

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**MEJORAMIENTO DE CALIDAD DE UNA RED GSM MEDIANTE LA
OPTIMIZACIÓN EN LA UTILIZACIÓN DE CODECS AMR**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR:

HILTON SAÚL VIDAL SIFUENTES

**PROMOCIÓN
2004 - II**

**LIMA – PERÚ
2009**

DEDICATORIA

...para mis padres,
mi Mosita,
mama Rosa y
mi amorcito Lady...

**MEJORAMIENTO DE CALIDAD DE UNA RED GSM
MEDIANTE LA OPTIMIZACIÓN EN LA UTILIZACIÓN
DE CODECS AMR**

SUMARIO

En el presente informe se pretende dar ciertos alcances acerca de métodos y técnicas para la optimización de redes 2G GSM, en especial técnicas relacionadas con mejorar la calidad de la voz y medirla de manera adecuada.

Para ello primero se dan algunos antecedentes teóricos para poder entender los principios que rigen esta tecnología y los conceptos asociados a parámetros que se manejan a nivel de software para modificar algunas características de estas redes.

Más adelante se detallan las acciones tomadas para mejorar el performance de esta red para luego comparar los resultados previos con los posteriores a los cambios. Se analizan las razones de mejora y los resultados a base de estadísticas y se verifican que no se vean afectados otros aspectos de la red para evitar efectos secundarios.

Finalmente se brindan ciertas conclusiones y recomendaciones que deben ser seguidas por los operadores para una adecuada optimización de sus redes.

INDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I.	
PLANTEAMIENTO DE INGENIERÍA DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Descripción del Problema.....	3
1.2. Objetivos del Trabajo.....	3
1.3. Evaluación del Problema.....	4
1.4. Limitaciones del Trabajo.....	4
1.5. Síntesis del Trabajo.....	5
CAPITULO II.	
MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....	6
2.1. Arquitectura Del Sistema GSM.....	6
2.2. La Estación Móvil (MS).....	6
2.3. El Subsistema de la Estación Base (BSS).....	7
2.4. El Subsistema de Red.....	7
2.5. Canalización y señalización.....	9
2.5.1. La Interfaz Aire de GSM.....	9
2.5.2. La Estructura FDMA/TDMA.....	9
2.5.3. Jerarquía de Tramas y Número de Trama.....	11
2.5.4. Sintonización entre Uplink y Downlink.....	12
2.5.5. Canales Físicos versus Canales Lógicos.....	13
2.5.6. Configuración de los Canales Lógicos.....	14
2.6. Handover.....	15
2.7. Handover Intracell - Intra BSC.....	16
2.8. Handover Intercell - Intra BSC.....	17

2.9. Handover Intercell Inter BSC.....	17
2.10. Handover Inter MSC.....	18
2.11. Mapeo de la voz y de la señalización en la estructura de la Trama.....	18
2.11.1. Estructura de la Trama de Voz GSM.....	18
2.12. Formando la 26 Multitrama.....	19
2.13. Formando la multitrama SACCH.....	19
2.14. Codificación de la Voz y la Señalización en GSM.....	20
2.14.1. Codificación del Canal de Voz.....	20
2.15. Mapeo de la Voz y Señalización Sobre la Estructura de la Trama.....	21
2.15.1. La Trama SID.....	22

CAPITULO III.

TÉCNICAS TRADICIONALES UTILIZADAS PARA LA MEDICIÓN Y LA MEJORA DE LA CALIDAD.....23

3.1. Medición de Calidad RxQual y FER.....	23
3.1.1. Valores FULL vs. SUB.....	23
3.1.2. Rxqual.....	23
3.1.3. Calculando el valor de BER.....	24
3.1.4. Rxqual Full vs. Rxqual Sub.....	25
3.1.5. FER, Frame Erasure Rate.....	25
3.2. Técnicas usadas para el mejoramiento de la calidad.....	28
3.2.1. Control de Potencia (PC).....	28
3.2.2. Transmisión Discontinua (DTX).....	29
3.2.3. Frequency Hopping (FH).....	30

CAPITULO IV.

TÉCNICAS Y METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA.....33

4.1. Mean Opinion Score (MOS).....	33
4.2. Método Utilizado.....	34
4.2.1. Introducción al Método SQUAD.....	35
4.2.2. Definición de Calidad de Voz.....	35

4.2.3. El Método SQUAD.....	36
4.3. Consideraciones Adicionales con Respecto a Calidad de Voz.....	37
4.4. Adaptive Multi-rate Codec (AMR).....	37
4.4.1. Codificación de Voz y Codificación de Canal.....	37
4.4.2. Señalización In-Band y Adaptación del Enlace.....	38
4.4.3. Performance del Enlace de AMR.....	39
4.4.4. Calidad de Voz con Codecs AMR.....	41
4.4.5. Mediciones del performance del Enlace.....	43
4.4.6. Adaptación de Codec	44
4.4.7. Modo de Canal Half-Rate.....	47
4.5. Parámetros SIEMENS Considerados.....	49
4.5.1. SIEMENS Adaptative Multirate (AMR).....	51
4.5.2. Active CODEC Set (ACS).....	51
4.5.3. Adaptación de Enlace AMR.....	52
4.5.4. ¿Cómo se determina el Codec de AMR inicial durante el establecimiento de una llamada?	53
4.5.5. AMRHRTH12, AMRHRTH23, AMRHRTH34.....	53
4.5.6. AMRHRIC.....	54
4.6. Consideraciones de Handover (Hard Handover).....	55

CAPITULO V.

ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	56
5.1. Descripción de la Red y Espectro.....	56
5.2. Descripción de la Zona en Consideración.....	60
5.3. Utilización de Comarco.....	66
5.4. Ejecución de los Cambios.....	68
5.5. Antes y Después de los Cambios.....	72
5.6. Impacto de los Cambios en otros Aspectos de la Red.....	81

CAPITULO VI.

COSTOS Y TIEMPOS DE IMPLEMENTACIÓN.....	86
--	-----------

6.1. Adquisición de Equipos.....	86
6.2. Recorridos de Drive Test.....	87
6.3. Análisis de Cambios.....	88
6.4. Ejecución de Cambios.....	88
6.5. Post Procesamiento de Datos y Entrega de Informes al Cliente.....	89
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	90
ANEXO A	
GLOSARIO DE TERMINOS.....	92
BIBLIOGRAFÍA.....	96

INTRODUCCIÓN

La telefonía celular en un mercado en masivo crecimiento en nuestro país. La demanda de equipos terminales y de servicios distintos de la voz (mensajería de texto, multimedia y transferencia de datos por ejemplo) ha incrementado de manera exponencial en los últimos años.

Este crecimiento, junto con las medidas regulatorias a las que conlleva, obliga a los operadores no solo a adquirir más y mejores equipos para su red, sino también a tratar de mejorar estos servicios de tal manera que sea posible no solo conseguir la mayor cantidad de clientes sino además mantenerlos. Esto se realiza mediante un proceso constante de optimización.

En la actualidad, la tecnología imperante en la mayoría de países de Latinoamérica para redes celulares de segunda generación (2G y 2.5G) es GSM la cual ha predominado sobre su competidora CDMA, debido principalmente a un tema de costos y licencias, pese a que se trata de una tecnología menos robusta. Es necesario por ello tener en cuenta ciertos principios fundamentales de GSM que discutiremos más adelante en este informe.

Uno de los principales problemas de estas tecnologías es tener que convivir con la interferencia co-canal proveniente de la propia red debido al reuso del espectro. Es por ello que la optimización es una labor fundamental de ingeniería para mantener un adecuado funcionamiento sin perjudicar al usuario.

El proceso de optimización de una red celular puede resumirse en el monitoreo y control constante de ciertos indicadores entre los cuales se encuentra involucrada la calidad de la voz. Para optimizar la calidad de voz de una red celular GSM se utilizan diversas técnicas que van desde resintonización de frecuencias, transmisión discontinua, frequency hopping, control de potencia, etc. Sin embargo es necesario tener en cuenta que debido a la subjetividad del concepto de calidad de voz, es difícil hacer mediciones de ésta por medio de indicadores tradicionales, sobre todo si se trata de la percepción del usuario.

El presente informe resume una de las muchas acciones tomadas ante las constantes quejas de los usuarios de la Red GSM SIEMENS de Movistar en Lima por su mala

percepción en su calidad a lo largo del año 2007. En este año precisamente fue en que se registró el mayor crecimiento del tráfico y las ventas.

Pese a que los indicadores cumplían los umbrales requeridos, el hecho de tener una red joven y en crecimiento con bajos recursos espectrales trae consecuencias en el performance general y por tanto la necesidad de diversos tipos de análisis y técnicas alternativas a fin de mejorarla en forma gradual, y tener así el menor impacto en el usuario final para satisfacerlo lo mejor posible.

CAPITULO I.

PLANTEAMIENTO DE INGENIERÍA DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del Problema

Durante el año 2007, segundo año de lanzamiento de la red GSM de Movistar, se impulsó agresivamente la migración de los suscriptores de la red CDMA 1X a la nueva de GSM, esto provocó un crecimiento masivo en la cantidad de usuarios y por tanto en el tráfico de esta última, lo cual trajo como consecuencia problemas de congestión y calidad debido a la falta de recursos tanto espectrales como de equipamiento. Esto creó un descontento en los clientes tanto migrados como nuevos, los cuales comenzaron a tener una mala percepción de la calidad de la red.

Esto es de esperarse, ya que si comparáramos técnicamente una red CDMA con una GSM, llegaríamos a la conclusión de que el performance es mucho mejor en el caso de la primera. Los problemas en GSM se deben principalmente al manejo de la interferencia y a los procesos de handover que serán explicados en detalle más adelante.

Debido a estos problemas se tuvieron que tomar una serie de medidas para contrarrestar poco a poco estos efectos. En el presente trabajo hacemos referencia solamente a una de dichas medidas.

1.2. Objetivos del Trabajo

Dar una visión general del proceso de optimización de redes GSM sin el cual no sería posible brindar los servicios de manera adecuada y con la calidad esperada por los usuarios.

Hacer que los operadores de estos servicios tengan en consideración entre sus indicadores al Mean Opinion Score (MOS) como indicador de la calidad de su red en base a la percepción del usuario final.

Dar una visión del proceso de medición de este indicador de una manera mas automatizada sin tener que recurrir a las recomendaciones de la ITU.

Brindar alternativas para el mejoramiento de los problemas de calidad distintas de las ya conocidas en los procesos de optimización, teniendo en cuenta el MOS como indicador principal para las mediciones de calidad.

1.3. Evaluación del Problema

Cuando se realizan el diseño y la planificación de una nueva red celular se evalúan ciertas características de entrada (inputs) con relación a la cantidad de usuarios y de tráfico esperado en un tiempo determinado. Cuando se tiene una red diseñada para una cantidad de usuarios propia de una red nueva y se produce un crecimiento masivo, (por ejemplo debido a una migración agresiva desde una red antigua) se tienen problemas de capacidad, lo cual viene siempre acompañado de una disminución en la calidad.

En una migración existe siempre el compromiso de brindar a los usuarios un servicio igual o mejor que el que tenía anteriormente o de lo contrario se corre el riesgo de perder a los clientes antiguos y de alejar a los potenciales nuevos clientes.

La falta de inversión en la red GSM en ese entonces trajo probablemente pérdidas mayores para el operador que los gastos en los que habría incurrido de haber invertido en mayor equipamiento y licencias.

Se tomó entonces la decisión de mejorar progresivamente esta percepción del usuario con medidas que fueron desde la instalación masiva de estaciones base y su optimización, hasta nuevas y más atractivas promociones tarifarias que las de la competencia. Estas medidas incluyeron además por supuesto, los temas tratados en este informe.

1.4. Limitaciones del Trabajo

El presente trabajo no describe en su totalidad el proceso de optimización de una red GSM, solo brinda una descripción de una de las tantas medidas tomadas en su momento frente a un problema latente en una red particular. El tipo de análisis realizado no es algo cotidiano o común ya que es necesario equipamiento especial para la colección de los datos necesarios en dicho proceso.

Tampoco se dan detalles del procesamiento de la información necesario para la exposición de los gráficos y resultados de las pruebas realizadas, ya que esto se realiza con la ayuda de softwares especializados cuya descripción no es el objetivo del presente informe.

1.5. Síntesis del Trabajo

El capítulo II, expone el marco teórico y conceptual base para el desarrollo del presente informe. Aquí se presenta una introducción a la tecnología GSM en donde se describen sus interfaces y arquitectura. Se explicará también en este capítulo la señalización y tipos de canales de la interfase aire en la que se centrará nuestro análisis, también se incluyen definiciones importantes y la descripción de procesos básicos como handover y sus tipos.

En el capítulo III se describen las técnicas tradicionales para el análisis y el mejoramiento de la calidad, haciendo énfasis en indicadores tales como el RXQUAL y FER que son ampliamente utilizados en los procesos de optimización, se exponen aquí los conceptos básicos para las mediciones brindando algunos ejemplos para su cálculo. También se habla de técnicas tales como Frequency Hopping, Transmisión Discontinua y Control de Potencia.

En el capítulo IV se explican las técnicas para la solución planteada en el presente informe. Esto constituye la introducción del concepto de MOS como indicador fundamental para el análisis de la calidad, y una descripción de la técnica utilizada para su medición en la colección de datos. También se habla de la técnica de AMR en GSM, para el manejo de la interferencia presentando algunos resultados experimentales y teóricos de su impacto en el MOS y en el FER. Además se exponen ciertas características y parámetros fundamentales asociados a estas técnicas propios del VENDOR específico SIEMENS con el que estamos trabajando. Estos conceptos son considerados como fundamentales para entender el análisis posterior en la solución del problema.

En el capítulo V se tratan el análisis y la presentación de los resultados, aquí se brindan algunos datos de la red a analizar tales como espectro, ubicación de sitios, descripción de la zona en consideración, además de una descripción detallada y un análisis de los cambios realizados e interpretación de los resultados obtenidos tanto gráficos como estadísticos. También se incluye en este capítulo información sobre el impacto de nuestros cambios en otros aspectos de la red utilizando para ello la ayuda de otro tipo de indicadores que serán descritos también con detalle.

Finalmente en la siguiente sección se presentan las conclusiones y recomendaciones tomadas en base a los resultados y la interpretación de los mismos.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1. Arquitectura Del Sistema GSM

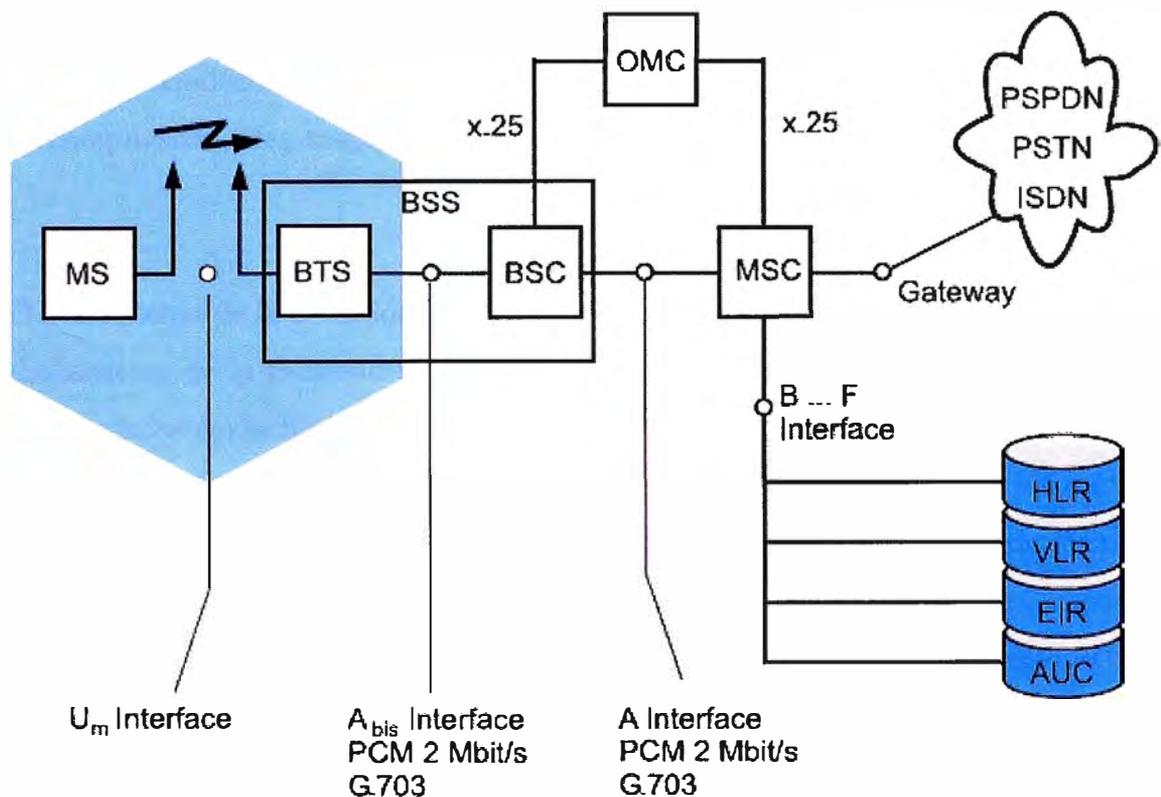


Figura 2.1. La Arquitectura del Sistema GSM.

La mejor manera de crear un sistema de comunicaciones manejable es dividirlo en subgrupos que estén interconectados usando interfaces estandarizadas. Una red GSM puede ser dividida en tres grupos (ver figura 2.1): La estación móvil (MS), el subsistema de la estación base (BSS) y el subsistema de red. Estos sistemas son descritos a continuación:

2.2. La Estación Móvil (MS)

Una estación móvil puede ser referida como un “handset”, un “móvil”, un “terminal portátil” o “equipo móvil” (ME), Incluye también una tarjeta SIM (Subscriber Identity

Module) que es normalmente renovable. Cada SIM tiene un número de identificación único llamado IMSI (International Mobile Subscriber Identity). Adicionalmente a cada MS le es asignado un número de identificación único de hardware llamado IMEI (International Mobile Equipment Identity). En algunas de las nuevas aplicaciones (en particular para comunicaciones de datos), un MS puede ser también un Terminal que actúe como una interfase de GSM, por ejemplo para una laptop. En estas nuevas aplicaciones el MS hace las veces de un MODEM.

El aparente bajo costo de un teléfono móvil puede dar la falsa impresión de que el producto no es de alta calidad. Además de proveer de un trancceptor (TRX) para transmisión y recepción de voz y datos, el móvil también realiza un número de funciones bastante complicadas tales como autenticación, handover, codificación y codificación de canal.

2.3. El Subsistema de la Estación Base (BSS)

El Subsistema de la Estación base está constituido por el Controlador de la Estación Base (BSC) y la Estación Base Trancptora (BTS).

GSM utiliza una serie de radios transmisores llamados BTSs para conectar los móviles a la red celular. Sus funciones incluyen codificación y decodificación de canal y encriptación y desencriptación. Una BTS contiene radios transmisores y receptores, antenas, la interfase para PCM, etc. La BTS puede contener uno o más trancptores para proveer la capacidad requerida de tráfico de llamadas. Un cell site puede ser omnidireccional o dividido en los típicos tres sectores direccionales.

El Controlador de Estaciones Base BSC, se utiliza para interconectar un grupo de BTSs para poder manejar sus recursos de radio. Las nuevas e inteligentes BTSs de hoy han tomado muchas de las funciones que antes eran manejadas por las BSCs.

La función primordial de la BSC es mantener una llamada. Las estaciones móviles normalmente envían un reporte de la intensidad de las señales recibidas a la BSC cada 480ms. Con esta información el BSC decide iniciar handovers a otras celdas, cambiar la potencia de transmisión, etc.

2.4. El Subsistema de Red

La Central de Conmutación Móvil MSC, actúa como conmutador estándar de una red fija y adicionalmente provee todas las funcionalidades necesarias para manejar un

subscriber móvil. Las funciones principales son registraci3n, autenticaci3n, location updating, handovers y enrutamiento de llamadas a subscribers roaming. La se1alizacion entre entidades funcionales (registradores) en el subsistema de red utiliza el sistema de se1alizacion tipo 7 (SS7). Si el MSC tambi3n tiene un gateway para comunicarse con otras redes, es llamado Gateway MSC (GMSC).

El Home Location Register HLR, es una base de datos utilizada para la administraci3n de los subscribers m3viles. Almacena el IMSI, el n3mero ISDN de la estaci3n m3vil (MSISDN) y la actual direcci3n de VLR (Visitor Location Register). La principal informaci3n que almacena concierne a la ubicaci3n de cada estaci3n m3vil a fin de ser capaz de enrutar llamadas a los subscribers manejados por cada HLR. El HLR tambi3n mantiene los servicios asociados con cada MS. Un HLR puede dar servicio a varias MSCs.

El Visitor Location Register VLR, contiene la localizaci3n actual del MS y selecciona informaci3n administrativa del HLR, necesaria para el control de llamadas y aprovisionamiento de los servicios de los subscribers para cada m3vil localizado en el 1rea geogr1fica controlada por el VLR. Un VLR es conectado con un MSC y es normalmente integrado dentro de su hardware.

El Centro de Autenticaci3n **AuC**, es una base de datos protegida que contiene una copia de la clave secreta almacenada en cada tarjeta SIM del usuario, la cual es usada para autenticaci3n y encriptaci3n sobre el canal de radio. El AuC provee seguridad adicional contra fraudes. Es normalmente ubicado cerca de cada HLR dentro de la Red GSM.

El Equipment Identity Register **EIR**, es una base de datos que contiene una lista de equipos m3viles v1lidos dentro de la red, donde cada estaci3n m3vil est1 definida por su n3mero IMEI. El EIR contiene tres bases de datos:

- Lista Blanca: Para todos los IMEIs conocidos o buenos.
- Lista Negra: Para los Tel3fonos robados o malos.
- Lista Gris: Para los Tel3fonos/IMEIs inciertos.

Centro de Operaci3n y Mantenimiento **OMC**, es un sistema administrador que supervisa los bloques funcionales GSM. El OMC asiste al operador de la red en mantener satisfactoriamente la operaci3n de la red. Redundancia de Hardware y mecanismos de detecci3n de errores inteligentes ayudan a prevenir momentos de ca3da de la red. El OMC es responsable por controlar y mantener al MSC, BSC y BTS. Puede estar a cargo del total de la PLMN (Public Land Mobile Network) o solo de ciertas partes de ella.

2.5. Canalización y señalización.

2.5.1. La Interfaz Aire de GSM

La interfaz aire es la interfase central de todo sistema de comunicación móvil y comúnmente la única a la cual el usuario está expuesto.

En una red de comunicación móvil, una parte de la conexión de transmisión utiliza un enlace de radio y otra, enlaces PCM agrupados en EIs que son implementados ya sea por microondas, fibra óptica o enlaces satelitales. La transmisión de radio es usada entre la Estación Móvil (MS) y la estación base (BTS) y la información debe ser adaptada para ser transmitida sobre PCM hacia el resto de la red.

El enlace radio es la parte más vulnerable de la conexión y mucho del trabajo de ingeniería será empleado en asegurar su buena calidad y confiabilidad.

2.5.2. La Estructura FDMA/TDMA

GSM utiliza una combinación de acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA) y acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) en su interfaz aire. De esto resulta una estructura de canales de dos dimensiones que es presentada en la Figura 2.2.

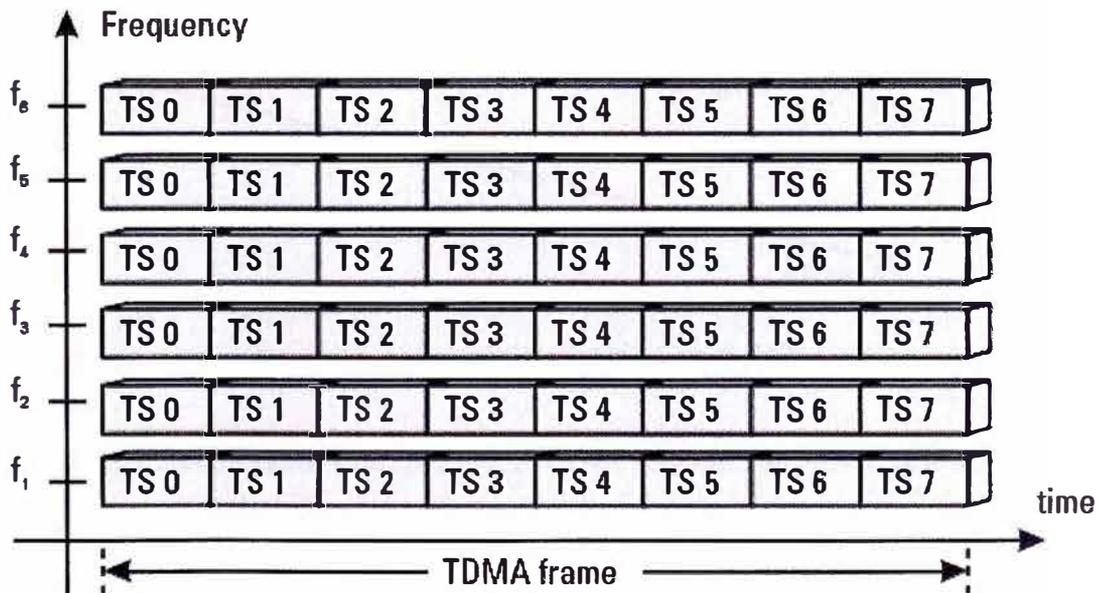


Figura 2.2. La estructura FDMA/TDMA de GSM.

En otros sistemas que solo consideran FDMA, la frecuencia es asignada al usuario durante toda la llamada. En casos de alta demanda esto trae problemas de sobrecarga.

En una configuración Full Rate ocho timeslots (TSs) son mapeados sobre una frecuencia; en una configuración Half Rate hay 16 TSs por frecuencia.

En otras palabras, en un sistema TDMA, cada usuario envía una señal solo de forma periódica, mientras un usuario en sistemas FDMA envía la señal en forma permanente. La diferencia entre ambos sistemas es ilustrada en la Figura 2.3.

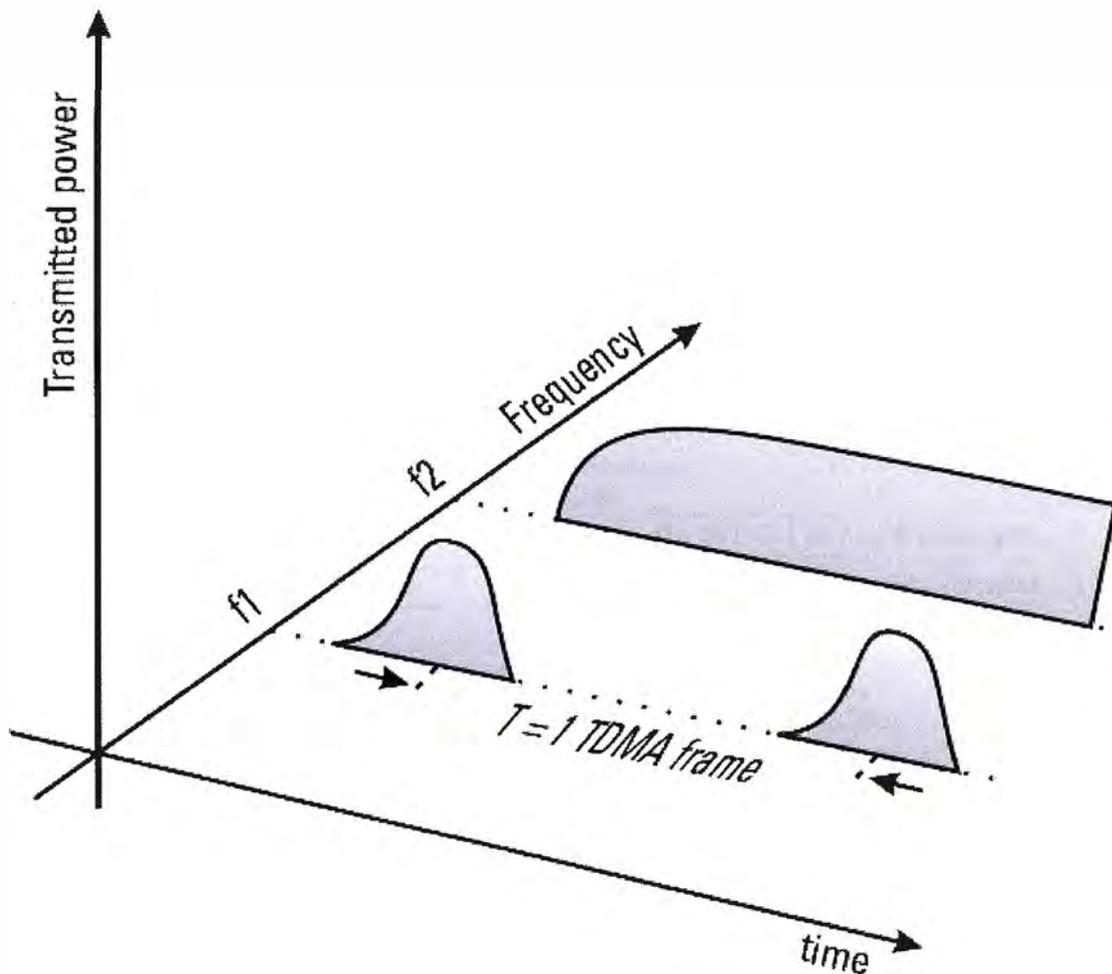


Figura 2.3. Análisis Espectral TDMA versus FDMA.

f_1 en la figura representa una frecuencia GSM con un TS activo, que es por donde la señal es enviada una vez por trama TDMA. Esto permite dar servicio simultáneamente a otros siete usuarios en la misma frecuencia (con configuración Full Rate) y esto constituye la mayor ventaja de TDMA sobre FDMA.

Es necesario mencionar que dos TSs son requeridos para soportar servicio duplex, es decir, permitir transmisión y recepción simultáneamente. Considerando que las figuras 2 y 3 describen la dirección downlink, podemos imaginar en uplink una figura similar sobre otra frecuencia. GSM utiliza la técnica de modulación Gaussian minimum shift keying

(GMSK). GMSK viene con espectro de frecuencia angosto y teóricamente sin modulación de amplitud (AM).

2.5.3. Jerarquía de Tramas y Número de Trama

En GSM, cada impulso en la frecuencia 1, mostrado en la figura 2.3 es llamado un burst. Por lo tanto, cada burst corresponde a un TS. Ocho bursts o TSs, enumerados del 0 al 7 forman una Trama TDMA.

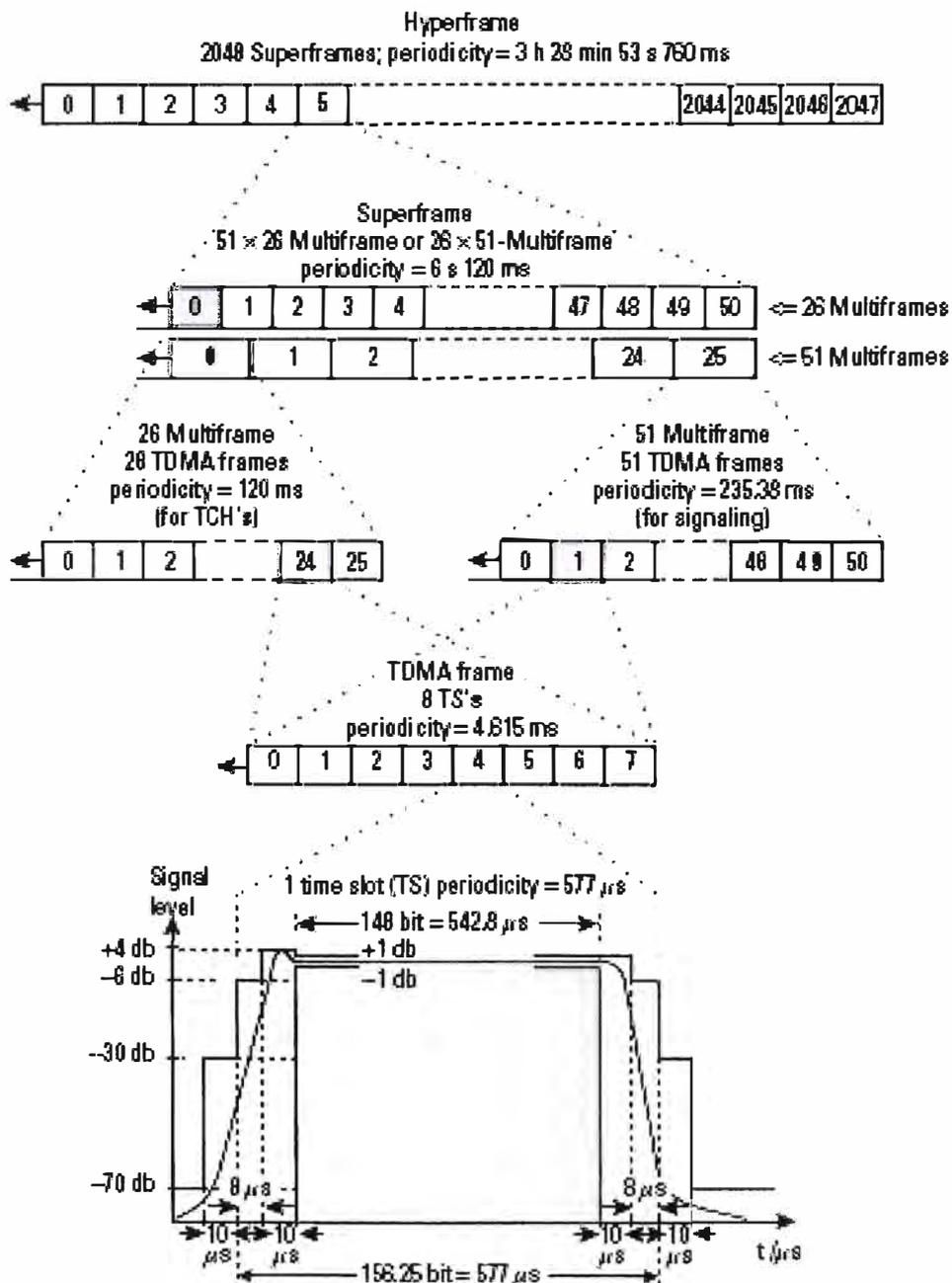


Figura 2.4. Jerarquía de Tramas TDMA

En un sistema GSM, a cada trama TDMA le es asignada un número fijo, el cual se repite en un periodo de 3 horas, 28 minutos, 53 segundos y 760 milisegundos. Este periodo de tiempo es referido como una hipertrama. Las multitramas y supertramas son capas de jerarquía que caen entre la básica trama TDMA y la hipertrama. La figura 2.4 presenta los tipos de tramas, sus periodos, y otros detalles, además del simple burst como unidad menor.

