llevar a cabo cambios de parámetros físicos en algún elemento de red (frecuencias, inclinación de las antenas, potencias transmitidas, etc.).
- La segunda y tercera capas incluyen los bucles rápidos en las estaciones base ("Rápido RT"); BSCs y el sistema común de gestión de recursos radio ("Rápido NRT"). Afectan principalmente a los cambios de parámetros lógicos de la red (entendiendo por parámetro lógico aquel que no produce variación física en el hardware del elemento de red).

La diferencia entre la segunda y tercera capas es el tiempo que se tarda en tomar la decisión en función de las medidas obtenidas. Se pueden distinguir los bucles "rápidos" en tiempo real (RT), que incluyen los algoritmos propios de las estaciones base, como son: control de potencia, control de congestión, adaptación de enlace y asignación de canal; y los bucles de optimización "rápidos" en tiempo no real (NRT), que se centran

en el control dinámico de la red y en la determinación de los parámetros lógicos de la red radio (umbrales, etc.).

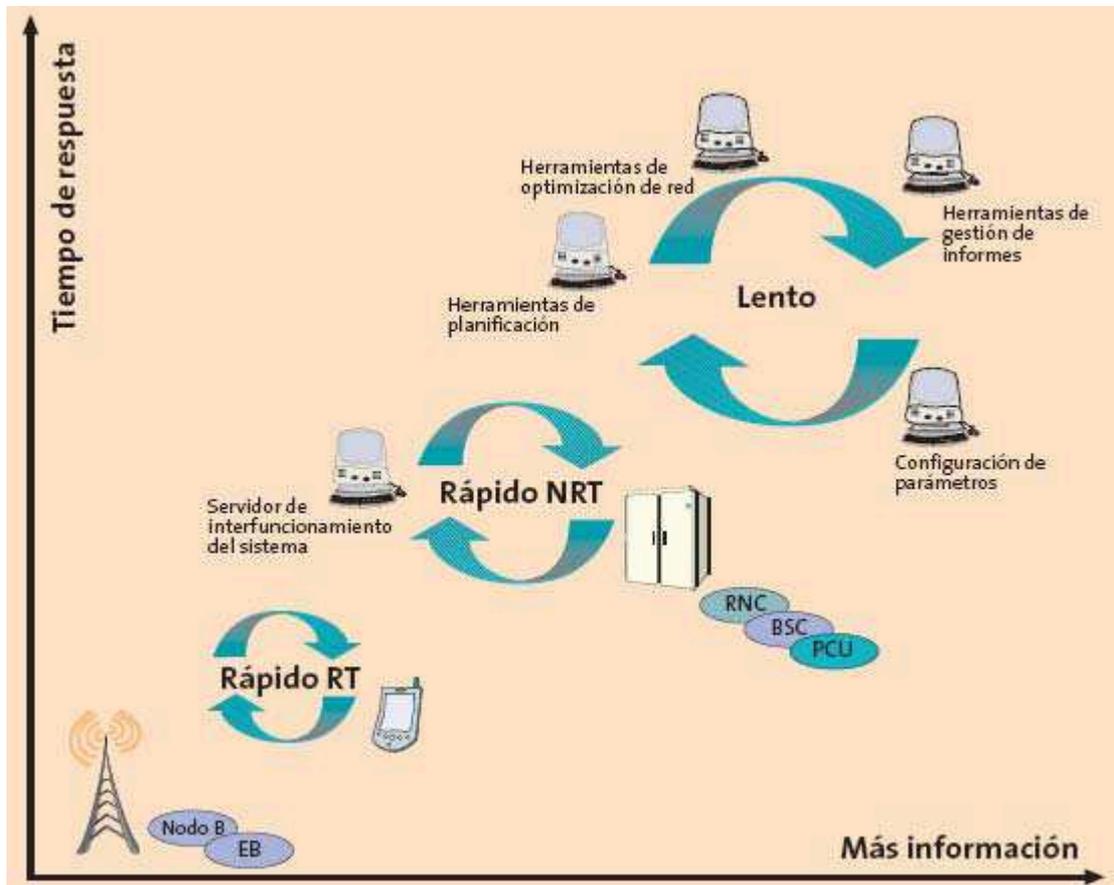


Figura 3.4 Jerarquía en los bucles de optimización <sup>[9]</sup>

Dependiendo de las funciones de control de red, el bucle "lento" puede situarse dentro de los elementos de la red o en el Sistema de Gestión de Red (NMS), el cual debe ser capaz de identificar no sólo la falta de capacidad, sino también la posibilidad de proporcionar nuevos servicios. El principal beneficio del NMS es la posibilidad de utilizar estadísticas que reflejan el comportamiento completo de la red. La tendencia de futuro en los sistemas de optimización es intentar que la propia red resuelva los problemas en tiempo real y de forma automática.

### 3.1.3.2 Actividades de optimización concretas en redes GSM

Se describen las principales actividades que se están llevando a cabo en las redes GSM para optimizar su funcionamiento.

Algunas acciones serán más importantes en función del estado de madurez de la red y del tipo de acción que sea más importante. Sin embargo, a continuación se describen de forma genérica.

Se incluyen cuatro aspectos básicos de redes GSM en los que es necesario realizar de manera continua monitorización y optimización, debido principalmente a su alto grado de sensibilidad ante cualquier pequeño cambio en la red. Posteriormente se describen muy brevemente otro conjunto de técnicas usadas en la optimización de redes GSM.

Los cuatro aspectos básicos son los relativos a:

1. La planificación de frecuencias.
2. Las relaciones de vecindad entre celdas.
3. La definición de áreas de localización.
4. La definición de los valores de ciertos parámetros de configuración de los elementos de la red de acceso radio.

#### 3.1.3.2.1 *Planificación de frecuencias y análisis de interferencia*

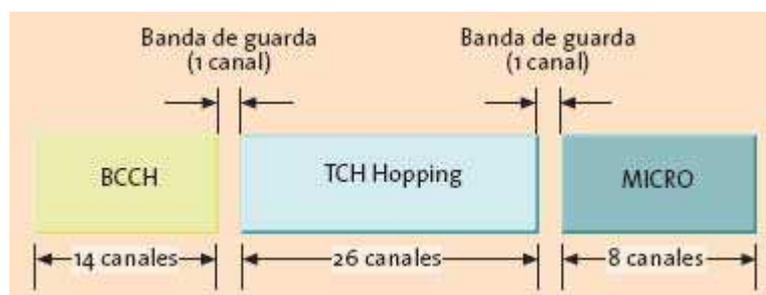
El proceso de optimización comienza identificando las zonas con problemas de interferencias debidos a un plan de frecuencias no optimizado, así como las zonas que necesitan un proceso de optimización de cobertura debido a que aspectos tales como solapes excesivos de cobertura entre celdas próximas, o manchas de cobertura, están impactando en la calidad del plan de frecuencias implantado previamente.

El procedimiento más común para identificar aquellas celdas que contribuyen en mayor medida a aumentar la interferencia es obtener información a partir de los indicadores estadísticos del funcionamiento del subsistema de estación base.

Una vez identificadas las zonas problemáticas se pueden emplear distintas técnicas para atacar el problema de optimización del plan de frecuencias. Estas técnicas pueden incluir:

- a) Planes de frecuencia específicos y ajustados para los canales de *broadcast* (BCCH) y tráfico (TCH)

En general, el espectro de frecuencia se suele dividir, por un lado, entre distintos tipos de estaciones base (macrocelas, microcelas, etc.), y por otro, entre distintas capas dentro de la misma celda (frecuencias para las portadoras en las que se transmite el canal BCCH o los canales de tráfico TCHs). El diagrama de la Figura 3.5 muestra una distribución de frecuencias típica en la banda de 900 MHz.



**Figura 3.5 Distribución de frecuencias en GSM 900** <sup>[9]</sup>

Entre todas las portadoras que se asignan a una estación base o sector GSM existe siempre una especial, que es aquella del canal BCCH. En ésta no pueden utilizarse ni control de potencia, ni transmisión discontinua, ni salto en frecuencia, ya que se usa como referencia en los procesos de medida asociados a la selección de celda o al *handover*.

La capa de BCCH se suele planificar con una baja reutilización de frecuencias para garantizar una cierta calidad del servicio. El número de canales

necesarios para un buen plan de frecuencias de BCCH varía en función de factores como: el espectro disponible, el diseño de los sitios (altura, etc.), las características del terreno y la topografía, la distribución de los usuarios y la regularidad de la distribución de las celdas, entre otros.

En una red optimizada es posible tener un plan de BCCH de alta calidad con 14 ó 15 canales, pero para conseguirlo es preciso realizar un trabajo de ingeniería y optimización muy importante.

La experiencia indica que es más fácil llevar a cabo la optimización de forma más efectiva una vez que la red ha alcanzado un cierto grado de madurez. Por este motivo se recomienda manejar hipótesis más conservadoras como punto de partida.

Los mismos factores críticos que se han destacado en la planificación de BCCH afectan al proceso de planificación de los canales TCH. Sin embargo, existen técnicas adicionales para mejorar la eficiencia del reuso y aumentar la capacidad, tales como salto de frecuencia, celdas concéntricas, etc. Se suelen emplear unas técnicas u otras en función del estado de madurez de la red y del espectro disponible.

#### b) Sustitución de sitios ubicados en puntos elevados

En relación con los problemas de cobertura indeseada, se ha percibido que durante el despliegue de una red GSM se tiende a elegir aquellos sitios con gran visibilidad, para proporcionar mayor cobertura de forma más rápida, los cuales empiezan a resultar problemáticos a medida que se aumenta alrededor sitios de menor altura, como resultado del crecimiento de la demanda. El alto nivel de potencia de los sitios elevados impide la reutilización en zonas extensas. El efecto es una reducción de la eficiencia de reuso de frecuencias y una limitación de la capacidad de la red.

La solución más común es replanificar el sitio, o disminuir la altura de las antenas hasta una posición acorde con su alrededor, si es posible.

c) Selección del modelo y configuración de antena más apropiados

Las especificaciones de las antenas tienen un impacto muy significativo en el funcionamiento de la red, y más concretamente en la cobertura de las celdas. Conviene revisar algunos factores a la hora de seleccionar las antenas, como: el ancho de haz horizontal y vertical, la ganancia, el *ratio* "delante-atrás", el campo nulo y la inclinación. Esta última puede ser mecánica o eléctrica.

La posición de las antenas es también importante a la hora de minimizar la interferencia y las radiaciones indeseadas. Este fenómeno debe estudiarse durante la estrategia de diseño de RF.

Una técnica que se puede emplear para mejorar las prestaciones de la red GSM es el uso de antenas inteligentes, las cuales maximizan el nivel de señal que recibe el terminal móvil y reducen el nivel de interferencia creado en otras celdas, sin embargo el inconveniente de esta técnica es el costo elevado.

*3.1.3.2.2 Relaciones de vecindad entre celdas*

En GSM se puede definir un conjunto de celdas como vecinas de una celda dada. Generalmente para cada celda se crea la lista de vecinas a partir de aquellas geográficamente vecinas, y a éstas se añaden aquellas cuya cobertura se solapa en mayor o menor medida, para minimizar el impacto en los procesos de *handover*.

En la Figura 3.6 se muestra un ejemplo de las relaciones de vecindad entre varias celdas de un escenario real.

Lo normal es que los *handovers* se realicen hacia la celda vecina más fuerte, pero si los *handovers* hacia ésta se producen con mucha frecuencia pueden provocar congestión. La situación puede ser a la inversa, cuando un *handover* hacia la celda vecina más fuerte se rechaza debido a la indisponibilidad momentánea de

recursos, provocando un *handover* hacia otra segunda celda vecina también fuerte, se produce un retardo en el proceso de *handover* y como consecuencia deterioro en la calidad.

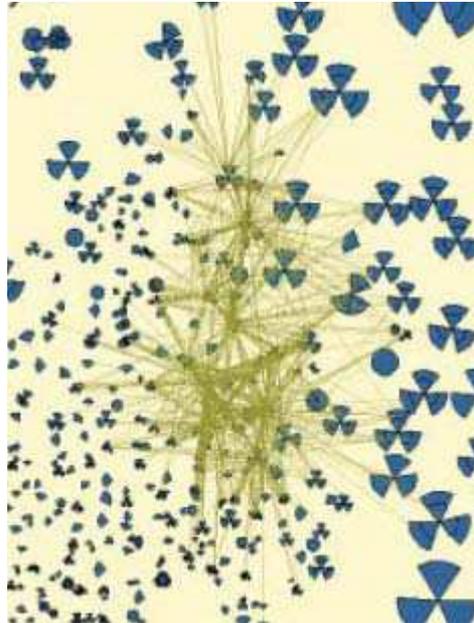


Figura 3.6 Vecindades entre celdas <sup>[9]</sup>

Bajo ciertas condiciones puede ser necesario eliminar una celda de la lista de vecinas y buscar otras alternativas. Una definición correcta de las relaciones de vecindad se puede determinar mediante un análisis de los resultados de una campaña de medidas y teniendo en cuenta ciertas consideraciones demográficas.

Por todo ello es necesario realizar un análisis cuidadoso de las relaciones de vecindad que se definan, y también revisiones periódicas de las mismas. La falta de un mantenimiento periódico de la lista de vecinas conduce a:

- Una herencia de celdas vecinas indeseadas.
- Listas de vecinas sobredimensionadas.
- Definiciones de vecinas que utilizan la misma frecuencia portadora para el canal BCCH.
- Celdas no incluidas.

- Definiciones de vecindad en un único sentido, no bidireccionales.
- Efectos de *ping-pong*<sup>1</sup>.

### 3.1.3.2.3 Áreas de localización

En redes de telefonía móvil una parte importante del tráfico de señalización está asociado a la movilidad de los usuarios. Esta carga debida a los procesos de actualización de localización (LU) y *paging* se ve incrementada con el aumento en el número de usuarios y la variedad de servicios. Con el fin de reducir la carga de señalización se definen dos áreas: el área de localización y el área de *paging*.

Un área de localización es una zona geográfica (conjunto de BTSs) en la que un móvil puede moverse sin necesidad de actualizar la información de su localización en su HLR. El proceso de actualización de localización es necesario cuando un móvil activo pasa de un área de localización a otra.

La planificación y optimización del área de localización consiste en determinar la agrupación óptima de celdas que minimice la carga de señalización en el enlace de radio, y el procesamiento y transacciones en la base de datos de la parte fija de la red. La dificultad básica es modelar la movilidad de los usuarios, tanto activos (que están llamando) como inactivos. Para conseguir una disminución de las actualizaciones se agrupan aquellas celdas entre las que se desplazan más usuarios dentro de una misma área de localización (todas las celdas de una misma área de localización deben estar conectadas a la misma MSC).

Una forma posible de modelar la movilidad global es utilizar como base la movilidad de los usuarios activos, que se refleja, de forma aproximada, por el número de *handovers* entre celdas. Esta hipótesis no es adecuada en los casos

---

<sup>1</sup> Efectos de *ping pong*: *Handovers* sucesivos producidos entre una celda y otra segunda celda, y viceversa; que producen inconvenientes por excesivo procesamiento.

en los que la proporción de usuarios activos e inactivos no sea la misma en todas las celdas del escenario de optimización.

#### 3.1.3.2.4 Ajuste fino de los parámetros del BSS

Este es un aspecto bastante complejo, pero con el que se puede conseguir un alto grado de optimización.

Categoría	Descripción
Identificadores	En esta categoría se incluyen <i>Cell Identity</i> (CI), <i>Cell Global Identity</i> (CGI), <i>Location Area Identity</i> (LAI), <i>Base Station Identity Code</i> (BSIC), etc.
Parámetros de configuración de canal	Estos parámetros se utilizan para definir la configuración y el número de los canales de tráfico y de los canales de control, como, por ejemplo, la configuración del canal CCCH en el canal de señalización (Multitramas combinadas o no combinadas, etc.).
Parámetros para medir el tiempo de ocurrencia de algún evento	Se trata de simples contadores que se programan al comienzo de un determinado período y van descontando tiempo. Puede programarse la BS de forma que si un evento no se ha producido antes que el contador llegue a cero se dispare una acción alternativa.
Parámetros de umbrales	Los umbrales son ciertos valores que, cuando se exceden, desencadenan un cierto evento. Se puede poner como ejemplo el umbral de nivel de señal recibida o el umbral de tasa binaria de error, que al excederse pueden provocar que la llamada se traspase a otra celda.
Parámetros de <i>offset</i>	Los <i>offsets</i> son valores fijos que se aplican para definir un margen en ciertas acciones: Un ejemplo puede ser el valor del margen de histéresis aplicado a las áreas límite de cobertura de las BTSs.
Parámetros de características de control	Existe un conjunto de parámetros que sirven para identificar la implementación de ciertas funcionalidades y características del BSS ( <i>Frequency Hopping</i> , transmisión discontinua DTX, etc.).

**Tabla 3.1 Lista de parámetros configurables en un subsistema de estaciones base <sup>[9]</sup>**

Cada BSS posee una configuración determinada que condiciona su funcionamiento. Generalmente existe un conjunto de parámetros por defecto. Sin embargo se programan ciertos parámetros que están ajustados para realizar

ciertas acciones, para responder en determinados entornos o a aplicaciones concretas.

