

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



OPTIMIZACIÓN DE UNA RED CELULAR GSM EN LA CIUDAD DE  
TRUJILLO

## **INFORME DE SUFICIENCIA**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

**PRESENTADO POR:**

**ARTURO CÉSAR CANTO SÁNCHEZ**

**PROMOCIÓN  
1996 - I**

**LIMA – PERU**

**2008**

**OPTIMIZACION DE UNA RED  
CELULAR GSM EN LA CIUDAD DE  
TRUJILLO**

A mi hijo Alessandro,  
a mi esposa Sandra,  
a mi madre Bertha,  
a mis hermanas Carmen, Mercedes, Jessica y Fanny  
Gracias por todo el apoyo y cariño que siempre me brindan.

Arturo Canto

## **SUMARIO**

El proceso de optimización se inicia mediante la realización cuidadosa de auditorías de las celdas y de mediciones del desempeño de la red, continuando con la definición de líneas base (valores específicos por tipo de indicador) que sirven como objetivos a superar, determinando así el alcance de la optimización, del equipamiento necesario para realizarla y la duración del proceso de optimización. Se debe tomar en cuenta la necesidad de priorizar los objetivos de tal manera que los cambios de gran impacto en el servicio sean aplicados con mayor prioridad. Luego de esto se procede a la realización de las mediciones de campo y a la recolección de la información estadística de la red definiendo áreas con problemas y realizando un estudio de las modificaciones necesarias a ser implementadas en la red; siendo de vital importancia la documentación de todos los cambios efectuados y de sus resultados en el desempeño de la red, evaluando finalmente si los objetivos han sido logrados.

## CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>2</b>
<b>OPTIMIZACIÓN DE UNA RED CELULAR GSM</b> .....	<b>2</b>
1.1 Percepción de la calidad del servicio celular en la ciudad de Trujillo.....	2
1.1.1 Caídas de llamadas .....	2
1.1.2 Congestión .....	2
1.1.3 Cobertura.....	3
1.1.4 Interferencia.....	3
1.2 Establecimiento de los objetivos de Optimización.....	3
1.2.1 Mejoramiento de la cobertura .....	3
1.2.2 Dimensionamiento de la red de radio.....	3
1.2.3 Estrategias del planeamiento de frecuencias .....	3
1.2.4 Determinación de los indicadores de calidad .....	4
1.3 Proceso de evaluación de la Red de Radio en la ciudad de Trujillo .....	5
1.3.1 Evaluación de la cobertura.....	5
1.3.2 Evaluación de la capacidad .....	6
1.3.3 Evaluación de la interferencia .....	6
1.3.4 Evaluación de los indicadores de calidad (KPIs).....	7
1.4 Limitaciones del Proceso de Optimización.....	9
1.4.1 Variaciones en la morfología de la ciudad.....	9
1.4.2 Variaciones de tráfico en zonas hot spot.....	9
1.4.3 Influencias del tipo de plan de frecuencias usado .....	10
1.4.4 Complejidad en la ubicación de nuevos sitios requeridos .....	10
1.4.5 Variación en los parámetros de red por modificaciones en la topología .....	10
1.5 Síntesis del proceso de optimización .....	11
1.5.1 Auditoria de la red a optimizar .....	11
1.5.2 Realización de las pruebas de drive test.....	11
1.5.3 Análisis de la información recolectada .....	11
1.5.4 Modificaciones planteadas a la red .....	11
1.5.5 Conclusiones parciales y replanteo de la optimización .....	12