Es necesario mencionar dos variantes de multitramas, con diferentes longitudes. Está la 26-multitrama, que contiene 26 tramas TDMA con una duración de 120 ms y que lleva solo canales de tráfico y los canales de control asociados. La otra variante es la 51-multitrama, que contiene 51 tramas de TDMA con una duración de 235.8 ms y que lleva exclusivamente datos de señalización. Cada supertrama consiste en veintiséis 51-multitramas o cincuenta y uno 26-multitramas. Esta definición es totalmente arbitraria y no refleja ninguna restricción física. La jerarquía de tramas es utilizada para sincronización entre BTS y MS, mapeo de canales y cifrado.

Cada BTS permanentemente transmite el actual número de Trama o Frame Number (FN) sobre el canal de sincronización (SCH) y entonces forma un reloj interno en la BTS. No existe coordinación entre BTSs; todas tienen un reloj independiente, a excepción de las BTSs sincronizadas. Un MS puede comunicarse con la BTS solo después de haber leído el SCH data, que le informa el FN, el que a su vez indica la secuencia cronológica de los canales de control. Dicha información es de mucha importancia, particularmente durante el acceso inicial a una BTS o durante un handover. Considere este ejemplo: un MS envía una petición de Canal (o Channel Request) a la BTS en un determinado instante, digamos con FN "Y". Dicha petición es respondida con una asignación de canal (o Channel Assignment), luego de ser procesada por la BTS y el BSC. El MS encuentra su propio canal de entre los demás, debido a que dicha asignación es referida al numero de trama "Y".

El MS y la BTS también necesitan la información del número de trama para el proceso de cifrado. La hipertrama con su larga duración solo es definida para soportar el cifrado, puesto que por medio de ella, un FN solo es repetido alrededor de cada tres horas. Esto la hace más difícil de interceptar por los hackers en una llamada.

2.5.4. Sintonización entre Uplink y Downlink

Por razones técnicas, es necesario que el MS y la BTS no transmitan simultáneamente. Por lo tanto, el MS transmitirá tres TSs después que la BTS. El tiempo entre enviar y

recibir datos es usado por el MS para realizar varias mediciones de la calidad de la señal de las celdas vecinas.

Como se muestra en la figura 2.5, el MS realmente no envía exactamente tres TSs después de recibir los datos de la BTS. Dependiendo de la distancia entre ellos, es necesario tener en cuenta un retardo de propagación. Este retardo conocido como Timing Advance (TA), requiere que el MS transmita sus datos un poco antes de lo que determina la regla de los tres TSs.

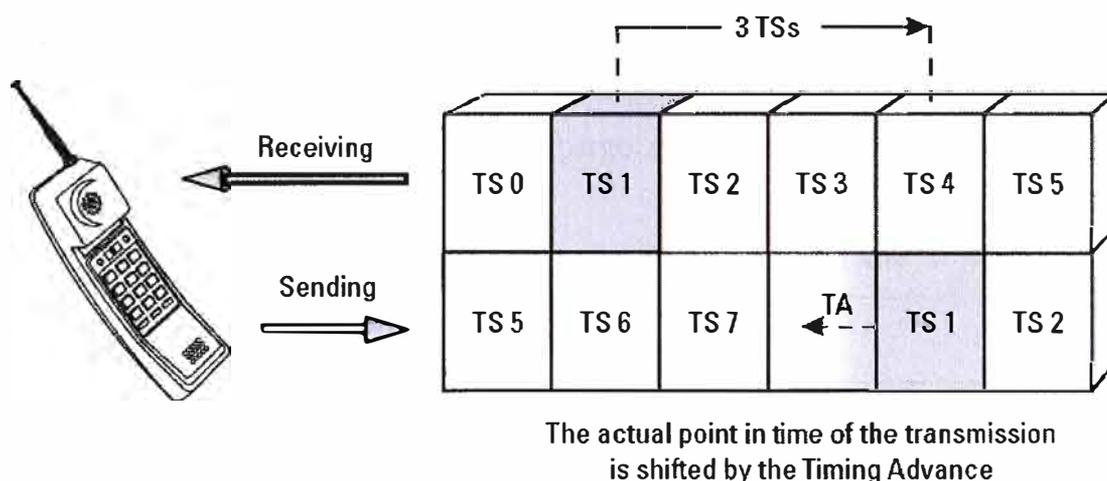


Figura 2.5. Recepción y envío desde la percepción del móvil.

A mayor distancia entre el MS y la BTS mayor será el TA.

2.5.5. Canales Físicos versus Canales Lógicos

Debido a que en este texto se utilizan frecuentemente los términos de Canales físicos y lógicos, debemos estar conscientes de las diferencias entre ellos.

Canales físicos son todos los TSs disponibles de la BTS, mientras que cada TS corresponde a un canal físico. Es necesario distinguir de entre dos tipos de canales, los de Half Rate y los de Full Rate. Por ejemplo, una BTS con 6 portadoras como la de la figura 2.2 tiene 48 (8 veces 6) canales físicos (en una configuración Full Rate).

Los Canales Lógicos están soportados sobre los canales físicos. Cada canal lógico cumple una tarea específica.

Otro aspecto es importante para el entendimiento de los canales lógicos: durante una llamada el MS envía su señal periódicamente, siempre en una trama TDMA en la misma

posición de burst y sobre el mismo TS a la BTS (por ejemplo siempre en el TS numero 3). Lo mismo se aplica a la BTS en la dirección opuesta.

Es importante entender que el mapeo de los canales lógicos sobre los TSs disponibles (Canales Físicos) ya que este mapeo siempre se aplica sobre el mismo número de TS de tramas TDMA consecutivas (Nota: No se muestran los otros siete TSs).

2.5.6. Configuración de los Canales Lógicos

En primer lugar la distinción debe ser hecha entre canales de Trafico (TCHs) y canales de control (CCHs). Distinguir entre los diferentes canales de tráfico (TCHs) es relativamente simple, puesto que solo involucra los distintos servicios soportados. Distinguir entre los canales de control necesarios para las distintas necesidades de señalización en diversas situaciones, sin embargo, es más complicado.

Tabla 2.1. Canales de Señalización de la Interfaz Aire

Name	Abbreviation	Task
Frequency correction channel (DL)	FCCH	The "lighthouse" of a BTS
Synchronization channel (DL)	SCH	PLMN/base station identifier of a BTS plus synchronization information (frame number)
Broadcast common control channel (DL)	BCCH	To transmit system information 1–4, 7-8 (differs in GSM, DCS1800, and PCS1900)
Access grant channel (DL)	AGCH	SDCCH channel assignment (the AGCH carries IMM_ASS_CMD)
Paging channel (DL)	PCH	Carries the PAG_REQ message
Cell broadcast channel (DL)	CBCH	Transmits cell broadcast messages (see Glossary entry <i>CB</i>)
Standalone dedicated control channel	SDCCH	Exchange of signaling information between MS and BTS when no TCH is active
Slow associated control channel	SACCH	Transmission of signaling data during a connection (one SACCH TS every 120 ms)
Fast associated control channel	FACCH	Transmission of signaling data during a connection (used only if necessary)
Random access channel (UL)	RACH	Communication request from MS to BTS

Note: DL = downlink direction only; UL = uplink direction only.

Existen doce tipos diferentes de Canales Lógicos mapeados en canales físicos de un enlace de radio. Consisten de Canales Comunes (Common Channels) y Canales dedicados (Dedicated Channels). Los canales comunes son aquellos que son usados para transmitir información diversa a las estaciones móviles y para establecer canales de señalización entre el MSC/VLR y el MS.

Sobre el enlace de radio, distintos tipos de canales de señalización son usados para facilitar la conversación entre el MS, la BTS, el BSC y el MSC/VLR. A estos canales de señalización se les denomina Canales de Control dedicados.

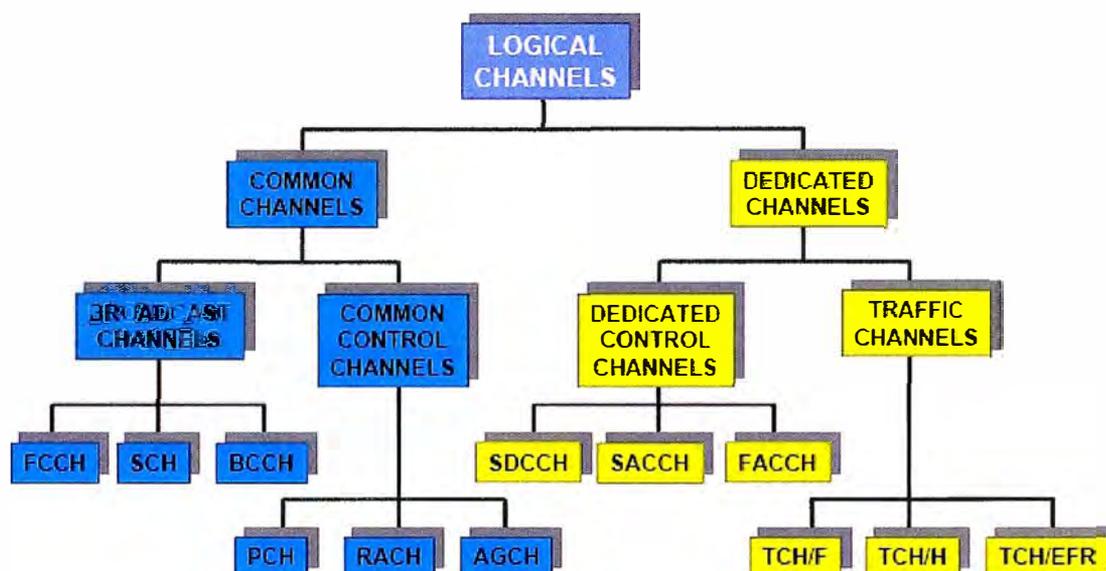


Figura 2.6. Distribución de los canales lógicos

2.6. Handover

En una red de comunicaciones móvil, el suscriptor puede estar en movimiento. Pero ¿Cómo podemos mantener la conexión en tales casos? Para entender esto, debemos estudiar el proceso de handover en las llamadas. Con la ayuda de la función de Handover es posible mantener la conexión de tráfico con movimiento del suscriptor. El concepto básico es simple: Cuando un usuario se mueve del área de cobertura de una celda a otra, se tiene que establecer una nueva conexión con la celda destino y liberar la que se tenía con la celda anterior. Existen dos razones para la ejecución de un Handover:

- a) **Handover debido a Mediciones**, ocurre cuando la calidad o la potencia de la señal de radio cae debajo de ciertos umbrales especificados en la BSC. Dicha deterioración de la

señal es detectada por las constantes mediciones llevadas a cabo tanto por el MS y la BTS. Como consecuencia, la conexión es transferida a otra celda con mejor señal.

- b) Handover debido a razones de Tráfico**, ocurre cuando la capacidad de tráfico de una celda ha alcanzado su máximo o se esta aproximando al mismo. En tal caso las estaciones móviles cercanas a los bordes de la celda deber hacer handover a las celdas vecinas con menos carga de tráfico.

La decisión para la realización de un handover es siempre hecha por el BSC quien esta constantemente dando servicio a los usuarios, a excepción de los handovers por razones de tráfico. En este caso el MSC es quien toma la decisión. Existen cuatro tipos diferentes de handover y la mejor manera de analizarlos es siguiendo al usuario en movimiento:

2.7. Handover Intracell - Intra BSC

El handover más pequeño es el Handover Intracell en donde el usuario es pasado a otro canal de tráfico (generalmente de otra frecuencia) dentro de la misma celda. En este caso el BSC es el que controla la decisión de la celda para la realizar el handover.

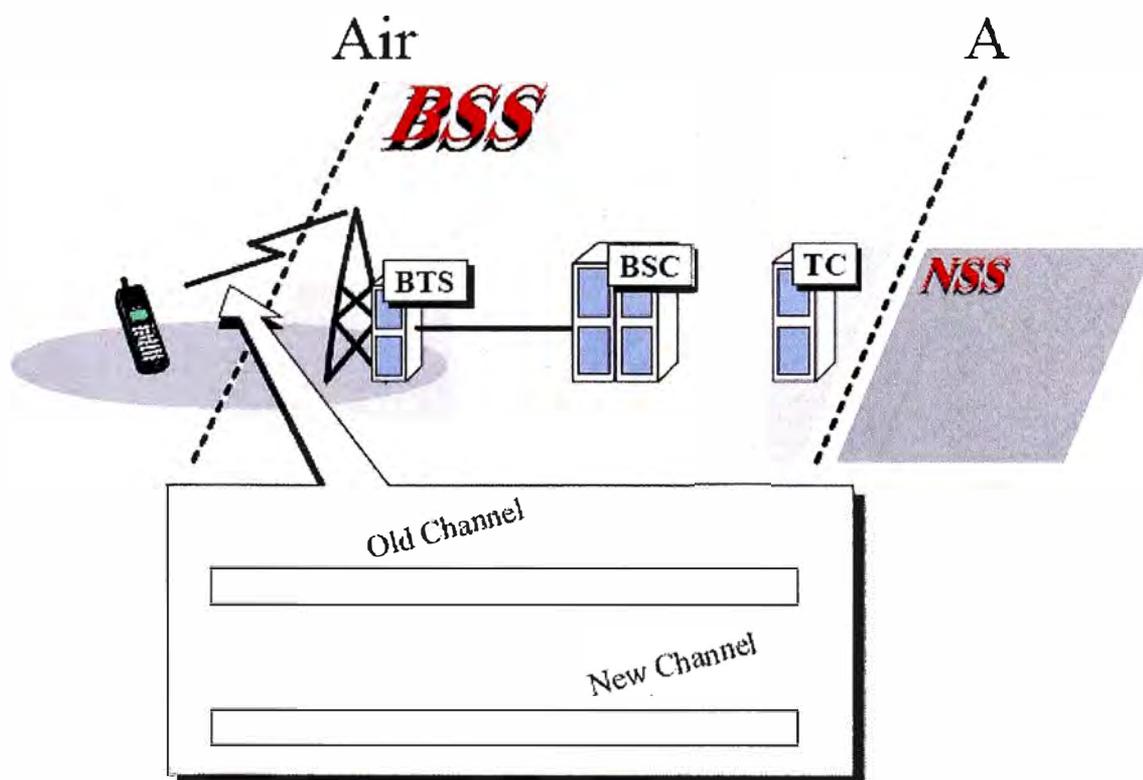


Figura 2.7. Handover Intracell - Intra BSC

2.8. Handover Intercell - Intra BSC

El usuario se mueve de la celda 1 hacia la celda 2. En este caso el proceso de handover es controlado por el BSC. La conexión de tráfico con la celda 1 es liberada cuando la conexión con la celda 2 es establecida satisfactoriamente.

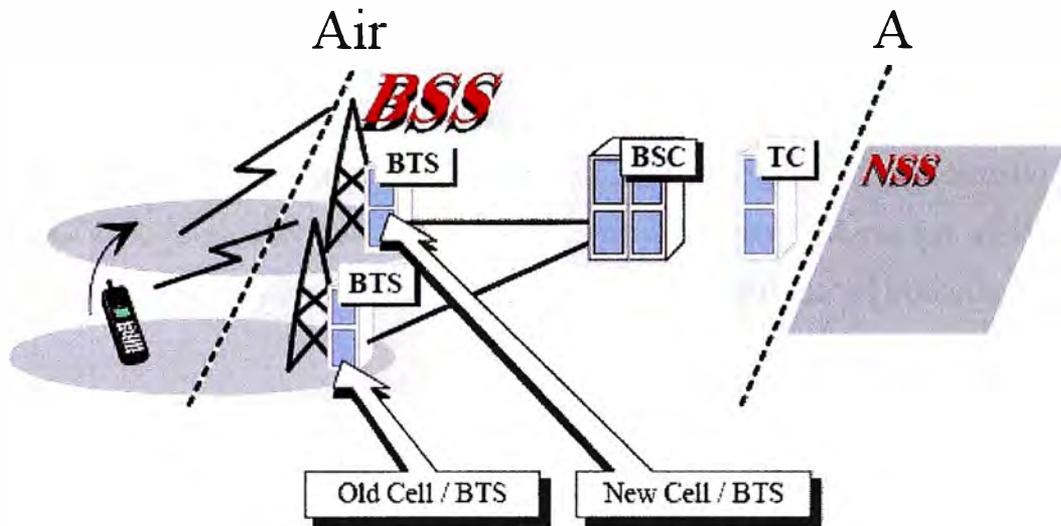


Figura 2.8. Handover Inter Cell - Intra BSC

2.9. Handover Intercell Inter BSC

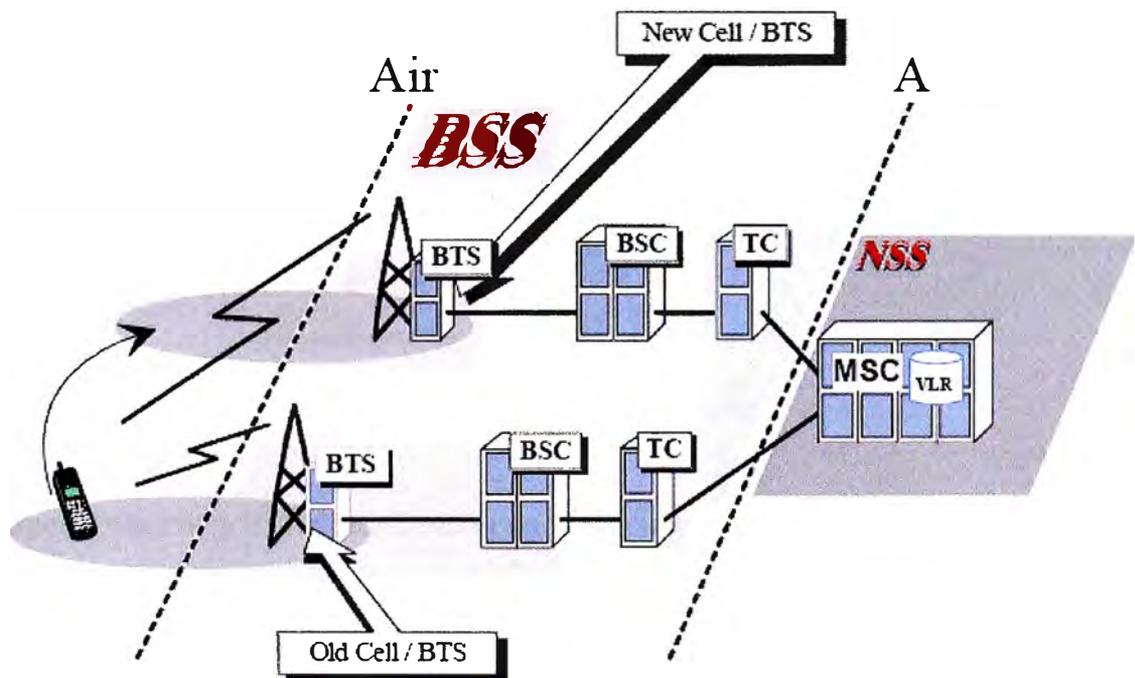


Figura 2.9. Handover Intercell - Inter BSC

El usuario se mueve de la celda 2 hacia la celda 3, la cual se encuentra en otra BSC. En este caso el proceso de handover es controlado por el MSC, pero la decisión para hacer el handover es realizado aún por el primer BSC. La conexión con el primer BSC (y BTS) es liberada cuando la conexión con la nueva BSC (y BTS) es establecida satisfactoriamente.

2.10. Handover Inter MSC

El usuario se mueve de una celda controlada por un MSC/VLR hacia otra celda en el dominio de otro MSC/VLR. Este caso es un poco más complicado. Considerando que el primer MSC/VLR esta conectado con el GMSC vía un enlace que pasa a través de las líneas PSTN, es evidente que el segundo MSC/VLR no puede tomar al primero de manera sencilla.

El MSC/VLR actual da servicio al suscriptor, contacta al MSC/VLR final y la conexión de tráfico es transferida a este MSC. Como ambos MSCs pertenecen a la misma red, la conexión es establecida sin dificultades.

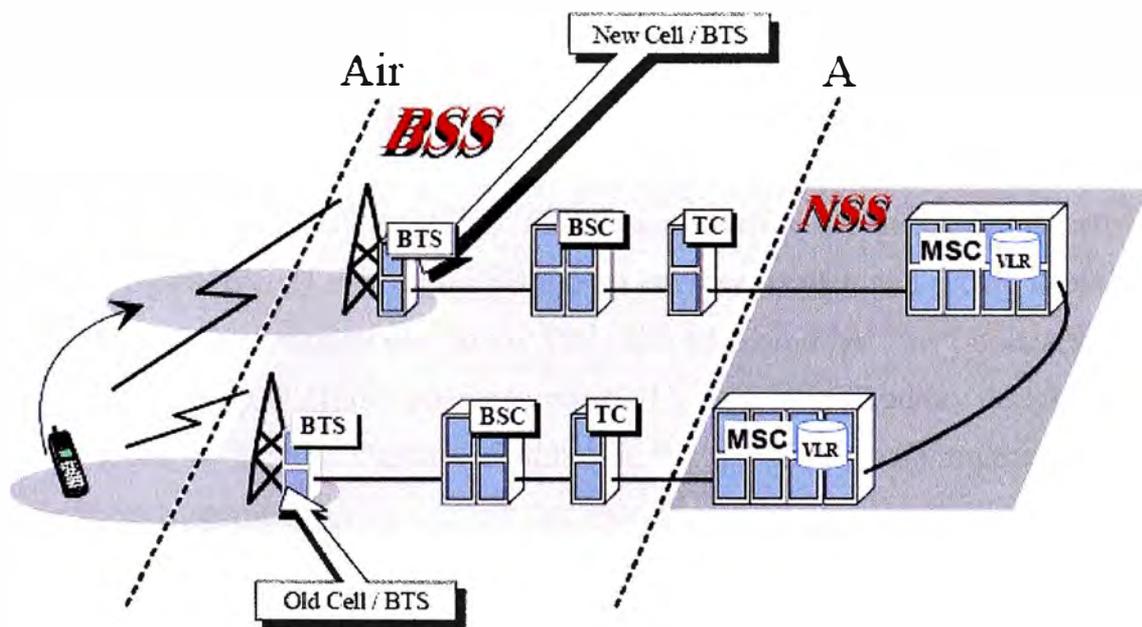


Figura 2.10. Handover Intercell - Inter MSC

2.11. Mapeo de la voz y de la señalización en la estructura de la Trama.

2.11.1 Estructura de la Trama de Voz GSM

La multitrama SACCH es la base para todas las mediciones en modo dedicado. La razón para llamarla multitrama SACCH es debido a que durante dicha trama, es

En tanto dure una conversación de voz, otra multitrama SACCH seguirá a la anterior, formando un flujo continuo para la transmisión de voz y datos por conmutación de circuitos. A continuación se explicara cómo es codificada la señalización y voz.

2.14. Codificación de la Voz y la Señalización en GSM

Esta sección brinda una breve introducción a la codificación del canal en GSM y sirve como base para la definición de las mediciones del RXQUAL y el FER.

2.14.1. Codificación del Canal de Voz

Antes de que la voz llegue al codificador de canal, ésta ha sido muestreada y segmentada en bloques de 20 ms de voz que ha sido comprimida en un codificador de voz para consistir de 260 bits. Los 260 bits son divididos en tres diferentes clases de acuerdo a su importancia, esto es manejado por el codificador de voz como se muestra en la figura 2.13.

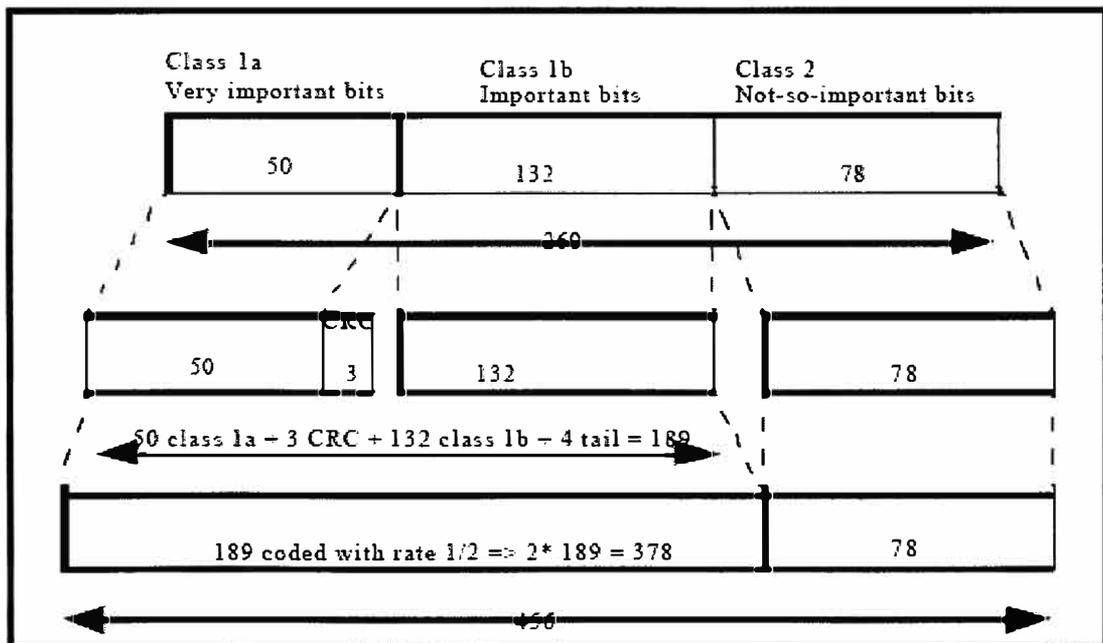


Figura 2.13. Codificación del canal en GSM para un canal de tráfico de voz en full rate.

Después del codificador de canal, los 456 bits de salida son entrelazados y segmentados en bursts, los cuales son enviados sobre la interfase aire. En el receptor, un decodificador de canal transformará los 456 a 260 bits, los cuales pasarán al decodificador de voz donde se convertirá nuevamente en sonido de 20 ms de duración tal como fue enviado.

2.15. Mapeo de la Voz y Señalización Sobre la Estructura de la Trama

Como vimos anteriormente, tanto las tramas de señalización como las de voz deberán terminar en 456 bits por trama. Estos 456 bits son luego separados en un número de bursts y mapeados en la estructura de la multitrama. Lo primero es separarlos en 8 partes que contienen 57 bits cada una como se muestra en la figura 2.14.

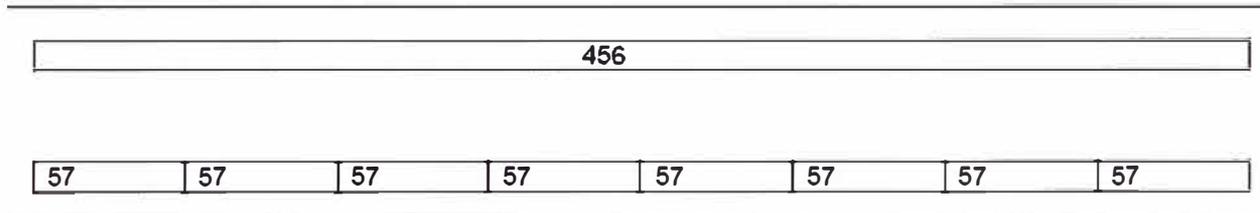


Figura 2.14. Los 456 bits que contienen voz o señalización son separados en ocho bloques de 57 bits.

La figura 2.15 muestra un burst normal de GSM. Como puede verse, un burst normal puede tomar dos bloques de 57 bits cada uno.

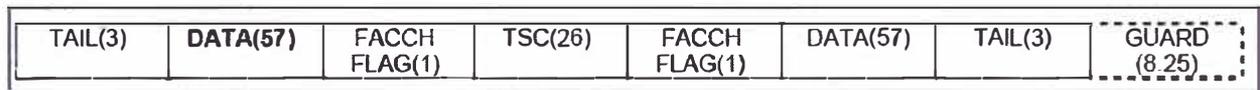


Figura 2.15. Estructura de un burst de tipo normal en GSM.

El siguiente paso es poner los bloques de 57 bits en bursts. Para voz, es utilizado un entrelazado sobre ocho half bursts mientras que para SACCH es utilizado entrelazado sobre cuatro bursts completos.

El mapeo exacto se encuentra en la figura 2.16 debajo, a-z son tramas de voz y A es el bloque SACCH. Nótese que la primera parte de la primera trama de voz es transmitida en la multitrama SACCH previa y la trama z terminará en la multitrama SACCH siguiente.

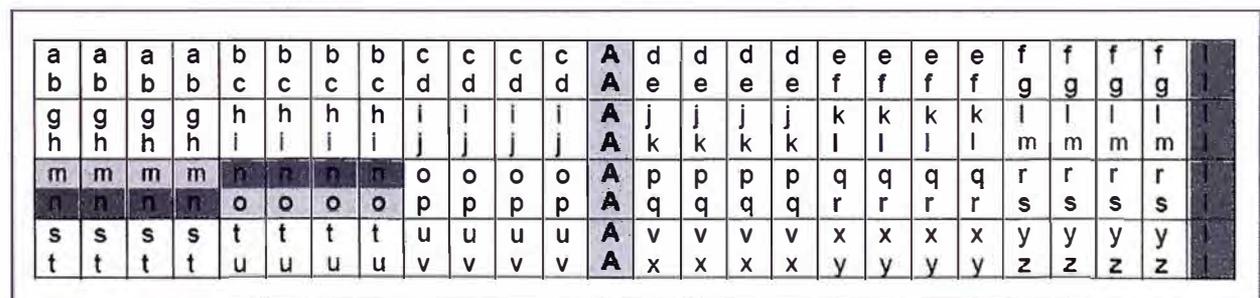


Figura 2.16. Mapeo de la Trama de Voz sobre la multitrama SACCH.

Cuatro timeslots SACCH conforman un bloque SACCH que contiene un mensaje SACCH (SYSTEM INFORMATION 5 o 6 en el canal de downlink, estación base a móvil y MEASUREMENT REPORT en el canal de uplink).

Por cada multitrama SACCH es enviado MEASUREMENT REPORT a la estación base el cual contiene los valores de las mediciones hechas de las celdas servidora y vecinas durante la última multitrama SACCH.

Los timeslots de IDLE son utilizados para la búsqueda del burst de SCH en las celdas vecinas que contiene los valores de Timing Advance y BSIC de la celda.

2.15.1 La Trama SID

En la figura 2.16, los half bursts “n” que están sombreados contienen las llamadas tramas SID (Silence Description). La trama SID es utilizada cuando esta activada la transmisión discontinua (DTX) y contiene parámetros que representan el ruido de fondo que rodea al micrófono. Si la función de DTX en downlink esta activada en la red, el detector de actividad de voz (VAD) monitoreará continuamente cada trama de voz de 20 ms de duración. Si el VAD encuentra una trama silente, éste analizará el ruido de fondo en la trama y creara una trama SID que reemplazará dicha trama silente original.

Una trama SID es un boque de voz de 260 bits que posee un patrón de identificación SID en el bit de posición 95, junto con parámetros que representan el ruido de fondo. En tanto el VAD no detecte ninguna conversación, no se transmitirá voz. Solo será enviada una trama SID por multitrama SACCH, que contiene una serie de parámetros que representan el ruido de fondo.

Notar que las tramas SID solo son transmitidas en los periodos de silencio. Durante conversaciones de voz, serán transmitidos bloques normales de voz en lugar de las tramas “n” de la figura 2.16.

CAPITULO III.

TÉCNICAS TRADICIONALES UTILIZADAS PARA LA MEDICIÓN Y LA MEJORA DE LA CALIDAD

3.1. Medición de Calidad RxQual y FER

3.1.1 Valores FULL vs. SUB

En GSM existen dos tipos de valores presentados para RXQUAL, llamados RXQUAL FULL y RXQUAL SUB, El parámetro que representa la intensidad de la señal tiene también valores similares de FULL y SUB.

Los valores FULL están basados en todas las tramas de la multitrama SACCH, así hayan sido transmitidas desde la estación base o no. Esto significa que si el DTX DL ha sido usado, los valores de FULL no serán válidos para dicho periodo puesto que incluye mediciones de errores de bits cuando nada ha sido enviado resultando en un muy alto BER.

En total 100 bursts (25 bloques) serán utilizados para los valores de FULL.