El número de parámetros configurables en un BSS es del orden de varios cientos. Todos ellos, junto con sus valores por defecto, se definen en:

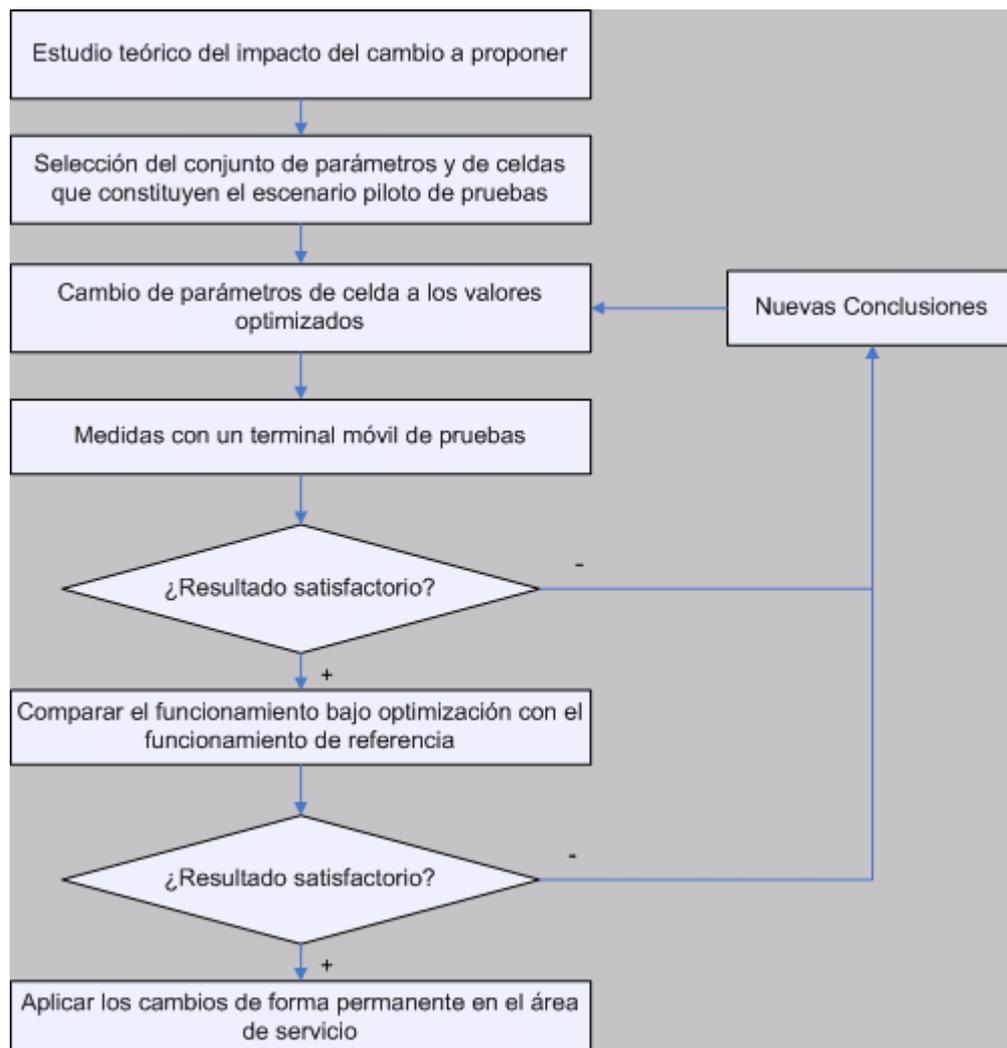
- Las recomendaciones GSM del ETSI.
- Los parámetros propietarios.

De acuerdo al ETSI los distintos tipos de parámetros que se pueden configurar en un BSS se engloban dentro de las categorías que se recogen en la Tabla 3.1

Estos parámetros permite realizar un control sofisticado del comportamiento y la respuesta de cada BSS. Pero la complejidad de muchos de ellos podría dar lugar a problemas, tales como:

- Los parámetros pueden estar interrelacionados, por lo que cualquier cambio en uno de ellos tendrá un efecto en los demás.
- Los fabricantes pueden emplear distintos acrónimos para el mismo parámetro GSM, lo que puede llevar a confusiones cuando se trabaja simultáneamente con distintos suministradores del mismo tipo de elemento de red.
- También se puede dar el caso contrario, pudiéndose utilizar el mismo acrónimo, o uno muy similar, para un parámetro distinto según el fabricante.

El proceso que se debe seguir en general para ajustar algunos parámetros del BSS se describe en la Figura 3.7



**Figura 3.7** Proceso de ajuste de parámetros en un BSS <sup>[9]</sup>

Durante el proceso de optimización de parámetros no es recomendable realizar cambios en varios parámetros simultáneamente, principalmente por dos razones:

- Cuando surge un problema inesperado como resultado de un cambio de múltiples parámetros, puede ser muy complicado identificar el parámetro específico o la combinación de parámetros que están causando el problema.
- Si por el contrario se produce el efecto deseado y se detecta una mejora en el funcionamiento del BSS, puede resultar difícil identificar qué parámetro o conjunto de parámetros están provocando dicha mejora.

### 3.1.3.2.5 Otras actividades concretas de optimización de redes GSM

A continuación se exponen varias técnicas usadas usualmente en el proceso de optimización de redes móviles GSM, citadas a lo largo de este capítulo.

#### a) Salto de frecuencia:

El principio de salto de frecuencia en GSM es que ráfagas sucesivas TDMA de una conexión son transmitidas vía diferentes frecuencias que pertenecen a las respectivas celdas de acuerdo al planeamiento de la red. Este método es llamado Salto de Frecuencia Lento (SFH) puesto que la frecuencia de transmisión permanece constante durante una ráfaga. (En contraste al salto de frecuencia rápido donde la frecuencia de transmisión cambia en una ráfaga).

La calidad de enlace puede cambiar de ráfaga a ráfaga porque el desvanecimiento en plazo corto y el nivel de interferencia son diferentes en frecuencias diferentes.

Puesto que la información para una trama de voz es intercalada sobre 8 ráfagas sucesivas y la decodificación exitosa de la trama de voz depende del promedio de la tasa de bit error de estas 8 ráfagas, una trama de voz puede ser decodificada aún si hubieran algunas ráfagas con mala calidad. Sin salto en general las 8 ráfagas serán buenas o malas. De aquí el beneficio del salto de frecuencia, que es una clase de ecualización de la calidad del enlace de todas las conexiones por diversidad de frecuencia (promediando los desvanecimientos en plazo corto) y por diversidad de interferencia (promediando la interferencia).

#### b) Control de potencia:

Es el mecanismo que permite adaptar la potencia de transmisión de la MS de acuerdo a las condiciones de recepción de la BTS. Existen dos ventajas con este procedimiento: la reducción del consumo de potencia promedio (especialmente en la MS) y la reducción de la interferencia experimentada por usuarios cocanal.

Existen dos tipos de control de potencia disponibles:

- *Clásico*.- El tamaño de los pasos son fijados (2, 4, 6 dB) independiente de los valores actuales de RXLEV<sup>2</sup> y RXQUAL<sup>3</sup>. Después un comando suspende el proceso por cierto tiempo.
- *Adaptivo*.- El tamaño de los pasos depende de los valores actuales de RXLEV y RXQUAL. El tiempo entre dos decisiones de CP es minimizado.

c) Transmisión discontinua:

La meta es reducir el consumo de potencia de la MS y reducir la interferencia en la celda. En una conversación normal los participantes hablan sólo alrededor del 50% del tiempo<sup>4</sup>, usando cada dirección de transmisión sólo el 50%. La transmisión discontinua (DTX) es un modo de operación donde las transmisiones son conmutadas sólo para aquellas tramas que contienen información útil. La dificultad es encontrar una técnica que distinga la voz del ruido real aún en un ambiente ruidoso. Estos algoritmos son implementados en la función VAD (*Voice Activity Detection*).

d) Codificación de la voz:

La voz requiere de más bits por segundo si se desea aumentar su calidad, la codificación de voz permite reducir la cantidad de bits usando algoritmos matemáticos, en GSM los codificadores híbridos reducen en 8 veces la cantidad de bits por segundo y sin perder información al eliminar redundancias.

---

<sup>2</sup> RXLEV: Parámetro del nivel recibido en cada portadora RF

<sup>3</sup> RXQUAL: Parámetro de la calidad recibida en cada portadora RF

<sup>4</sup> Criterio tomado de la bibliografía de Siemens, ver Anexo 5

e) Codificación de canal:

Para evitar que la pérdida de algunos bits durante la transmisión introduzca errores en la información, se efectúan procesos de codificación agregando bloques de bits de redundancia y también codificación de convolución. En la recepción a través de decodificadores y verificadores de paridad se pueden reconstruir mensajes, evitando así la repetición del mensaje incompleto y erróneo.

f) Entrelazado:

Debido al desvanecimiento de la señal, se pierden bits consecutivos, incluso ráfagas completas. Para que la información no se pierda se realiza el entrelazado, usando un algoritmo cuyo propósito es el siguiente: supongamos que se pierde una ráfaga de 57 bits (incluidos los bits de codificación), la idea es que en vez de perder 57 bits de una ráfaga, se pierda sólo 1 bit, pero de 57 ráfagas y así poder reconstruir el mensaje gracias a la codificación.

g) Diversidad de antena:

La idea es utilizar dos canales de recepción que se vean afectados de diferente forma por los desvanecimientos. Este método requiere de dos antenas en la estación base separadas por una distancia (que disminuye al aumentar la frecuencia de transmisión). De esta forma se comparan las señales y se elige la mejor, esta operación la realiza la BTS.

h) Ecuador:

Esta es una solución al problema de la Interferencia entre símbolos (ISI), el procedimiento simula un canal ideal y lo compara con la información que se está recibiendo y encuentra un valor "probable" de ese bit. De esta forma el sistema no se confunde al recibir juntos un 0 que se retrasó y un 1 enviado con posterioridad.

En este caso el tiempo de retraso fue de un tiempo de bit, GSM soporta retrasos de hasta 4 tiempos de bit.

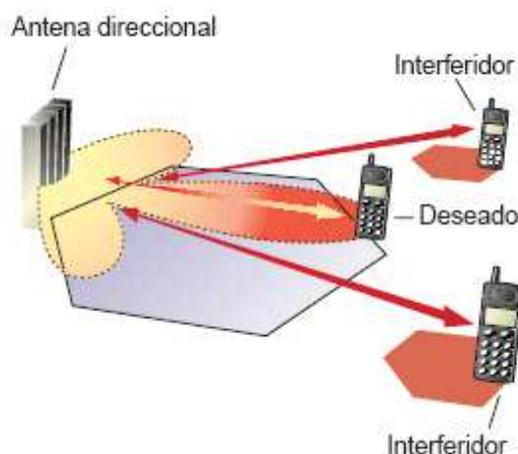
i) Avance en el tiempo:

Si la estación móvil se aleja de la base durante una llamada, debe enviarse un *burst* por adelantado respecto del tiempo de sincronización; sin embargo, hay un límite de cuánto antes, para evitar que se mezclen con otros intervalos de tiempo.

j) Antenas adaptivas:

A diferencia de las antenas convencionales, que radian energía por toda la celda, las adaptivas limitan la energía radiada a un haz estrecho (Figura 3.8). Las ventajas de dirigir la energía difundida por un haz estrecho son un incremento en la ganancia de señal y mayor gama del camino de la misma, así como menor reflexión de ruta múltiple, más eficiencia espectral y mayor capacidad en la red. También tiene algunas desventajas, siendo la principal de ellas la necesidad de localizar continuamente la posición angular de los terminales móviles en la celda.

Las antenas adaptivas permiten mayor reuso de frecuencias en una red celular; es decir, incrementan su capacidad. Las antenas adaptivas también pueden mejorar la calidad de la voz. Además, su introducción paso a paso en las redes existentes parece ser práctica y económicamente factible.



**Figura 3.8 Instalación de antena direccional mostrando un sistema de antena adaptiva** <sup>[21]</sup>

k) Microceldas:

Sirven para incrementar la capacidad de la red, son usadas para llamadas de movilización lenta, esto reduce la tasa de *handovers*, la probabilidad de llamadas caídas y la carga innecesaria de señalización *handover*.

Las microceldas tienen una baja potencia de transmisión y se usan para la cobertura de regiones de alta carga de tráfico.

l) Otros:

Dentro de otros mecanismos para la optimización de redes móviles se puede mencionar: el uso de canal de *broadcast* (BCCH) común en redes multibanda, el uso de amplificadores de torre, filtros criogénicos o sincronización de la red.

### 3.1.4 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE ESCALAMIENTO DE OPTIMIZACION RF

Después del despliegue de la red, deben realizarse chequeos regulares del *performance*. Estos chequeos comprenden la evaluación de los datos estadísticos, la atención a las quejas de los clientes, la atención de las boletas del organismo regulador y las medidas por medio de *test drive* para explorar eventos especiales.

Una evaluación cuidadosa de los datos medidos ayudará a optimizar el *performance* de la red por la modificación de los parámetros del sistema. Debido a que el número de suscriptores normalmente se incrementa en el transcurso del tiempo, el control y supervisión de estos parámetros debería llegar a ser un procedimiento de mantenimiento permanente. Por ello se plantea un procedimiento general para la optimización del desempeño de la red radio GSM de Movistar.

En primer lugar se prioriza los sectores de las radiobases por desempeño, para ello se crea cada semana una lista de los sectores de las radiobases a nivel nacional, clasificados de acuerdo a los valores de sus *Key Performance Indicators* (KPIs) empezando por los peores. Entonces las acciones de optimización se realizarán con este orden de BTSs. Las estadísticas toman en cuenta los valores de la hora pico en un día y los promedios diarios.

Posteriormente en el análisis particular de cada radiobase se chequean las estadísticas de sus KPIs, se revisa el plan de frecuencias, se verifica la base de datos de las BTSs y las alarmas correspondientes; de los resultados de este proceso podríamos concluir si existe algún inconveniente cuya solución amerite un cambio de parámetros o revisión del *hardware*, en cuyo caso se efectúa la correspondiente orden de trabajo (OT), *Change Request* (CR) o *Action Request* (AR) respectivamente. La base de datos de las BTSs contiene la información actual de cada uno de los parámetros de todas las BTSs existentes. De ser necesario se podría también en este punto usar algún *software* de predicción de cobertura.

Si lo analizado no es suficiente para determinar la causa del inconveniente, el siguiente paso en el procedimiento es realizar un *drive test*, el análisis de los resultados que éste arroje llevaría a concluir si es necesario un cambio de parámetros, en cuyo caso se envía la pertinente OT. El *drive test* podría ser remplazado por el conocimiento empírico del terreno por parte de los ingenieros de optimización y por la información fotográfica de la BTS.

Si la solución no es un cambio de parámetros, podría tratarse de una interferencia en cuyo caso se deben ejecutar una serie de pruebas a fin de identificar si la interferencia es interna o externa. Se podría usar para ello un analizador de espectros o alguna otra herramienta similar.

En el caso de interferencia interna para solucionar el inconveniente se debe realizar un cambio de frecuencias en el sector involucrado. Posteriormente esta radiobase volvería a la lista de radio bases a priorizar.

Para el caso de interferencias externas, se debe detectar la señal interferente y notificar el particular a la SUPTEL, cuya respuesta debería desembocar en la solución del inconveniente, pues de no ser así se debe insistir con otro comunicado a la SUPTEL.