<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>13</b>
<b>INTERFASE DE RADIO</b> .....	<b>13</b>
2.1 Radio Propagación .....	13
2.1.1 Definición del sistema de red de radio .....	13
2.1.2 Red de Radio Celular.....	15
2.1.3 El medio de propagación de radio.....	16
2.1.4 Ruta de evolución de la Red.....	16
2.2 Fundamentos teóricos del sistema GSM .....	17
2.2.1 Configuración de Canales.....	17
2.2.2 Manejo de los recursos de radio .....	27
2.2.3 Mediciones y su procesamiento.....	37
2.2.4 Proceso de Handover .....	38
2.2.5 Control de potencia.....	43
2.2.6 Indicadores de Performance (KPIs) .....	46
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>51</b>
<b>METODOLOGÍA DE LA OPTIMIZACIÓN</b> .....	<b>51</b>
3.1 Información de la red necesaria para la optimización .....	51
3.1.1 Reporte de planificación de la red de radio .....	51
3.1.2 Tabla de parámetros de ingeniería .....	51
3.1.3 Datos estadísticos.....	51
3.1.4 Historia de la optimización .....	52
3.1.5 Tabla de parámetros de celda .....	52
3.2 Desarrollo de la optimización.....	52
3.2.1 Preparación del proyecto de optimización.....	52
3.2.2 Simple verificación del sitio.....	54
3.2.3 Optimización RF .....	55
3.2.4 Optimización de parámetros .....	67
3.2.5 Reporte final de optimización.....	70
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>71</b>
<b>ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	<b>71</b>
4.1 Análisis descriptivo .....	71
4.2 Análisis de resultados de cambios propuestos en parámetros de ingeniería .....	72
4.2.1 Mejora en cobertura del cluster como resultado de cambios propuestos .....	72
4.2.2 Mejora en los KPI como resultado de cambios propuestos .....	74
4.3 Análisis de la asociación de variables y resumen de las apreciaciones relevantes que produce .....	75

4.4	Presupuesto y tiempo de ejecución .....	76
4.4.1	Recursos .....	76
4.4.2	Costos .....	77
<b>CONCLUSIONES .....</b>		<b>79</b>
<b>ANEXO A.....</b>		<b>80</b>
<b>IMÁGENES DE LA CIUDAD DE TRUJILLO.....</b>		<b>80</b>
<b>ANEXO B.....</b>		<b>82</b>
<b>DEFINICIÓN DE TÉRMINOS Y ABREVIACIONES .....</b>		<b>82</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>		<b>86</b>

## **INTRODUCCIÓN**

El propósito de este documento es la de mostrar como se realiza la tarea de optimización de una red celular, el cual es un componente importante en el desarrollo de la misma, con el fin de conseguir mejoras en la percepción de la calidad por parte del usuario de esta. Siendo las principales actividades del proceso de optimización, primero la preparación de los detalles del mismo, luego la verificación rápido de los sitios involucrados en el área a optimizar, la optimización de RF propiamente dicha a través de los ajustes en los parámetros de ingeniería y finalmente la optimización de los parámetros de configuración de los sectores de cada sitio, realizando este ciclo una y otra vez hasta lograr alcanzar los valores definidos como meta para los indicadores.



## **CAPÍTULO I**

### **OPTIMIZACIÓN DE UNA RED CELULAR GSM**

#### **1.1 Percepción de la calidad del servicio celular en la ciudad de Trujillo**

La ciudad de Trujillo presentó durante mucho tiempo problemas de calidad debido a la presencia de huecos de cobertura así como la existencia de congestión en las llamadas de la red celular de Claro, las cuales no permitían se atendiese todo el tráfico requerido, y perjudicaba la imagen de Claro como empresa proveedora de servicio celular en dicha ciudad. A continuación se muestran los principales eventos que se tomaron en cuenta para evaluar el estado de la calidad en la zona a ser optimizada.

##### **1.1.1 Caídas de llamadas**

Estas se refieren a la interrupción de la comunicación principalmente a causa de los siguientes factores:

- Externos, la presencia en las inmediaciones del área de cobertura del sector en estudio de una portadora co-canal o de canal adyacente, que influye en la relación de portadora a interferencia (C/I), produciendo su deterioro y posterior corte de llamada.
- Internos, la existencia de fallas de asignaciones de canal a nivel de las interfaces Abis, A, A-ter u otros; los cuales se producen por un error en la configuración de algún elemento de la red o a fallas en la asignación de recursos de la red, que lleva a la activación de timers.

##### **1.1.2 Congestión**

Se refiere a la acumulación de tiempo de los intentos fallidos al tratar de tomar recursos de la red, el cual afecta el acceso inmediato de los usuarios a la misma e impide a un aprovechamiento adecuado del tráfico cautivo en zonas determinadas, ocasionando por consiguiente una menor cantidad de ganancias de los que son posibles alcanzar.

### 1.1.3 Cobertura

Estas hacen referencia a las zonas donde es posible acceder a la red celular sin ningún tipo de limitación, y en donde los niveles de señal superan un valor predefinido de acuerdo al tipo de morfología; estos pueden ser llamados como: zona de cobertura “indoor” o zona de cobertura “outdoor”.