Los valores de SUB están basados en las tramas principales de la multitrama SACCH. Estas tramas siempre deben ser transmitidas. Existen dos tipos de tramas que satisfacen este criterio y estas son el bloque SACCH (bursts "A" en la figura 2.16) y el bloque que contiene la trama SID (los bursts "n" en la figura 2.16). Si DTX DL no esta en uso, la trama SID contiene una trama de voz ordinaria y será incluida en su lugar. En total 12 bursts (tres bloques) serán utilizados para valores SUB (cuatro bursts SACCH y ocho half bursts de voz).

3.1.2 Rxqual

RXQUAL es un valor entre 0 y 7 en donde cada valor corresponde a un número estimado de errores de bits en un número de bursts.

Cada valor de RXQUAL corresponde a un valor estimado de bit error rate (BER) de acuerdo con la siguiente tabla, la cual ha sido tomada de la Especificación Técnica de GSM 05.80 sección 8.2.4:

Tabla 3.1. Conversión de BER a RXQUAL

RXQUAL	Bit Error Rate (BER)
0	BER < 0.2%
1	0.2% < BER < 0.4%
2	0.4% < BER < 0.8%
3	0.8% < BER < 1.6%
4	1.6% < BER < 3.2%
5	3.2% < BER < 6.4%
6	6.4% < BER < 12.8%
7	12.8% < BER

EL valor de BER es calculado sobre cuatro 26 multitramas (una multitrama SACCH), sobre cada bloque TCH ($8/2 = 4$ bursts TCH) y sobre el bloque SACCH (cuatro bursts SACCH).

Por cada bloque TCH, son utilizados 378 bits de clase 1a para el cálculo del BER y para el cálculo del bloque SACCH son usados 456 bits. Si un bloque de TCH es reemplazado por un mensaje FACCH, pueden ser usados 456 en lugar de 378 bits.

Número de bits de TCH = (número de 26 multitramas) * (número de bloques TCH por 26 multitrama) * (número de bits por bloque TCH) = $(4 * 6 * 378)$
 Esto nos da $(4 * 6 * 378) + 456 = 9528$ bits en cada multitrama SACCH si es un canal de TCH, y $3 * 456 = 1368$ bits si es un canal de SDCCH.

3.1.3 Calculando el valor de BER

Después de que el decodificador de canal ha obtenido el bloque de 456 bits, éste es nuevamente codificado usando el polinomio convolucional en el codificador de canal y los 456 bits resultantes son comparados con los 456 bits de entrada. El número de bits que difieren de entre estos dos bloques corresponde al número de bits errados en el bloque. El número de bits errados es acumulado en una suma de BER para cada multitrama SACCH. La suma del BER es luego dividida por el total de número de bits por multitrama SACCH y el resultado es clasificado dentro del rango de 0 a 7 de acuerdo con la tabla de conversión 3.1.

Notar que el cálculo del BER no tomará en consideración si el bloque es descartado debido a un error en la protección CRC de los bits de clase 1a. También hay que notar que aún cuando el CRC indica un bloque de voz válido, la calidad de voz no es necesariamente

buena. Los bits errados pueden aun permanecer en los bits de clase 1a y especialmente en los bits no protegidos de clase 2.

3.1.4 Rxqual Full vs. Rxqual Sub

Como ya se ha explicado anteriormente, existen dos valores de RXQUAL disponibles, FULL y SUB respectivamente. Si DTX DL es usado en la red, debe ser tomado el valor SUB, de lo contrario es preferible tomar el FULL debido a su mayor confiabilidad.

3.1.5 FER, Frame Erasure Rate

La tasa de FER es un valor entre 0 y 100% y es calculado una vez cada multitrama SACCH, al mismo tiempo que los valores de RXQUAL. Es decir, al igual que el RXQUAL, es calculado sobre los bloques de TCH y SACCH.

Como se muestra en la figura 2.13, tres bits de CRC protegen los 50 bits de clase 1a. El CRC sirve para chequeo de redundancia cíclica además trabaja como control de paridad y es usado para detección de errores en los bits de clase 1a. Cuando el decodificador de canal ha obtenido los 456 bits, es chequeado el CRC y, si es incorrecto, el bloque completo es descartado. En la especificación técnica 06.11 de GSM se da un ejemplo de cómo esto debe ser manejado en el receptor por una unidad ECU (Error Concealment Unit). El valor de FER está basado en el número de bloques que han sido descartados debido a un error en el CRC.

$$FER (\%) = (\text{nro. de bloques con CRC incorrecto} / \text{total nro. de bloques}) * 100$$

Así como con los valores de RXQUAL y RXLEV, son requeridos dos tipos de mediciones, FER FULL basado en todas las tramas y FER SUB basado solo en dos bloques principales.

a) FER Full

El número total de bloques en un canal de TCH full rate es 24 TCH + 1 SACCH = 25 bloques.

$$FER_FULL (\%) = (\text{número de bloques con CRC incorrecto} / 25) * 100$$

Ejemplo 1 FER FULL:

a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c	A	d	d	d	d	e	e	e	e	f	f	f	f	l
b	b	b	b	c	c	c	c	d	d	d	d	A	e	e	e	e	f	f	f	f	g	g	g	g	l
g	g	g	g	h	h	h	h	i	i	i	i	A	j	j	j	j	k	k	k	k	l	l	l	l	l
h	h	h	h	i	i	i	i	j	j	j	j	A	k	k	k	k	l	l	l	l	m	m	m	m	l
m	m	m	m	n	n	n	n	o	o	o	o	A	p	p	p	p	q	q	q	q	r	r	r	r	l
n	n	n	n	o	o	o	o	p	p	p	p	A	q	q	q	q	r	r	r	r	s	s	s	s	l
s	s	s	s	t	t	t	t	u	u	u	u	A	v	v	v	v	x	x	x	x	y	y	y	y	l
t	t	t	t	u	u	u	u	v	v	v	v	A	x	x	x	x	y	y	y	y	z	z	z	z	l

Figura 3.1. Ejemplo con tres tramas erróneas (El CRC falló en las tramas f, i y k).

En la figura 3.2 las tramas f, i y k tienen CRC incorrecto. El FER FULL para esta multitrama SACCH es calculado como:

$$\text{FER_FULL} = (3 / 25) * 100 = 12\%$$

Ejemplo 2 FER FULL:

a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c	A	d	d	d	d	e	e	e	e	f	f	f	f	l
b	b	b	b	c	c	c	c	d	d	d	d	A	e	e	e	e	f	f	f	f	g	g	g	g	l
g	g	g	g	h	h	h	h	i	i	i	i	A	j	j	j	j	k	k	k	k	l	l	l	l	l
h	h	h	h	i	i	i	i	j	j	j	j	A	k	k	k	k	l	l	l	l	m	m	m	m	l
m	m	m	m	n	n	n	n	o	o	o	o	A	p	p	p	p	q	q	q	q	r	r	r	r	l
n	n	n	n	o	o	o	o	p	p	p	p	A	q	q	q	q	r	r	r	r	s	s	s	s	l
s	s	s	s	t	t	t	t	u	u	u	u	A	v	v	v	v	x	x	x	x	y	y	y	y	l
t	t	t	t	u	u	u	u	v	v	v	v	A	x	x	x	x	y	y	y	y	z	z	z	z	l

Figura 3.2. Ejemplo con cuatro tramas erróneas (El CRC falló en las tramas c, q, r y A).

En la Figura 3.2 las tramas c, q, r y A tienen CRC incorrecto. El FER_FULL para esta multitrama SACCH es calculado como:

$$\text{FER_FULL} = (4 / 25) * 100 = 16\%$$

b) FER Sub

El número total de bloques principales en un canal TCH full rate son 1 TCH + 1 SACCH = 2 bloques.

$$\text{FER_SUB} (\%) = (\text{número de bloques con CRC incorrecto} / 2) * 100$$

Nota: El valor real del FER SUB esta limitado a tres: 0%, 50% y 100%. No son posibles otros valores puesto que solo dos bloques forman la base de los cálculos.

Ejemplo 1 FER SUB:

a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c	A	d	d	d	d	e	e	e	e	f	f	f	f	l
b	b	b	b	c	c	c	c	d	d	d	d	A	e	e	e	e	f	f	f	f	g	g	g	g	l
g	g	g	g	h	h	h	h	i	i	i	i	A	j	j	j	j	k	k	k	k	l	l	l	l	l
h	h	h	h	i	i	i	i	j	j	j	j	A	k	k	k	k	l	l	l	l	m	m	m	m	l
m	m	m	m	n	n	n	n	o	o	o	o	A	p	p	p	p	q	q	q	q	r	r	r	r	l
n	n	n	n	o	o	o	o	p	p	p	p	A	q	q	q	q	r	r	r	r	s	s	s	s	l
s	s	s	s	t	t	t	t	u	u	u	u	A	v	v	v	v	x	x	x	x	y	y	y	y	l
t	t	t	t	u	u	u	u	v	v	v	v	A	x	x	x	x	y	y	y	y	z	z	z	z	l

Figura 3.3. Ejemplo con cuatro tramas erróneas (El CRC falló en las tramas c, q, r y A).

En la Figura 3.3, las tramas *c*, *q*, *r* y *A* tienen CRC incorrecto, los mismos que en el caso de FER FULL (ejemplo 2).

FER SUB solo toma en cuenta las tramas SACCH (*A*) y SID (*n*). En este caso está errada “*A*” pero no “*n*”, así el FER SUB para esta multitrama SACCH es calculado como:

$$\text{FER_SUB} = (1 / 2) * 100 = 50\%$$

Ejemplo 2 FER SUB:

a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c	A	d	d	d	d	e	e	e	e	f	f	f	f	l
b	b	b	b	c	c	c	c	d	d	d	d	A	e	e	e	e	f	f	f	f	g	g	g	g	l
g	g	g	g	h	h	h	h	i	i	i	i	A	j	j	j	j	k	k	k	k	l	l	l	l	l
h	h	h	h	i	i	i	i	j	j	j	j	A	k	k	k	k	l	l	l	l	m	m	m	m	l
m	m	m	m	n	n	n	n	o	o	o	o	A	p	p	p	p	q	q	q	q	r	r	r	r	l
n	n	n	n	o	o	o	o	p	p	p	p	A	q	q	q	q	r	r	r	r	s	s	s	s	l
s	s	s	s	t	t	t	t	u	u	u	u	A	v	v	v	v	x	x	x	x	y	y	y	y	l
t	t	t	t	u	u	u	u	v	v	v	v	A	x	x	x	x	y	y	y	y	z	z	z	z	l

Figura 3.4. Ejemplo con cinco tramas erróneas (El CRC falló en las tramas e, g, h, k y l).

En la Figura 3.4 las tramas *e*, *g*, *h*, *k* y *l* tienen CRC incorrecto. Puesto que el FER SUB solo cuenta las tramas SACCH (*A*) y SID (*n*) y ninguna de ellas está incorrecta, el FER SUB para esta multitrama SACCH es calculado como:

$$\text{FER_SUB} = (0 / 2) * 100 = 0\%$$

3.2. Técnicas usadas para el mejoramiento de la calidad

En esta sección se describirán las formas de mejorar el performance de la red asociadas con el conjunto básico de funcionalidades estándar de GSM: Control de Potencia (PC), Transmisión Discontinua (DTX) y Frequency Hopping (FH).

3.2.1 Control de Potencia (Power Control - PC)

El objetivo del Control de Potencia (PC) es adaptar la potencia de transmisión tanto del MS como de la BTS al las condiciones de recepción. Por ejemplo, una estación móvil MS1 localizada cerca de la BTS puede utilizar una potencia de transmisión menor que la estación móvil MS2 al borde de una celda para lograr el quality de uplink requerido.

Existen dos ventajas del Control de Potencia:

- Reducción de la potencia consumida promedio (Especialmente en el móvil),
- Reducción de la interferencia co-canal y canal adyacente.

Están disponibles dos tipos de PC:

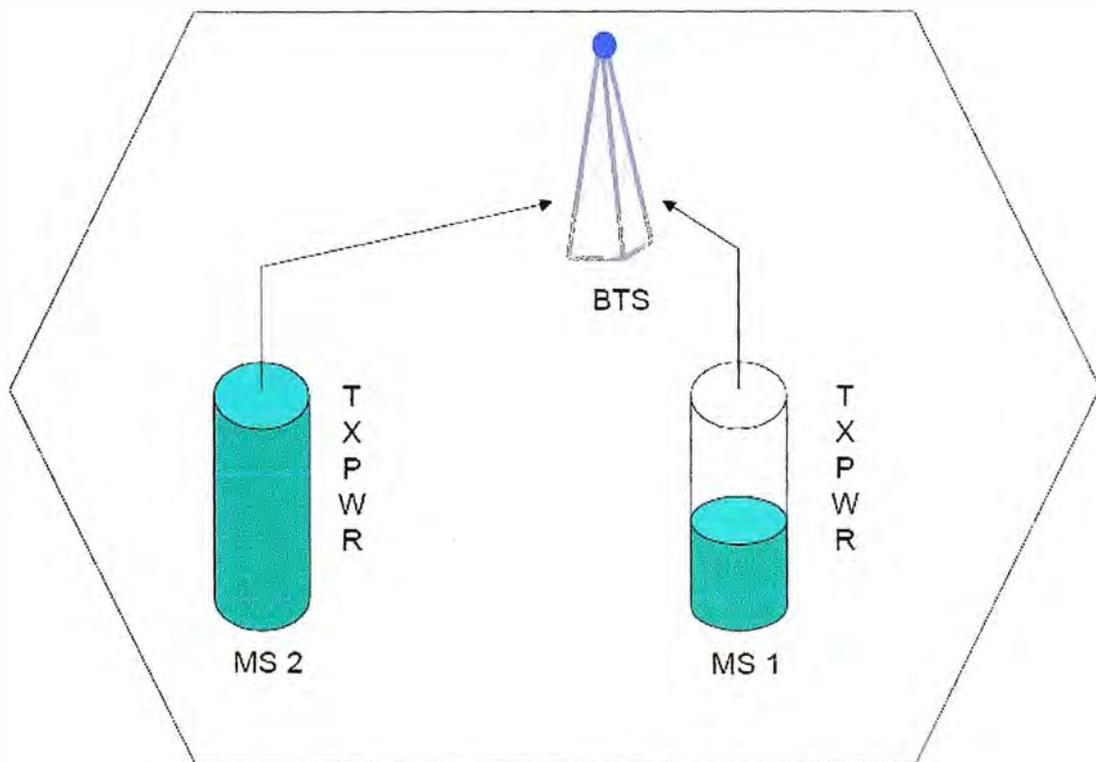


Figura 3.5. Requerimientos de potencia en transmisión del móvil dependiendo de su distancia a la BTS.

a) PC Clásico

El tamaño de los pasos es fijo (2, 4, 6dB) independientemente de los valores actuales de RXLEV y RXQUAL. Luego de la orden de Control de potencia, el proceso de power control se suspende por un cierto tiempo.

b) PC Adaptivo

El tamaño de los pasos depende del valor actual de RXLEV y RXQUAL. El tiempo entre dos decisiones de Power Control es minimizado.

El Power Control es aplicado por separado tanto para uplink como para downlink y para cada canal lógico.

La tasa de control de PC es de 0.48 s (una vez por cada multitrama SACCH). Para móviles relativamente lentos, la ganancia de reducción de interferencia de PC puede ser sustancial, mientras para móviles rápidos podría no ser posible un eficiente seguimiento de la variación de la señal debido al fading. La ganancia promedio de PC en las mediciones de C/I incluyendo Frequency Hopping y para móviles de velocidades de 50 km/h, se calcularon aproximadamente como de 1.5 a 2.5 dB.

3.2.2. Transmisión Discontinua (Discontinuos Transmisión - DTX)

DTX ha sido desarrollado para sistemas vía satélite algunos años antes. Ahora es usado en los sistemas de comunicaciones móviles GSM. El objetivo es reducir el consumo de potencia y la interferencia en una celda. Durante una conversación ordinaria los participantes solo hablan el 50% del tiempo. Cada dirección de transmisión es ocupada alrededor de la mitad del tiempo. DTX es un modo de operación en donde los transmisores son encendidos para aquellas tramas que contienen información útil. La dificultad consiste en encontrar técnicas para distinguir conversación ruidosa del ruido mismo aún en un ambiente con interferencia. El ruido acústico de fondo tiene que ser evaluado para transmitir parámetros característicos del lado receptor. El lado receptor genera un ruido similar llamado ruido confortable durante los periodos en que es cortada la transmisión de radio.

El objeto de esto es reducir la velocidad de voz de 13 kbits/s (usuario conversando) a 500 bits/s. Este bajo rate es suficiente para codificar el ruido de fondo. Esto significa que en lugar de una trama por 20 ms sólo es enviada una trama por 480 ms. Estas, también

llamadas tramas SID (Silence Description), son enviadas al inicio de todo periodo inactivo, luego cada 480 ms, tanto tiempo como dura la inactividad entre la BTS y el MS.

Estas tramas de ruido confortable entre la TRAU y la BTS son enviadas cada 20 ms. El comportamiento en el tiempo es como sigue:

TRAU <-> BTS

SSSSCCCCCCCCCCCCCCCCSSSSSSSSSS

BTS <-> MS

SSSSC C C C SSC C S

Donde

S: Trama de Voz

C: Trama de Ruido Confortable

3.2.3. Frequency Hopping (FH)

El principio del Frequency Hopping usado en las redes GSM, consiste en que los bursts TDMA sucesivos de una conexión sean transmitidos en diferentes frecuencias pertenecientes a la celda respectiva de acuerdo con el planeamiento de la red. Este método es llamado también Slow Frequency Hopping (SFH) puesto que la transmisión de frecuencia permanece constante durante un burst (en contraste con el fast frequency hopping en donde las frecuencias de transmisión cambian durante un burst).

La calidad del enlace puede variar de burst a burst, por ejemplo a un burst con alto BER (Bit Error Rate) le puede seguir uno de bajo BER puesto que:

- El Short Term Fading es diferente a distintas frecuencias,
- El nivel de interferencia es también diferente a distintas frecuencias

Puesto que la información para una trama de voz intercalada sobre 8 bursts sucesivos y la decodificación satisfactoria de esta depende del BER promedio sobre estos 8 bursts, esta trama puede ser codificada aun cuando existan algunos bursts con mala calidad. En general, sin emplear Hopping, los 8 burst pueden ser buenos o no.

Así el beneficio del Frequency Hopping es una especie de ecualización de la calidad del enlace de todas las conexiones por

- Diversidad de Frecuencia – Promediando el Fading,
- Diversidad de Interferencia – Promediando la interferencia.

Para lograr diversidad de interferencia, las conexiones en distintas celdas cocanales no deben saltar de forma síncrona sino de manera asíncrona. Ese modo es llamado Hopping Seudo Aleatorio: se utilizan secuencias de Hopping no correlacionadas en las distintas celdas cocanales. Así la probabilidad de una colisión (interferencia) de dos conexiones específicas en celdas cocanales es inversamente proporcional al número de frecuencias usadas en la secuencia de Hopping.

Una secuencia de Hopping es el modo dependiente del tiempo de utilizar las frecuencias (patrones de hopping). Esto es descrito por el llamado **Hopping Sequence Number HSN**. El **Mobile Allocation MA** (también llamado **MOBALLOC**) es la lista de frecuencias usadas por el Hopping Sequence Number. El **Mobile Allocation Index Offset (MAIO)** se usa para definir un desfaseamiento de la frecuencia utilizada para empezar el modelo de hopping definido por el HSN.

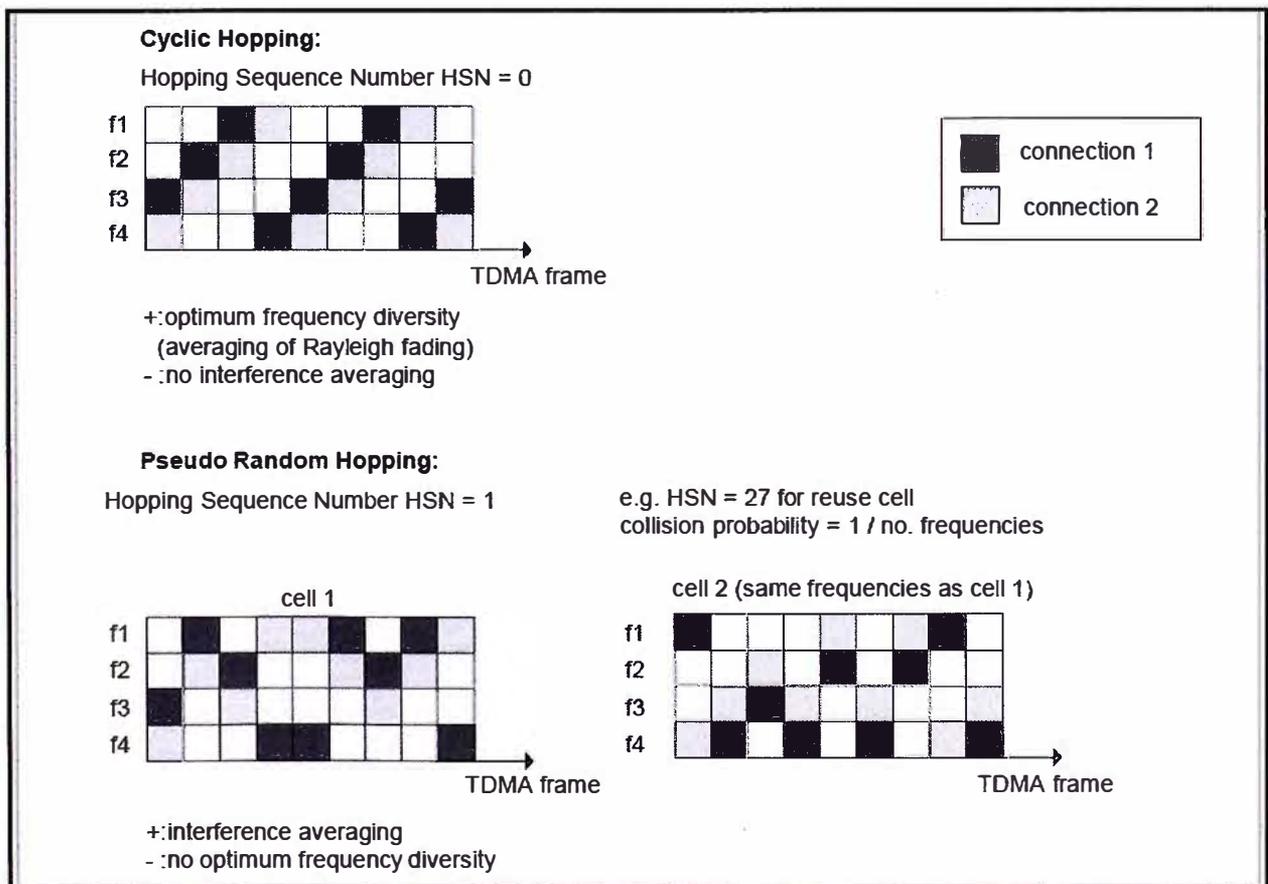


Figura 3.6. Ilustración del Hopping Cíclico y Seudo Aleatorio.

Así, el número de MAIOs diferentes dentro de un site está dado por el número de frecuencias de hopping disponibles.

Los Hopping Sequence Number disponibles son 64

Secuencia de Hopping Cíclica, $HSN = 0$ y

Secuencias de Hopping Seudo Aleatoria $HSN = 1, \dots, 63$.

Estos dos modos de Hopping se ilustran en la Figura 3.6

CAPITULO IV.

TÉCNICAS Y METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

4.1. Mean Opinion Score (MOS)

En multimedia en general (audio, telefonía o video) especialmente cuando se utilizan codecs para comprimir el ancho de banda requerido (por ejemplo, de una conexión de voz digitalizada de la modulación estándar PCM a 64 kbps), el Mean Opinion Score (MOS) provee un indicador numérico de la calidad percibida del sonido recibido después de la compresión y/o transmisión. El MOS es expresado como un número en el rango de 1 a 5, donde 1 es la más baja calidad recibida, y 5, la más alta.

Las pruebas de MOS para voz están especificadas en la recomendación de la ITU P.800.

El MOS es generado promediando los resultados de un conjunto de pruebas estándar subjetivas, en donde un número de oyentes evalúa la calidad de audio de ciertas frases de prueba leídas en voz alta tanto por hablantes hombres y mujeres a través del medio de comunicación que está siendo probado.

Se requiere que cada oyente evalúe cada oración utilizando el siguiente esquema de calificación:

Tabla 4.1. Escala del Mean Opinión Score.

Mean Opinion Score (MOS)		
MOS	Calidad	Ruido
5	Excelente	Imperceptible
4	Buena	Perceptible pero no molesto
3	Aceptable	Ligeramente molesto
2	Pobre	Molesto
1	Mala	Muy molesto

El MOS es el promedio aritmético de todas las calificaciones individuales, y puede variar de 1 (peor) a 5 (mejor).

Sistemas de compresión y descompresión (codec) y procesamiento digital de señales (DSP) son comúnmente usados en comunicaciones de voz, y pueden ser configurados para conservar el ancho de banda, pero existe un compromiso entre la calidad de la voz y la conservación del ancho de banda. Los mejores codecs proveen la mejor preservación del ancho de banda con la menor degradación de la calidad de voz posible. El ancho de banda puede ser medido cuantitativamente, pero la calidad de voz como tal requiere una interpretación humana, aunque dicha estimación puede ser hecha por sistemas automáticos de prueba. En efecto, hay en el mercado múltiples herramientas que tratan de medir y cuantificar la calidad de voz subjetiva del enlace por medio de datos colectadas a través de pruebas de drive tests utilizando distintos algoritmos.

Un proceso similar puede ser utilizado para evaluar la calidad subjetiva del video. Como un ejemplo presentamos el MOS de distintos codecs implementados.

Tabla 4.2. Valores MOS para distintos tipos de codecs en general.

Codec	Data rate [kbit/s]	Mean Opinion Score (MOS)
G.711 (ISDN)	64	4.3
iLBC	15.2	4.14
AMR	12.2	4.14
G.729	8	3.92
G.723.1r63	6.3	3.9
GSM EFR	12.2	3.8
G.726 ADPCM	32	3.8
G.729a	8	3.7
G.723.1r53	5.3	3.65
GSM FR	12.2	3.5

4.2. Método Utilizado

A continuación presentamos una breve descripción del método de evaluación del MOS para una red celular que se ha utilizado en este informe. Este método pretende automatizar dichas evaluaciones mediante un sistema que simula la percepción humana.

4.2.1 Introducción al Método SQUAD

Para los operadores de radio celular es importante conocer dónde la calidad de voz no es satisfactoria con el fin de optimizar la red en dicha área. Puesto que la calidad de voz es el principal factor que determina la satisfacción del cliente, las técnicas de codificación deben estar diseñadas para una hacerla óptima. A fin de evaluar la calidad de una técnica de codificación de voz, son empleados un gran número de pruebas de auditoria. Sin embargo es prácticamente imposible reproducir los resultados obtenidos de esta manera. Además estos resultados dependen del nivel de motivación de los participantes de estas pruebas. Por lo tanto es una gran ventaja tener un método instrumental capaz de realizar mediciones físicas de parámetros de calidad de voz y producir resultados, los cuales se correlacionen lo más cerca posible con los subjetivos que se requieren. Una transmisión perfecta de voz vía un canal de telecomunicaciones con un ancho de banda de 0.3 – 3.4kHz resulta en una oración inteligible de aproximadamente 98%. Los codificadores de voz introducidos por los handsets utilizados en las redes móviles digitales también contribuyen a degradar la inteligibilidad. Calidad de Voz es un término ambiguo comparado con “bit rate”, “eco” o “ruido”. Puesto que la satisfacción del cliente puede ser medida directamente por la calidad de la voz transmitida, las técnicas de codificación deben ser seleccionadas y optimizadas basadas en su calidad. Es así como se buscó un método instrumental el cual, realizando las mediciones físicas adecuadas, pondere las características de la calidad de voz y produzca los resultados deseados.

4.2.2 Definición de Calidad de Voz

Calidad de voz es definida como la medida de satisfacción del oyente basada en su experiencia y expectativas considerando el tipo de comunicación. Es generalmente expresado como un Mean Opinion Score (MOS). Esta medición representa el promedio de muchas opiniones individuales en calidad de voz, que son obtenidas de un número representativo de oyentes. La calidad de voz es un complejo fenómeno psico-acústico dentro del proceso de la percepción humana. Como tal, es necesariamente subjetiva. Muchos algoritmos objetivos están basados en una comparación entre una muestra de referencia y la versión codificada de dicha muestra.

4.2.3 El Método SQUAD

Aquí se introduce un procedimiento para predecir objetivamente la calidad de los codificadores de voz, el cual está basado en un algoritmo que simula el proceso humano básico de escuchar. SQUAD consiste de tres partes principales. Primero, una unidad de preprocesamiento ajusta la referencia y la muestra codificada. Luego, un modelo de auditoria es usado para reducir ambas muestras a sus características relevantes en cuanto a la percepción. Finalmente, una unidad de valoración evalúa la diferencia perceptual entre la referencia y la muestra codificada dando como resultado un valor de MOS.

Una muestra de voz es transmitida sobre una línea generalmente con una combinación desconocida de codificadores de voz. Esta muestra es disponible en forma digital. La frecuencia de muestreo es de 8kHz y la cuantización digital es de 16 bits. Al inicio la señal de voz de la fuente es leída en el vector $x(i)$ y la señal de voz codificada en el vector $y(i)$. Estas señales de voz deben ser ambas sincronizadas con respecto a tiempo y amplitud. El offset de DC debe ser removido de cada muestra. Adicionalmente las señales son normalizadas a un nivel común de RMS (Root Mean Square), para asegurar que el factor de amplificación constante no será tomado en cuenta.

Las señales son divididas en unidades de procesamiento de 32ms de duración, también llamadas tramas. La unidad de traslape es de 50%. Durante un primer paso de procesamiento, la trama es multiplicada por una ventana de Hamming. La señal fuente $x(t)$ en el dominio del tiempo es ahora transformada al dominio de la frecuencia usando una transformada discreta de Fourier, seguida por el cálculo del cuadrado de la magnitud del espectro FFT. Ambas señales son filtradas usando un filtro equivalente al del receptor en el correspondiente teléfono handset. El método de comparación de SQUAD está basado en el siguiente principio; los coeficientes de la señal con mayor energía son más importantes para la calidad percibida. Una “comparación” entre los coeficientes de referencia y la señal codificada es computada para 4 diferentes umbrales de energía. Sólo los coeficientes de la señal que exceden el respectivo umbral son considerados. Esto puede ser visualizado como un análisis de multiresolución con respecto a la energía de la señal. La “comparación total” es luego calculada usando los coeficientes de todos los umbrales. Se utiliza un polinomio para transformar el resultado de la comparación con la escala MOS de la ITU. La longitud de la muestra de voz varía entre 4 a 30 segundos. Este algoritmo ha sido probado usando varias muestras de voz bajo distintos tipos de condiciones.

4.3. Consideraciones Adicionales con Respecto a Calidad de Voz

Como ya se ha mencionado antes la calidad de voz esta relacionada con la satisfacción del usuario final al mantener una conversación a través de un medio de comunicación. Sin embargo esta valoración subjetiva, como ya hemos visto no puede ser tomada en cuenta para determinar, por ejemplo la calidad en un área específica de la ciudad y para optimizar dicha área, mucho menos para realizar un análisis de antes y después de ciertos cambios en la red. Es importante tener en cuenta que otros parámetros anteriormente descritos son también considerados como indicadores de calidad de una red celular. Es así como RXQUAL y FER se consideran a menudo los más importantes y accesibles para estos fines. Sin embargo si bien es cierto que se puede con ellos evaluar muchos factores como interferencia y cobertura, cuando se trata de codificación de voz es difícil notar alguna alteración en ellos debido principalmente a que ambos están basados ya sea en bits o tramas erradas, es decir a una pérdida de información la cual ocurre cuando se tienen condiciones de interferencia y pobre cobertura principalmente. En dicho caso podría decirse que a pesar de no existir pérdida de información existe una pérdida de fidelidad en muchos casos y esto no es medible por el BER ni el FER. Por lo tanto se hace necesario el método SQUAD para obtener la escala del MOS de una manera mas fiel al oído humano y poder optimizar la red de una manera mas adecuada.

4.4. Adaptive Multi-rate Codec (AMR)

Los codecs AMR contienen un conjunto de códigos de voz fijos, señalización rápida en banda y adaptación de enlace. AMR opera tanto en los modos GSM de full rate (22.8 kbps) y half rate (11.4 kbps). Una parte importante de AMR es la habilidad de adaptar el canal de radio y condiciones de carga de tráfico y seleccionar el modo de canal óptimo (HR o FR) y modo de codec para enviar la mejor combinación posible de calidad de voz y capacidad de canal.

4.4.1 Codificación de Voz y Codificación de Canal

La codificación de la voz AMR utiliza el algoritmo de código de excitación algebraica de predicción lineal (ACELP) empleado también en los codecs de GSM EFR y en D-AMPS EFR. El codec es e realidad una combinación de ocho codecs de voz con bit rates de 12.2, 10.2, 7.95, 7.4, 6.7, 5.9, 5.15 y 4.75 kbps. Cada modo de codec provee una distribución diferente del bit rate disponible entre la voz y la codificación del canal. Todos

los codecs son definidos para el modo de canal full rate, mientras que los seis más bajos son definidos también para el modo de canal half rate.

La codificación del canal realiza corrección de errores y detección de tramas malas. La corrección de errores en todos los modos de codec esta basada en codificación RSC (Recursive Systematic Convolutional) para obtener los bit rates requeridos. Cada modo de codec utiliza 6 bits de CRC para detección de malas tramas.