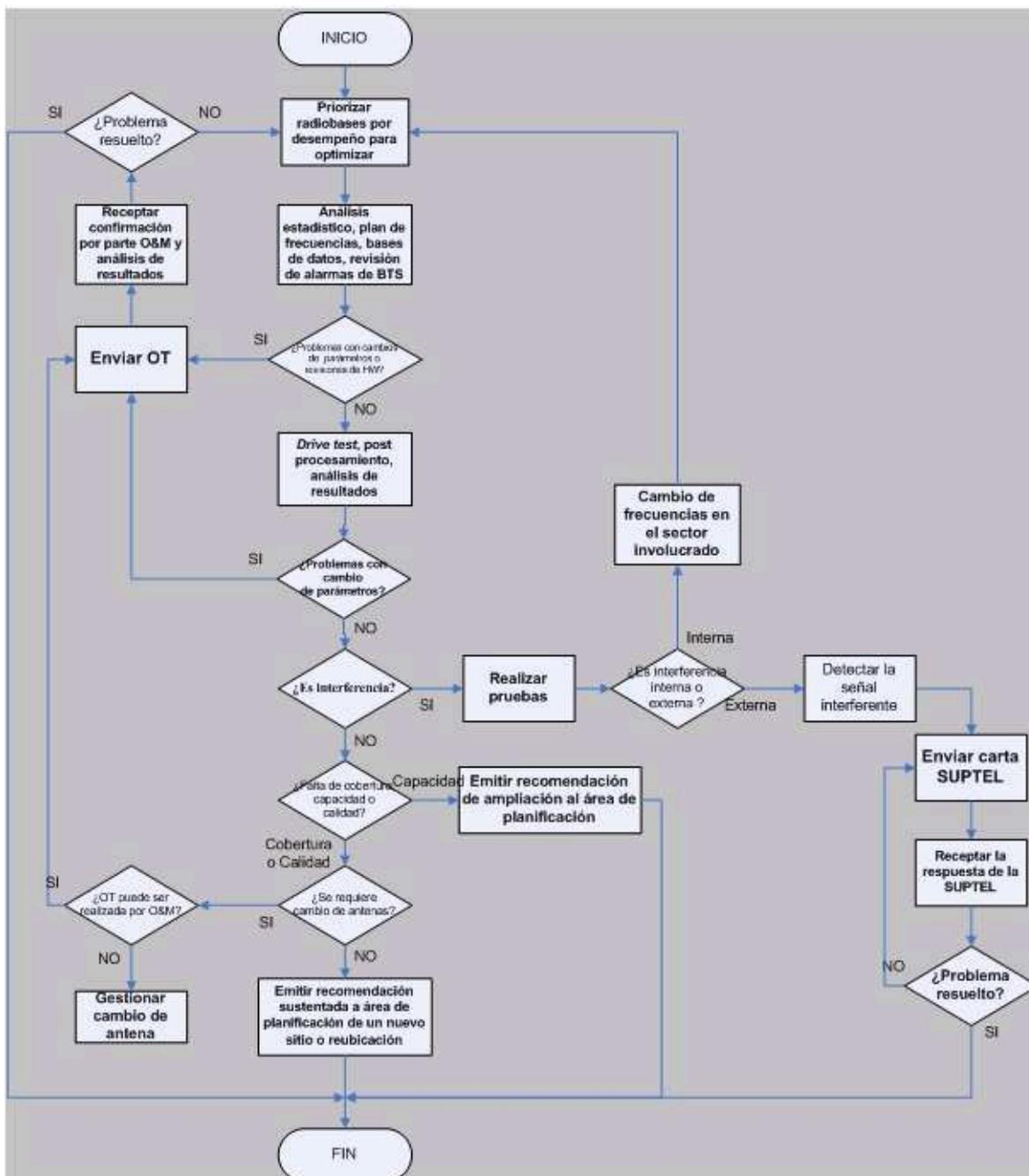


Figura 3.9 Diagrama de flujo de la optimización RF

Si el problema no tiene que ver con interferencias, entonces se podría pensar en problemas de capacidad, calidad o cobertura.

En el caso de inconvenientes de capacidad, se debe emitir una recomendación de ampliación al área de planificación. Es importante analizar además la cobertura de las celdas físicamente vecinas.

Si por el contrario el problema es de cobertura o calidad, se debe evaluar si se requiere un cambio de antenas, en cuyo caso se tiene dos posibilidades: si es posible se debe realizar dicho cambio por el departamento de operación y mantenimiento (O&M) para lo cual se debe enviar una orden de trabajo (OT); o por el contrario si el cambio no se puede realizar por O&M se debe gestionar el cambio de antena, lo cual podría ser resuelto por algún proveedor, por subcontrato o por un concurso de ofertas. El cambio de antenas podría involucrar un incremento de directividad, de ganancia o la instalación de un amplificador en el *dowlink* o *uplink*.

Si no se trata de un cambio de antenas entonces será necesaria la implementación de un nuevo sitio o de una reubicación; en cuyo caso se deberá emitir una recomendación debidamente sustentada al área de planificación.

### **3.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL MONITOREO DE LOS INDICADORES DEL PERFORMANCE DE LA RED**

El objetivo de esta sección es analizar individualmente los KPIs definidos anteriormente como los más relevantes de acuerdo al impacto al usuario final, encontrar si existe alguna relación entre ellos y definir las medidas a tomar para la optimización del *performance* de la red.

Se describe un grupo de posibles causas y recomendaciones para el proceso de análisis, un grupo de acciones de optimización y algunos aspectos a tener en cuenta para cada uno de los KPIs.

### 3.2.1 TASA DE LLAMADAS COMPLETADAS

Como se mencionó anteriormente el porcentaje de llamadas completadas es medido con el KPI *Call Setup Success Rate BSS (CSSuccRateBSS)*.

#### 3.2.1.1 Recomendaciones para el proceso de análisis:

- Se debe chequear las estaciones cuyo valor de *CSSuccRateBSS* sea menor a 97%
- Se debe chequear la capacidad de los canales TCH y SDCCH
- Se debe verificar la mezcla de *Edge CUs*<sup>5</sup> con *Flex CUs*<sup>6</sup>
- Se puede degradar el indicador *CSSuccRateBSS* debido a interferencias, en este caso se debe verificar si existe FER elevado, *drop call* elevado, *drop handover* elevado
- También se tiene degradación de este KPI debido a bajos niveles de señal (límite de cobertura, cobertura *indoor*) o accesos lejanos
- Se debe chequear si existen problemas de *hardware*, los inconvenientes podrían deberse a esta causa
- Se debe analizar problemas de *Immediate Assignment*, SDCCH *drop* y de la interfaz Abis

---

<sup>5</sup> *Edge CUs: Edge Carrier Unit.* - CU con soporte de funcionalidad EDGE en el *uplink* y *dowlink*

<sup>6</sup> *Flex CUs: Flex Carrier Unit.* – Unidad de dos portadoras, permite la expansión del número de TRXs a un máximo de 48.

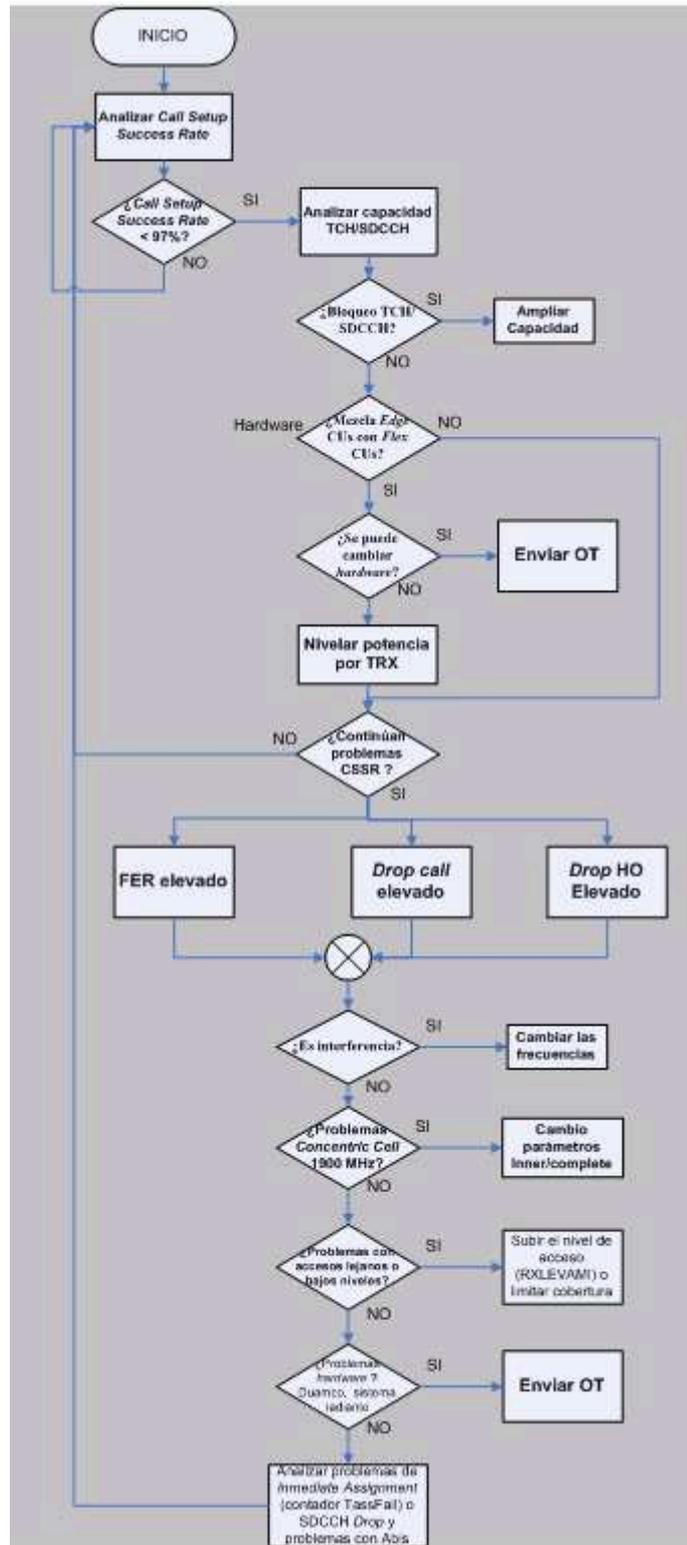


Figura 3.10 Diagrama de flujo de la optimización de llamadas completadas

### 3.2.1.2 Acciones de optimización y aspectos a tener en cuenta:

- Si el problema es de capacidad de los canales TCH/SDCCH, al comprobar un bloqueo se debe ejecutar una ampliación de la capacidad de dichos canales.
- Luego de verificar la mezcla de *Edge* CUs con *Flex* CUs, se debe verificar si es posible el cambio físico, en ese caso se debe enviar la respectiva OT.
- Se debe nivelar la potencia de los TRXs, ejecutando *power reduction* por cada TRX.
- Si los problemas continúan, se verifica si están elevados el FER, *drop call* y *drop handover*; en cuyo caso puede tratarse de interferencias internas, entonces se debe realizar un cambio en el plan de frecuencias.
- Si se tiene implementado *Concentric Cell*<sup>7</sup> se debe cambiar los parámetros *Inner/Complete*<sup>8</sup>.
- Si no existen interferencias se puede tratar de accesos lejanos o bajos niveles de señal, entonces se debe analizar la distancia a la que se producen los accesos con el objetivo de limitar la cobertura a través de cambios físicos, o subir el nivel de acceso (parámetro RXLEVAMI<sup>9</sup>).
- A nivel de *hardware* se debe revisar el correcto funcionamiento del *duamco*<sup>10</sup>, las CUs y el sistema radiante. En caso de comprobar un inconveniente a este nivel se debe enviar la respectiva OT.
- Finalmente se chequea problemas de *Immediate Assignment* a través del contador *TassFail*<sup>11</sup>, problemas de SDCCH *drop* y problemas con la interfaz Abis.

---

<sup>7</sup> *Concentric Cell: Feature* mediante la cual se superponen dos celdas una misma área.

<sup>8</sup> *Inner/Complete*: Las áreas dentro de una celda concéntrica, *Inner* es el área interna que trabaja en la banda de 1900 MHz y *Complete* es el área mas extensa que trabaja en la banda de 850 MHz. (ver Anexo 3)

<sup>9</sup> *RXLEVAMI*: Nivel mínimo de señal recibido por el móvil para acceder a una BTS

<sup>10</sup> *duamco: Duplexer Amplifier Multicoupler*.- Consiste de dos módulos idénticos, cada módulo tiene un filtro *duplex* que combina el camino de TX y RX em una sola antena.

<sup>11</sup> *TassFail*: Contador para las fallas de asignación producidas en el enlace entre el BSC y la MSC

### 3.2.2 TASA DE CAÍDAS SDCCH

El porcentaje de caídas del canal SDCCH se mide con el indicador *SDCCHDropRate*.

#### 3.2.2.1 Recomendaciones para el proceso de análisis:

- Se tienen las mismas recomendaciones que para *TCH drop rate*.
- Se debe chequear las retransmisiones de RACH.

#### 3.2.2.2 Acciones de optimización y aspectos a tener en cuenta:

- En general se pueden tratar de problemas de mala cobertura o interferencias como en el caso de *TCH drops*.
- Si se tiene 100% de *SDCCH drop* de tipo interfaz Abis, se trata de una falla en el *software* de la BTS, se debe dar un *reset* de la BSCU<sup>12</sup> en la BSC.
- Si se tiene 100% de *SDCCH drop* de tipo interfaz A, es porque la BTS está conectada a otro BSC o porque la BTS no está declarada en el BSC.

### 3.2.3 CONGESTIÓN DE VOZ - TCH BLOCKING RATE

El porcentaje de congestión en los canales de voz se analiza a través del KPI *TCH Blocking Rate*.

#### 3.2.3.1 Recomendaciones para el proceso de análisis:

- Verificar si existen quejas de los clientes que reportan que la red está ocupada

---

<sup>12</sup> BCSU: BSC Unit

- Realizar el seguimiento de tráfico y de la capacidad de voz para detectar problemas de congestión y así generar posibles ampliaciones. Se debe realizar el seguimiento del KPI tasa de asignaciones fallidas del canal TCH (*TCHAssignmentFailRate*)
- Chequear si existe un alto número de *Directed Retry*<sup>13</sup>, si se encuentra activado
- Verificar si hay un bajo número de *Intra/Inter handover* debido a TCHs no disponibles.
- Verificar si existe una tasa alta de mensajes de asignación fallida de recursos de radio no disponibles.

### 3.2.3.2 Acciones de optimización y aspectos a tener en cuenta:

- Se debe hacer el seguimiento de sectores con problemas de *TCHAssignmentFailRate*.
- En caso de algún evento aislado o fecha atípica se debe realizar un seguimiento y verificar el correcto funcionamiento posterior.
- En eventos especiales se debe activar algunos TRXs o instalar una estación móvil.
- En fechas festivas se recomienda verificar si es necesario colocar TRXs en modo *half rate*.
- En el análisis de la congestión de voz, una vez que se supere el umbral del 1% se debe programar la ampliación respectiva y ésta se debe ejecutar justo en el momento que se llegue al 2% de congestión.
- Adicionalmente se debe realizar el seguimiento a la congestión de AGCH y PCH.
- Lo indicado en azul es ejecutado por el área de planificación.

---

<sup>13</sup> *Directed Retry: Feature* que envía una llamada de una BTS congestionada a otra que no lo esté.

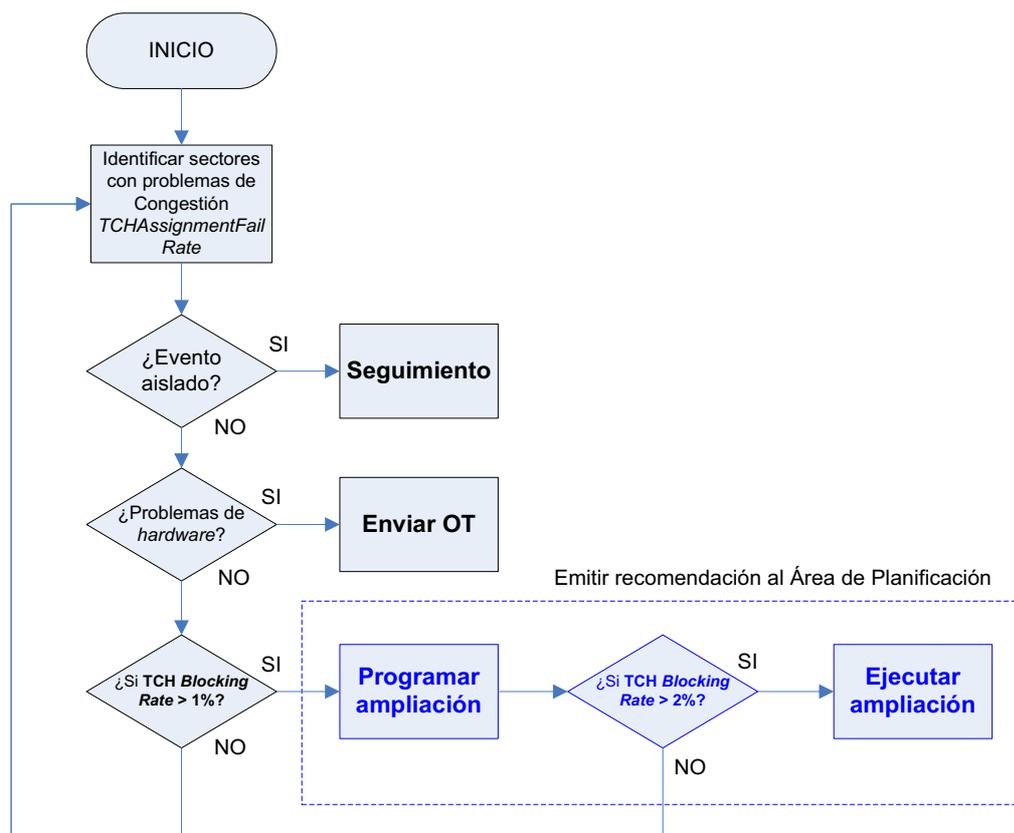


Figura 3.11 Diagrama de flujo de la optimización de la congestión de voz

### 3.2.4 CONGESTIÓN DE SEÑALIZACIÓN - SDCCH *BLOCKING RATE*

El porcentaje de congestión en los canales de señalización se analiza a través del KPI SDCCH *Bloking Rate*.

#### 3.2.4.1 Recomendaciones para el proceso de análisis:

- Realizar el seguimiento de tráfico y capacidad de señalización para detectar problemas de congestión y así generar posibles ampliaciones.
- Verificar si existen muchas actualizaciones de localización.
- Chequear si existen demasiados mensajes cortos (SMSs), retransmisiones de RACH o accesos dobles.

### 3.2.4.2 Acciones de optimización y aspectos a tener en cuenta:

- Seguimiento de sectores con problemas de *SDCCHAssignmentFailRate*.
- En el análisis de congestión de señalización una vez que se supere el umbral del 0.5% se debe programar la ampliación respectiva y ésta se debe ejecutar justo en el momento que se llegue al 1% de congestión.
- Adicionalmente se debe realizar el seguimiento a la congestión de AGCH y PCH.
- Si existen muchos *location updates*, verificar si existe una mala configuración de *location area*, bajo valor de *periodic Timer Locación Update* o bajo valor para *Cell Reselect Hysteresis*
- Podría también ser necesaria una reconfiguración de SDCCH, la activación de FACCH en el *Call Setup* o la activación de *dynamic SDCCH*
- Lo indicado en azul es ejecutado por el área de planificación.

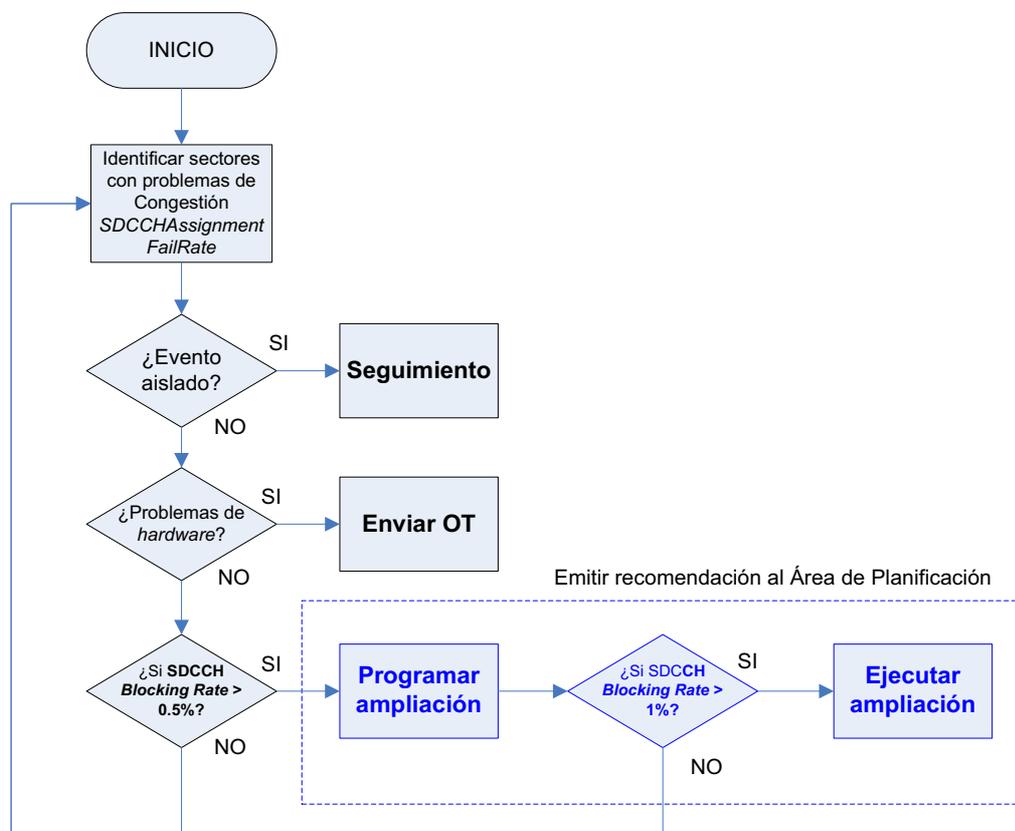


Figura 3.12 Diagrama de flujo de la optimización de la congestión de señalización

### 3.2.5 TASA DE LLAMADAS CAÍDAS

El porcentaje de llamadas caídas es quizás el indicador de calidad de telefonía más importante y más comúnmente usado. Se analiza a través del KPI TCH *Drop Rate*.

#### 3.2.5.1 Recomendaciones para el proceso de análisis:

Luego de identificar los sectores con problemas de TCH *Drops*, se analiza la causa que más impacto tiene en la cantidad de eventos.

- TCH *Drops* como causa “Distancia”: si se presenta un valor elevado, se trata de un sitio candidato a implementar *extended cell* <sup>14</sup>.
- TCH *Drops* como causa “O&M”: ocurre cuando se realizan trabajos de mantenimiento en la BTS.
- TCH *Drops* como causa “*Protocol error*”: aproximadamente el 90% de estos problemas son debidos a *software* (se corrompe la carga de *software* de la BTS, hay que recargar las COBAS<sup>15</sup>; o hubo un problema en el enlace de transmisión).
- TCH *Drops* como causa “*RF interface failure UL*”: debido a interferencias y/o mala cobertura (malas condiciones de radio). O debido a problemas en el enlace de transmisión
- TCH *Drops* como causa “*Radio interface message failure DL*”: Debido a malas condiciones de radio por lo que se pierde la mensajería. Estas fallas se tienen luego que expira el *timer* T\_MSRLFPCI <sup>16</sup>. Debido a interferencias y/o mala cobertura.
- Puede también darse el caso de problemas de hardware.

---

<sup>14</sup> *extended cell*: Celda que permite un alcance de hasta 100 Km (ver Anexo 2)

<sup>15</sup> COBA: *Core Basis*.- Componente esencial donde se realiza todo el procesamiento de la BTS.

<sup>16</sup> *timer* T\_MSRLFPCI: Cuando este timer expira se incrementa el número de TCH *Drops* con causa *Radio interface message failure*

- Puede también darse el caso de problemas de hardware.
- Se debe analizar otras causas como: *drop call handover*, *sequence error*, *remote transcoder failure*<sup>17</sup>, *preemption*<sup>18</sup>

Para estos eventos siempre se debe verificar la periodicidad de la falla y realizar una revisión de alarmas en el NOC.

### 3.2.5.2 Acciones de optimización:

- Si la causa es distancia, para estaciones rurales si es posible se debe implementar *Extended Cell*, si no es posible se debe analizar la posibilidad de nuevos sitios; por el contrario para estaciones suburbanas y urbanas se debe reducir el área de cobertura.
- Si la causa es O&M se verifica si se hicieron trabajos de mantenimiento.
- Si la causa es *Protocol Error*, se debe verificar si existen problemas en el enlace de transmisión; si no hay problemas en el enlace, se debe comprobar si existen fallas en el acceso a los canales TCH en cuyo caso se puede tratar de problemas de interferencia, si no existen fallas en los accesos a los canales TCHs se debe recargar el software de las COBAS.
- Si existen fallas en la interfaz RF en el *uplink*, puede tratarse de problemas del enlace de transmisión; pero si no se trata de ello se verifica si existen niveles altos de FER y niveles bajos de señal en cuyo caso debemos comprobar un posible daño de TRX, de ser así se envía la OT respectiva; si no existe daño en los TRX se debe abrir un caso con el TAC<sup>19</sup> del fabricante (Siemens). Si los niveles de FER y señal son correctos se puede tratar de interferencia.

---

<sup>17</sup> *remote transcoder failure*: falla de hardware

<sup>18</sup> *preemption*: *Feature* que define prioridades a nivel de usuarios para la asignación de canales cuando existen congestión de canales.

<sup>19</sup> TAC: *Technical Assistance Center*

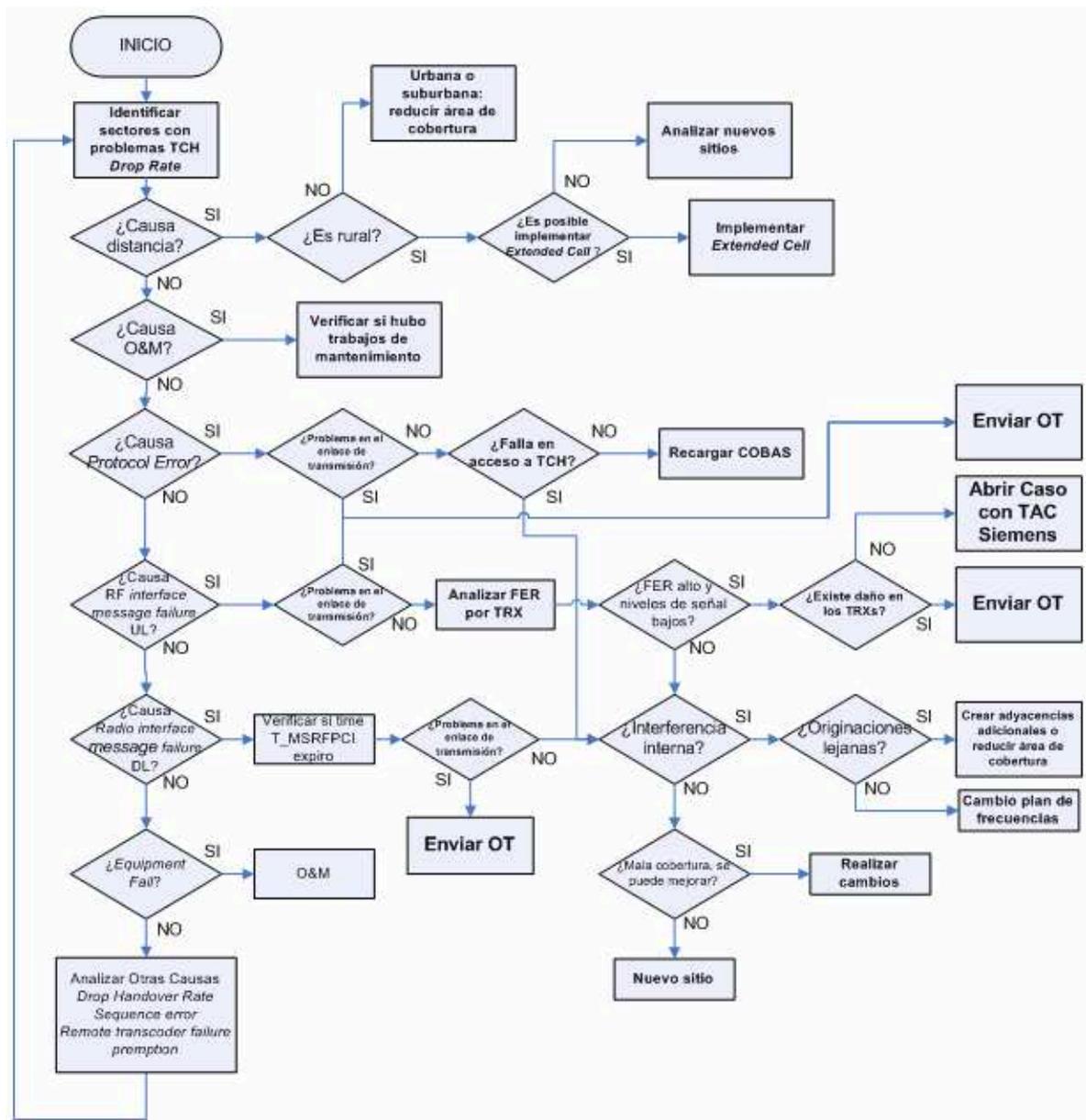


Figura 3.13 Diagrama de flujo de la optimización de llamadas caídas

- Para el caso de problemas en la interfaz RF en el *dowlink*, se debe verificar si el *timer* T\_MSRFPCI ha expirado, se podrían tener inconvenientes en el enlace de transmisión o interferencias.

- Para cualquiera de las causas en donde se concluya que existen problemas en el enlace de transmisión se debe enviar la OT correspondiente.
- De la misma manera, si en cualesquiera de los casos se sospecha de interferencia, se debe verificar si existen originaciones lejanas (por medio del *timing advance*<sup>20</sup>), en cuyo caso se deben crear adyacencias adicionales o se debe reducir el área de cobertura; si por el contrario no existen originaciones lejanas se debe cambiar el plan de frecuencias.
- Si no se trata de interferencia, lo más probable es que exista mala cobertura, si puede mejorarse la cobertura del sitio se deben realizar los cambios necesarios, caso contrario la alternativa será la creación de un nuevo sitio.
- Posteriormente se debe chequear si existen problemas de hardware, en cuyo caso se debe notificar a O&M.
- Si el problema persiste se deben verificar otras causas como: *drop call handover, sequence error, remote transcoder failure o preemption*.

### 3.2.5.3 Otros aspectos a tener en cuenta:

- También se pueden tener problemas de llamadas caídas por asignación fallida de TCH, mala declaración de adyacencias o fallas en la interfaz A.
- Se debe tomar en cuenta que en BTSs rurales o BTSs que no tienen continuidad, se podrían mejorar las estadísticas sacrificando la cobertura.
- Fallas de la interfaz A: problemas en las tarjetas *Exchange Terminal*, se deben bloquear los circuitos conectados a esta tarjeta antes de cambiarla.

---

<sup>20</sup> *timing advance*: Distancia entre la MS y la BTS cuyo valor puede variar entre 0 y 63 (*time slots*), la distancia máxima es 35 Km

### 3.2.6 TASA DE HANDOVERS INTERBSC EXITOSOS - INTERBSCHOSUCCESSRATE

El porcentaje de *handovers* exitosos entre BTSs pertenecientes a BSCs distintas.

#### 3.2.6.1 Recomendaciones para el proceso de análisis:

- Realizar el análisis a nivel de cada adyacencia y evaluar cual es la adyacencia que más aporta al problema y sobre ésta se verifica que tipo de falla de *handover* aporta más.
- Las razones de fallas de *handover* son: distancia, nivel, calidad y *Power Budget*.
- Podría también existir problemas de interferencia, cobertura o *hardware*.
- Con la entrada de nuevos sitios en la red, y la modificación de las fronteras de LACs, a veces es necesaria la eliminación de algunas relaciones de *handover* en la frontera entre BSCs.

#### 3.2.6.2 Acciones de optimización y aspectos a tener en cuenta:

- Para favorecer los *handover*, se puede manejar la histéresis (parámetro HOM), las ventanas de promedio para calidad, nivel y *Power Budget* (parámetros HOAVQUAL, HOAVLEV y HOAVPWRB). También puede ser necesario cambiar los umbrales de calidad o nivel. Se debe enviar la OT respectiva.
- En el caso de que la mayoría de *handover* fallen, pero sean muy pocos, es mejor quitar estas relaciones de vecindad.
- Se debe verificar la falta de un vecino intermedio a través del *drive test*.
- Se debe verificar si existe interferencia, en cuyo caso se debe realizar cambios en el plan de frecuencias.
- Verificar si existe mala cobertura y realizar cambios para mejorarlo.

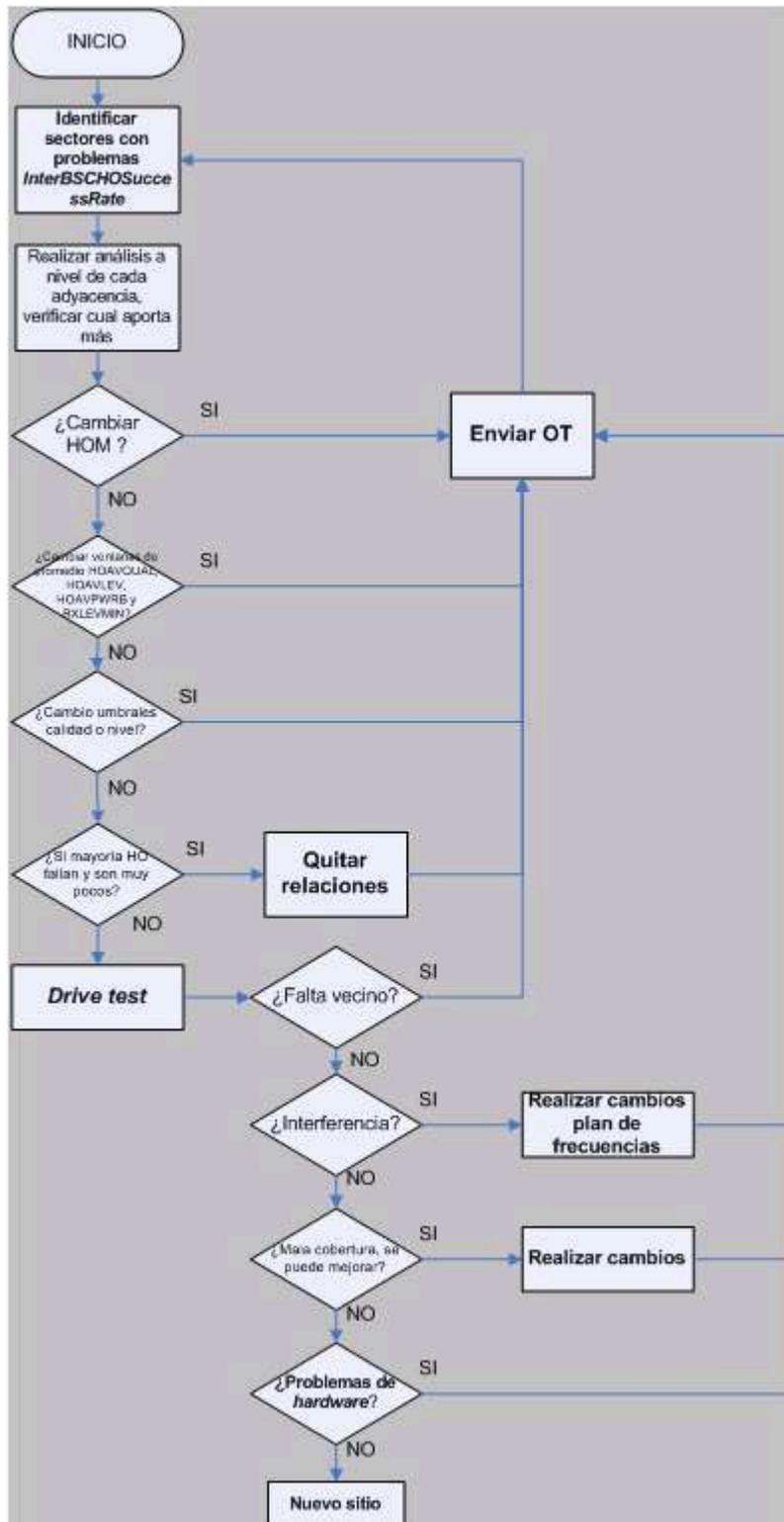


Figura 3.14 Diagrama de flujo de la optimización de *handovers* InterBSC

- Se debe verificar el *hardware*, si existe algún inconveniente se debe enviar la OT respectiva.
- Finalmente si persisten los inconvenientes, la solución es la implementación de un nuevo sitio.