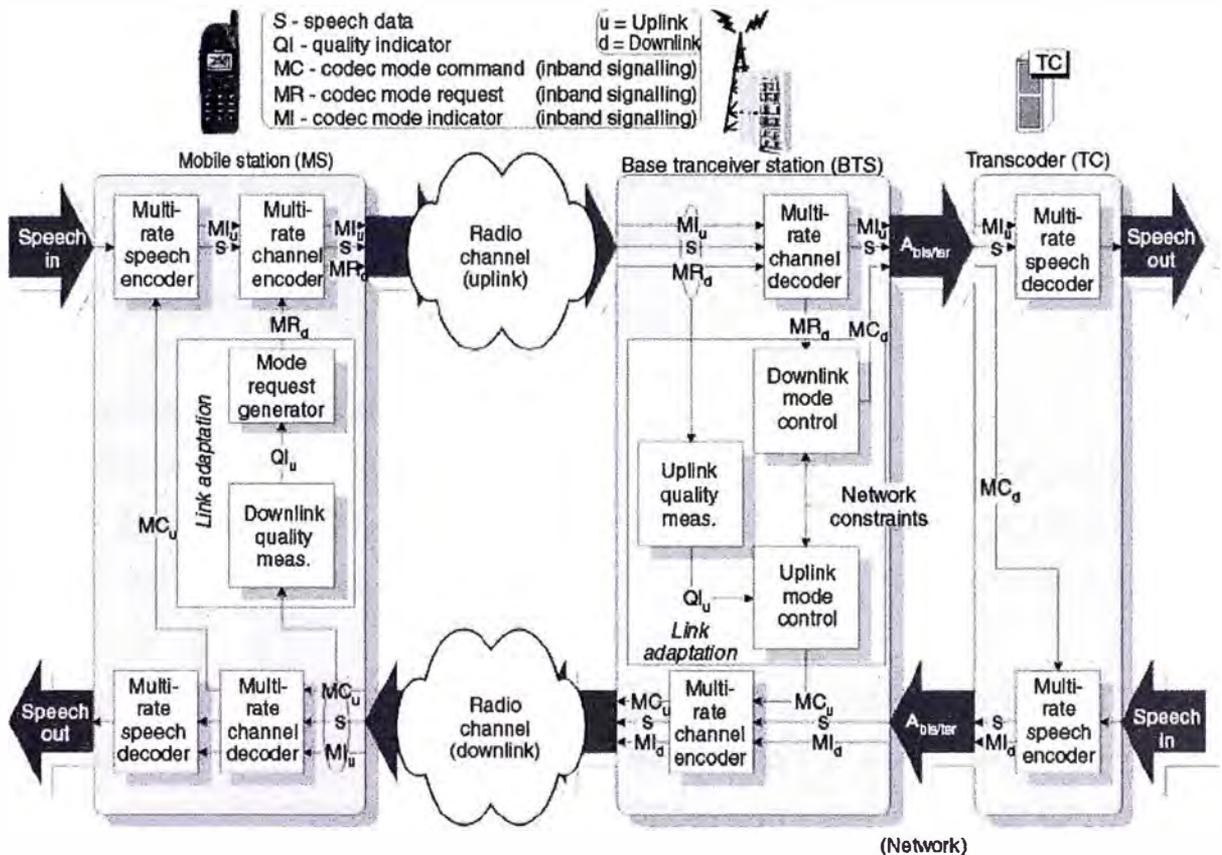


Figura 4.1. Diagrama de Bloques del sistema AMR

4.4.2 Señalización In-Band y Adaptación del Enlace

En la operación básica de AMR mostrada en la figura 4.1, tanto la estación móvil (MS) como la estación base (BTS) realizan la estimación de la calidad del canal de la señal recibida. Basado en las mediciones de calidad, es enviada una orden de modo de codec (downlink hacia el MS) o una petición de modo de codec (uplink hacia la BTS) a través de la interfase radio en mensajes in-Band. El receptor utiliza esta información para elegir el mejor modo de codec para las condiciones de canal prevalentes. Un indicador de modo de codec es también enviado para indicar el modo de operación actual en el lado de transmisión. El principio básico para la selección del modo de codec es que el modo

elegido para uplink puede ser diferente del usado en downlink, pero el modo de canal (HR o FR) debe ser el mismo. El beneficio del método In-Band es que no requiere canales separados de señalización para transferir mensajes. Enviando los mensajes y los indicadores junto con la carga de voz, la operación de adaptación del enlace puede ser hecha también mas rápido, mejorando el performance del sistema.

La red controla los modos de codec y los modos de canal en las direcciones de uplink y downlink. El MS debe obedecer la orden del modo de codec de la red, mientras que ésta debe usar cualquier información complementaria, además de enviar la petición de modo de codec para determinar el codec de downlink. El MS debe implementar todos los modos de codec. Sin embargo, la red debe soportar cualquier tipo de combinación entre ellos, basado en la elección del operador. AMR también contiene detección de actividad de voz y transmisión discontinua (VAD/DTX).

4.4.3 Performance del Enlace de AMR

Con AMR, existen dos modos de canal, FR y HR, y cada uno de ellos utiliza un número de modos de codec para un particular codec de voz. La figura 4.2 incluye el performance del enlace de todos los modos de codec en FR: 12.2, 10.2, 7.95, 7.4, 6.7, 5.9, 5.15 y 4.75 kbps.

Las condiciones del canal en estas simulaciones son típicas urbana a 3 km/h (TU3) y frequency hopping (FH) ideal. Como se muestra en la figura 4.2, los modos de codec mas robustos son capaces de mantener bajos TCH FER con muy bajos valores de C/I. Con el modo de codec AMR FR 4.75, el TCH FER permanece debajo del 1% con valores de 3dB de C/I mientras que son necesarios 8.5dB para el mismo performance con EFR. Por lo tanto, la ganancia de AMR comparada con EFR es alrededor de 5.5dB a 1% de FER. Sin embargo, esta ganancia decrece 1dB cuando no se usa FH como se muestra en la figura 4.3 donde las condiciones del canal son TU3 sin FH.

La figura 4.4 muestra el performance del enlace para todos los modos de codec AMR HR: 7.95, 7.4, 6.7, 5.9, 5.15 y 4.75 kbps. En el caso de los modos de codec AMR HR, aun usando los mismos codecs que en el caso de FR, son requeridos valores mayores de C/I para el mismo performance. Por ejemplo, hay una diferencia de alrededor de 8 dB entre FR9.95 Kbps y HR 7.95 Kbps. Esto es debido a la diferente codificación de canal utilizada.

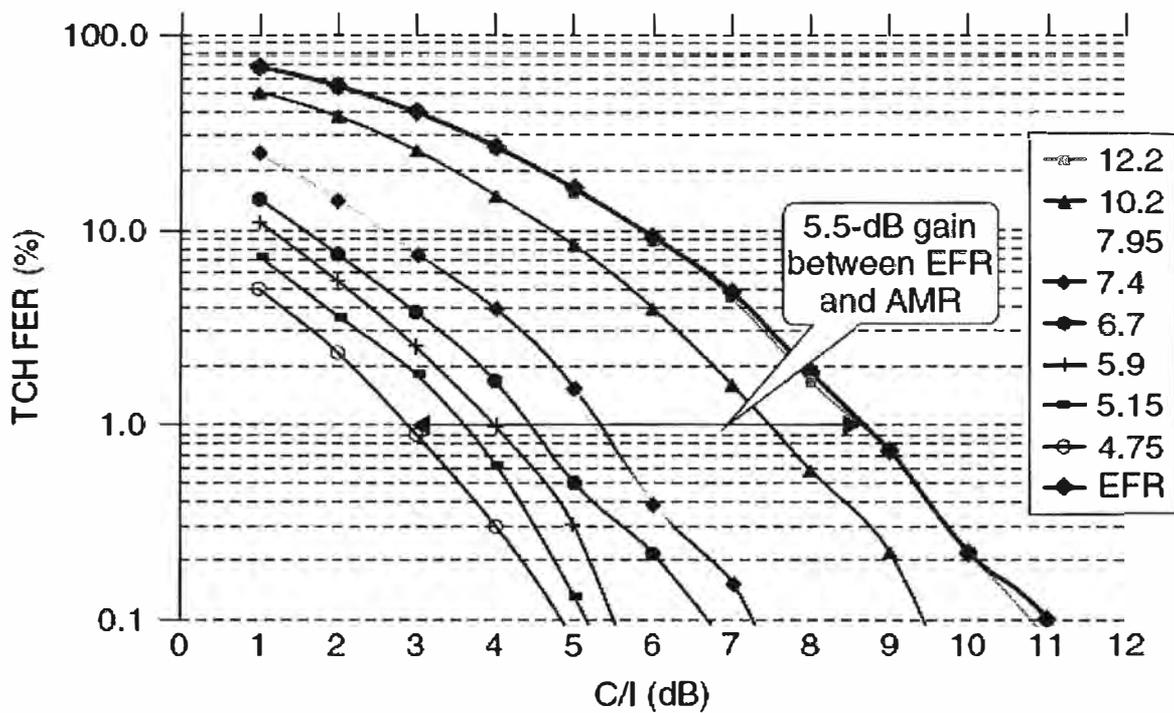


Figura 4.2. Resultados del nivel de TCH FER AMR full-rate (TU3, iFH).

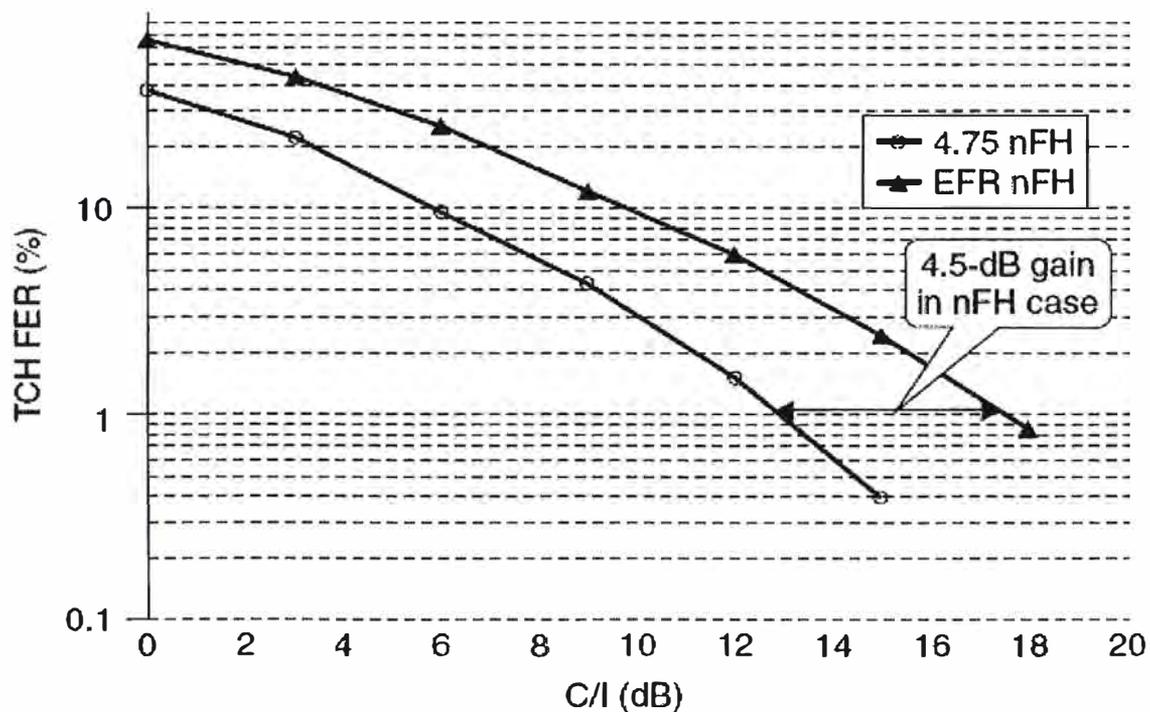


Figura 4.3. Resultados del nivel de TCH FER AMR full-rate (TU3 sin FH).

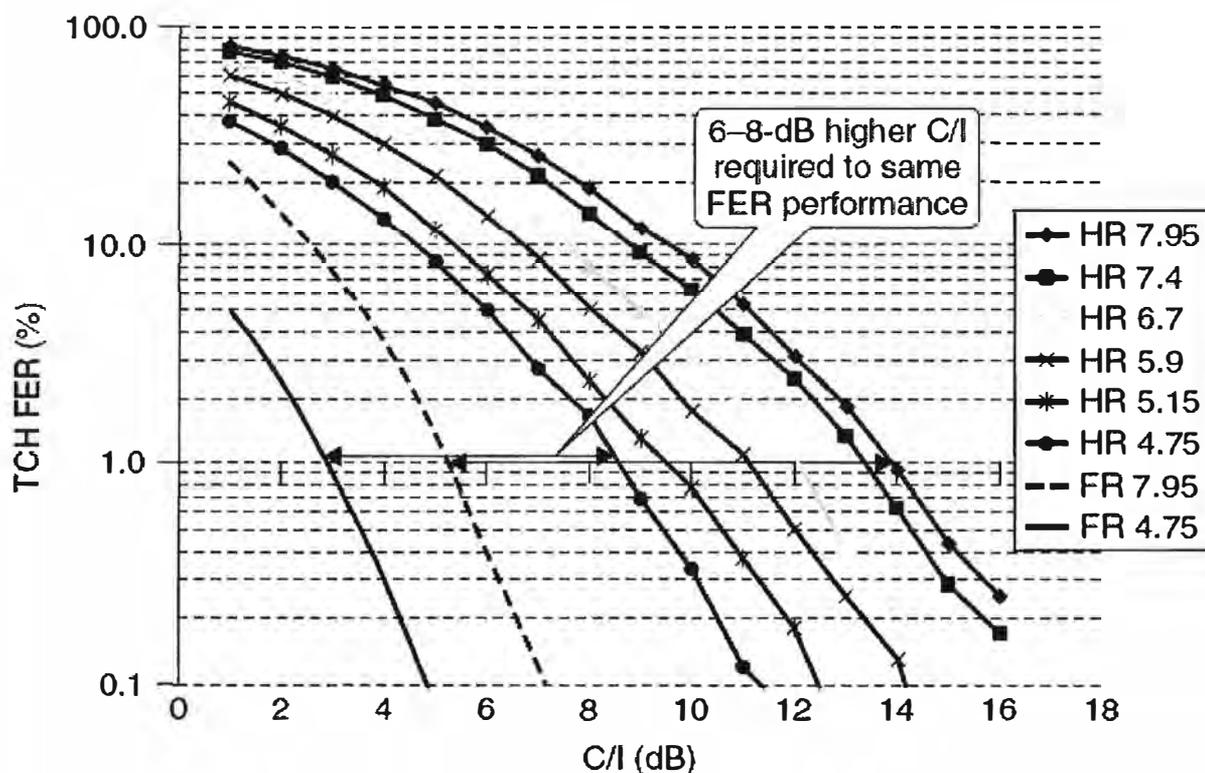


Figura 4.4. Resultados del nivel de TCH FER AMR half-rate (TU3, iFH).

El mayor bit rate en el modo de canal FR es de 22.8 Kbps, mientras que para HR es tan solo de 11.4 Kbps. Por lo tanto, para la misma codificación de voz, el modo HR tiene considerablemente menos bits por codificación de canal, y por ende tiene mayores requerimientos de C/I. Finalmente, el codec FR 4.75 tiene un performance similar al codec FR 12.2. Todos estos puntos necesitan ser tomados en cuenta cuando es definida la estrategia de adaptación del modo de canal entre los modos full y half rate.

4.4.4 Calidad de Voz con Codecs AMR

Con AMR, hay múltiples codecs de voz usados dinámicamente. Algunos de ellos tienden a tener mayor calidad de voz (codificación de voz más fuerte), otros, a ser más robustos (mayor codificación de canal). La figura 4.5 muestra el MOS de los modos de codec de AMR FR. Estas curvas ilustran cómo cada modo de codec alcanzan la mejor calidad de voz en ciertas regiones de C/I. El algoritmo de adaptación de codec debe asegurar que el MOS del codec de AMR total es equivalente a la envolvente mostrada en la figura. Esta envolvente muestra el performance del codec AMR en el caso de adaptación de codec ideal, esto es, el mejor codec es seleccionado en cada punto de C/I. En áreas de altos C/I,EFR y ARM obtienen alrededor del mismo MOS. Sin embargo, con menos de 13dB de C/I, el codec EFR requiere aproximadamente un C/I mayor en 5dB para obtener

el mismo MOS que el codec AMR. La figura 4.6 muestra resultados equivalentes para el MOS del modo de canal HR. Para los mismos valores de MOS, los codecs de HR, tienen mayores requerimientos de C/I.

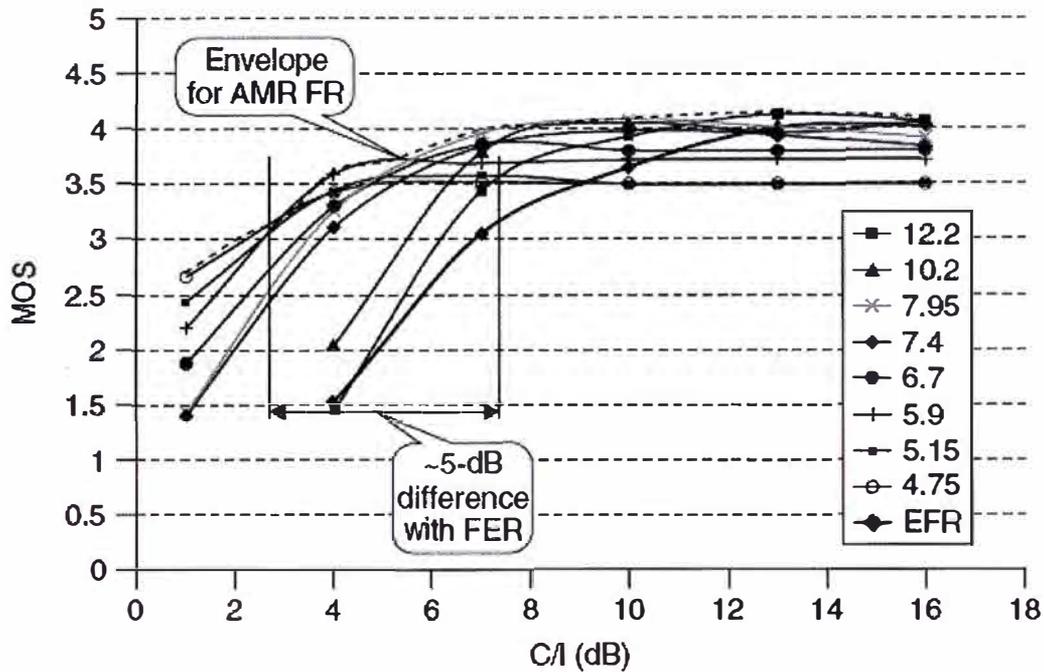


Figura 4.5. Resultados del MOS de EFR y AMR Full Rate.

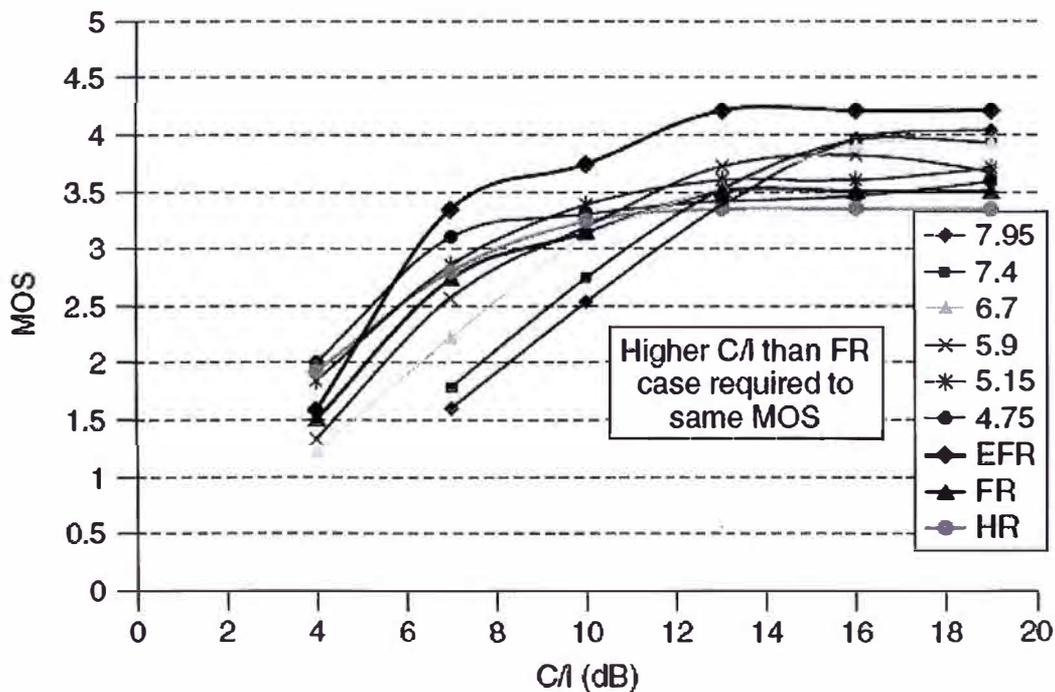


Figura 4.6. Resultados del MOS de AMR Half-Rate, EFR, FR, y HR.

4.4.5 Mediciones del performance del Enlace

Los resultados aquí presentados han sido desarrollados luego de una exhaustiva validación tanto en el campo como en el laboratorio. Los resultados para un TU50 (Urbano a 50 Km/h) sin hopping son mostrados en las siguientes gráficas. La figura 4.7 muestra el FER de los codecs AMR 12.2, 5.9 y 4.75, junto con el de enlace adaptivo (utilizando codecs de 12.2, 7.4, 5.9 y 4.75; 11, 7 y 4dB como umbrales). Se encuentra una ganancia de alrededor de 6dB a 1% de FER para enlace adaptivo, lo cual confirma la ganancia predicha en las simulaciones.

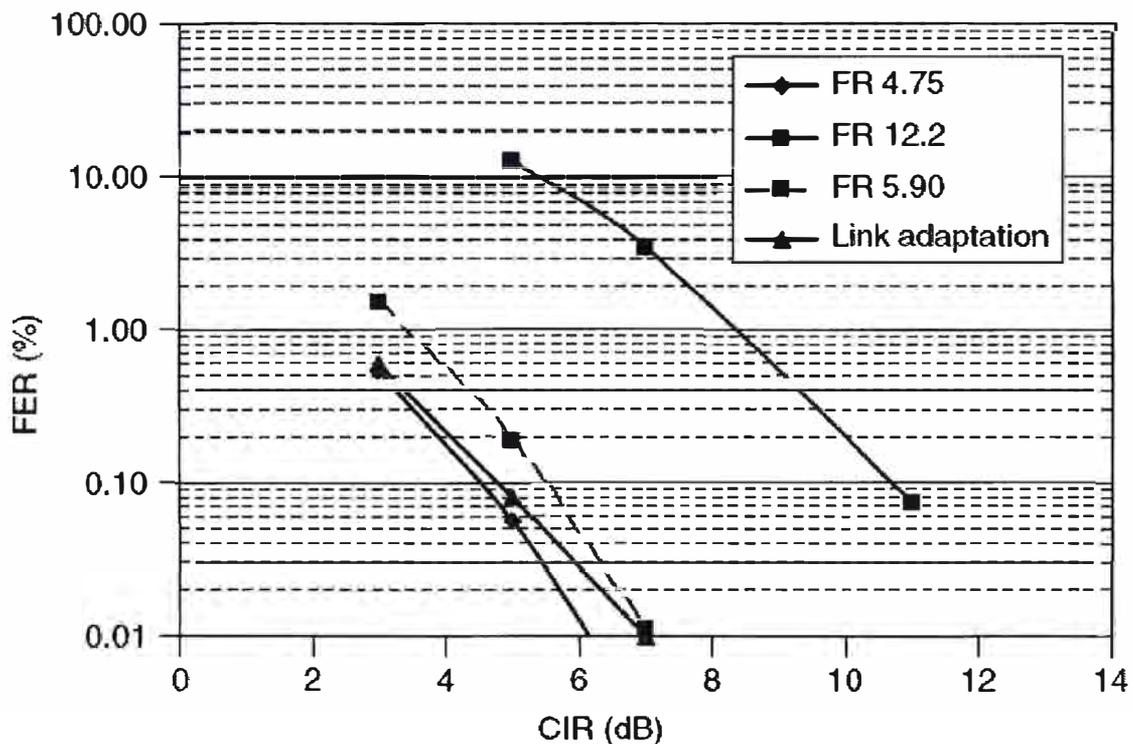


Figura 4.7. Resultados experimentales del FER de AMR Full-Rate (DL TU50 sin hopping, laboratorio).

También fue evaluado en el ambiente de laboratorio, el performance de la calidad de voz. Para dicho propósito, el MOS fue evaluado por medio de la Evaluación Perceptual de la Calidad de Voz (Perceptual Evaluation of Speech Quality – PESQ), un tipo de medición objetiva recomendada por la ITU. Los resultados son mostrados en la figura 4.8 para los codecs de AMR FR 12.2 y 4.75, junto con la adaptación de codec con 11, 7, y 4dB como umbrales. Se nota que el quality del codec 12.2 AMR FR cae debajo de 3 en la escala del PESQ para valores de C/I debajo de 7dB, mientras que 4.75 AMR FR puede ser usado

hasta valores de C/I de 2dB antes que su quality caiga al mismo nivel. Como se esperaba, la grafica del enlace adaptivo es la envolvente de las dos anteriores: Para altos valores de C/I permanece en el performance del codec 12.2 AMR FR con una buena calidad de voz y libre de errores, pero se comporta como 4.75 AMR FR para bajos C/I. La ganancia resultante es también alrededor de de 5dB para un valor de PESQ de 3.

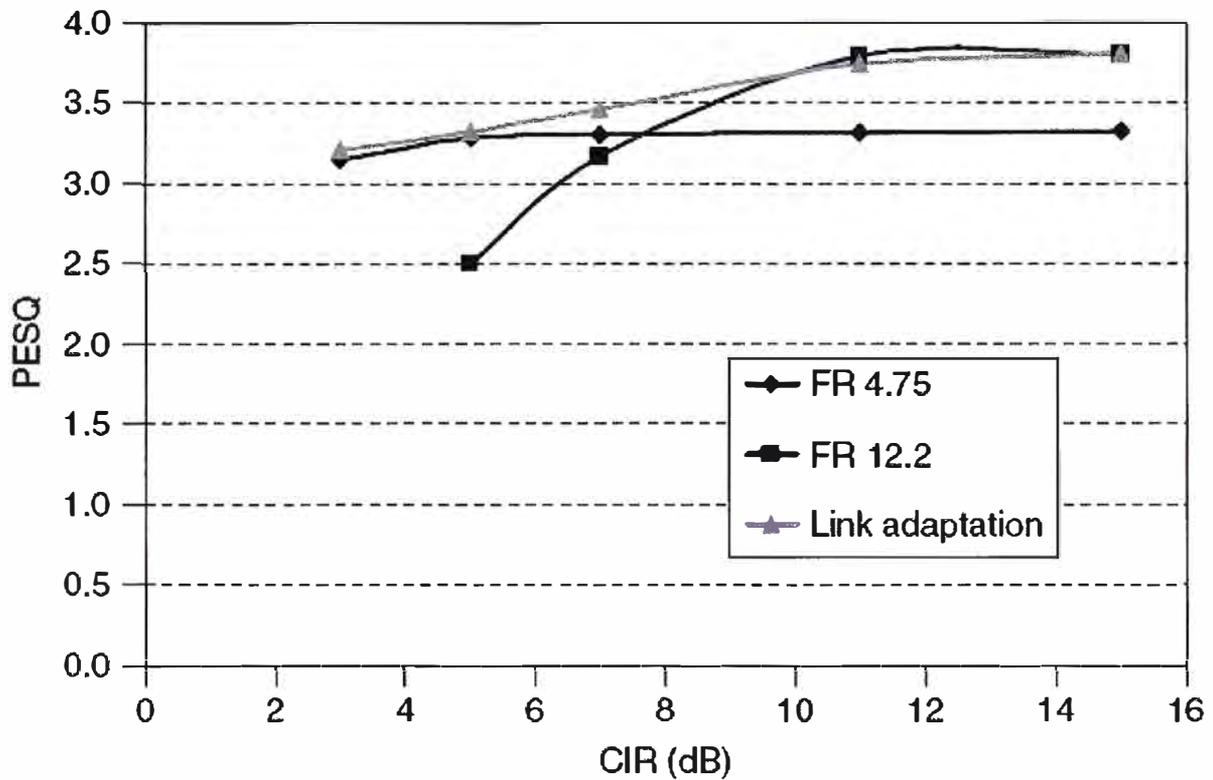


Figura 4.8. Resultados experimentales del nivel de calidad de voz de AMR Full-Rate (DL TU50 sin hopping, laboratorio).

4.4.6 Adaptación de Codec

La adaptación de codec para AMR esta basada en la estimación del quality del canal. La especificación de GSM [7] incluye una referencia del algoritmo de adaptación de codec basada en el C/I. En este método, el quality del enlace es estimado tomando muestras del C/I de los bursts. Luego, dichas muestras son procesadas usando filtros FIR (Finite Impulse Response) no adaptivos de orden 100 para FR y 50 para HR. El método descrito fue usado en las simulaciones de codec adaptivo en este estudio. El objetivo de estas simulaciones fue demostrar el efecto del codec adaptivo en el nivel de quality del sistema y encontrar los umbrales óptimos para realizar las simulaciones.

La especificación de GSM [7] define que un conjunto de mas de cuatro codecs AMR, que es seleccionado al iniciar una llamada, es utilizado en la totalidad de ésta (este conjunto puede ser actualizado en un handover o durante la llamada).

El conjunto presentado en la tabla 4.4 ha sido incluido en la realización de estas simulaciones. Con el objeto de utilizar todo el rango dinámico de los codecs AMR ofrecidos, se escogieron como el menor a 4.75 kbps y como el mayor a 12.2 kbps.

La figura 4.9 muestra el TCH FER como una función de los umbrales de C/I incluidos en la tabla 4.3. También se muestra en uso relativo de cada codec. Mientras más ajustados son los umbrales, son utilizados codecs más robustos y se puede conseguir menor FER. Por otro lado, umbrales muy ajustados y codecs más robustos pueden impactar negativamente en el performance del MOS. El codec 12.2 es claramente el más utilizado. Sin embargo, su utilización decae rápidamente cuando son ajustados estos umbrales.

Tabla 4.3. Conjunto de umbrales C/I simulados, para demostrar el efecto del codec adaptivo en canales FR.

	set1	set2	set3	set4	set5
12.2–7.4 threshold	9 dB	11 dB	13 dB	15 dB	17 dB
7.4–5.9 threshold	5 dB	7 dB	9 dB	11 dB	13 dB
5.9–4.75 threshold	2 dB	4 dB	6 dB	8 dB	10 dB

Tabla 4.4. Conjunto definido para las simulaciones.

AMR full-rate set (kbps)	AMR half-rate set (kbps)
12.2	
7.4	7.4
5.9	5.9
4.75	4.75

Con los umbrales Set5, por ejemplo, el codec 12.2 es usado menos del 50% del tiempo y la utilización del codec 4.75 se ha incrementado cerca del 10%. Con el fin de encontrar el conjunto de umbrales con la mejor calidad de voz, es necesaria una evaluación de MOS. La figura 4.9 muestra un análisis de MOS para los distintos umbrales dados. La métrica

usada es el porcentaje de conexiones con baja calidad; una conexión es considerada de baja calidad si su MOS promedio es menor de 3.2. En el simulador del sistema, el MOS de las conexiones en curso puede ser estimado mapeando los valores medidos del TCH FER a sus

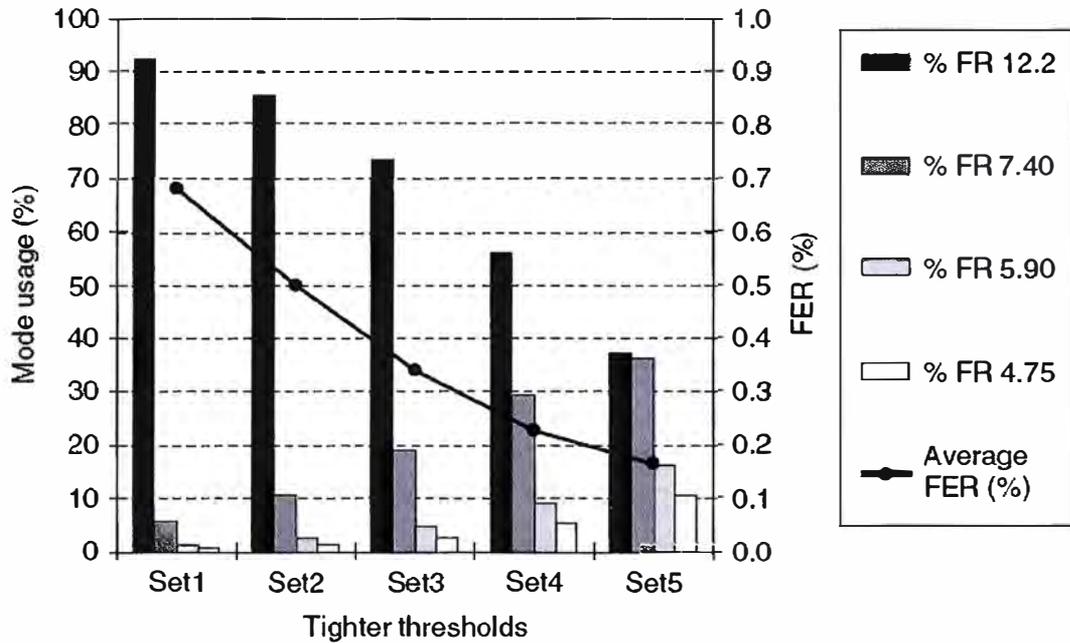


Figura 4.9. TCH FER promedio y utilización de codecs para distintos casos.

correspondientes valores de MOS. Se puede ver que el mejor conjunto de umbrales es set3 aun cuando su FER promedio es mayor que set4 y set5. Como ya fue explicado anteriormente, la selección de los umbrales óptimos asegurará que el performance de MOS del AMR codec siga a la envolvente del codec ideal adaptado, esto es, siempre es usado el mejor codec.