### **3.2.7 TASA DE HANDOVERS INTERCELL EXITOSOS - INTERCELLHOSUCCESSRATE**

El porcentaje de *handovers* exitosos entre BTSs pertenecientes a una misma BSC.

#### **3.2.7.1 Recomendaciones para el proceso de análisis:**

- Realizar el análisis a nivel de cada adyacencia y evaluar cual es la adyacencia que más aporta al problema y sobre ésta se verifica que tipo de falla de *handover* aporta más.
- Las razones de fallas de *handover* son: distancia, nivel, calidad y *Power Budget*.
- Podría también existir problemas de interferencia, cobertura o *hardware*.

#### **3.2.7.2 Acciones de optimización y aspectos a tener en cuenta:**

- Para favorecer los *handover*, se puede manejar la histéresis (parámetro HOM), las ventanas de promedio para calidad, nivel y *Power Budget* (parámetros HOAVQUAL, HOAVLEV y HOAVPWRB). También puede ser necesario cambiar los umbrales de calidad o nivel. Se debe enviar la OT respectiva.
- En el caso de que la mayoría de *handover* fallen pero sean muy pocos, es mejor quitar estas relaciones de vecindad.
- Se debe verificar la falta de un vecino intermedio a través del *drive test*.

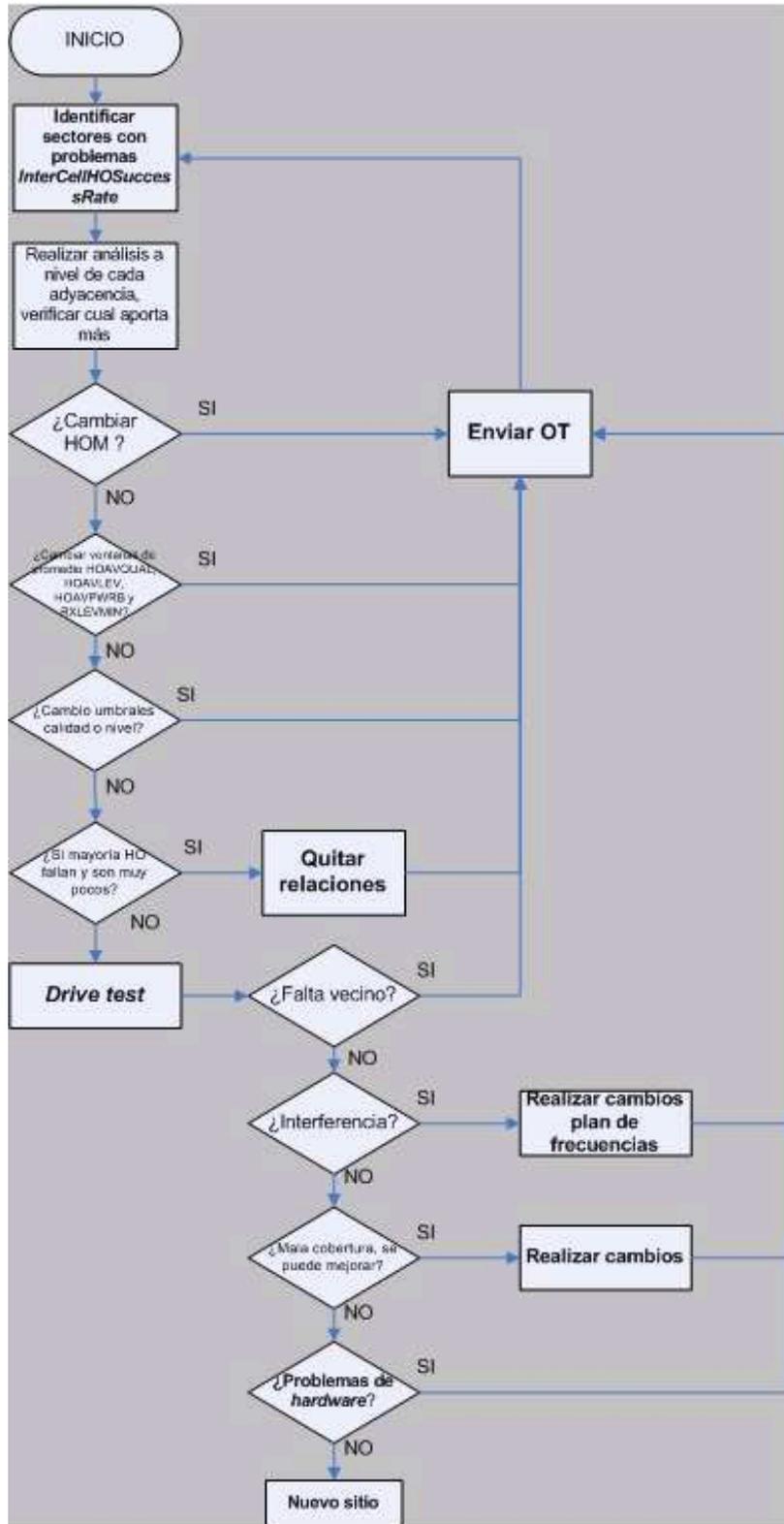


Figura 3.15 Diagrama de flujo de la optimización de *handovers InterCell*

- Verificar si existe interferencia, en cuyo caso se debe realizar cambios en el plan de frecuencias.
- Verificar si existe mala cobertura y realizar cambios para mejorarlo.
- Se debe verificar el *hardware*, si existe algún inconveniente se debe enviar la OT respectiva.
- Finalmente si persisten los inconvenientes, la solución es la implementación de un nuevo sitio.

### 3.2.8 TASA DE HANDOVERS INTRACELL EXITOSOS - INTRACELLHOSUCCESSRATE

El porcentaje de *handovers* exitosos entre canales dentro de una misma BTS.

#### 3.2.8.1 Recomendaciones para el proceso de análisis:

- Realizar el análisis a nivel de cada adyacencia y evaluar cual es la adyacencia que más aporta al problema y sobre esta se verifica que tipo de falla de *handover* aporta más.
- Las razones de fallas de *handover* son: nivel y calidad.
- Si está implementado *Concentric Cell* se deben hacer ciertas consideraciones particulares.
- Podrían también deberse a problemas de interferencia, cobertura o *hardware*.

#### 3.2.8.2 Acciones de optimización y aspectos a tener en cuenta:

- Para favorecer los HO, se puede manejar las ventanas de promedio para calidad y nivel (parámetros HOAVQUAL y HOAVLEV). También puede ser necesario cambiar los umbrales de calidad o nivel. Se debe enviar la respectiva OT.

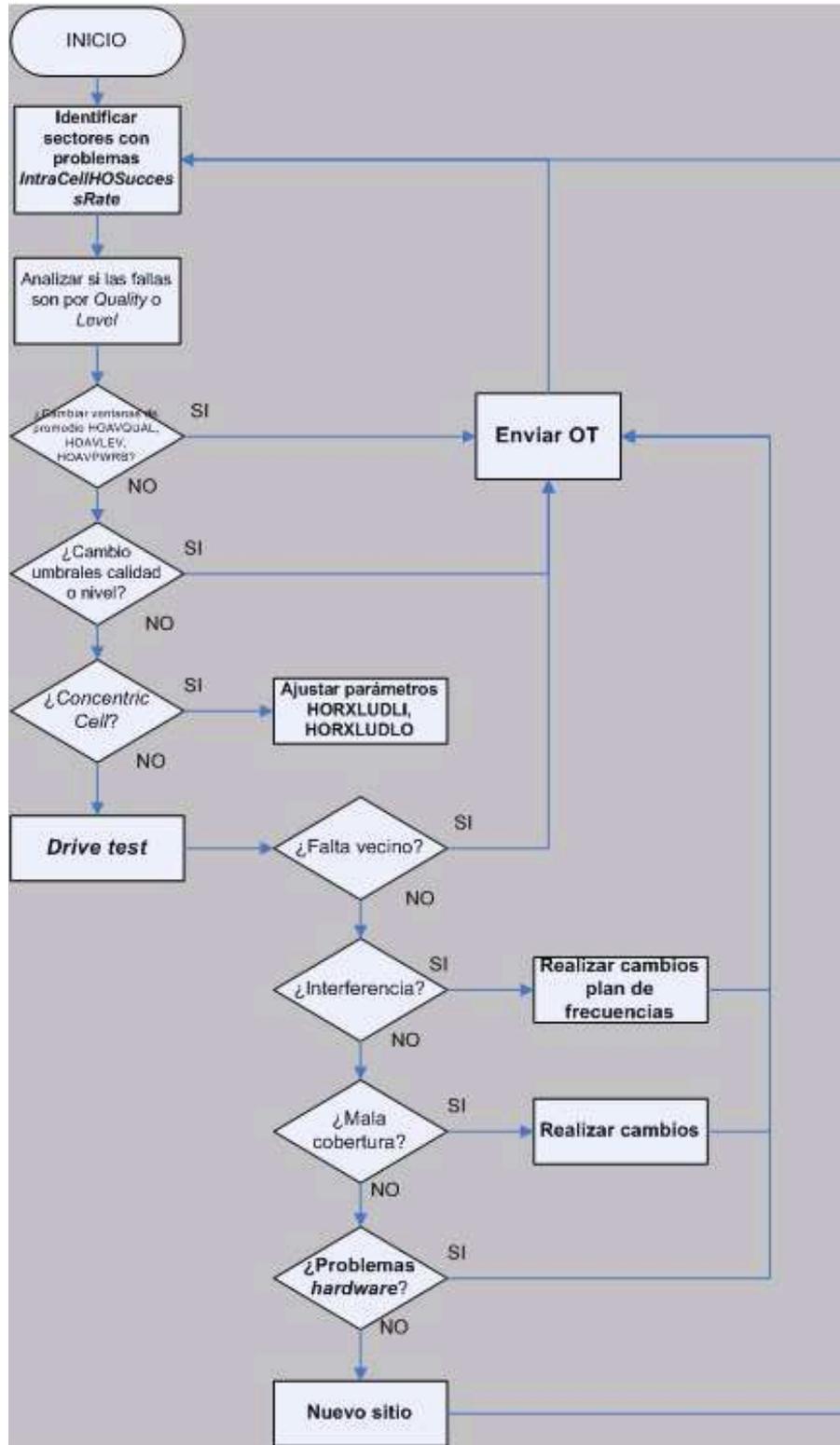


Figura 3.16 Diagrama de flujo de la optimización de handovers IntraCell

- Si está implementado *Concentric Cell* se debe ajustar los parámetros HORXLUDLI y HORXLUDLO.
- Se debe verificar la falta de un vecino intermedio a través del *drive test*.
- Verificar si existe interferencia, en cuyo caso se debe realizar cambios en el plan de frecuencias.
- Verificar si existe mala cobertura y realizar cambios para mejorarlo.
- Se debe verificar el *hardware*, si existe algún inconveniente se debe enviar la OT respectiva.
- Finalmente si persisten los inconvenientes, la solución es la implementación de un nuevo sitio.

### 3.2.9 TASA DE HANDOVERS CAÍDOS - DROP HANDOVER RATE

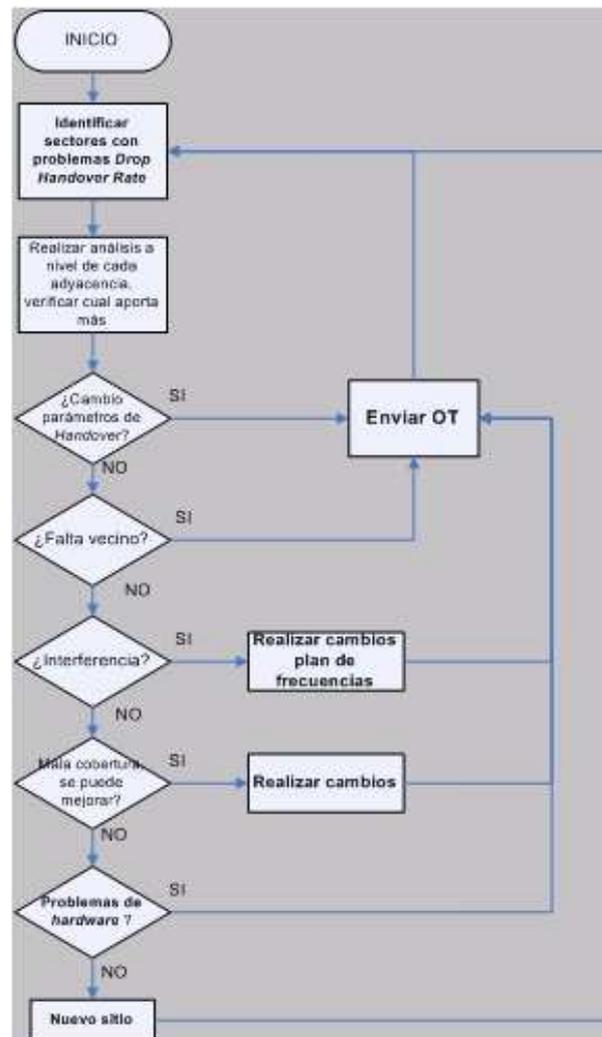


Figura 3.16 Diagrama de flujo de la optimización de la tasa de *drop handovers*

Es el porcentaje de caídas de *handovers*.

### 3.2.9.1 Recomendaciones para el proceso de análisis y optimización:

- Las mismas que para la tasa de *handovers* exitosos *IntraCell*.

### 3.2.10 UTILIZACIÓN SDCCH

Es el porcentaje de canales SDCCH que se encuentran en uso.

#### 3.2.10.1 Recomendación para el proceso de análisis y optimización:

- Se debe verificar si se trata de un evento aislado o fecha atípica, en cuyo caso se debe dar seguimiento.
- Si la tasa de utilización es superior al 95% se debe ampliar el número de canales SDCCH.
- En la ampliación de SDCCH, se deben considerar canales del tipo TCH/SD<sup>23</sup>, para la cual se debe enviar la OT respectiva.

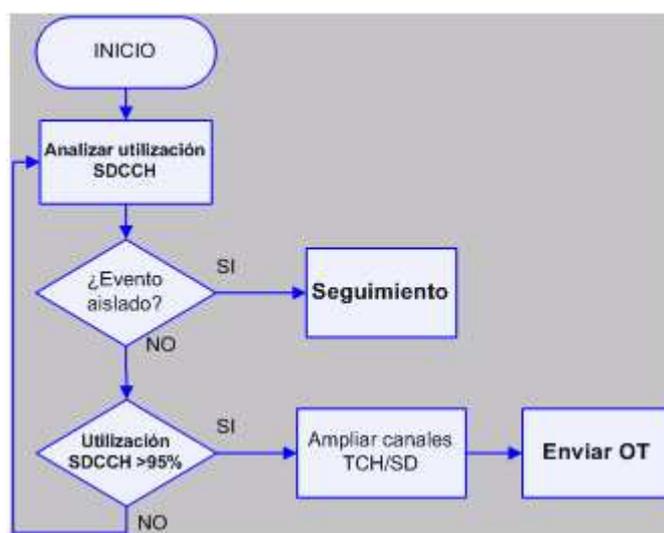


Figura 3.17 Diagrama de flujo de la optimización de la utilización de SDCCH

<sup>23</sup> TCH/SD: Es un canal que puede cambiar automáticamente de TCH a SDCCH, en el caso de carga alta inesperada de SDCCH, sin interacción del operador.

### 3.2.11 FER UL

Es un parámetro que mide la calidad de la voz.

#### 3.2.11.1 Recomendaciones para el proceso de análisis:

- Podría deberse a problemas de cobertura.
- Podría estar relacionado con niveles de señal por TRX.
- Podrían también deberse a problemas de interferencia.
- Si se lo relaciona con respecto a los niveles de calidad se tienen valores no muy confiables debido a la utilización de *hopping* y DTX.