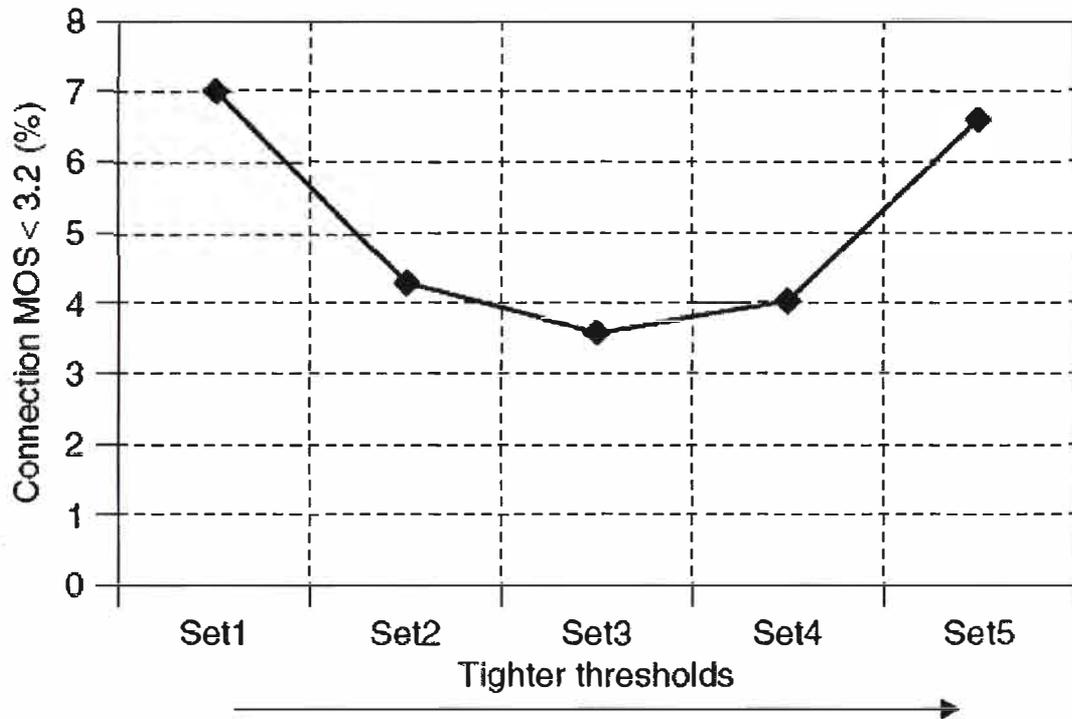


Figura 4.10. Performance del MOS como función del ajuste de umbrales.

En las siguientes simulaciones no son presentadas las distribuciones de utilización de codec, pero estos ejemplos brindan las proporciones típicas vistas en distintas configuraciones AMR.

4.4.7 Modo de Canal Half-Rate

La evaluación del performance del MOS presentada en esta sección demostró que el modo de canal AMR-HR puede ser usado sin ninguna degradación apreciable de la calidad de voz en condiciones de alto C/I, puesto que el modo HR utiliza el mismo conjunto de codecs de voz que en el modo FR. Para una utilización mas eficiente del HR, es esencial tener un algoritmo de adaptación de modo de canal basado en calidad que seleccione el quality adecuado para cambiar de FR a HR. En las siguientes simulaciones, la adaptación del modo de canal está basada en los valores de las mediciones de RXQUAL. Las llamadas entrantes fueron primero asignadas a un canal de FR, y después de un periodo de medición de quality, se decide si la conexión continúa en modo FR o si se realiza una adaptación de modo de canal. En la figura 4.11 se ilustra el efecto de la utilización del AMR HR sobre el FER. Tanto solo AMR FR como AMR FR y HR tienen un performance similar. Dicho de otro modo, el uso de HR no mejora ni degrada el performance de la red en general en términos de eficiencia espectral. La ganancia del modo de canal AMR HR viene por una

mayor utilización del HW, lo que lleva a requerir un menor número de TRXs para soportar la misma carga de tráfico. Cuando se evalúa el número requerido de TS para distintas cargas de tráfico, éste se reduce al usar el modo de canal HR. Esto es ilustrado en la figura 4.11. Se puede notar que la utilización del HR, y por tanto la eficiencia en HW, es mayor a mas baja carga en los puntos de operación, a medida que una mejor distribución de C/I habilita el uso de HR.

Puesto que los codec 12.2 y 10.2 no están disponibles cuando se está usando el modo de canal HR, habrá cierto impacto en la calidad de voz cuando es introducido este modo.

La figura 4.12 presenta la distribución de la calidad de voz de las conexiones como una función de la degradación del MOS, donde la referencia es la calidad de voz del EFR en condiciones ideales sin errores. Hay solo una degradación adicional de 0.2 en el MOS cuando esta en uso el modo de canal AMR HR, el cual es debido a la no disponibilidad de los codecs de voz AMR mas altos (12.2 y 10.2) en este modo.

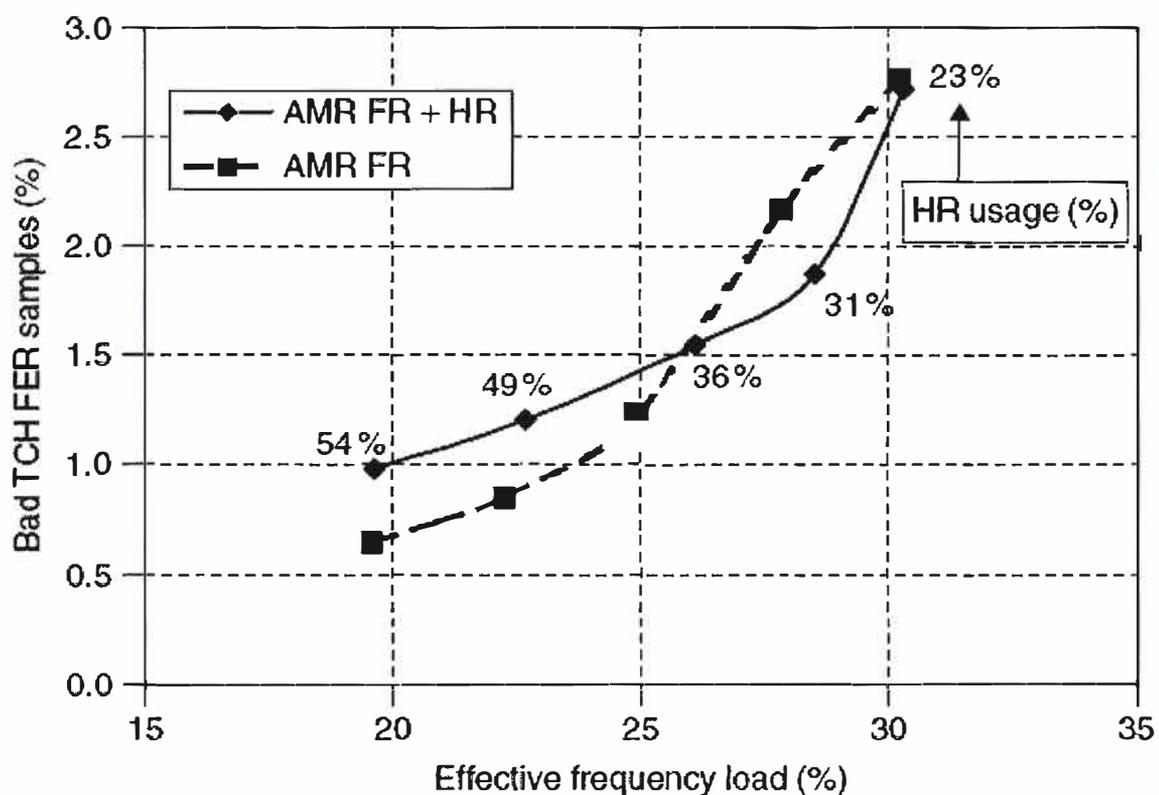


Figura 4.11. Performance del modo de canal AMR HR.

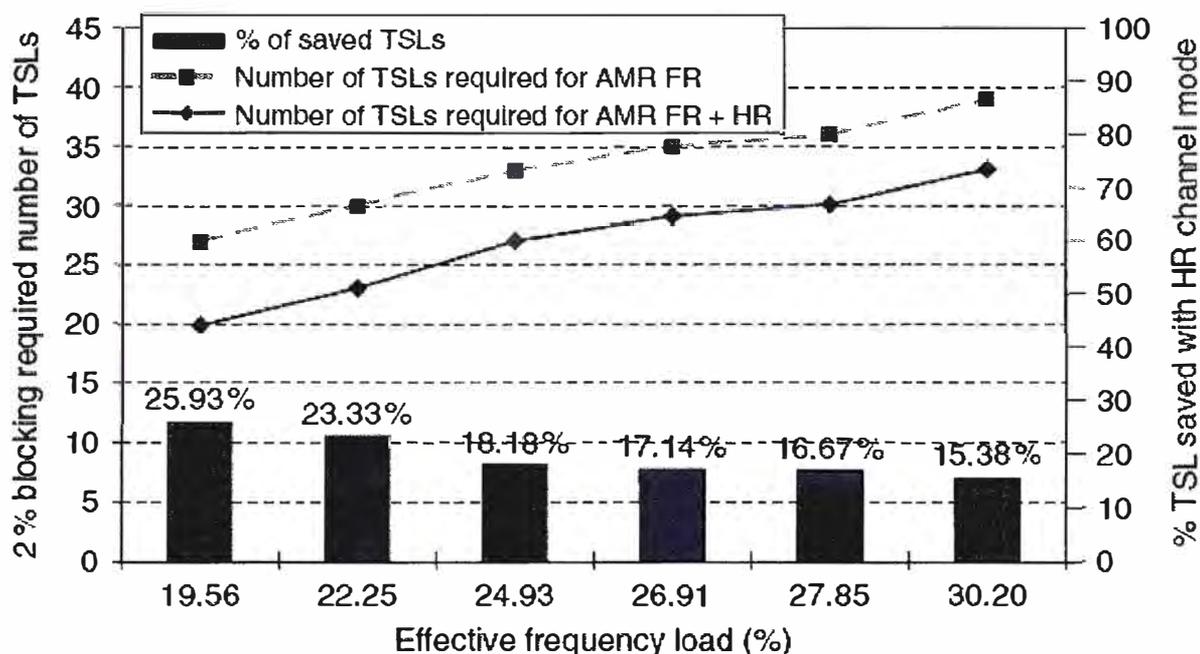


Figura 4.12. Performance del modo de canal AMR HR.

Finalmente, el uso del modo de canal HR requiere de menos TRXs para la misma carga de tráfico, de este modo el reuso espectral efectivo es menor. Un menor reuso tiene algunos efectos secundarios positivos tales como un mayor control y manejo del MAIO, y una mayor ganancia en caso de usar frecuencia y asignación dinámicas de canal. Por lo tanto, la utilización del modo de canal HR reduce la configuración de TRXs e indirectamente incrementa el performance.

4.5. Parámetros SIEMENS Considerados

Como ya hemos visto en el inicio, una red de GSM está compuesta principalmente por el BSS (Base Station Subsystem) y el Network Subsystem (NSS), éstos contienen diversos bloques y están interconectados mediante interfaces. Cada uno de estos bloques e interfaces estarán sujetos a un planeamiento y una optimización.

El planeamiento se realiza antes de la implementación de la red a fin de estimar la capacidad y configuración adecuadas de estos elementos e interfaces de acuerdo a las condiciones requeridas por el operador. El Operador elegirá un adecuado "VENDOR" para dichos sistemas de acuerdo a sus necesidades y capacidad adquisitiva. Entre los VENDORS mas conocidos destacan: NOKIA, SIEMENS (ambos ahora fusionados y convertidos a "NSN"), ERICSSON, NORTEL, MOTOROLA y HUAWEY.

La optimización por el contrario se realiza constantemente sobre la red a fin de mejorarla o mantener su adecuado funcionamiento al realizar modificaciones en la misma. Dicho proceso es realizado también tanto en los subsistemas como en sus interfaces.

En el presente informe nos concentraremos en el BSS y la interfase aire (previamente descrita) en la cual se describirá un trabajo de optimización para la calidad de voz.

El proceso de optimización de una red celular en el subsistema BSS incluye la utilización de diversas herramientas que sirven básicamente para colección y muestra de datos sobre dicha red. Existen dos formas principales de coleccionar datos: una mediante recorridos de drive test, en los que, como veremos mas adelante, se hacen una serie de llamadas para tratar de registrar eventos fallidos tales como caídas de llamadas, fallas de handover o de acceso, etc.; y otra es la colección de estadísticas que las BSCs almacenan diariamente en su memoria, con ellas es posible analizar diversos indicadores, observando las tendencias de éstos a lo largo del tiempo. Estas son las herramientas mas importantes que utilizamos en el proceso de optimización sin las cuales no serían posibles el monitoreo constante ni la detección de problemas.

Ya vimos que la parte más importante del subsistema BSS es el Base Station Controller (BSC) que controla los principales procesos como mantención de una llamada, handovers, power control, entre otros. Estos procesos corresponden al estándar de la tecnología GSM, esto quiere decir que, sin importar el VENDOR elegido, deben realizarse en toda red de esta tecnología. La manera cómo sean implementados estos procesos sí depende de cada VENDOR tanto en hardware como en parámetros de su base de datos. En dicha base de datos la BSC almacena información de las BTSs que controla. Estas BTSs están por lo general divididas en sectores. Contiene un registro de todos los sectores, además de las radios (TRXs) que contiene cada sector, también están listados los canales de señalización y tráfico correspondientes a cada una de ellas. Además se almacenan una serie de parámetros junto con esa información. Éstos son los que controlan los procesos mencionados anteriormente además de una serie de características o “features” adicionales que pueden ser habilitados o deshabilitados de acuerdo con las versiones del software de las BSCs.

En el caso de las redes BSS SIEMENS las actualizaciones de software se ordenan en “BSS Releases” (BR), desde BR1.0 hasta BR10.0. Actualmente en nuestra red se está utilizando el release BR8.0. Cada nuevo “release” trae consigo nuevas características y/o

parches de los anteriores para darle la posibilidad al operador de acceder a mejoras de software y/o corregir posibles errores.

A continuación daremos una descripción de los parámetros que se han considerado para este informe junto con una reseña de la teoría de AMR desde el punto de vista de parámetros SIEMENS.

4.5.1 SIEMENS Adaptive Multirate (AMR)

Adaptive Multirate (AMR) es un feature que introduce nuevas versiones de voz adicionales a las anteriores ya utilizadas.

El principio básico es que a mejor calidad de la interfase de radio, mayor será el ancho de banda (bit rate) para codificación de voz y menor el ancho de banda para codificación de canal y viceversa. (Codificación de Canal es el término que representa la cabecera de protección para errores de transmisión de radio, mientras que Codificación de Voz representa la codificación de la señal de voz)

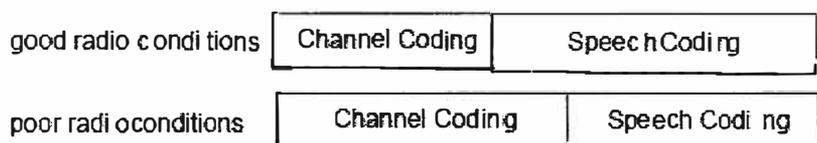


Figura 4.13. Compromiso entre la Codificación de Canal y de Voz.

4.5.2 Active CODEC Set (ACS)

Tanto las versiones AMR FR y AMR HR consisten en el llamado Conjunto de CODECS Activos (ACS), el cual es un grupo de 4 codecs de voz que está definido en cada BTS por los parámetros AMRFRC1, ..., AMRFRC4 (para AMR FR) y AMRHRC1, ..., AMRHRC4 (para AMR HR). Si el ACS para AMR FR consistiese de solo 3 codecs, entonces AMRFRC4 debe ser puesto en <NULL>, si fuera de 2, entonces AMRFRC3 deberá ser también puesto en <NULL> y así sucesivamente. El valor de <NULL> no está permitido para AMRFRC1 ya que al menos un codec debe ser definido dentro del ACS.

Para AMRFRC1, ..., AMRFRC4 pueden ser asignados los siguientes bit rates:

RATE_01: 4.75 kbit/s RATE_02: 5.15 kbit/s

RATE_03: 5.90 kbit/s RATE_04: 6.70 kbit/s

RATE_05: 7.40 kbit/s RATE_06: 7.95 kbit/s

RATE_07: 10.2 kbit/s RATE_08: 12.2 kbit/s

Y para AMRHRC1, ..., AMRHRC4, los siguientes:

RATE_01: 4.75 kbit/s RATE_02: 5.15 kbit/s

RATE_03: 5.90 kbit/s RATE_04: 6.70 kbit/s

RATE_05: 7.40 kbit/s

En cualquier caso, se debe respetar la siguiente regla:

$$\text{RATE}_{\text{AMRFRC4}} > \text{RATE}_{\text{AMRFRC3}} > \text{RATE}_{\text{AMRFRC2}} > \text{RATE}_{\text{AMRFRC1}}$$

De forma equivalente están disponibles parámetros para frequency hopping con un prefijo “FH”. Éstos son FHAMRFRC1, ..., FHAMRFRC4 (para AMR FR) y FHAMRHRC1, ..., FHAMRHRC4 (para AMR HR).

4.5.3 Adaptación de Enlace AMR

Cuando una llamada AMR es establecida, tanto la BTS como el MS evalúan continuamente la calidad de la interfase de Radio: El MS mide el quality de downlink como lo hace para el reporte de mediciones regular y la BTS deriva el valor del quality de las mediciones del BER. Dependiendo de los resultados de estas mediciones de quality, el MS (para el downlink) y la BTS (para el uplink) inician la selección de un codec AMR adecuado del ACS. Este cambio dinámico el codec AMR dependiente de la calidad de la interfase de radio es llamada “Adaptación de Enlace AMR” o “Adaptación de Codec AMR”.

La adaptación de enlace AMR en downlink es controlada por el MS y esta basada en los umbrales de C/I que son manejados por los parámetros AMRFRTH12, ..., AMRFRTH34 (para AMR FR) y AMRHRTH12, ..., AMRHRTH34 (para AMR HR).

La BSC envía los parámetros que son utilizados para una llamada AMR en particular (por ejemplo los parámetros que definen los codecs AMR usados dentro del ACS y los umbrales y valores de histéresis para la adaptación de enlace en downlink).

- Hacia la BTS en el mensaje CHANNEL ACTIVATION y
- Hacia el MS en mensaje ASSIGNMENT COMMAND.

Por supuesto, el mismo principio es aplicado en el caso de intercell handover (en donde el MS recibe los parámetros de AMR en el HANDOVER COMMAND).

La adaptación de enlace en el uplink es controlada por la BTS y está basada en los umbrales de C/I que están fijos y no son administrables.

4.5.4 ¿Cómo se determina el Codec de AMR inicial durante el establecimiento de una llamada?

Dependiendo básicamente de la preferencia de la versión de voz del móvil, a una llamada se le asignará durante su establecimiento la codificación de canal AMR FR o AMR HR TCH, la cual es indicada en el mensaje ASSIGNMENT REQUEST.

Una vez tomada la decisión para AMR FR o AMR HR, los parámetros **AMRFRIC** y **AMRHRIC** respectivamente determinan el codec de AMR inicial que será usado al inicio de la llamada (esta información está también incluida en los mensajes ASSIGNMENT COMMAND y CHANNEL ACTIVATION. Por supuesto, el codec inicial es luego inmediatamente adaptado por el MS y la BTS dependiendo de las condiciones de radio actuales.

A continuación haremos una descripción detallada de los parámetros para la adaptación de enlace AMR.

4.5.5 AMRHRTH12, AMRHRTH23, AMRHRTH34

AMR Half/Full Rate Thresholds, Estos parámetros definen los umbrales de C/I y la histéresis asociada para la transición del codec AMRHRC1 a AMRHRC2, AMRHRC2 a AMRHRC3 y AMRHRC3 a AMRHRC4 y viceversa respectivamente en la adaptación de enlace AMR para downlink. Los valores ingresados son aplicados como sigue:

a) La transición hacia arriba de AMRHRC1 a AMRHRC2 es iniciada cuando:

$$C/I > \text{threshold}_{\text{AMRHRTH12}} + \text{hysteresis}_{\text{AMRHRTH12}}$$

b) La transición hacia debajo de AMRHRC2 a AMRHRC1 es iniciada cuando:

$$C/I < \text{threshold}_{\text{AMRHRTH12}}$$

Así a) puede ser considerado como el umbral superior, mientras que b) puede ser considerado como el umbral inferior para adaptación de enlace AMR en downlink.

De la misma manera es manejado para las transiciones de AMRHRC2 a AMRHRC3, AMRHRC3 a AMRHRC4 y viceversa.

En cualquier caso se debe satisfacer la siguiente regla:

$$\begin{aligned} & \text{threshold}_{\text{AMRHRTH12}} + \text{hysteresis}_{\text{AMRHRTH12}} \\ & \leq \text{threshold}_{\text{AMRHRTH23}} + \text{hysteresis}_{\text{AMRHRTH23}} \\ & \leq \text{threshold}_{\text{AMRHRTH34}} + \text{hysteresis}_{\text{AMRHRTH34}} \end{aligned}$$

Notas:

Parámetros equivalentes están disponibles (con un prefijo “FH”) para cumplir la misma función que éstos pero en el caso de Frequency Hopping. Éstos son: FHAMRHRTH12, FHAMRHRTH23, FHAMRHRTH34.

Tener en cuenta que estos parámetros sólo se refieren a la adaptación de codec en la dirección downlink. Los umbrales correspondientes para el uplink no son administrables.

Las mismas consideraciones se utilizan para Full Rate solo basta con cambiar HR por FR.

La forma de asignación de este parámetro es como sigue:

El formato: *umbral-histéresis*, por ejemplo AMRHRTH12=19-4

Unidades: Umbral e histéresis pasos de 0.5dB.

Rango: Umbral de 0, ..., 63 (0, ..., 31.5dB); histéresis de 0, ..., 15 (0, ..., 7.5dB)

Esto implica que en la asignación del ejemplo sería el umbral de 1 a 2 de 9.5dB con una histéresis de 2dB.

4.5.6 AMRHRIC

AMR Half/Full Rate Initial Codec, Este parámetro define cuál codec de AMR HR de la ACS será usado primero después de la asignación del TCH. Sus valores CODEC_MODE_0x representan el codec AMRHRCx del ACS.

Por ejemplo si AMRHRIC=CODEC_MODE_01, entonces AMRHRC1 será usado como codec AMR inicial después de la asignación del TCH.

Si se ingresa el valor START_MODE_HR, el codec inicial es seleccionado como se define en el estándar de GSM.

- Si el ACS consiste de un codec, entonces este codec será usado.
- Si el ACS consiste de dos o tres codecs, entonces será usado el de codificación de canal más robusta (es decir el de bit rate mas bajo).
- Si el ACS consiste de cuatro codecs, entonces será usado el de la segunda más robusta codificación de canal.

Notas.

- Parámetros equivalentes están disponibles (con un prefijo “FH”) para cumplir la misma función que éstos pero en el caso de Frequency Hopping. Éstos son: FHAMRFRIC y FHAMRHRIC.

Las mismas consideraciones se utilizan para Full Rate solo basta con cambiar HR por FR.

La forma de asignación de este parámetro es como sigue:

Rango: START_MODE_HR
 CODEC_MODE_01
 CODEC_MODE_02
 CODEC_MODE_03
 CODEC_MODE_04

4.6. Consideraciones de Handover (Hard Handover)

Hard Handover es un término que viene de la tecnología CDMA y de su sucesor WCDMA. En estas tecnologías un móvil puede estar campeado hasta en tres celdas de las cuales solo una es la celda activa y las otras son secundarias. Debido a esto al hacer un handover se utilizan menos recursos en señalización (que para el caso de GSM) por lo que dicho proceso constituye un “soft handover”, mientras que un handover de GSM estaría considerado como un “Hard Handover” en comparación con el anterior. En GSM los handovers son desde la celda servidora (que es única) hacia uno de sus vecinos (el que tenga mejores condiciones) en este paso de una celda a otra, se consumen ciertos recursos de la llamada por lo que existe una pérdida de información debido a la señalización requerida. Esto por lo general se percibe como un “chasquido” en una conversación fluida. La situación se hace mas notoria si tenemos en cuenta que los codecs se “reinician” cada vez que se realiza un handover, es decir el codec usado vuelve a ser el inicial sin importar las condiciones de C/I en que se encuentre la llamada; esto es debido a que en el handover se hace una asignación de TCH al igual que al inicio de una llamada y a toda asignación de TCH se le debe asignar el codec inicial por regla general. Por ejemplo, si se tiene una llamada con un C/I de 20 con el codec de 12.2 kbps, al hacer un handover éste regresará al primero de la lista, por ejemplo 5.15 kbps, pero de inmediato se adaptará a las condiciones pasando por todos los codecs nuevamente hasta llegar nuevamente a 12.2 (suponiendo que las condiciones sigan siendo favorables). Estos procesos afectan la percepción de usuario y por lo tanto al valor de MOS, por lo que una disminución de handovers innecesarios es también clave en la optimización de la calidad y de la percepción de usuario de una red GSM.

CAPITULO V. ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

5.1. Descripción de la Red y Espectro

Para el presente informe se tomarán los datos de la red GSM MOVISTAR Lima, concentrándonos en su subsistema BSS SIEMENS.

Al momento de los trabajos la red contaba con 356 sitios dual band en base de datos distribuidos en 16 BSCs las que a su vez estaban distribuidas en 4 MSCs. En la tabla 5.1 se presenta la distribución de las BSCs en sus respectivas MSCs.

Tabla 5.1. Distribución de las BSCs en sus respectivas MSCs.

MSC	BSC
MSS01LV	BSC01SLV
MSS01LV	BSC03SLV
MSS01MI	BSC01SMI
MSS02LV	BSC01SMA
MSS02LV	BSC02SLV
MSS02LV	BSC04SLV
MSS02LV	BSC05SMA
MSS02LV	BSC06SMA
MSS02LV	BSC09SLV
MSS02LV	BSC10SLV
MSS03LV	BSC03SMA
MSS03LV	BSC04SMA
MSS03LV	BSC05SLV
MSS03LV	BSC06SLV
MSS03LV	BSC07SLV
MSS03LV	BSC08SLV

Por ser una red dual band (850/1900) se le asignaron dos porciones del espectro, una para 850 y otra para 1900. En 850 se tiene un total de 9.2 MHz de ancho de banda lo que

permite un total de 46 canales de 200 kHz de los cuales, de acuerdo al planeamiento, 16 están asignados para BCCH y 30 para Frequency hopping, esto se puede observar mejor en la tabla 5.2. Para 1900 se tiene un total de 7.4 MHz lo que hace un total de 37 canales de los cuales se asignaron 18 para BCCH y 19 para Frequency Hopping. Esto se observa en la tabla 5.3.

Tabla 5.2. Distribución de Frecuencias para la banda de 850 MHz.

Canales	tipo	UPLINK (MHZ)	DOWNLINK (MHZ)
128	HOP	824.2	869.2
129	HOP	824.4	869.4
130	BCCH	824.6	869.6
131	BCCH	824.8	869.8
132	BCCH	825	870
133	HOP	825.2	870.2
134	HOP	825.4	870.4
135	HOP	825.6	870.6
136	HOP	825.8	870.8
137	HOP	826	871
138	HOP	826.2	871.2
139	HOP	826.4	871.4
140	HOP	826.6	871.6
141	HOP	826.8	871.8
142	HOP	827	872
143	HOP	827.2	872.2
144	HOP	827.4	872.4
145	BCCH	827.6	872.6
146	BCCH	827.8	872.8
147	BCCH	828	873
148	BCCH	828.2	873.2
149	BCCH	828.4	873.4
150	BCCH	828.6	873.6
151	BCCH	828.8	873.8
152	BCCH	829	874
153	BCCH	829.2	874.2
154	BCCH	829.4	874.4
155	BCCH	829.6	874.6
156	BCCH	829.8	874.8
157	BCCH	830	875
158	HOP	830.2	875.2
159	HOP	830.4	875.4
160	HOP	830.6	875.6
161	HOP	830.8	875.8

Canales	tipo	UPLINK (MHZ)	DOWNLINK (MHZ)
162	HOP	831	876
163	HOP	831.2	876.2
164	HOP	831.4	876.4
179	HOP	834.4	879.4
180	HOP	834.6	879.6
181	HOP	834.8	879.8
233	HOP	845.2	890.2
234	HOP	845.4	890.4
235	HOP	845.6	890.6
236	HOP	845.8	890.8
237	HOP	846	891
238	HOP	846.2	891.2

Tabla 5.3. Distribución de Frecuencias para la banda de 1900 MHz

Canales	tipo	UPLINK (MHZ)	DOWNLINK (MHZ)
612	BCCH	1870.2	1950.2
613	BCCH	1870.4	1950.4
614	BCCH	1870.6	1950.6
615	HOP	1870.8	1950.8
616	HOP	1871	1951
617	HOP	1871.2	1951.2
618	HOP	1871.4	1951.4
619	HOP	1871.6	1951.6
620	HOP	1871.8	1951.8
621	HOP	1872	1952
622	HOP	1872.2	1952.2
623	HOP	1872.4	1952.4
624	HOP	1872.6	1952.6
625	HOP	1872.8	1952.8
626	HOP	1873	1953
627	HOP	1873.2	1953.2
628	HOP	1873.4	1953.4
629	HOP	1873.6	1953.6
630	HOP	1873.8	1953.8
631	HOP	1874	1954
632	HOP	1874.2	1954.2

Canales	tipo	UPLINK (MHZ)	DOWNLINK (MHZ)
633	HOP	1874.4	1954.4
634	BCCH	1874.6	1954.6
635	BCCH	1874.8	1954.8
636	BCCH	1875	1955
637	BCCH	1875.2	1955.2
638	BCCH	1875.4	1955.4
639	BCCH	1875.6	1955.6
640	BCCH	1875.8	1955.8
641	BCCH	1876	1956
642	BCCH	1876.2	1956.2
643	BCCH	1876.4	1956.4
644	BCCH	1876.6	1956.6
645	BCCH	1876.8	1956.8
646	BCCH	1877	1957
647	BCCH	1877.2	1957.2
648	BCCH	1877.4	1957.4

Como se puede notar existen más frecuencias de BCCH para 1900 que para 850, por otro lado en frequency hopping tenemos solo 19 canales para 1900 contra 30 para 850. Sin embargo debido a su penetración existen claras diferencias de cobertura entre las bandas, teniendo un mayor tráfico en 850. Esta es la razón por la cual la mayor cantidad de TRXs están instaladas en esta banda, lo que implica una distribución de MAIOs mas ajustada.

Para tener una idea, con 30 canales solo es posible tener MAIOs del 0 al 29, los cuales deberán ser distribuidos en los TRXs de los sectores de un sitio en los que se tendrá hopping, pero para evitar adyacencias sólo colocaremos los MAIOs pares. Por lo tanto solo podremos tener los MAIOs 0, 2, ..., 28, o sea 15 MAIOs no adyacentes, mejor dicho 15 TRXs en hopping. Si suponemos un sitio de tres sectores, con los tres primeros TRXs de BCCH podemos sumar un total de $15 + 3 = 18$ TRXs o una configuración máxima de 666 (6 TRXs por sector). Para configuraciones mayores será necesario adicionar MAIOS adyacentes, de preferencia a los últimos TRXs. Con un alto tráfico, al cargarse todas las TRXs podrían generar cierta interferencia debido a dichas adyacencias; para solucionar esto es necesaria una ampliación de espectro.

Haciendo la misma operación para 1900, se tendrán los MAIOs del 0 al 18, pero en realidad el primero y el último son siempre adyacentes por lo que solo se tendrá que tomar

del 0 al 17, contando los pares tendremos 0, 2, ..., 16 o sea 9 TRXs. Esto es $9+3=12$ TRXs por sitio o una configuración 444 suponiendo tres sectores.

Esto quiere decir que la capacidad también puede influir en la calidad de voz de una manera indirecta debido a los problemas de adyacencias cuando se utiliza la técnica de Frequency Hopping. Sin embargo el problema sería mucho mayor y menos manejable esta técnica no estuviese siendo utilizada.

5.2. Descripción de la Zona en Consideración

Como veremos, en nuestra red la carga de tráfico en 850 es en algunas zonas bastante alta lo que contribuye a los problemas en TCH. Por otro lado la sobrecobertura también es un factor contraproducente en BCCH cuando se tienen pocos canales para sintonizar una zona en particular, como en el caso de 850.

Además debido a la poca carga de tráfico en 1900 y a que presenta mayor cantidad de canales en BCCH los problemas de interferencia en esta banda no son mayores, por lo que nuestro análisis se limitará sólo a la banda de 850.