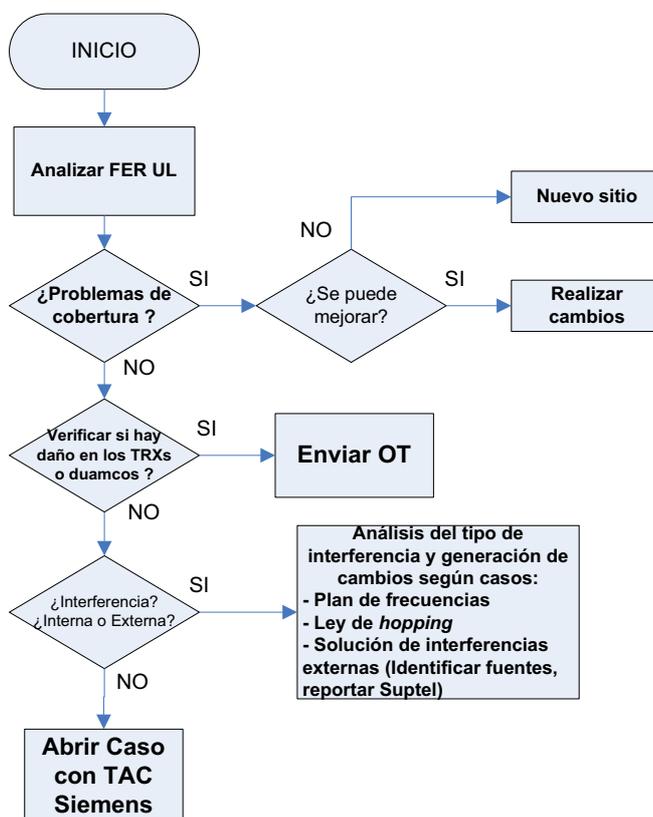


Figura 3.18 Diagrama de flujo de la optimización de FER UL

#### 3.2.11.2 Acciones de optimización y aspectos a tener en cuenta:

- Si existen problemas de cobertura se deben realizar cambios para mejorarla, si es posible, caso contrario se debe implementar un nuevo sitio.
- Se debe detectar si uno de los TRX o duamcos causan problemas.

- Podría tratarse de interferencia en cuyo caso se debe analizar el tipo de interferencia y se deben generar cambios de acuerdo al caso, podría ser por: plan de frecuencias, ley de *hopping* o interferencias externas.
- Si no son interferencias se debe abrir un caso con el TAC de Siemens.

### **3.3 ALTERNATIVAS DE PROCEDIMIENTOS DE OPTIMIZACIÓN DEL *PERFORMANCE* DE LA RED GSM**

La creciente demanda de los servicios móviles produce en las redes celulares extremos de saturación que obligan a realizar esfuerzos considerables de ajuste y optimización. La evolución a redes multiservicio (2,5G y 3G) complica aún más este panorama, produciéndose por esta causa una tendencia creciente hacia la implantación de métodos y algoritmos avanzados, que llegan incluso hacia la automatización de procesos de ingeniería tradicionalmente realizados de forma manual. De esta forma, el papel del ingeniero de optimización evoluciona hacia un perfil supervisor, apoyándose en herramientas y sistemas de información muy potentes. Estos métodos y algoritmos nacen en disciplinas distintas de la ingeniería de radio, y se están ya anticipando beneficios importantes para las empresas operadoras, gracias a la mayor eficiencia de la inversión efectuada en infraestructura y a la mejor valoración de la calidad del servicio por parte del usuario.

Las redes GSM soportan millones de clientes, por lo que resulta imperativo mantener la calidad del servicio de voz a medida que se incorporan nuevos servicios de datos, pues el tráfico de voz es el que actualmente proporciona la mayor cantidad de ingresos a las empresas operadores.

La importancia de contar con interfaces de radio optimizadas, capaces de ofrecer servicios de voz y datos compartiendo recursos de la manera más eficiente, adquiere mayor prioridad a medida que aumenta la demanda de nuevas aplicaciones.

En la presente sección se expone una introducción a nuevas propuestas para la optimización de redes móviles, analizando la problemática intrínseca de la optimización de las redes 2G y 3G, destacando las líneas de actividad en donde dicha optimización es fundamental.

### **3.3.1 INTRODUCCIÓN A LA OPTIMIZACIÓN DE REDES MÓVILES 2,5G Y 3G**

En este punto, dedicado a GPRS y UMTS se indican aspectos de red sobre los que hay que incidir para mejorar el funcionamiento, así como recomendaciones generales en cada uno de ellos. Finalmente se describe la problemática de las redes heterogéneas, en las que conviven varios sistemas simultáneamente.

#### **3.3.1.1 Tráfico de datos en GPRS**

La optimización debe realizar el seguimiento de una serie de indicadores estadísticos y analizar sus desviaciones. En algunos casos, se optará por realizar cambios físicos (orientaciones o inclinaciones de antena) en la red, pero en la mayoría de ocasiones se optará por modificar los parámetros de los algoritmos que gestionan el funcionamiento de la red GPRS (selección de celda, control de potencia, etc.).

A continuación se describen los aspectos básicos de la modificación de parámetros:

##### *3.3.1.1.1 Selección y reelección de celda*

Posiblemente es el principal problema de optimización en los inicios de GPRS. En las especificaciones se describen varios mecanismos posibles de selección y reelección de celda, pero en la primera fase, al no existir portadora PBCCH (portadora común específica para el servicio de paquetes), casi ninguno está disponible.

En estas condiciones, es el terminal el que decide la selección y reelección de celda, utilizando el mecanismo habitual de GSM con los parámetros de umbral de reelección C1 y C2. La única diferencia es que el terminal GPRS aplica una histéresis adicional a los cambios de celda, cuantificada por el parámetro *Cell Reselect Hysteresis*. En GSM, este parámetro sólo se utiliza para cambios de área de localización.

Por ello, no existe mecanismo para controlar el tráfico GPRS, salvo el uso de los parámetros C1 y C2. En consecuencia, es difícil evitar que los terminales GPRS se conecten a celdas saturadas, o equilibrar el tráfico entre bandas o capas de red (macros, micros, etc.). Por consiguiente, las coberturas celulares en GPRS pueden ser muy distintas de las coberturas en GSM.

La opción más recomendable es modificar el parámetro C2 de las celdas que se desea favorecer o perjudicar, y usar mecanismos de control de tráfico de voz para dejar canales libres en aquellas celdas donde los terminales GPRS tengan tendencia a conectarse.

Es importante vigilar el parámetro *Cell Reselect Hysteresis*, ya que un valor muy alto puede traer exceso en las reelecciones de celda, pudiendo incrementar la interferencia.

#### *3.3.1.1.2 Localización y gestión del territorio GPRS*

En el dimensionamiento de una red GPRS se debe ajustar el número y tipo de canales dedicados para datos (PDCHs) de acuerdo a la demanda de tráfico.

También se debe decidir si GPRS se define en la portadora BCCH o en las redes de salto en frecuencia. La calidad es mejor en BCCH, pero sustraer recursos de voz puede acarrear deterioro de la calidad GSM.

Si se usan canales conmutables, que se comparten entre voz y datos en función de demanda, hay que cuidar que no exista un excesivo número de reconfiguraciones, para ello suelen establecerse parámetros como umbrales de TCHs libres o temporizadores de contención de reconfiguraciones.

En un futuro próximo, los fabricantes incorporarán todas las funcionalidades previstas en los estándares. Esto es especialmente interesante en el caso de la reselección de celda, ya que se considerarán la existencia de la portadora PBCCH y la reselección controlada por la red.

### 3.3.1.1.3 Control de potencia

El control de potencia es otro de los aspectos a considerar en la optimización. Se utiliza, al igual que en el modo de conmutación de circuitos, para mejorar la eficiencia espectral, reducir la interferencia y el consumo de batería en los terminales. Se realiza:

- En el enlace ascendente. El móvil calcula su potencia de salida (PCH) mediante:

$$PCH = \min(\tau_o - \tau CH - \alpha(C + 48), PMAX) \quad (\text{Ec. 3.1})$$

Donde:

- $\tau CH$ : parámetro que se envía al móvil en el mensaje de asignación, la red puede transmitir un nuevo valor en cualquier momento durante una transferencia de paquetes, utilizando el canal asociado de control para paquetes (PACCH) descendente.
- $\tau_o$ : es la constante que depende de la banda de frecuencia usada.
- $\alpha \in [0,1]$  (parámetro del sistema): Su valor por defecto se notifica a través del PBCCH. También pueden enviarse valores específicos a un móvil, junto con el valor del parámetro  $\tau CH$ .

- C: es el valor de la potencia de señal recibida en el móvil.
- P<sub>MAX</sub>: es el máximo valor de potencia de salida permitido en la celda.
- En el enlace descendente. La estación base debe utilizar siempre el mismo nivel de potencia en aquellos bloques radio que contengan el canal de *broadcast* para paquetes (PBCCH) o que puedan contener el canal de *paging* para paquetes (PPCH). Este nivel puede ser menor que el utilizado en el BCCH, pero la diferencia tiene que ser comunicada a través del PBCCH. En los demás bloques radio se puede utilizar el control de potencia para mejorar la eficiencia espectral del sistema.

El nivel de potencia utilizado por la estación base deberá elegirse en función de los informes de calidad recibidos de los móviles.

Los móviles deben supervisar de forma periódica el nivel y calidad de señal recibida. Por su parte, la estación base debe supervisar el nivel y calidad de señal recibida en cada PDCH activo, así como la interferencia en cada PDCH inactivo.

#### 3.3.1.1.4 Temporizadores

Algunos de los temporizadores que pueden ser objeto de optimización son:

- T3168. Tiempo en el que el móvil espera un mensaje *Packet Uplink Assignment* después de enviar un mensaje *Packet Resource Request*.
- T3192. Tiempo en que el móvil se mantiene escuchando los PDCHs, una vez recibido el último bloque de la conexión física a nivel de recursos radio (*Temporary Block Flow*, TBF). Pasado este tiempo, el terminal pasa a escuchar el canal de autorización de acceso (AGCH).

<b>Indicadores de SGSN (desde el punto de vista radio)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Porcentaje de éxitos de registros GPRS.</li> <li>▪ Porcentaje de éxitos de activación de contextos de paquetes (PDP).</li> <li>▪ Porcentaje de éxitos de actualización de área de enrutamiento.</li> <li>▪ Número de usuarios y contextos activos.</li> </ul>
<b>Indicadores de celda</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tráfico total (Mbytes o Kbytes), por día y hora cargada.</li> <li>▪ Tráfico o carga por PDCH (Kbps por PDCH) que mide el factor de carga utilizado en el dimensionamiento.</li> <li>▪ Número medio de PDCHs asignados a los TBFs.</li> <li>▪ Tasa de error en bloques (BLER) media.</li> <li>▪ Porcentaje de utilización del esquema de codificación CS<sub>1</sub> frente al CS<sub>2</sub> (teniendo en cuenta que, por el momento, CS<sub>3</sub> y CS<sub>4</sub> no están disponibles nada más que en pilotos de prueba).</li> <li>▪ Caudal por canal, medido en Kbps por PDCH. La diferencia entre este indicador y el tráfico por PDCH es que para el caudal hay que considerar únicamente el tiempo de transmisión, mientras que para el tráfico se considera la totalidad de la hora.</li> <li>▪ Fallas de establecimiento de TBF, en porcentaje. Es una medida indirecta de congestión GPRS, ya que, en la mayor parte de los casos, el establecimiento de TBF no se completará por falta de recursos radio.</li> <li>▪ Número medio de PDCHs disponibles para GPRS en cada celda. Esta métrica evalúa el espacio de canales no utilizados por GSM y, por tanto, potencialmente utilizables por GPRS.</li> <li>▪ Número medio de reconfiguraciones. Cuando se utilicen canales conmutables, esta métrica mide el número de conversiones PDCH&lt;-&gt;TCH, Cuantas más reconfiguraciones haya, con mayor frecuencia el tráfico de voz invade el territorio GPRS, lo que puede indicar que es necesario ampliar portadoras o dedicar canales.</li> <li>▪ Porcentaje de TBFs interrumpidos por incremento del tráfico de voz (cuando se utilicen canales conmutables).</li> </ul>

**Tabla 3.2 Principales indicadores en GPRS <sup>[9]</sup>**

#### 3.3.1.1.5 Indicadores de calidad

Se deben fijar indicadores de calidad que caractericen el funcionamiento de la red GPRS, así como una serie de umbrales para los mismos. Tras realizar las medidas de estos indicadores se extraerán sus desviaciones comparando con el umbral, y en función de estas se realizan las acciones más adecuadas.

Los principales indicadores que caracterizan el funcionamiento de la red GPRS están en la Tabla 3.2

#### 3.3.1.2 Tráfico en UMTS

A continuación se describen los aspectos básicos de la optimización UMTS

### 3.3.1.2.1 Optimización mediante la planificación

En la Figura 3.19 se distinguen las fases del proceso de planificación de la red UMTS. En la fase de dimensionamiento se proporciona una primera y rápida estimación del número de elementos de red y sus capacidades. El objetivo, sería determinar la densidad de las estaciones base y sus configuraciones por defecto, utilizando como datos de entrada los valores de calidad, capacidad y cobertura.

En la fase de planificación detallada se distribuyen los nodos sobre un mapa del terreno, luego se ejecutan pruebas sobre la posición del sitio, la selección de la antena, la inclinación, la orientación, la potencia, etc., tratando de optimizar siempre el binomio cobertura-capacidad.

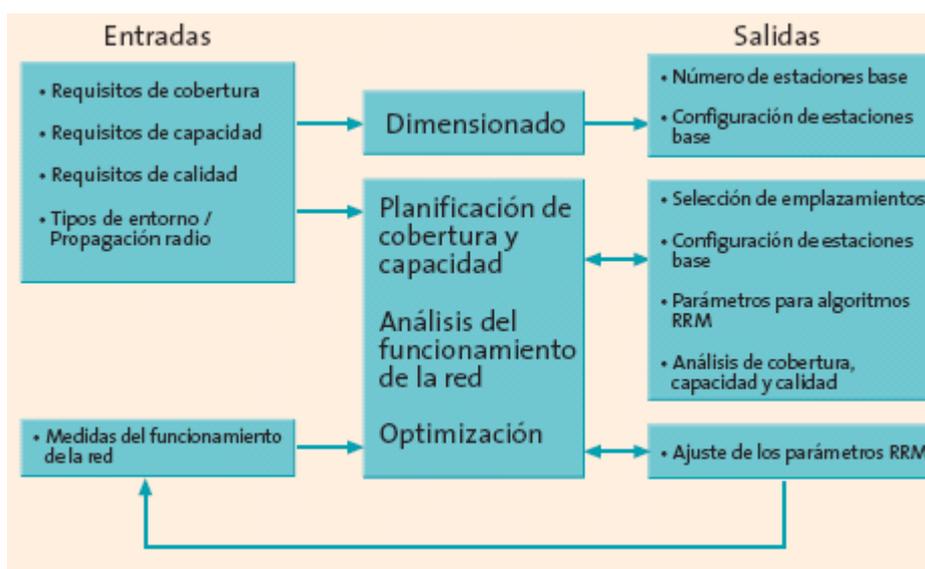


Figura 3.19 Fases del proceso de planificación en UMTS <sup>[9]</sup>

Durante la evolución de la red, y en función de las medidas obtenidas, puede ser necesario replantearse la elección inicial de los parámetros físicos. Conforme la red evoluciona, la cobertura debe adecuarse al nuevo escenario de operación.

Los cambios físicos afectan a la configuración y situación de las antenas, principalmente a:

- La altura. Se trata de la altura efectiva de la antena, por ello su variación en sitios dominantes apenas influye en la cobertura. También debería tenerse en cuenta la presencia de obstáculos cercanos.
- La orientación. Por facilidad en la gestión y mantenimiento, la recomendación es utilizar orientaciones estándar. En zonas urbanas densas suele ser mejor no modificar en exceso la orientación, ya que el manejo de las interferencias puede ser intratable.
- La inclinación. La inclinación modifica el diagrama vertical de radiación y aprovecha mejor la potencia radiada (mejora la cobertura).
- El tipo de antena. Si se desea mayor control de cobertura y mejor nivel de señal en el interior de edificios, es preferible la utilización de antenas de haz vertical estrecho y alta ganancia. En zonas rurales interesa utilizar antenas de haz ancho.

#### *3.3.1.2.2 Optimización en función de la gestión de red*

La monitorización de la QoS de las redes radio e IP se produce a nivel de servicio (celda o *router*) y por KPI, y el diagnóstico se realiza a partir de las medidas obtenidas. La optimización es de tipo iterativa y está interrelacionada con la planificación y el análisis.

A este nivel interesaría la optimización automática, pues la variedad de servicios y de tasas binarias disponibles en UMTS hace que el número de parámetros sea muy elevado.

Los KPI son indicadores de rendimiento de red, de los sistemas de información o de las aplicaciones, así como indicadores de control de los acuerdos de nivel de servicio internos del operador. La agregación de los KPI con los elementos de servicio da lugar a los KQI (*Key Quality Indicator*), los cuales cuando son

agregados con los componentes de producto dan lugar a los KQI de producto, los cuales son la referencia de medida y control de calidad para los clientes finales. Con los KPI y la ayuda del sistema de gestión es posible analizar el pasado, presente y predecir, en cierta manera, el futuro funcionamiento de la red. Tras este análisis deberán generarse informes que propongan cambios en las configuraciones de los nodos, en los algoritmos de la gestión de los recursos radio (control de la potencia, gestión de los *handovers*, etc.) y en sus parámetros (SIR objetivo, margen de histéresis, etc.).