A continuación presentamos en la tabla 5.4 los sectores involucrados con sus respectivos tráfico ofrecido y cursado.

Tabla 5.4. Tráfico cursado y ofrecido de los sectores involucrados y utilización de tráfico.

BSC	SITE_NAME	SITE_SECTOR	SECTOR	CELL-ID	TRAFICO CURSADO	TRAFICO OFRECIDO	UTILIZACION DE TCH
BSC03SLV	AEROLAP	LI001-A	1	11	9.132	13.18146	69.28%
BSC03SLV	AEROLAP	LI001-B	2	12	2.09	3.626953	57.62%
BSC03SLV	AEROLAP	LI001-C	3	13	6.514	14.89589	43.73%
BSC03SLV	AEROCARGA	LI002-A	1	21	15.326	42.12344	36.38%
BSC03SLV	AEROCARGA	LI002-B	2	22	40.15	40.25497	99.74%
BSC03SLV	AEROCARGA	LI002-C	3	23	20.436	42.12344	48.51%
BSC03SLV	AERO_OVALO	LI003-A	1	31	20.472	72.52812	28.23%
BSC03SLV	AERO_OVALO	LI003-B	2	32	40.312	103.5185	38.94%
BSC03SLV	AERO_OVALO	LI003-C	3	33	32.474	57.22533	56.75%
BSC05SLV	CARABAYLLO	LI041-A	1	411	37.062	80.23521	46.19%
BSC05SLV	CARABAYLLO	LI041-B	2	412	60.348	97.67816	61.78%
BSC05SLV	CARABAYLLO	LI041-C	3	413	42.298	99.62332	42.46%
BSC05SLV	COLLIQUE	LI062-A	1	621	23.114	80.23521	28.81%

BSC	SITE_NAME	SITE-SECTOR	SECTOR	CELL-ID	TRAFICO CURSADO	TRAFICO OFRECIDO	UTILIZACION DE TCH
BSC05SLV	COLLIQUE	LI062-B	2	622	43.732	82.16663	53.22%
BSC05SLV	COLLIQUE	LI062-C	3	623	19.534	68.68805	28.44%
BSC03SLV	CONDEVILLA	LI063-A	1	631	39.45	70.60701	55.87%
BSC03SLV	CONDEVILLA	LI063-B	2	632	61.734	99.62332	61.97%
BSC03SLV	CONDEVILLA	LI063-C	3	633	11.876	72.52812	16.37%
BSC01SLV	FIORI	LI077-A	1	771	64.654	103.5185	62.46%
BSC01SLV	FIORI	LI077-B	2	772	41.102	99.62332	41.26%
BSC01SLV	FIORI	LI077-C	3	773	48.866	97.67816	50.03%
BSC01SLV	MENDIOLA	LI123-A	1	1231	27.58	99.62332	27.68%
BSC01SLV	MENDIOLA	LI123-B	2	1232	53.72	99.62332	53.92%
BSC01SLV	MENDIOLA	LI123-C	3	1233	33.436	42.12344	79.38%
BSC01SLV	NARANJAL	LI148-A	1	1481	28.68	42.12344	68.09%
BSC01SLV	NARANJAL	LI148-B	2	1482	26.64	103.5185	25.73%
BSC01SLV	NARANJAL	LI148-C	3	1483	14.808	97.67816	15.16%
BSC01SLV	OLIVOS	LI154-A	1	1541	33.11	97.67816	33.90%
BSC01SLV	OLIVOS	LI154-B	2	1542	35.366	64.85617	54.53%
BSC01SLV	OLIVOS	LI154-C	3	1543	27.818	68.68805	40.50%
BSC03SLV	OQUENDO	LI156-A	1	1561	24.588	43.99695	55.89%
BSC03SLV	OQUENDO	LI156-B	2	1562	50.712	99.62332	50.90%
BSC03SLV	OQUENDO	LI156-C	3	1563	32.246	55.3247	58.28%
BSC03SLV	A_GAMARRA	LI161-A	1	1611	22.378	101.5706	22.03%
BSC03SLV	A_GAMARRA	LI161-B	2	1612	39.79	97.67816	40.74%
BSC03SLV	A_GAMARRA	LI161-C	3	1613	45.554	103.5185	44.01%
BSC03SMA	PALAO	LI164-A	1	1641	27.114	99.62332	27.22%
BSC03SMA	PALAO	LI164-B	2	1642	9.268	29.16565	31.78%
BSC03SMA	PALAO	LI164-C	3	1643	34.006	99.62332	34.13%
BSC01SLV	PRO	LI189-A	1	1891	87.86	99.62332	88.19%
BSC01SLV	PRO	LI189-B	2	1892	38.028	97.67816	38.93%
BSC01SLV	PRO	LI189-C	3	1893	52.562	97.67816	53.81%
BSC05SLV	PROLIMA	LI190-A	1	1901	33.54	70.60701	47.50%
BSC05SLV	PROLIMA	LI190-B	2	1902	12.842	86.03487	14.93%
BSC05SLV	PROLIMA	LI190-C	3	1903	67.316	101.5706	66.28%
BSC05SLV	CHOQUE	LI194-A	1	1941	71.162	101.5706	70.06%
BSC05SLV	CHOQUE	LI194-B	2	1942	65.596	99.62332	65.84%
BSC05SLV	CHOQUE	LI194-C	3	1943	50.21	97.67816	51.40%
BSC05SLV	RETABLO	LI201-A	1	2011	13.304	42.12344	31.58%
BSC05SLV	RETABLO	LI201-B	2	2012	73.904	99.62332	74.18%
BSC05SLV	RETABLO	LI201-C	3	2013	85.58	97.67816	87.61%
BSC01SLV	COVIDA	LI217-A	1	2171	25.014	72.52812	34.49%
BSC01SLV	COVIDA	LI217-B	2	2172	50.35	84.09998	59.87%
BSC01SLV	COVIDA	LI217-C	3	2173	33.014	97.67816	33.80%

BSC	SITE_NAME	SITE-SECTOR	SECTOR	CELL-ID	TRAFICO CURSADO	TRAFICO OFRECIDO	UTILIZACION DE TCH
BSC03SLV	SANTAROSA	LI229-A	1	2291	36.128	101.5706	35.57%
BSC03SLV	SANTAROSA	LI229-B	2	2292	25.834	101.5706	25.43%
BSC03SLV	SANTAROSA	LI229-C	3	2293	9.38	43.99695	21.32%
BSC03SLV	PERU	LI273-A	1	2731	33.24	68.68805	48.39%
BSC03SLV	PERU	LI273-B	2	2732	26.318	38.39154	68.55%
BSC03SLV	PERU	LI273-C	3	2733	34.698	72.52812	47.84%
BSC05SLV	PRADO	LI285-A	1	2851	43.254	87.9715	49.17%
BSC05SLV	PRADO	LI285-B	2	2852	28.788	42.12344	68.34%
BSC05SLV	PRADO	LI285-C	3	2853	30.08	57.22533	52.56%
BSC01SLV	IZAGUIRRE	LI286-A	1	2861	35.578	72.52812	49.05%
BSC01SLV	IZAGUIRRE	LI286-B	2	2862	17.492	72.52812	24.12%
BSC01SLV	IZAGUIRRE	LI286-C	3	2863	22.87	72.52812	31.53%
BSC01SLV	LIBERTAD I	LI290-A	1	2901	38.642	42.12344	91.74%
BSC01SLV	LIBERTAD I	LI290-B	2	2902	29.59	40.25497	73.51%
BSC01SLV	LIBERTAD I	LI290-C	3	2903	46.188	40.25497	114.74%
BSC05SLV	UCHUMAYO	LI294-A	1	2941	11.646	42.12344	27.65%
BSC05SLV	UCHUMAYO	LI294-B	2	2942	14.882	42.12344	35.33%
BSC05SLV	UCHUMAYO	LI294-C	3	2943	9.292	42.12344	22.06%
BSC01SLV	MEGAPLAZA	LI305-A	1	3051	32.478	42.12344	77.10%
BSC01SLV	MEGAPLAZA	LI305-B	2	3052	30.678	72.52812	42.30%
BSC01SLV	MEGAPLAZA	LI305-C	3	3053	37.178	42.12344	88.26%
BSC01SLV	TAHUANTINSUYO	LI307-A	1	3071	34.912	42.12344	82.88%
BSC01SLV	TAHUANTINSUYO	LI307-B	2	3072	25.286	42.12344	60.03%
BSC01SLV	TAHUANTINSUYO	LI307-C	3	3073	18.88	42.12344	44.82%
BSC03SLV	CAPSA	LI316-A	1	3161	35.756	40.25497	88.82%
BSC03SLV	CAPSA	LI316-B	2	3162	27.958	40.25497	69.45%
BSC03SLV	CAPSA	LI316-C	3	3163	43.928	40.25497	109.12%
BSC05SLV	CHILLON	LI322-A	1	3221	29.788	66.7709	44.61%
BSC05SLV	CHILLON	LI322-B	2	3222	18.922	42.12344	44.92%
BSC05SLV	CHILLON	LI322-C	3	3223	16.74	42.12344	39.74%
BSC01SLV	G_UNGER	LI327-A	1	3271	25.728	72.52812	35.47%
BSC01SLV	G_UNGER	LI327-B	2	3272	29.406	72.52812	40.54%
BSC01SLV	G_UNGER	LI327-C	3	3273	17.324	72.52812	23.89%
BSC01SLV	UNIVERSITARIA	LI328-A	1	3281	21.98	68.68805	32.00%
BSC01SLV	UNIVERSITARIA	LI328-B	2	3282	21.798	72.52812	30.05%
BSC01SLV	UNIVERSITARIA	LI328-C	3	3283	23.296	68.68805	33.92%
BSC01SLV	LAS_AZUCENAS	LI329-A	1	3291	62.988	86.03487	73.21%
BSC01SLV	LAS_AZUCENAS	LI329-B	2	3292	29.62	72.52812	40.84%
BSC01SLV	LAS_AZUCENAS	LI329-C	3	3293	48.956	87.9715	55.65%
BSC01SLV	CHUQUITANTA	LI330-A	1	3301	7.104	86.03487	8.26%
BSC01SLV	CHUQUITANTA	LI330-B	2	3302	48.562	86.03487	56.44%

BSC	SITE_NAME	SITE-SECTOR	SECTOR	CELL-ID	TRAFICO CURSADO	TRAFICO OFRECIDO	UTILIZACION DE TCH
BSC01SLV	CHUQUITANTA	LI330-C	3	3303	24.754	86.03487	28.77%
BSC01SLV	DAMASCO	LI331-A	1	3311	35.436	72.52812	48.86%
BSC01SLV	DAMASCO	LI331-B	2	3312	13.594	72.52812	18.74%
BSC01SLV	DAMASCO	LI331-C	3	3313	24.046	72.52812	33.15%
BSC05SLV	CERRO_EL_ZORRO	LI333-A	1	3331	3.99	101.5706	3.93%
BSC05SLV	CERRO_EL_ZORRO	LI333-B	2	3332	8.01	101.5706	7.89%
BSC05SLV	CERRO_EL_ZORRO	LI333-C	3	3333	8.198	101.5706	8.07%
BSC05SLV	JAPON	LI334-A	1	3341	26.772	101.5706	26.36%
BSC05SLV	JAPON	LI334-B	2	3342	14.502	101.5706	14.28%
BSC05SLV	JAPON	LI334-C	3	3343	62.71	101.5706	61.74%
BSC03SLV	FAUCETT	LI336-A	1	3361	25.85	72.52812	35.64%
BSC03SLV	FAUCETT	LI336-B	2	3362	18.522	72.52812	25.54%
BSC03SLV	FAUCETT	LI336-C	3	3363	13.302	72.52812	18.34%
BSC03SMA	SAN_ORLANDO	LI337-A	1	3371	27.886	101.5706	27.45%
BSC03SMA	SAN_ORLANDO	LI337-B	2	3372	17.934	72.52812	24.73%
BSC03SMA	SAN_ORLANDO	LI337-C	3	3373	23.662	70.60701	33.51%
BSC01SLV	HIEDRA	LI343-A	1	3431	51.016	70.60701	72.25%
BSC01SLV	HIEDRA	LI343-B	2	3432	24.186	72.52812	33.35%
BSC01SLV	HIEDRA	LI343-C	3	3433	24.008	72.52812	33.10%
BSC05SLV	EULOGIO_FERNANDINI	LI344-A	1	3441	25.102	97.67816	25.70%
BSC05SLV	EULOGIO_FERNANDINI	LI344-B	2	3442	19.27	99.62332	19.34%
BSC05SLV	EULOGIO_FERNANDINI	LI344-C	3	3443	8.94	99.62332	8.97%
BSC03SLV	CHICMABAMBA	LI350-A	1	3501	21.908	72.52812	30.21%
BSC03SLV	CHICMABAMBA	LI350-B	2	3502	14.36	72.52812	19.80%
BSC03SLV	CHICMABAMBA	LI350-C	3	3503	30.326	72.52812	41.81%

El tráfico ofrecido se obtiene utilizando la tabla de Erlang B aplicando una probabilidad de bloqueo del 2% considerando todos los canales de TCH de acuerdo a la cantidad de TRXs y quitando los asignados a GPRS, EDGE y los de señalización SDCCH y BCCH, también se consideraron todos los canales en HR para tener el caso mas crítico y el máximo tráfico ofrecido posible.

El tráfico cursado es un promedio de la hora pico de cada sector en la semana de 22 al 28 de Febrero, en que se realizaron las pruebas.

El porcentaje de utilización es la razón entre el tráfico cursado y el ofrecido a fin de compararlos de manera porcentual.

Observamos que la utilización de tráfico de TCH es elevada y en algunos casos supera el 100%. En estos casos se tendrá un porcentaje de bloqueo mayor al 2% para estos sectores. Esto se observa mejor en la tabla 5.5 en donde se ha hecho una distribución de la utilización de tráfico para dichos sectores.

Se observa también que estas estaciones pertenecen en total a cuatro BSCs: BSC01SLV, BSC03SLV, BSC03SMA y BSC05SLV.

Tabla 5.5. Distribución de los sectores con su utilización de tráfico.

% UTILIZACION TCH	NRO SECTORES	DISTRIBUCION
<10	1	0.83%
10-20	2	1.67%
20-30	2	1.67%
30-40	0	0.00%
40-50	25	20.83%
50-60	3	2.50%
60-70	7	5.83%
70-80	29	24.17%
80-90	11	9.17%
90-100	24	20.00%
>100	16	13.33%
TOTAL	120	100.00%

De la tabla 5.5 se puede observar que la zona es de alto tráfico ya que la mayor cantidad de sectores tienen un porcentaje de utilización mayor a 70%. De hecho el 67% de los sectores tiene una utilización mayor al 70%; el 42%, mayor al 80%, y en total 16 sectores lo que corresponde a un total de 13.3% tienen utilización mayor al 100%.

En la figura 5.1 se muestra la distribución geográfica de los sitios involucrados con sus respectivos nombres. Las flechas representan la orientación de sus antenas y los nombres hacen alusión a la zona en la que se encuentra la BTS. Se trata de la zona norte de Lima entre los distritos de Comas, Independencia, Los Olivos y San Martín de Porres.

Los colores observados en las estaciones identifican a las distintas BSCs a las que éstas pertenecen. Azul corresponde a BSC05SLV, rojo a BSC01SLV, amarillo a BSC03SLV y celeste a BSC03SMA.

Por el tráfico y la ubicación de los sitios en general se puede observar que en esta zona suburbana se tiene hasta el momento una cantidad reducida de sitios por superficie en comparación con otras zonas urbanas de Lima. Esto explica el alto tráfico por sector debido a la falta de estaciones vecinas y a la sobrecobertura de éstos en muchos casos.

Esta zona de sobrecobertura y alto tráfico fue la ideal para realizar estas pruebas debido a sus problemas de calidad tanto en TCH como en BCCH.

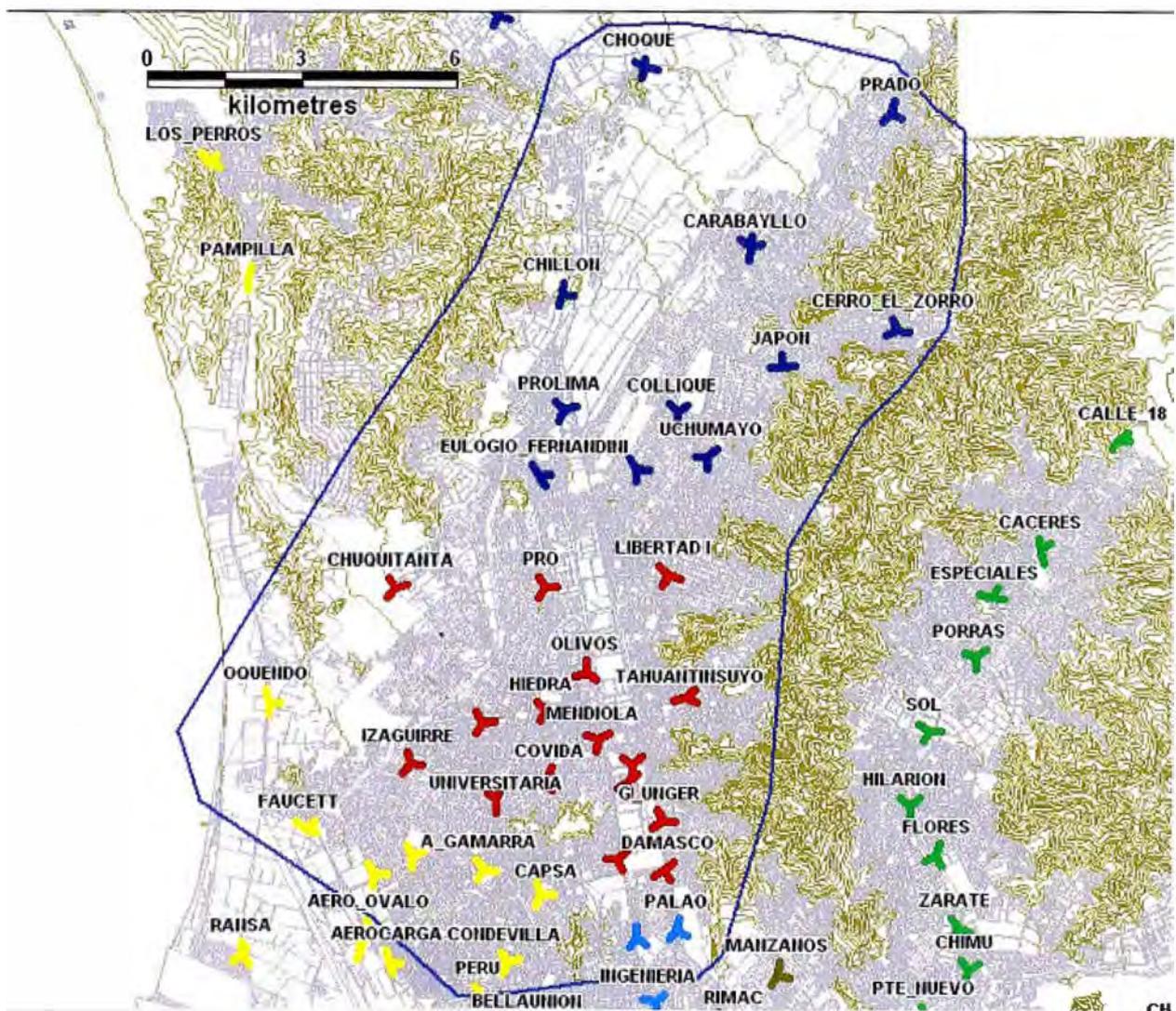


Figura 5.1. Distribución geográfica de las estaciones consideradas.

5.3. Utilización de COMARCO

COMARCO es el equipo de mediciones de Drive Test que fue utilizado para las pruebas de MOS en este informe.

Una medición de Drive Test consiste en una recolección de datos (principalmente de mensajería y mediciones, no registra ningún tipo de conversación) de uno o mas teléfonos móviles que se encuentran en movimiento por lo general dentro de un vehículo y haciendo llamadas a alguna central fija, estos datos son colectados en una computadora portátil al interior del vehículo para su posterior procesamiento.

En un Drive Test común se pueden medir en downlink los niveles de recepción RXLEV, la calidad RXQUAL y FER, TA, etc., además de la mensajería de señalización de las capas 2 y 3 de los protocolos de GSM. Todas las mediciones se realizan para downlink.

Para el caso del MOS es necesario tener un procedimiento adicional de comparación. Como ya hemos visto la medición del MOS con el método SQUAD se basa en comparar una muestra de voz con la recibida mediante el procesamiento de dichas señales con FFT para luego colocar esas diferencias en la escala estándar de MOS. Este proceso lo realiza el software instalado en el equipo COMARCO que acompaña a la portátil y el móvil. Además en vista que también se requieren mediciones en uplink es necesaria una unidad similar del lado de la central para así poder medir las señales provenientes del móvil en la dicha dirección.

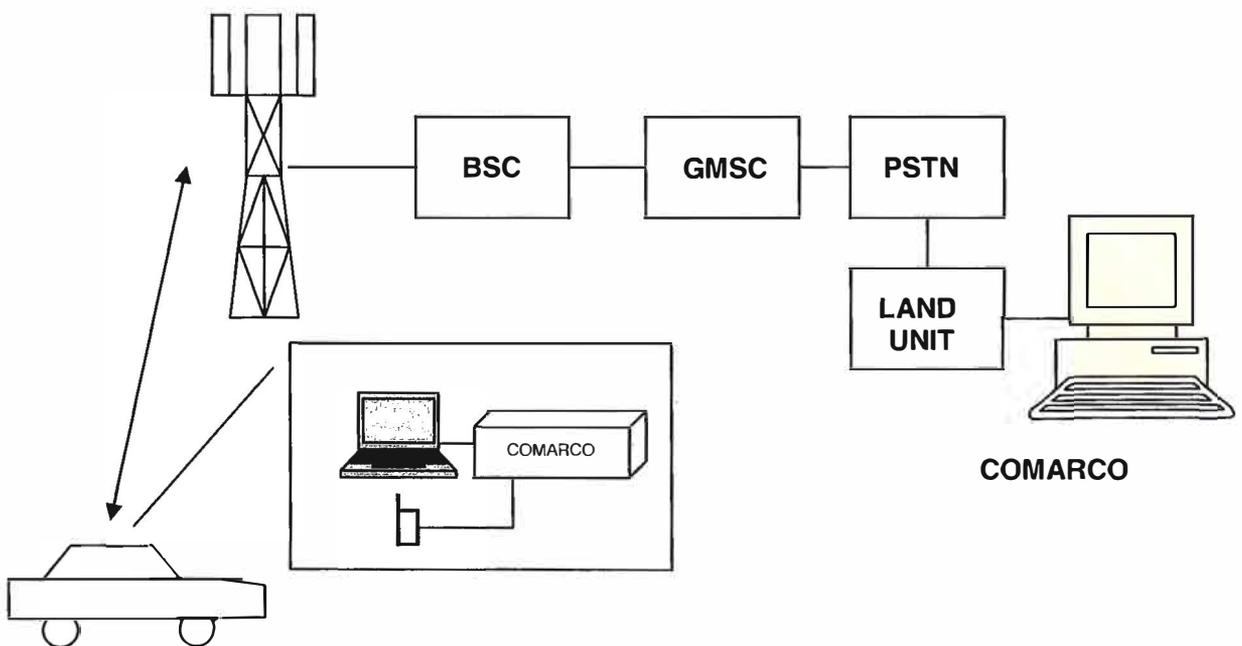


Figura 5.2. Diagrama esquemático del proceso de mediciones con COMARCO.

En la figura 5.2 se muestra un diagrama esquemático de las mediciones hechas con COMARCO. Debido a que dichas mediciones deben ser hechas tanto el downlink como en uplink, se necesitan dos equipos. Ambos realizan básicamente las mismas tareas de comparación y procesamiento de señales. Para el DL el móvil hace la llamada a la central, ésta le responde enviando una muestra de voz que tiene grabada en el disco duro del equipo de su lado. Dicha llamada durará aproximadamente 10 minutos, ésta, consistirá en repeticiones de la muestra de voz de 15 segundos; luego de finalizar esta llamada el móvil vuelve a realizar el intento de conexión hasta repetir el proceso. El equipo COMARCO móvil posee también la muestra original grabada, la cual comparará con la señal recibida, realizará el respectivo procesamiento y arrojará el valor de MOS para downlink calculado. Este cálculo se hace por cada muestra de voz, es decir cada 15 segundo se arroja un valor de MOS. Al mismo tiempo el teléfono está mandando la misma señal para ser escuchada en el lado de la central, el equipo de este lado realizará el mismo proceso para uplink.

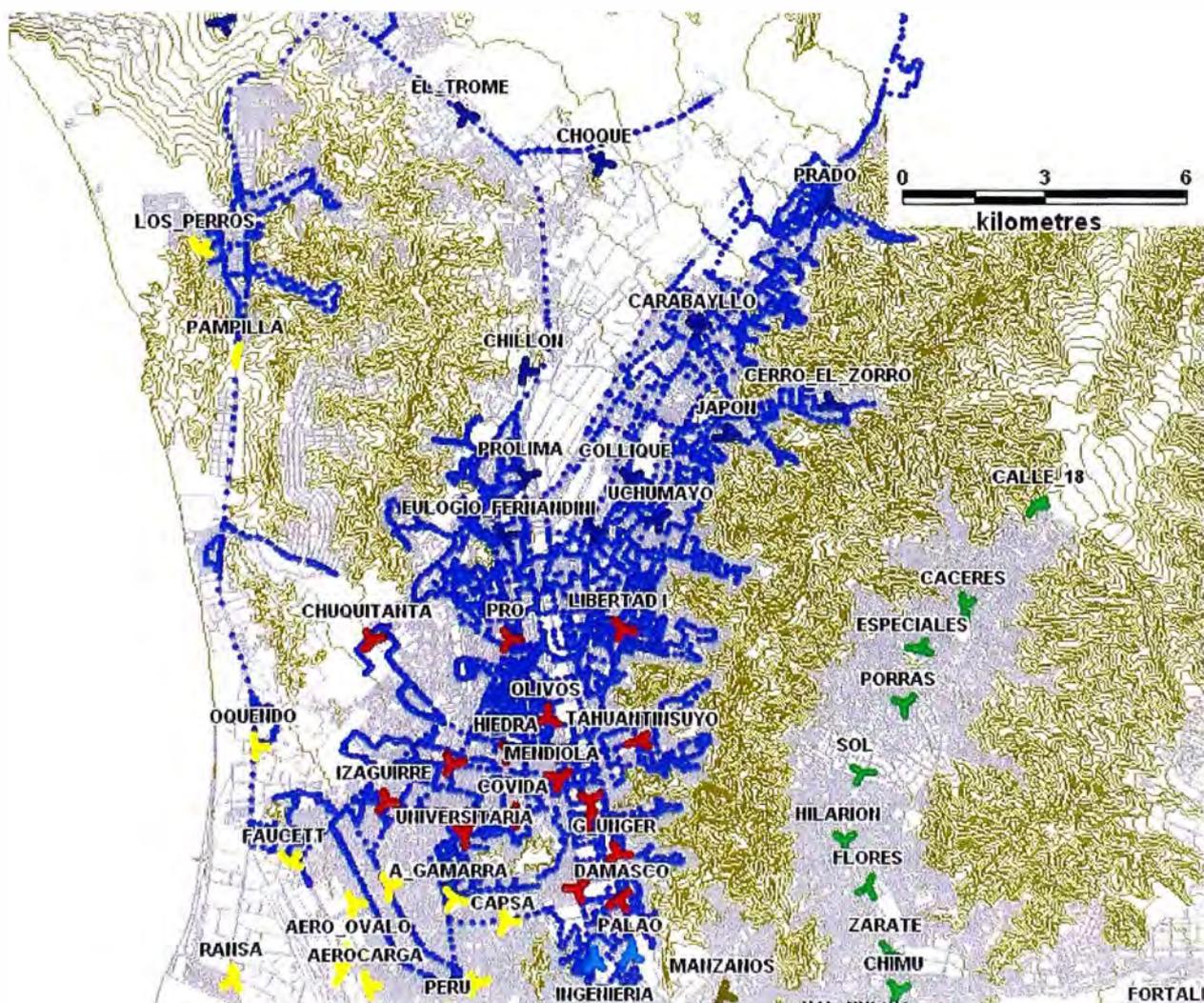


Figura 5.3. Ruta de Drive Test para mediciones de MOS.

En ambos lados se colecta un archivo (log) el en el cual quedan registrados los valores de MOS con los demás parámetros para el respectivo post-procesamiento.

Todo este proceso es realizado a través de un recorrido dentro de un vehículo. Este recorrido se traza en la zona a analizar teniendo en cuenta los lugares con mayores problemas de cobertura e interferencia. En la figura 5.3 se muestra la ruta en cuestión.

Hasta este punto es evidente que se necesitan dos recorridos para la realización completa de esta prueba. Uno de ellos, antes de realizar cualquier cambio, y el otro, después de los cambios.

5.4. Ejecución de los Cambios

Empecemos por discutir los valores de los parámetros iniciales en la red. Ya hemos visto cuales serán los que consideraremos en este trabajo. Estos parámetros como ya hemos discutido vienen casi siempre en pares, cada cual representa un valor para Full Rate y otro para Half Rate. Sin embargo, debido a que la zona del norte de Lima presenta alto porcentaje de utilización en sus sectores y en general en todas las BSC involucradas, los parámetros para FR no serán tomados en cuenta ya que la mayor parte del tráfico se concentra en HR.

Esto lo podemos explicar con el siguiente ejemplo: imaginemos un sector con 20 canales de TCH FR sin compresión, usando la tabla de Erlang B con 2% de probabilidad de bloqueo se tiene que el tráfico ofrecido en este sector es de 13.18 Erlangs; sin embargo si consideramos la compresión de HR al 100%, se tendría disponible el doble, o sea 40 canales TCH HR, con lo que se ofrecerían 31 Erlangs de tráfico. Si el sector posee alto tráfico y la demanda supera los 13 Erlangs se realizarán handovers de compresión en algunos de los canales, y al estar cerca de los 31 Erlangs, casi todos los canales estarán en HR ya que es la única manera de soportar dicho tráfico. En una zona como la nuestra es de esperar por lo tanto, que la mayor parte de las llamadas se realicen en HR. Hay que recordar además que el MOS se ve afectado por la codificación de canal dado un determinado C/I, esto es, a mayor compresión, disminuye el MOS para un mismo C/I. Por ello es conveniente tener cuidado con los valores de estos parámetros para HR.

La lista de codecs activos viene dada por los parámetros AMRHRC1, AMRHRC2, AMRHRC3 y AMRHRC4, y sus respectivos valores antes de aplicados los cambios fueron: RATE_01, RATE_02, RATE_03 y RATE_04. Los umbrales para pasar de un

codec a uno superior con sus respectivas histéresis están dados por lo parámetros AMRHRTH12, AMRHRTH23 y AMRHRTH34, y sus valores fueron: 19-4, 24-4 y 26-4. Esto es válido tanto para BCCH como para Hopping. Esto se resume en la tabla 5.6.

Tabla 5.6. Lista activa de codecs con sus umbrales superiores e inferiores antes de los cambios.

CODEC	RATE	UP	DOWN
CODEC1	4.75 kbit/s	11.2	
CODEC2	5.15 kbit/s	14	9.5
CODEC3	5.90 kbit/s	15	12
CODEC4	6.70 kbit/s		13

En dicha tabla se presentan los bit rates de los cuatro codecs de voz de la lista activa con sus umbrales. Las dos últimas columnas son los umbrales ya convertidos a decibelios (multiplicando por 0.5dBs). El valor de 11.2 dB en la columna "UP" (de C/I) es el correspondiente para pasar de el codec1 al codec2; para pasar del codec 2 al 3 se necesitan mas de 14 dB y mas de 15 para pasar del 3 al 4. En la columna "DOWN" se tiene que para regresar del codec 2 al codec 1 se debe tener un C/I menor a 9.5 dB; del 3 al 2, menos de 12 y del 4 al 3 menos de 13. El mismo análisis es válido para los parámetros de Frequency Hopping que tienen valores idénticos.

El máximo bit rate que puede tener una llamada en HR es de 6.7 kbps en cualquier tipo de condiciones que cumplan un C/I mayor de 15. No se encuentra incluido aquí el codec RATE_5 de 7.4 kbps que podría usarse para un mejor performance. Por otro lado el valor del codec inicial definido por el parámetro AMRHRIC es de START_MODE_HR, es decir que está tomando el segundo codec más robusto (por tener cuatro codecs en el ACS, según el estándar de GSM), este es el de 5.15 kbps. Este codec se utilizará al inicio de cada llamada y al realizarse un handover.

Aún suponiendo problemas de congestión (alto tráfico) y sobrecobertura (frecuencias que llegan de sitios lejanos muy altos) en nuestra zona, debido a tener sitios alejados, es difícil encontrar problemas de interferencia de tipo cocanal por ejemplo, ese tipo de problemas se presentan en zonas de alta densidad de sitios por superficie, como la zona del centro de Lima o San Isidro. En la zona norte tenemos mayormente problemas de falta de cobertura (bajos niveles de señal) y también de sectores con originaciones de llamada muy lejanas.

Si bien es cierto existirá interferencia por cualquiera de estas razones, lo que conlleva a valores bajos de C/I, podemos suponer que cerca de las estaciones pueden haber condiciones muy favorables (debido a la lejanía de las otras), por lo que un C/I mayor a 15 puede ser encontrado en gran parte de la zona. Los problemas los encontramos más en las fronteras o zonas de borde con otros sitios.