El resultado de este análisis puede implicar cambios de configuración de parámetros básicos como:

- **Frecuencia.**- Las modificaciones dependen de la banda asignada, del número de portadoras instaladas en el nodo y de la estructura jerarquizada.
- **Grupo e índice de aleatorización primario.**- Permite identificar la celda; el objetivo es diseñar un plan de códigos evitando la reutilización en celdas vecinas.
- **Configuración del canal común de sincronización y difusión CCPCH secundario.**- La configuración del número y velocidad de transmisión de estos canales depende de los servicios soportados.
- **Potencias de transmisión.**- Depende de la gestión de los recursos radio que aplique cada operador en su red.
- **Parámetros de configuración del canal de acceso aleatorio (RACH).**- Debe hacerse una configuración que reduzca los retardos.
- **Área de localización y asignación de celdas a los controladores de la red radio (RNCs).**- Se debe realizar un diseño adecuado de las áreas de localización y de las áreas de RNC, para evitar que haya un número de

actualizaciones excesivas y reducir el número de traspasos entre RNCs diferentes, lo cual aumenta la carga de señalización y de procesamiento

También es interesante destacar que como resultado del análisis de las medidas también se puede conseguir que los algoritmos de gestión de los recursos radio sean más eficientes. Algunas recomendaciones generales sobre ello son:

- El control de medidas y algoritmo de *handover*

El diseño del mecanismo de *handover* incide directamente en la calidad, capacidad y cobertura del sistema. Los motivos que activan un *handover* son: contrarrestar el deterioro de la calidad, reducir la potencia transmitida, delimitar el área de cobertura, redistribuir el tráfico entre celdas para evitar congestión y aumentar el grado de servicio, acceder a determinados servicios que puedan ofrecerse bajo diferentes modos de operación (TDD o FDD) e, incluso, en diferentes redes de acceso radio.

Los tipos de *handovers* en UMTS pueden clasificarse en función del modo de operación (intramodo, intermodo o intersistema) y del modo de ejecución del mecanismo de *handover* (sin continuidad o con continuidad).

En el caso de los parámetros propios de una transmisión radio, que pueden ser utilizados como criterios de decisión de un *handover*, las distintas estrategias que se pueden distinguir están basadas en:

- El cálculo del nivel de potencia recibido (RSSI). Se utiliza el valor de potencia recibida de los canales piloto de las estaciones base, o del canal dedicado del terminal, para valorar la necesidad de un *handover* y, en caso positivo, decidir la mejor candidata.
- Estimadores de calidad, tales como la relación señal/interferencia (SIR) y/o el cálculo de probabilidades de error (BER o BLER).

- La definición de una distancia máxima, a partir de la cual debe realizarse un *handover* hacia una celda más cercana.

Un algoritmo de *handover* puede incluir una o varias de las estrategias anteriores, estableciendo prioridad entre ellas. Suele recurrirse a mecanismos de comparación entre los parámetros de interés medidos, complementados con parámetros adicionales como: márgenes de histéresis, contadores temporales para evitar decisiones innecesarias, criterios para penalizar o favorecer un *handover* a una cierta celda, etc. No obstante, existen otros planteamientos para la relación de algoritmos de *handover* basados en lógica borrosa, redes neuronales y programación dinámica.

- El control de potencia

Es una característica importante, ya que la potencia de transmisión es un recurso limitado que debe gestionarse de forma eficiente para aumentar la capacidad de la red.

Los parámetros principales que se pueden ajustar en los algoritmos de control de potencia son la SIR para cada canal, los márgenes de control de potencia, el tamaño de los saltos y el tipo de combinación o de recuperación después del modo comprimido.

- Los algoritmos de gestión de recursos

En UMTS se puede definir un gran número de servicios además de la voz. Cada servicio tiene sus propios requisitos de capacidad y calidad. Por ello se ha definido una estructura de canales que tiene en cuenta esta amplia variedad.

- El control de admisión

El objetivo es regular el acceso de nuevas peticiones de servicio para evitar que el algoritmo de control de congestión intervenga excesivamente. Se debe evaluar si una nueva petición tendrá efectos negativos sobre el área de cobertura o la calidad de las conexiones activas. Para ello, es necesario tener en cuenta parámetros como el nivel de interferencia, la potencia y el factor de carga.

- El control de congestión

Se incluyen algoritmos para gestionar la calidad y capacidad de las conexiones existentes, con objeto de optimizar la utilización de los recursos disponibles. Los

principales algoritmos al respecto son:

- Control de canales físicos y de transporte. Controlar si la capacidad de transmisión de un terminal es suficiente para la calidad de servicio que demanda. Si el número de paquetes en la memoria de transmisión de la capa de control de enlace radio (RLC) se incrementa por encima de un umbral y la carga de la celda no es muy alta puede ser necesario aumentar la capacidad de transmisión, o si, por el contrario, la velocidad de transmisión disminuye, es posible liberar parte de los recursos usados por el móvil.
- Asignación dinámica de canales en TDD. Es posible aumentar o disminuir la velocidad de transmisión modificando el número de intervalos de tiempo asignado o los códigos utilizados. En función de la carga de cada intervalo de tiempo y de la interferencia, se decide qué mecanismo utilizar. Se procura evitar el problema de la asignación de intervalos de tiempo interferente en celdas adyacentes mediante asignación dinámica. El terminal móvil puede medir esa interferencia en los intervalos de tiempo en los que no está transmitiendo.

- Gestión de la potencia de transmisión. Cuando se establece una conexión se asigna una potencia de transmisión a los enlaces ascendente y descendente, calculadas sobre la base de la calidad de servicio requerida y las condiciones de tráfico. Es posible aumentar o disminuir esta en función de los cambios en las condiciones de la celda y de las necesidades de transmisión. Se establecen procedimientos en los que existe un umbral de potencia máxima por encima del cual se empieza a disminuir la velocidad de transmisión y otro de potencia mínima por debajo del cual se aumenta.

### 3.3.1.3 Tráfico en redes heterogéneas

El primer problema de las redes UMTS es que inicialmente no es posible garantizar el mismo nivel de cobertura que los sistemas 2G. La solución es la utilización de terminales multimodo, que soporten conexión a UMTS como a GSM/GPRS.

Uno de los problemas asociados a las redes multimodo es cómo garantizar la continuidad de los servicios al pasar de una red a otra. Para ello habrá que tratar de optimizar dos aspectos fundamentales:

- La asignación de servicios portadores radio para las distintas aplicaciones y servicios previstos.
- Los criterios para realizar *handovers* o reselecciones de celda entre redes, garantizando el mantenimiento en la red destino de la calidad de servicio ofrecida en la red original.

Los principales problemas en el proceso de *handover* y reselección entre GSM/GPRS y UMTS desde el punto de vista de la interfaz radio son:

- La necesidad de soportar el modo comprimido en UMTS.
- El desconocimiento de los patrones de movilidad de los usuarios.

- El mapeado entre portadoras origen y destino.
- Los problemas asociados a la capacidad en las redes destino.

En el control del proceso de reelección entre UMTS y GPRS, existen determinados grados de libertad para configurarlo y optimizarlo. Los principales son:

- La configuración de los procesos de medida para minimizar el impacto del modo comprimido.
- La configuración de las áreas de registro UMTS y GPRS.
- La selección entre el proceso de reelección estándar o el bajo orden de cambio de celda entre redes (inter-RAT).
- La sincronización entre la red GSM y la red UMTS.
- La adaptación de la calidad de servicio en UMTS a la que puede soportar GPRS.

A continuación se describen algunos aspectos básicos de optimización en redes heterogéneas.

#### 3.3.1.3.1 *Modo comprimido*

En UMTS FDD el modo comprimido se utiliza para diferentes fines, como son:

- La medición de la potencia en otras frecuencias.
- La adquisición del canal de control de otro sistema o portadora.
- La realización de la operación de *handover*.

El modo comprimido implica que en determinadas tramas se deja de transmitir, mientras que en los periodos inmediatamente anteriores y posteriores se transmite a mayor velocidad y mayor potencia (ver la Figura 3.20). La idea es mantener la tasa de transmisión y la calidad de servicio proporcionada.

En principio, puede ser activado en una sola dirección (a efectos de *handover*, únicamente en el enlace descendente); sin embargo, para evitar que el móvil se interfiera a sí mismo, debe usarse en ambos sentidos y de forma sincrónica. El principal problema asociado es el impacto que pueda tener en la capacidad del sistema. Aunque podría presuponerse que, en media, el nivel de interferencia es el mismo, existen factores que implican que exista interferencia mayor, de manera que la interferencia en el modo comprimido se considera más negativa que la interferencia producida en los periodos normales de funcionamiento.

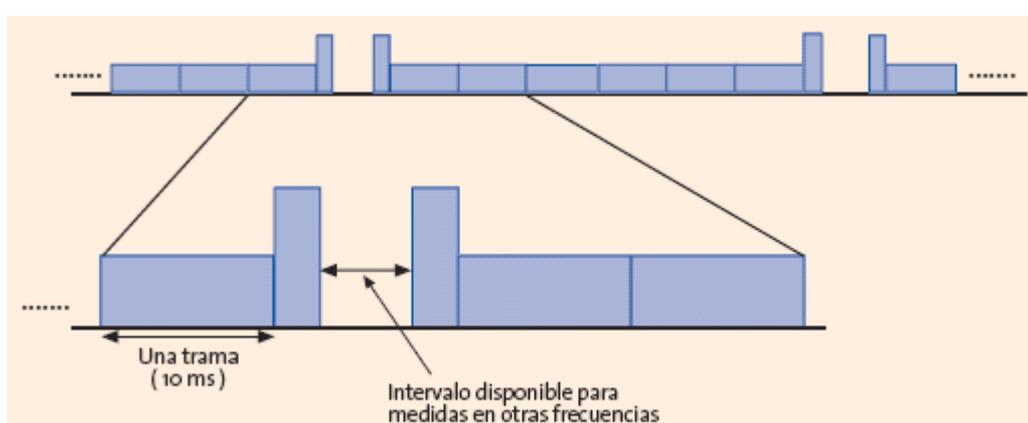


Figura 3.20 Funcionamiento genérico del modo comprimido <sup>[9]</sup>

### 3.3.1.3.2 Movilidad de los usuarios

El nivel de movilidad de los usuarios condiciona las posibles estrategias de *handover* entre sistemas.

De forma simplificada se podría clasificar en los siguientes grupos:

- Usuarios estáticos. Aquellos que no van cambiar de celda a lo largo de los periodos de actividad.
- Usuarios con bajo nivel de movilidad. Aquellos que únicamente pueden hacer *handover* a una nueva celda durante el periodo de actividad, no debido a su movilidad, sino por razones de cobertura (por ejemplo, al encontrarse en el borde de una celda).

- Usuarios con alto nivel de movilidad. Los que presentan alta probabilidad de realizar *handover* o reelección en el curso de una llamada.

El problema es que la red no proporciona información que permita deducir el grado de movilidad de los usuarios. Eventualmente, se dispone de mecanismos que pueden permitir a la red estimar el nivel de movilidad en algunos casos. El principal es la definición de las áreas de registro de usuario UMTS (URA) y GPRS en las zonas de frontera.

## CAPÍTULO IV

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 CONCLUSIONES

- La tecnología de telefonía celular GSM fue diseñada originalmente para voz y posteriormente se le adicionaron algunos servicios de datos que ocupan los mismos recursos, por lo cual la optimización del *performance* es una tarea indispensable dentro de la calidad percibida por el usuario final.
- La diferencia fundamental entre un sistema de telefonía fija y un sistema de telefonía móvil celular es la red acceso, la cual para el caso de telefonía móvil utiliza un tipo de acceso por radio frecuencia; por lo cual este trabajo se centra en la optimización del *performance* de la red de acceso radio.
- La optimización es un proceso continuo dentro del desarrollo de la red de acceso de un sistema de telefonía móvil celular, es un ámbito técnico de la calidad de servicio que evalúa el funcionamiento de la red y los servicios ofrecidos en ella, desde el punto de vista del usuario.
- En los sistemas de telefonía móvil celular la calidad de servicio proporcionada al cliente se encuentra afectada por una serie de factores relacionados con la propia naturaleza de la señal radio, como situaciones atmosféricas, topográficas, etc.
- Básicamente existen dos formas de medida de la calidad de la señal radio, la primer basada en la toma de medidas discretas en lugares y períodos

específicos; y la segunda a través de sistemas de gestión que extraen datos estadísticos de los distintos componentes de la red y los procesan para entregar indicadores clave de calidad. En la realidad el uso conjunto de los tipos de herramientas permite una mayor eficacia a la hora de evaluar el *performance*.

- Los procesos de medida y gestión de la calidad de redes móviles a más de ser indispensable para la optimización del *performance* de la red, pueden ser útiles para el despliegue de una nueva red como UMTS, para el ajuste de los modelos de propagación a escenarios específicos, o para el *benchmarking* entre operadoras.
- La Asociación GSM define un conjunto básico de indicadores técnicos de calidad, con el objetivo de que fabricantes y operadores sigan estas normalizaciones para la interoperabilidad y el *benchmarking*. Se define un grupo de indicadores para accesibilidad a la red y un grupo de indicadores para cada servicio, agrupándolos de acuerdo a los aspectos de accesibilidad, continuidad e integridad del servicio.
- Dentro de GSM se tienen cientos de parámetros de calidad de red, se puede decir que el procesamiento y tratamiento de todos estos parámetros es extremadamente extenso; por lo cual, la selección de un pequeño grupo de los más importantes y la definición de sus umbrales es una tarea fundamental, cuya eficacia permitirá realizar un análisis óptimo del *performance* de la red traduciéndose finalmente en acciones efectivas que mejoren la calidad percibida por el usuario.
- El marco regulatorio sobre la calidad de los servicios de telefonía celular en el Ecuador, al momento es obsoleto, por no existir los parámetros adecuados y no ser aplicable a nuevas tecnologías como GSM; por lo cual se han elaborado convenios entre la SUPTEL y las operadoras para permitir la ejecución de controles de calidad más efectivos; sin embargo estos se

enmarcan únicamente en la voluntad de las partes, por lo cual son limitados y no brindan reales garantías al usuario.

- A medida que se incrementan el número de estaciones en la red y los servicios ofrecidos, el procesamiento para obtener los indicadores de red es aún más engorroso, afectando esto el normal funcionamiento de los propios componentes de la red; por lo cual se dificulta el monitoreo a tiempo real del *performance*, siendo entonces indispensable priorizar los indicadores a ser evaluados en la aplicación que se desarrolló.
- Las técnicas de optimización básicamente se pueden agrupar en tres categorías, la modificación de los parámetros de configuración, el uso de nuevas facilidades ofrecidas en los estándares y la introducción de nuevos elementos de la red. En la práctica, más bien casi siempre se ejecutan varias de estas técnicas de manera combinada de acuerdo a la necesidad particular de cada estación.
- La optimización debe particularizarse de acuerdo al grado de madurez de la red, de esta manera los factores a optimizar, las medidas a obtener y las acciones a ejecutar han de variar con este criterio.
- El ajuste fino de los parámetros de calidad de la red de acceso de radio es quizá la técnica más importante para optimizar el *performance*, pero es un proceso bastante complejo, pero con el que se puede conseguir un alto grado de optimización.
- Los inconvenientes detectados a través del análisis de los KPIs se pueden solucionar principalmente con un cambio de los parámetros de configuración de la red o con algún cambio físico necesario en la radiobase.

- Las causas más comunes de los inconvenientes del *performance* son de configuración de parámetros, de interferencias internas o externas, de falta de capacidad, de mala cobertura, de degradación de la calidad o de problemas de *hardware*.
- La optimización no es un procedimiento sencillo, por lo cual existen en el mercado aplicaciones que facilitan esta tarea, las cuales cada vez están siendo mayormente usadas. El fundamento de dichas aplicaciones son una serie de métodos y algoritmos matemáticos complejos que modelan el comportamiento de las redes celulares.
- Existen también sistemas más inteligentes que pueden facilitar el mantenimiento preventivo de la red, estudian la evolución temporal de ciertos parámetros y extrapolan valores a medio plazo; de esta manera es posible prever posibles problemas futuros y anticiparse a ellos. La tendencia de futuro es también, intentar que la propia red resuelva los problemas en tiempo real y de forma automática.
- A pesar de que los procedimientos de optimización elaborados se desarrollaron para Siemens, la marca existente en la empresa, tienen un enfoque general aplicable a redes de acceso GSM de otros fabricantes, exceptuando pocas características propietarias.

## 4.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda sugerir a los organismos estatales en el ámbito de las telecomunicaciones, elaborar una propuesta sobre el marco legal necesario para el funcionamiento y supervisión de los servicios de telefonía celular acordes a la realidad actual del Ecuador.
- Se recomienda que las carreras afines al ámbito de las telecomunicaciones dentro de la Escuela Politécnica Nacional, incentiven el estudio sobre la calidad de las redes de telecomunicaciones y los servicios ofrecidos en ellas, por ser este un campo muy poco explotado.
- El presente trabajo se limitó al estudio de la red de acceso radio a nivel de las estaciones base, por lo cual se recomienda que de alguna manera se analice el control sobre la calidad de las estaciones móviles, así como de los componentes fijos de la red especialmente a nivel de centrales.
- A propósito de que a la fecha se están discutiendo los nuevos contratos de concesión con las empresas operadores de los servicios de telefonía celular, se recomienda que desde las Carreras relaciones al tema dentro de la Escuela Politécnica Nacional, se tome la iniciativa de elaborar una propuesta técnica sobre los mecanismos de medición y control de la calidad de los servicios de telefonía celular.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SIEMENS, System Overview, 2005
- [2] SIEMENS, SBS System Overview, 2000
- [3] SIEMENS, Information System, PM: SBS Key Performance Indicators (optional issue), 2005
- [4] SIEMENS, Information System, PM: SBS Counter, 2004
- [5] SIEMENS, Information System, PM: SBS Message Flows, 2005
- [6] CORPORACIÓN DE ESTUDIOS Y PUBLICACIONES, Leyes – Telecomunicaciones – Radio y Televisión – Reglamentos, Quito-Ecuador, 2002
- [7] TELEFÓNICA I+D; TELEFÓNICA MÓVILES, Introducción- Sistemas de Información y Herramientas de Planificación, Optimización y Medida de Redes de Acceso Radio, España
- [8] TELEFÓNICA I+D; AHCJET, Las Telecomunicaciones y la Movilidad en la Sociedad de la Información, España
- [9] Telefónica Móviles España; Telefónica Investigación y Desarrollo, Métodos y algoritmos avanzados para la optimización de redes móviles, España, 2003
- [10] GSM ASSOCIATION, Permanent Reference Document: IR.41, Identification of Quality of Service aspects of popular services (GSM and 3G), Version 3.1.0, 2002
- [11] GSM ASSOCIATION, Permanent Reference Document: IR.42, Definition of Quality of Service parameters and their computation, Version 3.2.1, 2003

[12] GSM ASSOCIATION, Permanent Reference Document: IR.43, Typical procedures for QoS measurement equipment, Version 3.0.0, 2002

[13] ETSI, ETSI TS 102 250-1, Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); QoS aspects for popular services in GSM and 3G networks; Part 1: Identification of Quality of Service aspects, V1.1.1, 2003

[14] ETSI, ETSI TS 102 250-2, Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); QoS aspects for popular services in GSM and 3G networks; Part 2: Definition of Quality of Service parameters and their computation, V1.4.1, 2006

[15] ETSI, ETSI TS 102 250-3, Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); QoS aspects for popular services in GSM and 3G networks; Part 3: Typical procedures for Quality of Service measurement equipment, V1.3.2, 2005

[16] PACHÓN DE LA CRUZ, Álvaro; Evolución de los sistemas móviles celulares GSM. Departamento Redes y Comunicaciones. Universidad Icesi-I2T. Colombia. 2004

[17] CASANOVA, Horacio; Sistema Automatizado de Notificación y Comunicación de Alarmas de la Red GSM de la Corporación Digitel-TIM C.A. Región Central, Escuela de Ingeniería Eléctrica-Facultad de Ingeniería-Universidad de los Andes, Mérida Venezuela, 2003

[18] INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS, Investigación sobre Sistemas de Comunicaciones Móviles Y PCs

[19] Anónimo, Red PLMN-GSM

[20] COMISIÓN FEDERAL DE TELECOMUNICACIONES, Primera Verificación de la Calidad del Servicio Celular en el Área Metropolitana de la Ciudad de México, Resumen Ejecutivo.

[21] ANDERSSON Sören; CARLQVIST Bengt; HAGERMAN Bo; LAGERHOLM Robert, Más capacidad con antenas adaptivas en las redes celulares, Ericsson Review N° 3

[22] MOVISTAR ECUADOR, KPI\_TEM\_EC

[23] MOVISTAR ECUADOR, Parámetros\_para\_GSM\_v1

[24] MOVIL10, Red GSM, [www.melodiasmoviles.com/documentacion/red-gsm.php](http://www.melodiasmoviles.com/documentacion/red-gsm.php)

[25] MOBILEWORLD, GSM, [www.mobileworld.org/gsm\\_about\\_06.html](http://www.mobileworld.org/gsm_about_06.html)

[26] PORTALGSM, Sistema GSM (*Global System for Mobile Communications*), [www.portalgsm.com/documentacion\\_extendida/98\\_0\\_17\\_0\\_C](http://www.portalgsm.com/documentacion_extendida/98_0_17_0_C)

[27] Scourias John, Overview of the Global System for Mobile Communications, [styx.uwaterloo.ca/~jscouria/GSM/gsm.html](http://styx.uwaterloo.ca/~jscouria/GSM/gsm.html)

[28] Red GSM, [www.csi.map.es/csi/silice/0.2\\_GSM.html](http://www.csi.map.es/csi/silice/0.2_GSM.html)

[29] GSM, [www.mailxmail.com/curso/informatica/gsm.htm](http://www.mailxmail.com/curso/informatica/gsm.htm)

[30] SUPTEL, [www.supertel.gov.ec](http://www.supertel.gov.ec)

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

Figura 1.1 Recomendaciones GSM.....	12
Figura 1.2 Arquitectura y componentes de la red de telefonía celular GSM.....	15
Figura 1.3 Componentes de Red del BSS e interfaces que los comunican.....	19
Figura 1.4 Tipos de BTSs de acuerdo al número de sectores.....	20
Figura 1.5 Estructura de una TRAU.....	22
Figura 1.6 Estructura del OMSS y elementos de la red GSM que supervisa.....	29
Figura 1.7 Conexión entre los elementos del OMC.....	30
Figura 1.8 Protocolos sobre las interfaces A, Abis y Um.....	34
Figura 1.9 Bandas de frecuencia de GSM.....	35
Figura 1.10 Acceso al Medio en GSM.....	37
Figura 1.11 Ejemplo TDMA/ FDMA BTS Siemens.....	37
Figura 1.12 FDMA y TDMA en GSM.....	39
Figura 1.13 Canales Lógicos de GSM.....	41
Figura 1.14 Organización de <i>bursts</i> , <i>frames</i> TDMA, y <i>multiframe</i> s para voz y datos.....	42
Figura 1.15 Procesos de Construcción de la Red de Acceso.....	46
Figura 1.16 Aspectos Técnicos de la Calidad de Servicio.....	49

### CAPÍTULO II

Figura 2.1 Servicios GSM.....	65
Figura 2.2 Categorías de Servicios GSM.....	65
Figura 2.3 Relación entre satisfacción del cliente, QoS y <i>performance</i> de red.....	71
Figura 2.4 Fases de uso del servicio desde el punto de vista del cliente.....	73
Figura 2.5 Aspectos de QoS y los correspondientes parámetros de QoS.....	76
Figura 2.6 Fases de transacción de una llamada.....	86

Figura 2.7	Árbol de decisión de una llamada.....	87
Figura 2.8	Fases de llamada GSM.....	91
Figura 2.9	<i>Handover InterCell IntraBSC</i> .....	100
Figura 2.10	<i>Handover InterCell InterBSC</i> .....	103
Figura 2.11	Pantalla de inicio del <i>Spots</i> .....	118
Figura 2.12	Menú PM <i>Entities/Set of Objects</i> .....	119
Figura 2.13	<i>Set of Objects Private</i> .....	119
Figura 2.14	Modo de escritura del <i>Set of Objects</i> .....	120
Figura 2.15	Creación <i>Set of Objects</i> con el <i>wizard</i> .....	120
Figura 2.16	Nombre y comentario del <i>Set of Objects</i> .....	121
Figura 2.17	Lista de los sectores existentes.....	121
Figura 2.18	Selección de los sectores pertenecientes a una BTS.....	122
Figura 2.19	Fin del procedimiento <i>Set of Objects</i> .....	122
Figura 2.20	Guardar los cambios.....	123
Figura 2.21	Menú PM <i>Entities / Virtual Counters</i> .....	123
Figura 2.22	<i>Virtual Counters / Private</i> .....	124
Figura 2.23	Modo de escritura de <i>Virtual Counters</i> .....	124
Figura 2.24	Creación de <i>Virtual Counters</i> con el <i>wizard</i> .....	125
Figura 2.25	Nombre y comentario del <i>Virtual Counter</i> .....	125
Figura 2.26	Tipo de objeto del <i>Virtual Counter</i> .....	126
Figura 2.27	Unidad del <i>Virtual Counter</i> .....	126
Figura 2.28	<i>Next</i> en el <i>wizard</i> .....	127
Figura 2.29	Selección de los contadores pertinentes para cada fórmula.....	127
Figura 2.30	Creación de la fórmula del indicador.....	128
Figura 2.31	Fin del procedimiento de <i>Virtual Counters</i> .....	128
Figura 2.32	Creación del reporte.....	129
Figura 2.33	Rango de tiempo y periodicidad del reporte.....	129
Figura 2.34	Grupos de objetos de tipo <i>BTSOC</i> .....	130
Figura 2.35	Selección de todas las BTSs de la red.....	130
Figura 2.36	<i>Next</i> en el <i>wizard</i> de <i>Virtual Counters</i> .....	131
Figura 2.37	Tipo y ubicación del archivo de salida.....	131
Figura 2.38	<i>Utils / Scheduler</i> .....	132
Figura 2.39	Modo de escritura de la tarea programada.....	132

Figura 2.40 Creación de un nuevo <i>job</i> .....	133
Figura 2.41 Asignación del nombre del <i>job</i> .....	133
Figura 2.42 Nombre del nuevo <i>job</i> .....	134
Figura 2.43 Confirmación del nombre del nuevo <i>job</i> .....	134
Figura 2.44 Despliegue del administrador de tareas.....	134
Figura 2.45 Administrador de tareas.....	135
Figura 2.46 Confirmación en el administrador de tareas.....	135
Figura 2.47 Tareas seleccionadas dentro del <i>job</i> creado .....	136
Figura 2.48 Selección de la frecuencia de ejecución del <i>job</i> .....	136
Figura 2.49 Selección de la hora de inicio de la ejecución del <i>job</i> .....	137
Figura 2.50 Selección de Utils / Scheduler Browser.....	137
Figura 2.51 Scheduler Browser.....	138
Figura 2.52 Interfaz principal de la aplicación de monitoreo de los KPIs.....	139
Figura 2.53 Interfaz correspondiente a la provincia de Pichincha.....	140
Figura 2.54 Interfaz correspondiente a la provincia de Loja.....	140

## CAPÍTULO III

Figura 3.1 Organización de procesos de la red de Movistar Ecuador.....	142
Figura 3.2 Ciclo de desarrollo de la red.....	144
Figura 3.3 Áreas de optimización.....	146
Figura 3.4 Jerarquía en los bucles de optimización.....	148
Figura 3.5 Distribución de frecuencias en GSM 900.....	150
Figura 3.6 Vecindades entre celdas.....	153
Figura 3.7 Proceso de ajuste de parámetros en un BSS.....	157
Figura 3.8 Instalación de antena direccional mostrando un sistema de antena adaptiva.....	161
Figura 3.9 Diagrama de flujo de la optimización RF.....	164
Figura 3.10 Diagrama de flujo de la optimización de llamadas completadas...	167
Figura 3.11 Diagrama de flujo de la optimización de la congestión de voz.....	171
Figura 3.12 Diagrama de flujo de la optimización de la congestión de	

señalización.....	171
Figura 3.13 Diagrama de flujo de la optimización de llamadas caídas.....	175
Figura 3.14 Diagrama de flujo de la optimización de <i>handovers InterBSC</i> .....	178
Figura 3.15 Diagrama de flujo de la optimización de <i>handovers InterCell</i> .....	180
Figura 3.16 Diagrama de flujo de la optimización de <i>handovers IntraCell</i> .....	182
Figura 3.17 Diagrama de flujo de la optimización de la utilización de SDCCH...	184
Figura 3.18 Diagrama de flujo de la optimización de FER UL.....	185
Figura 3.19 Fases del proceso de planificación en UMTS.....	192
Figura 3.30 Funcionamiento genérico del modo comprimido.....	200

## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO I

Tabla 1.1 Clases de terminales GSM de acuerdo a su potencia.....	17
Tabla 1.2 Interfaces GSM.....	33
Tabla 1.3 Descripción de los canales lógicos GSM.....	40
Tabla 1.4 Relación entre los atributos del <i>Release 98</i> y <i>Release 99</i> .....	58

### CAPÍTULO II

Tabla 2.1 Servicios Portadores GSM.....	67
Tabla 2.2 Teleservicios GSM.....	68
Tabla 2.3 Servicios Suplementarios GSM.....	70
Tabla 2.4 Medidas de Calidad.....	106
Tabla 2.5 Parámetros de calidad acordados entre la SUPTEL y las operadoras.....	113
Tabla 2.6 Valores de los indicadores críticos.....	114
Tabla 2.7 Valores de los Indicadores a ser monitoreados.....	139

### CAPÍTULO III

Tabla 3.1 Lista de parámetros configurables en un subsistema de estaciones base.....	155
Tabla 3.2 Principales indicadores en GPRS.....	191

## ÍNDICE DE ECUACIONES

### CAPÍTULO I

Ecuación 1.1	Modelo de Propagación Okumura-Hata.....	63
--------------	---	----

### 5. CAPÍTULO II

Ecuación 2.1	Tasa de accesibilidad a la red en conmutación de circuitos..	77
Ecuación 2.2	Tasa de accesibilidad a la red en conmutación de paquetes.	78
Ecuación 2.3	Tasa de accesibilidad al servicio de telefonía.....	79
Ecuación 2.4	Retardo medio de acceso al servicio de telefonía.....	80
Ecuación 2.5	Calidad de la voz en el servicio de telefonía.....	81
Ecuación 2.6	Tasa de completación de llamadas.....	82
Ecuación 2.7	Tasa de accesibilidad al servicio SMS.....	83
Ecuación 2.8	Retraso de acceso del servicio SMS.....	83
Ecuación 2.9	Tiempo de entrega extremo a extremo SMS.....	84
Ecuación 2.10	Tasa de completaciones de SMS.....	85
Ecuación 2.11	Fórmula General de la tasa de completación de llamadas en GSM.....	93
Ecuación 2.12	Fórmula Global de la tasa de completación de llamadas en GSM.....	93
Ecuación 2.13	Fórmula General de la tasa de no completación de llamadas en GSM.....	94
Ecuación 2.14	Fórmula Global de la tasa de no completación de llamadas en GSM.....	94
Ecuación 2.15	Fórmula General de la tasa de caídas de canales SDCCH...	95
Ecuación 2.16	Fórmula Global de la tasa de caídas de canales SDCCH....	95
Ecuación 2.17	Fórmula General de la tasa de bloqueo de canales TCH.....	96
Ecuación 2.18	Fórmula Global de la tasa de bloqueo de canales TCH.....	97
Ecuación 2.19	Fórmula General de la tasa de fallas de asignación TCH.....	97
Ecuación 2.20	Fórmula Global de la tasa de fallas de asignación TCH.....	97
Ecuación 2.21	Fórmula General de la tasa de caídas de canales TCH.....	98

Ecuación 2.22	Fórmula Global de la tasa de caídas de canales TCH.....	98
Ecuación 2.23	Fórmula General de la tasa de <i>handovers</i> exitosos <i>IntraCell</i> .....	99
Ecuación 2.24	Fórmula Global de la tasa de <i>handovers</i> exitosos <i>IntraCell</i> .....	99
Ecuación 2.25	Fórmula General de la tasa de <i>handovers</i> caídos <i>IntraCell</i> .....	99
Ecuación 2.26	Fórmula Global de la tasa de <i>handovers</i> caídos <i>IntraCell</i> .....	99
Ecuación 2.27	Fórmula General de la tasa de <i>handovers</i> exitosos <i>InterCell</i> .....	101
Ecuación 2.28	Fórmula Global de la tasa de <i>handovers</i> exitosos <i>InterCell</i> .....	101
Ecuación 2.29	Fórmula General de la tasa de <i>handovers</i> caídos <i>InterCell</i> .....	101
Ecuación 2.30	Fórmula Global de la tasa de <i>handovers</i> caídos <i>InterCell</i> .....	101
Ecuación 2.31	Fórmula General de la tasa de <i>handovers</i> exitosos <i>InterBSC</i> .....	102
Ecuación 2.32	Fórmula Global de la tasa de <i>handovers</i> exitosos <i>InterBSC</i> .....	102
Ecuación 2.33	Fórmula General de la tasa de <i>handovers</i> caídos <i>InterBSC</i> .....	103
Ecuación 2.34	Fórmula Global de la tasa de <i>handovers</i> caídos <i>InterBSC</i> .....	104
Ecuación 2.35	Fórmula General de la tasa de <i>handovers</i> caídos.....	104
Ecuación 2.36	Fórmula Global de la tasa de <i>handovers</i> caídos.....	104
Ecuación 2.37	Fórmula General de FER UL.....	105
Ecuación 2.38	Fórmula Global de FER UL.....	105
Ecuación 2.39	Fórmula General de la tasa de tráfico <i>Full Rate</i> .....	106
Ecuación 2.40	Fórmula Global de la tasa de tráfico <i>Full Rate</i> .....	106
Ecuación 2.41	Fórmula General de la tasa de tráfico <i>Half Rate</i> .....	107
Ecuación 2.42	Fórmula Global de la tasa de tráfico <i>Half Rate</i> .....	107

Ecuación 2.43	Fórmula Global del tráfico cursado por canales TCH <i>Full Rate</i> .....	107
Ecuación 2.44	Fórmula Global del tráfico cursado por canales TCH <i>Half Rate</i> .....	108
Ecuación 2.45	Fórmula Global del tráfico cursado por canales TCH <i>Dual Rate</i> .....	108
Ecuación 2.46	Fórmula Global de la disponibilidad de los TRXs.....	109
Ecuación 2.47	Fórmula Global de la utilización de canales SDCCH.....	110

## 6. CAPÍTULO III

Ecuación 3.1	Potencia de salida en el móvil en el <i>uplink</i> .....	189
--------------	--	-----