Todo esto nos hace pensar que valdría la pena incluir el codec de 7.4 kbps para mejores condiciones de C/I que intuimos que se pueden dar. Por otro lado, con sectores de sobrecobertura, la cantidad de handovers puede ser elevada incluso sin presencia de interferencia. Puesto que al hacer un handover se reinician los codecs, en buenas condiciones es necesario pasar por todos nuevamente a fin de retomar el mejor. Esto sugiere que una cantidad elevada de codecs no sería muy conveniente a fin de evitar estos problemas.

En conclusión lo que se planteó es reducir la cantidad de codecs del ACS a solo tres, así como incluir el codec RATE_5 como tercer elemento de dicha lista y ajustar los respectivos umbrales.

En la Tabla 5.7 presentamos los parámetros que se considerarán en el script respectivo con sus valores iniciales y finales. Se están considerando en estos cambios los parámetros para frequency hopping. Los sufijos “TH” y “HY” de los parámetros AMRHRTC y FH AMRHRTC corresponden a umbral (threshold) e histéresis (hysteresis) respectivamente, que para fines demostrativos han sido separados. Solo están cambiando los codecs 2, 3 y 4; el primero permanece sin cambios. También se observa que el codec inicial (AMRHRTIC) se ha colocado en CODEC_MODE_02, es decir al segundo codec; de haberlo dejado en START_MODE_HR el codec inicial habría sido el primero ya que la lista es de 3 codecs. Estos cambios serán realizados en todas las BSCs y en todos los sectores involucrados.

Tabla 5.7. Cambios de Parámetros en las BSCs.

PARAMETRO	VALOR INICIAL	VALOR FINAL
AMRHRC4	RATE_05	NULL
FHAMRHRC4	RATE_05	NULL
AMRHRC3	RATE_03	RATE_05
FHAMRHRC3	RATE_03	RATE_05
AMRHRC2	RATE_02	RATE_03
FHAMRHRC2	RATE_02	RATE_03
AMRHRTH34-TH	26	NULL

FHAMRHRTH34-TH	26	NULL
AMRHRTH23-TH	24	28
PARAMETRO	VALOR INICIAL	VALOR FINAL
FHAMRHRTH23-TH	24	28
AMRHRTH12-TH	19	22
FHAMRHRTH12-TH	19	22
FHAMRHRTH34-HY	4	NULL
AMRHRTH34-HY	4	NULL
FHAMRHRTH23-HY	4	2
AMRHRTH23-HY	4	2
FHAMRHRTH12-HY	4	2
AMRHRTH12-HY	4	2
AMRHRIC	START_MODE_HR	CODEC_MODE_02
FHAMRHRIC	START_MODE_HR	CODEC_MODE_02

En la tabla 5.8 se muestra la nueva lista de los codecs con sus respectivos umbrales superiores e inferiores.

Tabla 5.8. Nueva lista activa de codecs con sus umbrales superiores e inferiores.

CODEC	RATE	UP	DOWN
CODEC1	4.75 kbit/s	12	
CODEC2	5.9 kbit/s	15	11
CODEC3	7.4 kbit/s		14

Esta vez, tenemos únicamente tres codecs en la lista y los umbrales se han reducido a dos. También ya está incluido el codec de 7.4 kbps y la condición de un C/I mayor a 15 dB se ha mantenido. Además se observa que el codec 2 es ahora de 5.9 kbps lo cual podría traer menor impacto en el handover y el camino es ahora más corto para pasar al codec más robusto luego de reiniciada la lista. También las histéresis se han reducido de 2 a 1 dB, esto hace más rápido el regreso de un codec superior a uno inferior y más sensible la llamada a los cambios de condiciones de C/I.

Hay que recordar que las histéresis modificadas solo tienen valor en la dirección downlink, pero la lista de codecs funciona para ambas direcciones.

5.5. Antes y Después de los Cambios

A continuación mostraremos los resultados de los cambios con el drive test realizado antes y después de los cambios, asimismo mostraremos algunas estadísticas que demuestran el impacto de nuestro trabajo en el MOS.

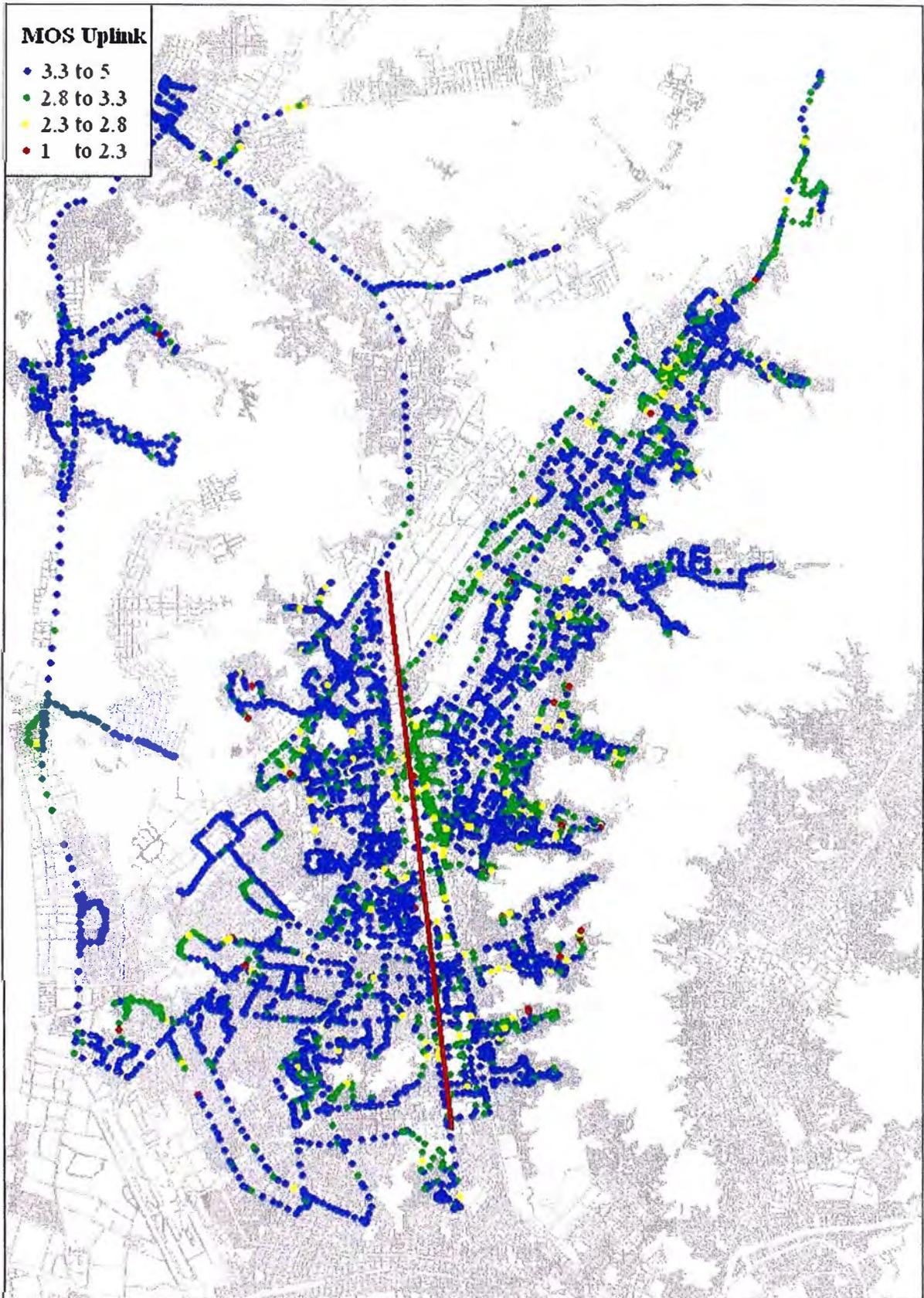


Figura 5.4. MOS Uplink antes de los cambios

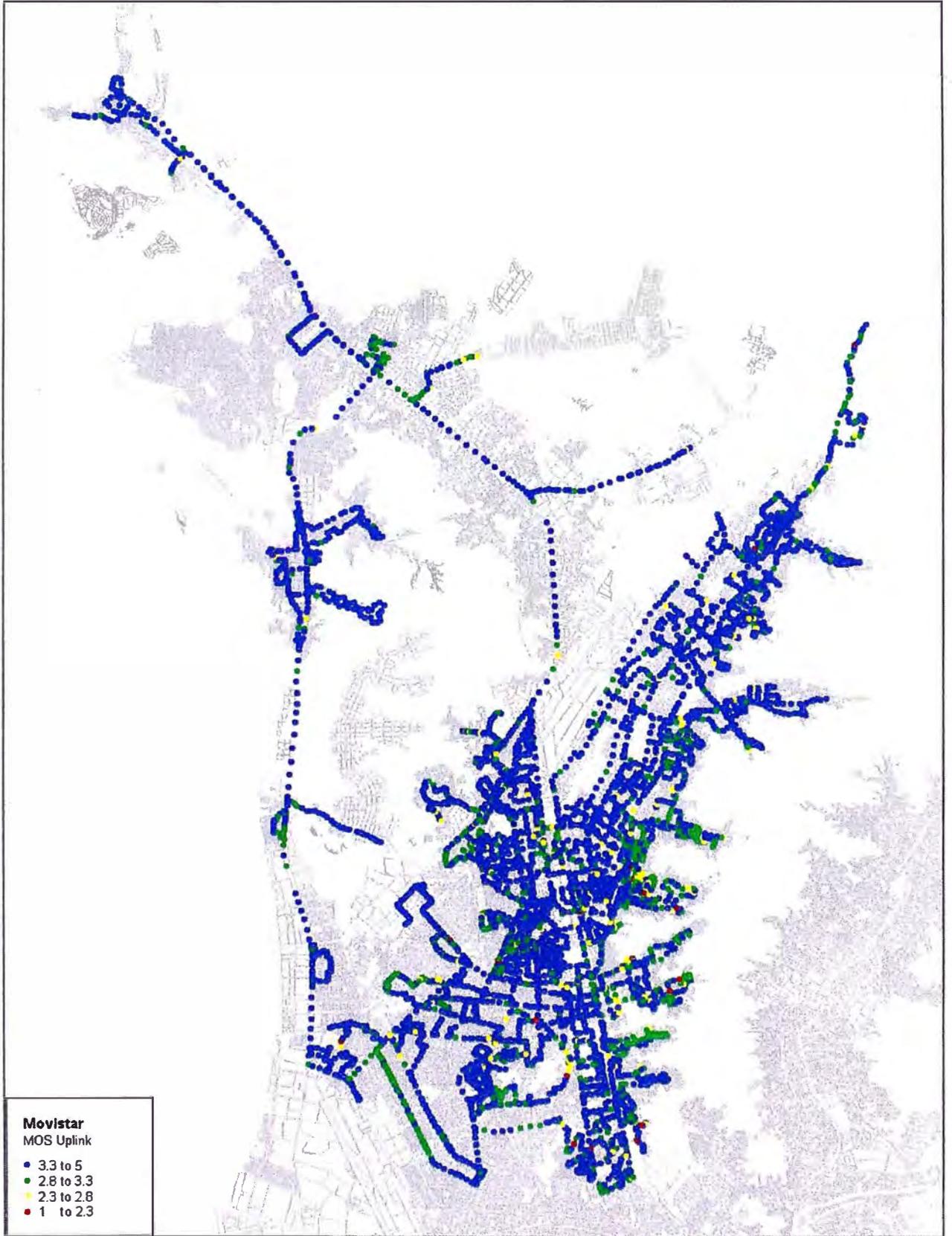


Figura 5.5. MOS Uplink después de los cambios

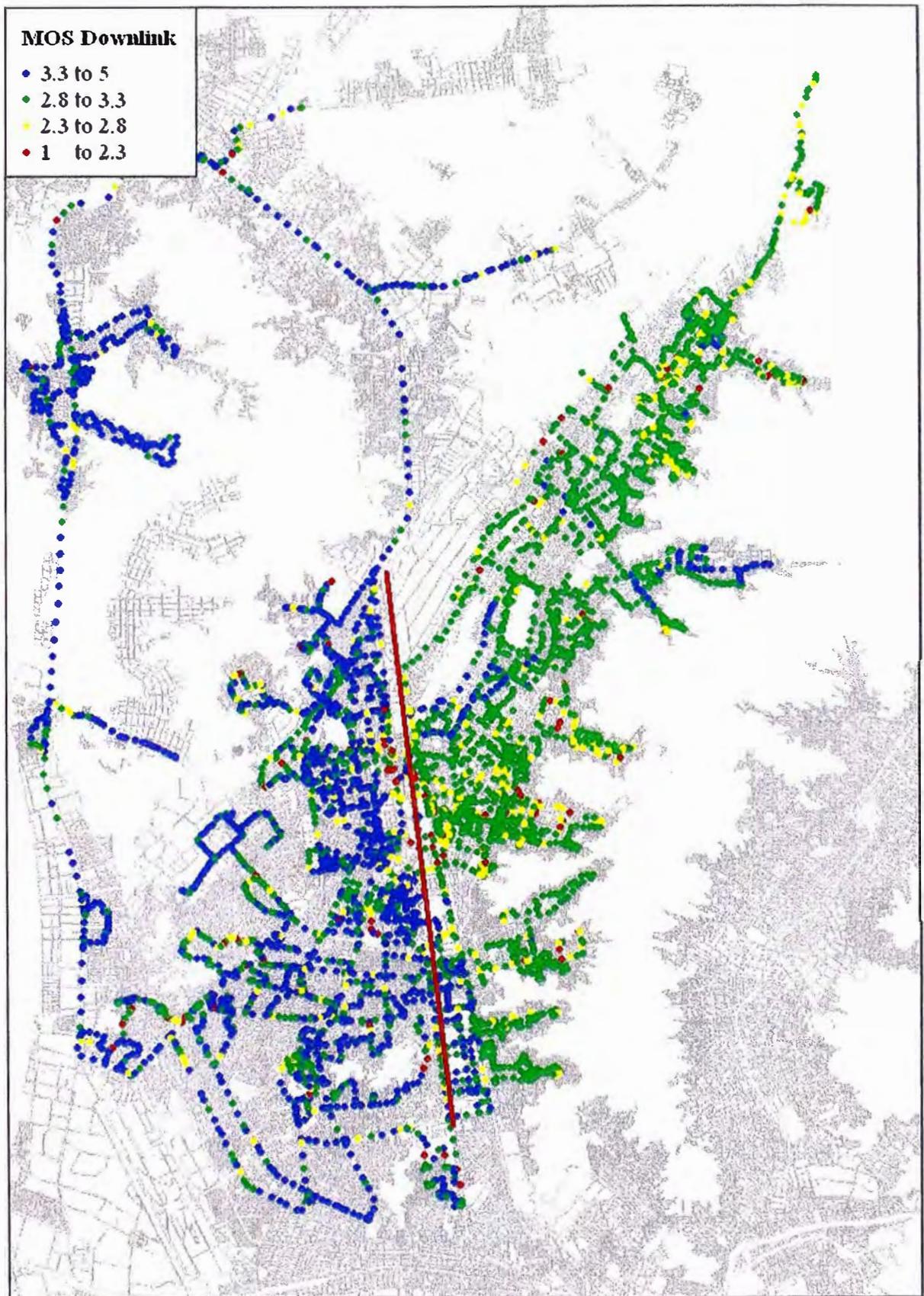


Figura 5.6. MOS Downlink antes de los cambios

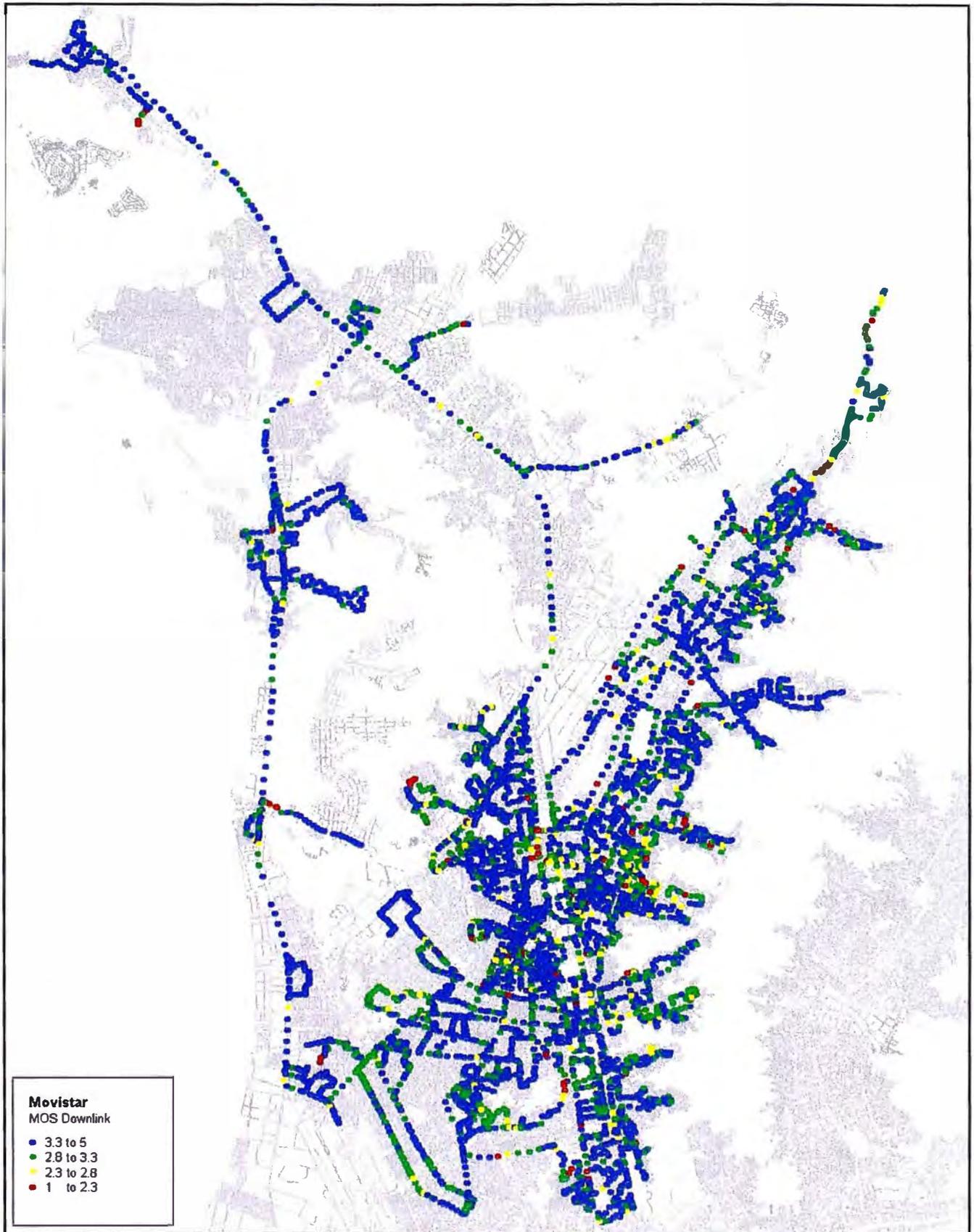


Figura 5.7. MOS Downlink después de los cambios

En las figuras 5.4 y 5.5 se presenta el MOS antes y después respectivamente con la escala de colores mostrada. En la figura 5.4 se aprecia una línea vertical de color rojo. Lamentablemente, debido al tiempo que toma realizar este tipo de mediciones, el recorrido del lado izquierdo de dicha separación se realizó también después de los cambios del día **27 de febrero** por lo que no notaremos mucha diferencia entre las dos gráficas para dicha zona. Hay que tener en cuenta que las muestras de MOS son tomadas cada 15 segundos por lo que no es conveniente realizar el recorrido a velocidades mayores de 50 km/h, esto junto con la extensión y lo tupido del recorrido, complica los trabajos en cuanto a tiempos de entrega. Analizando el lado derecho de la gráfica, notamos en el antes una cantidad mayor de puntos en color verde (MOS de 2.8 a 3.3) y en color amarillo (MOS de 2.3 a 2.8) que en la gráfica del después en la que el MOS de 3.3 a 5 es predominante lo cual constituye un MOS más que aceptable.

Las figuras 5.6 y 5.7 muestran el MOS en downlink para los mismos recorridos. Esta vez vemos con mayor claridad que el lado izquierdo es muy distinto del derecho en la primera figura. Este último cambia de una manera muy notoria. Observamos que la mayoría de puntos de este lado tienen un MOS de 2.8 a 3.3 el cual entra en la categoría de pobre o ligeramente molesto, muy pocos de los puntos tenían valores de MOS superiores a 3.3 o en color azul. Está claro que la percepción del usuario en esta zona no era nada buena. En el después se puede observar que el MOS ha mejorado radicalmente, ahora casi todos los puntos son de color azul o presentan valores de MOS mayores a 3.3. Es posible que ahora la percepción del usuario sea mucho mejor, esto estaría garantizando una conversación clara y sin metalización la cual es muy frecuente debido al uso inadecuado de codecs muy robustos (bajo bit rate).

En las figuras 5.8 y 5.9 se muestra otra medición realizada por el COMARCO: El tipo de canal. Se aprecia, como era de esperar, que la mayoría de llamadas en el recorrido tienen canales de HR esto se da tanto antes como después de los cambios, ya que no modificamos ningún parámetro para controlar la compresión. Pero aún si así lo hubiéramos hecho, no habría tenido mayor efecto, ya que como mencionamos anteriormente, la utilización de nuestros sectores es muy alta e impide la asignación de canales FR.

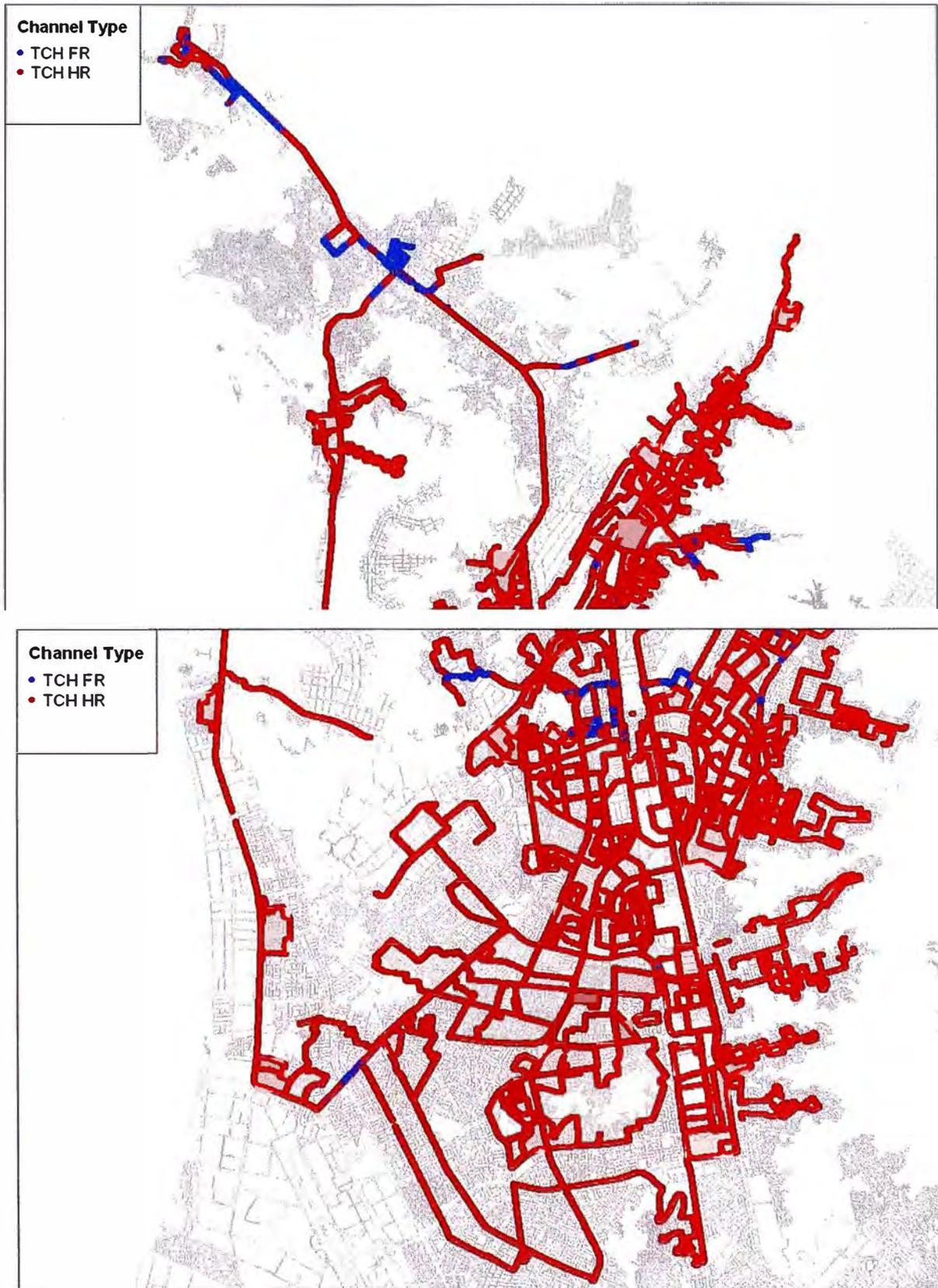


Figura 5.8. Tipo de Canal antes de los cambios.

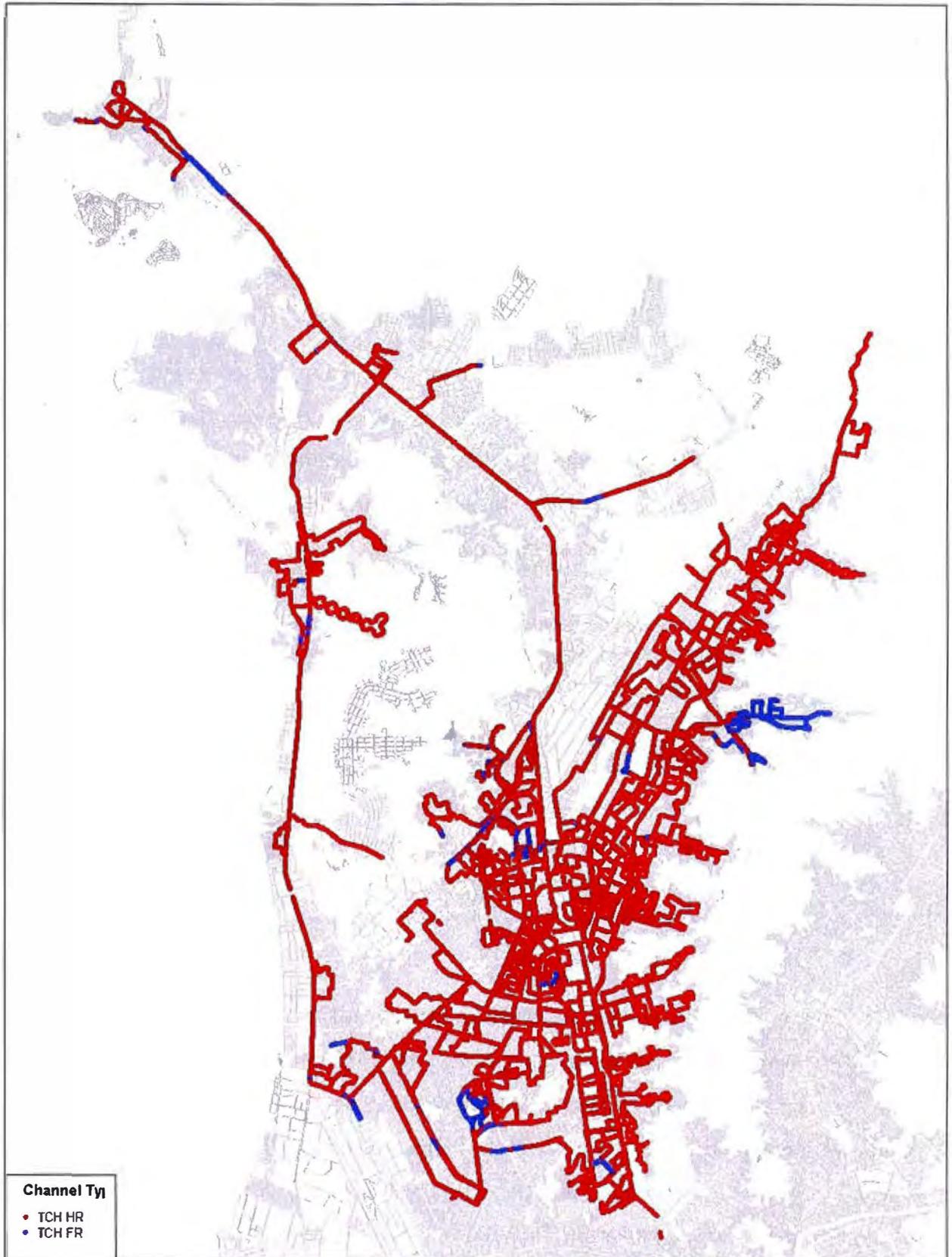


Figura 5.9. Tipo de Canal antes de los cambios.

Tabla 5.9. Estadísticas MOS del Drive Test antes y después.

MOS										
	Movistar (Anterior)					Movistar (Actual)				
	Promedio	Máximo	Mínimo	Dev Estándar	Mediana	Promedio	Máximo	Mínimo	Dev Estándar	Mediana
Uplink	3.27	3.78	1.07	0.24	3.3	3.33	3.77	1.43	0.20	3.4
Downlink	3.14	3.78	1	0.32	3.2	3.26	3.78	1.00	0.26	3.3

En la tabla 5.9 se muestran algunos datos estadísticos del recorrido de drive test. Notamos un incremento en el promedio de MOS tanto en el caso de downlink como en uplink. El máximo MOS permanece casi constante en ambos casos, pero el mínimo si tiene mejora en el caso de uplink. También la desviación estándar disminuye para concentrarse más en los valores de la mediana que también aumentó un punto en cada caso.

Tabla 5.10. Estadísticas MOS del Drive Test después considerando HR y FR.

MOS (Actual)						
		Movistar				
		Promedio	Máximo	Mínimo	Dev Estándar	Mediana
Uplink	AMR FR	3.56	3.77	2.32	0.19	3.6
	AMR HR	3.31	3.6	1.43	0.21	3.4
Downlink	AMR FR	3.53	3.78	1.75	0.23	3.6
	AMR HR	3.24	3.6	1	0.29	3.3

En la tabla 5.10 podemos ver las mismas estadísticas, pero esta vez separando FR de HR y sólo para el drive test actual. Se nota aquí claramente algo que ya habíamos comentado: los valores de MOS son siempre más altos para el caso de FR que para HR, esto comprueba que una codificación de canal muy robusta no es favorable para la calidad en iguales condiciones de C/I, por lo sería conveniente sólo reservar esta característica para casos de condiciones muy buenas de baja interferencia. Sin embargo, en zonas como esta es inevitable tener casi la totalidad del tráfico en HR debido a la congestión. También se observa en ésta y la anterior tabla, mejores valores de MOS para Uplink que para Downlink; esto se explica debido a que la mayor cantidad de interferencia se tiene en

downlink, sobre todo proveniente de otros sectores; siendo menor para uplink, ya que se trata sólo de las señales emitidas por los terminales móviles a bajas potencias.

Tabla 5.11. Distribución del MOS en el Drive Test antes y después.

<i>MOS Downlink</i>	<i>Muestras - Actual</i>		<i>Muestras - Anterior</i>	
3.3 to 5	4718	68.81%	2314	39.09%
2.8 to 3.3	1681	24.52%	3006	50.79%
2.3 to 2.8	342	4.99%	463	7.82%
1 to 2.3	116	1.69%	136	2.30%

Finalmente en la tabla 5.11 se puede observar la distribución porcentual del MOS para el downlink antes y después de los cambios. Esta es tal vez la tabla más importante ya que se puede ver claramente que la cantidad de muestras de MOS mayores a 3.3 crece en porcentaje de 39% a casi 69% y en cantidad se duplican. Antes el 50% de las muestras tenían valores de MOS entre 2.8 y 3.3 y esto se ha reducido a 24.5% es decir que se redujo a la mitad. Esto concuerda mejor con nuestra apreciación visual en las figuras 5.5 y 5.6 en que se nota un gran cambio justamente en los colores que corresponden a estos valores de MOS.

5.6. Impacto de los Cambios en otros Aspectos de la Red

Ya hemos dicho que en todo proceso de optimización es necesario tener en cuenta tanto los recorridos de drive test como las estadísticas que recogen las BSCs. Con ellas podemos observar ciertos indicadores a los que llamaremos KPIs (Key Performance Indicators). Diariamente las BSCs almacenan en su memoria una serie de contadores los cuales registran diversos eventos de cada una de las llamadas en los sectores de sus BTSs. Hay por tanto indicadores de llamadas caídas, fallas de acceso, bloqueos, handovers fallidos, etc. Estos indicadores se obtienen de los contadores de las BSCs mediante un procesamiento, normalmente con la ayuda de un software especializado que contiene todas las fórmulas para dicha obtención.

Los KPIs más comunes e importantes son:

TCH_DROP_RATE: Tasa de caída de llamadas de voz.

SDCCH_DROP_RATE: Tasa de caída de llamadas en señalización SDCCH.

TCH_BLOCKING_RATE: Tasa de llamadas bloqueadas en TCH.

SDCCH_BLOCKING_RATE: Tasa de llamadas boqueadas en señalización.

HO_FAIL_RATE:	Tasa de handovers fallidos.
RXQUAL:	Se puede obtener tanto en uplink como en downlink.
FER:	Solo es posible obtenerlo para uplink.

Existen una infinidad de contadores y KPIs además de estos, pero en nuestro análisis bastará solo analizar algunos de ellos. Los cuatro primeros se obtienen por cada sector, el HO_FAIL_RATE puede obtenerse por vecindad, es decir por cada pareja de sectores en los que se realiza un handover. El RXQUAL se obtiene por TRX y para tenerlo por sector es necesario hacer una sumatoria. El FER es también por TRX y solo en UL puesto que el DL solo es medido en el móvil y se requiere un drive test.

Puesto que estas estadísticas pueden ser vistas como una tendencia a lo largo del tiempo, escojamos un periodo en que este incluida la fecha del cambio para así analizar el impacto de nuestros cambios en dichos KPIs.

Vamos a escoger el periodo del 11 de Febrero al 12 de Marzo del 2008, en el que por supuesto se encuentra el 27 de Febrero que fue el día que se ejecutaron nuestros cambios a las 00:00 horas.

Los KPIs que mostraremos serán: TCH_DROP_RATE, SDCCH_DROP_RATE, RXQUAL y FER.

En la figura 5.10 se muestra el TCH_DROP_RATE de los sectores en cuestión. La línea roja indica el día en que se hizo el cambio de parámetros. Los valores para esta gráfica se calcularon de la cantidad total de caídas de llamadas en la hora pico de todos los sectores involucrados entre la cantidad total de asignaciones de TCH exitosas en la misma hora. Cada sector puede tener una hora pico distinta. Para cada sector se tiene un valor de TCH_DROP y de TCH_SUCCESS éstos son sumados para obtener las cantidades por día y hacer el respectivo cociente. Es normal que se presenten picos de Drops en los fines de semana como en los días 23 y 24 de Febrero o 1 y 2 de Marzo. Sin embargo no se nota una variación de la tendencia de éstos a partir de la fecha de ejecución. Las llamadas caídas no superan el 1.1% lo cual es bastante bueno para una zona suburbana. Para una zona urbana podría oscilar entre 0.8 y 1%. Esto quiere decir que este KPI en realidad no se ha visto afectado por los cambios. O sea que la adaptación de codecs continúa realizándose de manera normal sin generar mayores caídas de llamadas.

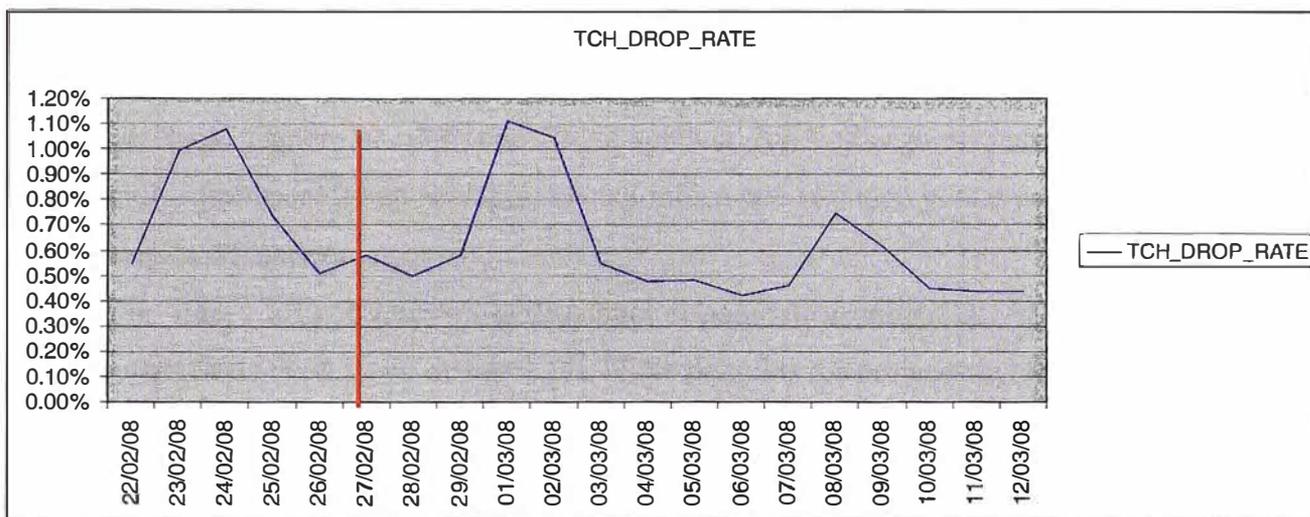


Figura 5.10. Porcentaje de Llamadas Caídas en TCH evaluadas en todos los sectores involucrados de la tabla 5.4.

En la figura 5.11 se muestra la misma tasa pero esta vez para canales de SDCCH. Un canal de SDCCH es un canal de tráfico de señalización previo al de TCH y está clasificado dentro de los canales de control dedicados de la figura 2.6. Entre sus funciones están la de manejar el establecimiento de llamadas, autenticación, asignación del canal de TCH, SMSs y Location Update. Recordemos que al inicio de la llamada entra a tallar el codec inicial, y por tratarse de uno no muy robusto podría traer problemas de caídas en dicho canal. La forma de calcular los valores de esta gráfica son análogos a los de TCH_DROP y también la línea roja indica la fecha de cambio.

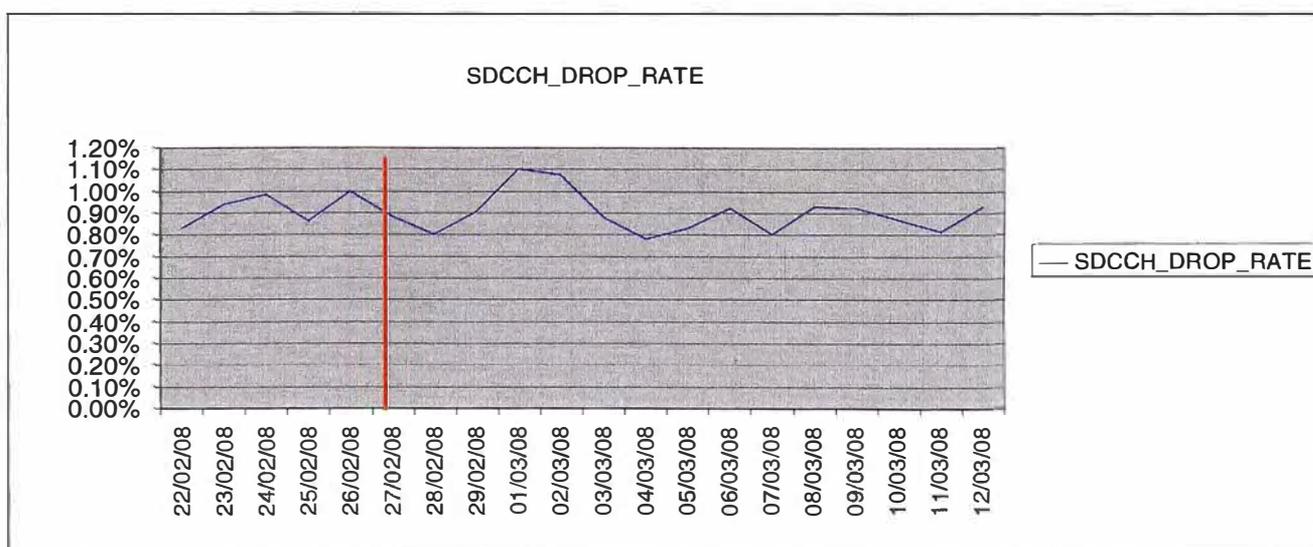


Figura 5.11. Porcentaje de Llamadas Caídas en SDCCH evaluadas en todos los sectores involucrados de la tabla 5.4.

Se observan valores normalmente inferiores al 1% a excepción del fin de semana del 1 y 2 de Marzo que creció a 1.1% probablemente debido a algún evento. Los demás picos se deben de igual manera al tráfico de fin de semana. Sin embargo no parecen tener mayor afectación a partir del 27 en adelante, lo cual indica que el codec inicial esta aparentemente funcionando de manera adecuada.

En la figura 5.12 se muestra la distribución porcentual del RXQUAL en downlink la cual fue obtenida de la suma de todos los TRXs de todos los sectores involucrados en todas las horas del día. Como hemos visto el RXQUAL varía de 0 a 7. Hemos considerado en nuestro análisis un RXQUAL bueno de 0 a 4 y uno malo de 5 a 7 y el porcentaje se ha

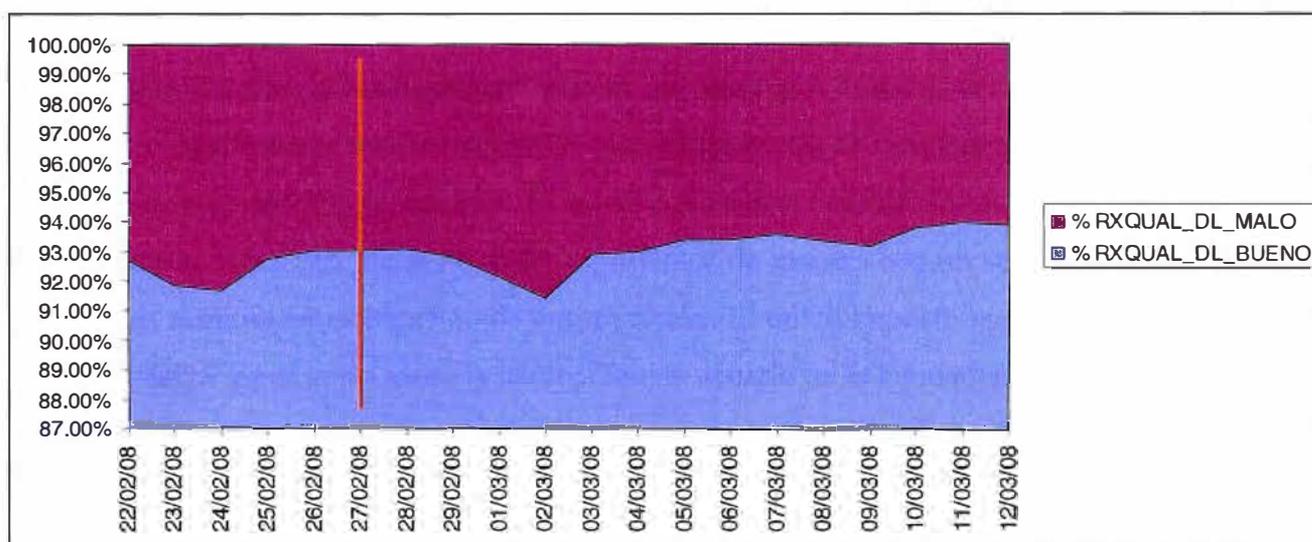


Figura 5.12. Distribución Porcentual de RXQUAL DL para todos los sectores involucrados de la tabla

5.4.

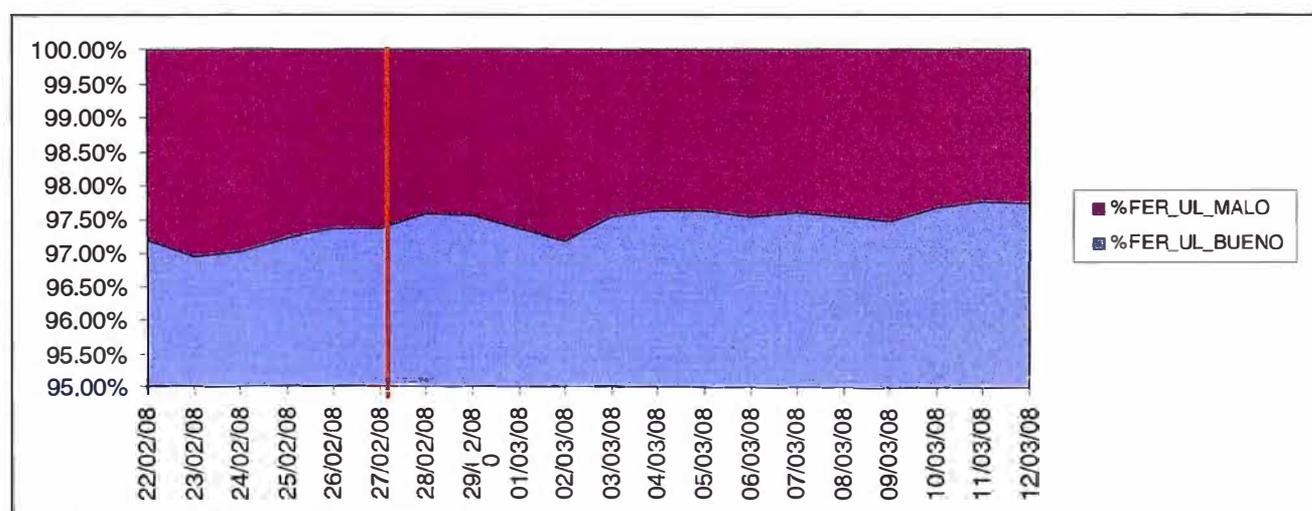


Figura 5.13. Distribución Porcentual de FER UL para todos los sectores involucrados de la tabla 5.4.

calculado sobre la suma de muestras totales en cada sector. Se nota un porcentaje de RXQUAL_DL_BUENO, en color azul, mayor a 93% casi en forma uniforme a los largo de los días. El RXQUAL_DL_MALO, en color lila, es siempre el complemento. Los picos bajos se deben a las alteraciones del tráfico que se dan principalmente los fines de semana. Lo importante es observar la no afectación de los cambios en este KPI.

Finalmente en la figura 5.13 tenemos la distribución porcentual del FER UL. De igual manera que el RXQUAL ha sido calculado teniendo en cuenta todos los TRXs de los sectores. En vista que el FER varía de 0 a 100%, se ha considerado un FER BUENO como inferior al 3% el cual se ve graficado en azul. El complemento es por supuesto en FER MALO en lila. Las mismas consideraciones que para el RXQUAL se deben hacer aquí ya que no se puede notar una variación de este KPI a partir de la fecha de la línea roja. Los valores mayores a 97% para el FER BUENO son bastante aceptables en este tipo de zonas.

Como hemos visto, los KPIs más importantes de nuestra red no se han visto afectado en lo más mínimo en este trabajo de optimización. El único impacto que se ha percibido en sobre el MOS y por tanto sobre la percepción de usuario de la calidad de llamadas en voz.

CAPITULO VI.

COSTOS Y TIEMPOS DE IMPEMENTACIÓN

En el presente capítulo describiremos de manera resumida los costos y el tiempo que se invirtió para la realización de los trabajos ya expuestos. Esto deberá incluir los costos de los equipos empleados, el tiempo invertido en los procesos más importantes en todas las áreas involucradas, así como los honorarios del personal respectivo y otros.

Como antecedente sería prudente mencionar que este, junto con muchos otros trabajos de optimización, forma parte de un proyecto que la compañía **Nokia Siemens Networks** está realizando para la empresa **MOVISTAR** que se inició en septiembre del 2005 como un Overlay de GSM sobre CDMA (esto quiere decir implementar una red GSM sobre la infraestructura existente de una red CDMA) y que continúa como un proyecto de Optimización hasta el presente. En esta nueva etapa, se busca el mejoramiento de la calidad y garantizar que se tenga la capacidad adecuada a medida que el número de usuarios de la red aumenta. Esto incluye trabajos de Optimización propiamente dichos, como el que está descrito en este informe, y trabajos de implementación, ya sea para nuevos sitios o para ampliar la capacidad de los ya existentes. Es por ello que este proyecto presenta dos áreas fundamentales: La de *Planeamiento y Optimización*, y la de *Implementación*. Cada una de estas áreas tiene un presupuesto establecido para cada uno de sus procesos así como un presupuesto extra para casos de emergencias. En el presente informe solo se tomará en cuenta el presupuesto empleado para el trabajo particular para el análisis de MOS.

A continuación separaremos el presupuesto en varias fases.

6.1. Adquisición de Equipos

Para la colección de datos (recorridos de drive test) de MOS se requería de un equipo especial adicional al que ya contábamos en el proyecto. Se eligió la marca COMARCO por anteriores experiencias de la empresa en proyectos en Ecuador. El equipo consta de lo siguiente:

1 Scanner: Es en realidad un chasis que contiene en su interior un GPS, un scanner que soporta múltiples bandas, un SBS (Single Board Computer) con un sistema operativo para comunicarse con la laptop y un sistema de energía.

1 Antena Externa: Para ser conectada al Scanner. Va en la parte externa (techo) del automóvil.

2 HandSets: Teléfonos móviles especiales con conexión para audio y datos con la PC.

Licencia UMTS/HSDPA/HSUPA/GSM/GPRS PESQ-MOS.

LAND UNIT (NQMP): NetQual Quality Measurement Platform. Consiste en una PC equipada con un DSP (Procesador Digital de Señales) provisto de un módem NMS con puertos de conexión para líneas PSTN por donde serán enviados y recibidos los mensajes de prueba

POST PROCESS (NQDI): Network Quality Data Investigator, es una herramienta de post procesamiento y es utilizada para analizar las mediciones de la calidad de servicio que resulten del recorrido de Drive Test para audio, data y video.

1 Laptop: Modelo LENOVO T60.

Estos equipos en conjunto tuvieron un costo de \$140 000 lo cual incluye soporte remoto desde México tanto para la instalación como para la configuración de los mismos. También se incluyen los gastos de envío y pago de impuestos. Peso a que su envío tomo casi un mes desde el pedido, solo se tomará en cuenta en el tiempo de la implementación de los trabajos considerando que éstos no podían comenzar sin los equipos.

6.2. Recorridos de Drive Test

Como ya lo habíamos comentado los recorridos de drive test consisten en pruebas con un auto en movimiento. Al considerar la ruta de la figura 5.3 tenemos que tener en cuenta el tiempo que tomó dicho recorrido multiplicado por dos, ya que fue necesario uno previo y otro posterior a los cambios. Cada uno de los recorridos tomó aproximadamente una semana en ser realizado, es decir 5 días hábiles con 8 horas de trabajo cada uno, lo que da un total de 80 horas. El tiempo total invertido en la ejecución de esta etapa: **Dos Semanas**. En cuanto a los costos, hay que considerar los honorarios de los dos ingenieros de Planeamiento en campo que fueron necesarios, costos de movilidad y dos líneas telefónicas dedicadas para en envío de mensajes de prueba durante todo el tiempo del recorrido. La tabla 6.1 resume los costos para esta etapa.

Tabla 6.1. Costos Totales en los recorridos de Drive Test.

CONCEPTO	CANTIDAD	CANTIDAD DE HORAS	COSTO POR HORA	COSTO
Ingenieros de Campo	2	80	\$25.00	\$2,000.00
Movilidad	1	80	\$10.00	\$800.00
Línea Dedicada	2	80	\$12.00	\$960.00
Costo Total				\$3,760.00

6.3. Análisis de Cambios

Para este análisis de cambios también estuvo asignado un grupo de ingenieros del área de Planeamiento. Aunque no estuvieron dedicados muchos de ellos a tiempo completo por la carga de otros trabajos, podemos considerar un número efectivo de tres ingenieros durante el período de una semana. En este lapso se analizaron los drive tests previos a los cambios y se estudiaron los parámetros mas adecuados a modificar para mejorar los resultados encontrados. Esta etapa concluye con el envío del CR (Change Request) al ingeniero de Database también perteneciente al área de Planeamiento para su procesamiento. La tabla 6.2 resume estos costos. El tiempo total invertido en la ejecución de esta etapa: **Una Semana**.

Tabla 6.2. Costos Totales en el análisis de Cambios.

CONCEPTO	CANTIDAD	CANTIDAD DE HORAS	COSTO POR HORA	COSTO
Ingeniero de Optimización	3	40	\$25.00	\$1,000.00
Costo Total				\$1,000.00

6.4. Ejecución de Cambios

En esta etapa se requiere la intervención ingenieros de ambas áreas del proyecto y se realiza en dos subetapas. Una vez recibido el CR, el ingeniero de Database procede a crear el script o scripts para ser ejecutados en los BSCs correspondientes. Posteriormente se entregan estos scripts al Ingeniero de O&M (Operación y Mantenimiento) del área de Implementación para dicha ejecución. Este proceso lleva un día entero de trabajo. El procesamiento de los scripts toma un día normal y la ejecución se realiza en la madrugada día siguiente. El tiempo total invertido en la ejecución de esta etapa: **Un Día**. La tabla 6.3 resume los costos de esta etapa.

Tabla 6.3. Costos Totales en la ejecución de Cambios.

CONCEPTO	CANTIDAD	CANTIDAD DE HORAS	COSTO POR HORA	COSTO
Ingeniero de Database	1	8	\$35.00	\$280.00
Ingeniero de O&M	1	8	\$40.00	\$320.00
Costo Total				\$600.00

6.5. Post Procesamiento de Datos y Entrega de Informes al Cliente

En esta etapa se analizaron y procesaron los archivos de drive test entregados por los ingenieros de campo para así comparar los resultados del antes y después y plasmar todo ello en un informe para ser entregado y sustentado al cliente. Para ello se utilizaron las herramientas de post procesamiento adquiridas de COMARCO además de los softwares ya conocidos como MapInfo y Ofimática. Para este trabajo se contó con la participación de tres ingenieros de optimización del área de Planeamiento y el tiempo estimado de trabajo fue de **tres días** después de la culminación de los recorridos. La tabla 6.4 resume los costos de esta etapa.

Tabla 6.4. Costos Totales en el Post Procesamiento de Datos y Entrega de Informes al Cliente.

CONCEPTO	CANTIDAD	CANTIDAD DE HORAS	COSTO POR HORA	COSTO
Ingeniero de Optimización	3	24	\$25.00	\$600.00
Costo Total				\$600.00

Finalmente para hallar el costo y tiempo total de la implementación de este trabajo basta con sumar los tiempos y costos de los procesos y el costo del equipo. Las tablas 6.5 y 6.5 resumen los costos y los tiempos de implementación totales respectivamente.

Tabla 6.5. Costos Totales de Implementación.

CONCEPTO	COSTO
COSTO PROCESOS	\$6,360.00
COSTO EQUIPO	\$140,000.00
COSTO TOTAL	\$146,360.00

Tabla 6.6. Tiempos Totales de Implementación.

CONCEPTO	Tiempo en Días Hábiles
Tiempo Total Recorridos de Drive Test	10
Tiempo Total Análisis de Cambios	5
Tiempo Total en Ejecución de Cambios	1
Tiempo Total Análisis de Cambios	3
Tiempo Total	19

Donde todos los costos mostrados se presentan en dólares y en tiempo en días hábiles.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Debido a lo observado en las graficas de RXQUAL y FER puede concluirse que los valores obtenidos de estos KPIs, no pueden garantizar una calidad de voz 100% aceptable en cuanto a la percepción del usuario final, ya que estos indicadores sólo evalúan tanto bits como tramas erróneas.
2. La codificación de canal produce un efecto en la percepción del usuario final. Esto se puede concluir de los valores del MOS para FR y HR. Se observaron valores menores para HR que para FR lo que indica que dicha compresión de la voz resulta perjudicial para la calidad y una de las principales razones de la metalización de la voz. Sin embargo es inevitable tener tráfico en HR en ciertas zonas debido al alto tráfico de sus sectores, por lo que es necesario coexistir con dicha codificación.
3. Tener codecs muy robustos en el ACS afecta la calidad de una llamada de voz y produce también metalización, éstos deben ser usados en forma prudente y en casos extremos de interferencia para mantener la llamada y evitar su caída. Al incluir codecs menos robustos aumentamos el MOS principalmente en lugares cercanos a las estaciones donde no se deben tener problemas ni de cobertura ni de interferencia.
4. Hacer menos robusto el codec inicial reduce el impacto de la metalización al inicio de una llamada y también durante la ejecución de un handover; el cual, por ser una asignación de canal, también requiere de reinicio de codecs. Por ser los handovers eventos repetitivos, el hecho de que exista un impacto en la calidad al producirse, resulta perjudicial en la percepción del usuario final y es importante tener especial cuidado en ello.
5. La disminución de la cantidad de codecs resulta beneficiosa precisamente en este proceso de handover en donde el cambio de codec no se dará de en forma tan brusca y la llamada podrá regresar mas rápidamente al codec menos robusto si así se requiriera. Por otro lado tampoco es conveniente tener como inicial al codec menos robusto de la lista, ya que al inicio no se tiene información suficiente acerca

de las condiciones de interferencia del sector adyacente al que la llamada esta ingresando.

6. Los valores del MOS de uplink fueron mayores que los de downlink debido a que los mayores factores de interferencia están en esta dirección, como por ejemplo los canales iguales o adyacentes de otras estaciones que pueden provocar interferencia debido al reuso de frecuencia, etc.
7. Los cambios no afectaron los demás KPIs de la red tales como TCH_DROP_RATE, TCH_DROP_RATE, SDCCH_DROP_RATE, RXQUAL y FER, lo que indica que se está realizando una adecuada adaptación de codecs con la nueva lista, sin perjudicar de manera apreciable ni la inicialización de llamadas ni su curso normal.
8. Se recomienda la utilización de esta técnica en los procesos regulares de optimización y no dejarlo como un recurso extraordinario para el análisis de problemas graves, como se hizo en este caso. Esto ayudará a prevenir más fácilmente los problemas y a tomar conciencia de las condiciones reales de calidad para una red celular.
9. Con respecto a los cambios realizados se recomienda ampliarlos a la totalidad de la red ya que, como hemos visto, no se tiene ningún impacto en los otros indicadores, por lo que vale la pena generalizarlos y seguir colectando resultados.
10. Finalmente, debido a que la mayoría de los problemas se presenta en la banda de 850 MHz se recomienda también una ampliación del espectro en dicha banda para la capa de hopping. A la fecha existe disponibilidad para contar con 6 canales más de hopping con lo que se podrá constituir una lista de 36 canales. Esto ayudará también a mejorar el MOS y el QUALITY dado que se evitarán colisiones de frecuencias por falta de espectro.

ANEXO A

GLOSARIO DE TÉRMINOS

ACS: Active Codecs Set.

AM: Modulación de Amplitud.

AMR: Adaptive Multi-rate Codec.

AMRFRCX: AMR Full Rate Codec "X," Donde X=1,2,3,4.

AMRFRIC: AMR Full Rate Initial Codec.

AMRFRTH12: AMR Full Rate Threshold. Umbral para pasar del Codec1 al Codec2.

AMRFRTH23: AMR Full Rate Threshold. Umbral para pasar del Codec2 al Codec3.

AMRFRTH34: AMR Full Rate Threshold. Umbral para pasar del Codec3 al Codec4.

AMRHRCX: AMR Half Rate Codec "X," Donde X=1,2,3,4.

AMRHRIC: AMR Half Rate Initial Codec.

AMRHRTH12: AMR Half Rate Threshold para pasar del Codec1 al Codec2.

AMRHRTH23: AMR Half Rate Threshold para pasar del Codec2 al Codec3.

AMRHRTH34: AMR Half Rate Threshold para pasar del Codec3 al Codec4.

ARFCN: Absolute Radio Frequency Channel Number. Número que se le da a un canal de frecuencia para identificarlo en la red.

AuC: Centro de Autenticación (Authentication Center).

BCCH: Canal de Control de Broadcast.

BER: Bit Error Rate

BR: BSS Release. Cada una de las versiones de software de las BSCs SIEMENS.

BSC: Controlador de la Estación Base (Base Station Controller).

BSIC: Código de Identidad de la Radio Base.

BSS: Subsistema de la Estación Base (Base Station Subsystem).

BTS: Estación Base Tranceptora (Base Station Transceiver).

Burst: Impulso de frecuencia.

CDMA: Acceso Múltiple por División de Código.

CODEC: Codificación - Decodificación.

COMARCO: Compañía Americana proveedora de Equipos para soluciones de Calidad y Drive Test.

Downlink: Transmisión desde la BTS hacia el móvil.

DSP: Procesamiento Digital de Señales.

DTX: Discontinuous Transmision (Transmisión Discontinua)

ECU: Error Concealment Unit.

EDGE: Enhanced Data Rates for GSM Evolution.

EFR: Enhanced Full Rate.

EIR: Equipment Identity Register.

FDMA: Acceso Múltiple por División de Frecuencia.

FER: Frame Erasure Rate

FH: Frequency Hopping (Saltos de Frecuencia).

FHAMRFRCX: Frequency Hopping AMR Full Rate Codec "X," Donde X=1,2,3,4.

FHAMRFRIC: Frequency Hopping AMR Full Rate Initial Codec.

FHAMRFRTH12: Frequency Hopping AMR Full Rate Threshold. Umbral para pasar del Codec1 al Codec2.

FHAMRFRTH23: Frequency Hopping AMR Full Rate Threshold. Umbral para pasar del Codec2 al Codec3.

FHAMRFRTH34: Frequency Hopping AMR Full Rate Threshold. Umbral para pasar del Codec3 al Codec4.

FHAMRHRCX: Frequency Hopping AMR Half Rate Codec "X," Donde X=1,2,3,4.

FHAMRHRIC: Frequency Hopping AMR Half Rate Initial Codec.

FHAMRHRTH12: Frequency Hopping AMR Half Rate Threshold. Umbral para pasar del Codec1 al Codec2.

FHAMRHRTH23: Frequency Hopping AMR Half Rate Threshold. Umbral para pasar del Codec2 al Codec3.

FHAMRHRTH34: Frequency Hopping AMR Half Rate Threshold. Umbral para pasar del Codec3 al Codec4.

FIR: Finite Impulse Response.

FN: Frame Number.

Full Rate: Fue la primera codificación de voz digital utilizada para GSM. Su velocidad es de 13 kbps.

FULL: Mediciones basadas en la totalidad de la multitrama SACCH.

GMSC: Gateway MSC

GMSK: Gaussian minimum shift keying.

GPRS: General Packet Radio Service.

GSM: Sistema Global para comunicaciones Móviles.

Half Rate: Codificación de voz digital para GSM que requiere la mitad del ancho de banda del Half Rate. Su velocidad es de 5.6 kbps.

Handover: Proceso por el cual una llamada es pasada de una celda a otra.

Hipertrama: Conjunto de 2048 Supertramas.

HLR: Home Location Register

HO_FAIL_RATE: Tasa de handovers fallidos.

Hora Pico: Hora del día en que se tiene mayor tráfico.

HSN: Hopping Sequence Number.

IMEI: International Mobile Equipment Identity.

IMSI: International Mobile Subscriber Identity.

ISDN: Red Digital de Servicios Integrados (Integrated Services Digital Network).

ITU: International Telecommunication Union.

KPI: Key Performance Indicators. Indicadores de performance de la red.

MAIO: Mobile Allocation Index Offset.

MOBALLOC: Mobile Allocation.

MODEM: Modulador-Demodulador.

MOS: Mean Opinion Score.

MS: Estación Móvil (Mobile Station).

MSC: Central de Conmutación Móvil (Mobile Switching Center).

NMS: Subsistema de Administración de Red (Network Management Subsystem).

NQMP: NetQual Quality Measurement Platform.

Multitrama: Conjunto de 26 o 51 tramas GSM.

OMC: Centro de Operación y Mantenimiento.

PC: Power Control.

PCM: Pulse Code Modulation.

PESQ: Perceptual Evaluation of Speech Quality.

PLMN: Public Land Mobile Network.

PSTN: Red Telefónica Publica Conmutada.

RMS: Root Mean Square.

RSC: Recursive Systematic Convolutional.

RXQUAL: Medida de la calidad basada en el BER

SACCH: Slow Associated Control Channel.

SCH: Canal de sincronización.

SDCCH_BLOCKING_RATE: Tasa de llamadas boqueadas en señalización.

SDCCH_DROP_RATE: Tasa de caída de llamadas en señalización SDCCH.

SFH: Slow Frequency Hopping.

SID: Trama de Silence Description

SIM: Subscriber Identity Module.

SQUAD: Acrónimo de Speech Quality Detector (Detector de Calidad de Voz). Pertenece a la familia SwissQual de algoritmos de calidad de audio.

SUB: Mediciones basadas sólo en las tramas principales de la multitrama SACCH.

Supertrama: Conjunto de 51 26-Multitrama o de 26 51-Multitrama.

TA: Timing Advance

TCH: Canal de Tráfico de Voz.

TCH_BLOCKING_RATE: Tasa de llamadas bloqueadas en TCH.

TCH_DROP_RATE: Tasa de caída de llamadas de voz.

TDMA: Acceso Múltiple por División de Tiempo.

Trama: Conjunto de Ocho bursts o TSs.

TRAU: Transcoder Unit.

TRX: Transmisor-Receptor.

TS: Time Slot (Ranura de tiempo).

Uplink: Transmisión desde el móvil hacia la BTS.

VAD: Detector de Actividad de Voz

VLR: Visitor Location Register.

WCDMA: Wideband CDMA.

BIBLIOGRAFÍA

1. GSM, GPRS and EDGE Evolution Towards 3G UMTS. WILEY, John and Sons.
2. Radio Interface System Planning for GSM/GPRS/UMTS. LEMPIAINEN, Jukka. MANINNEN Matti.
3. SIEMENS, Channel Configuration and allocation strategy.
4. SIEMENS, Parámetros Básicos para Optimización.
5. SIEMENS, Interference Reduction.
6. FER, RXQUAL, and DTX DL Rate Measurements in TEM Investigation GSM (Technical Paper).
7. GSM Networks: Protocols, Terminology, and Implementation. Gunnar Heine.
8. GSM Pocket Guide. Wandel & Goltermann.
9. Nokia GSM SYSTRA Training Material.
10. COMARCO: Siemens Seven.Five Training.