### 1.1.4 Interferencia

Se refiere a la evaluación de la relación entre la portadora emitida por una celda transmisora y las emisiones del mismo valor de la portadora o de las provenientes de una portadora adyacente, perteneciente a otras celdas y se representa como:

- $C/I_c$ , para la relación de las señales con el mismo valor de la portadora.
- $C/I_a$ , para la relación de las señales con el valor de la portadora adyacente.

## 1.2 Establecimiento de los objetivos de Optimización

Los objetivos de la optimización deben centrarse en la mejora del servicio prestado por el operador a través de la ejecución de diversas tareas, tales como:

### 1.2.1 Mejoramiento de la cobertura

Consiste en mejorar los niveles de señal en toda el área de cobertura objetivo, a fin de asegurar una adecuada cobertura indoor y outdoor, para lo cual puede ser necesario realizar ajustes de azimuth y tilt en los sectores que sean necesarios de acuerdo al análisis realizado.

### 1.2.2 Dimensionamiento de la red de radio

Durante el planeamiento de la red celular se requiere conocer los sitios objetivos de cobertura, así como definir el porcentaje del área a cubrir donde se garantizará un nivel suficiente de señal indoor, tomando en cuenta esos parámetros iniciales y con el uso de herramientas de simulación de cobertura y de capacidad, se determinará el tamaño final de la red celular, así como el total de los elementos que serán necesarios implementar tanto a nivel de NSS y BSS, a fin de satisfacer los requerimientos proyectados.

### 1.2.3 Estrategias del planeamiento de frecuencias

El principal objetivo del planeamiento de frecuencias es maximizar el flujo de la información (voz o datos), sobre la interfase de radio en forma simultánea que la eficiencia de la infraestructura de la red de radio. En el planeamiento de sistemas celulares es muy usado el reuso de frecuencias, de tal forma de tener la mayor cantidad

de transmisores por sitio sin llegar a degradar la calidad del servicio. Se usan los siguientes criterios para el planeamiento de frecuencias:

- Definir una separación de la banda de frecuencias entre las BTSs macrocelulares y microcelulares.
- Definir una separación de la banda de frecuencias entre las capas de BCCH y TCH.
- Definir factores de reuso diferentes para las capas de BCCH y TCH.

Estos requerimientos de configuración nos permitirán asegurar una buena calidad de radio al menos en cierta parte de la red de radio así como simplificar el proceso de planificación de frecuencias a fin de evitar errores fatales tanto como sea posible.

Una configuración adicional para el planeamiento de frecuencias pueden ser implementado, esta es el Frequency Hopping, el cual mejora la relación C/I y el factor de reuso de frecuencias, permitiendo el aumento de la capacidad de la red de radio. Asimismo, la mejora de la capacidad final depende del número de canales y del ancho de banda de la frecuencia. Existen dos tipos:

- Hopping de Banda Base, es un feature básico del sistema GSM, cuyo funcionamiento consiste en que la llamada es conmutada entre diferentes transmisores (o frecuencias) periódicamente y aleatoriamente durante la conexión, tomándose en cuenta que el time slot del BCCH no puede ser conmutado porque este tiene que ser enviado a la misma frecuencia todo el tiempo.
- Hopping Sintetizado, este método difiere del anterior en que exige más requerimientos del sistema y tiene mayor flexibilidad. En primer lugar el Hopping sintetizado significa que la frecuencia puede ser cambiada en cada uno de los transmisores entre time slots. Además, esto significa que el total de las frecuencias disponibles pueden ser re-usadas en cada transmisor, con el consiguiente incremento de la performance del hopping. Este método que usa todas las frecuencias en todas las BTSs, usa el patrón llamado factor de reuso 1/1; el otro patrón comúnmente mencionado es el 1/3, el cual significa que la banda de frecuencias esta dividida en tres grupos.

#### **1.2.4 Determinación de los indicadores de calidad**

Los indicadores de calidad comúnmente usados en los sistemas GSM son aquellos que miden la tasa de llamadas caídas, las fallas de handover, y la accesibilidad; para los cuales tienen que establecerse determinados valores objetivo, a ser utilizados durante el

proceso de la optimización. Para el caso de la optimización de la ciudad de Trujillo fueron utilizados estos para definir el momento del logro del objetivo.

Adicionalmente, se pueden tomar en cuenta otros indicadores tales como el tráfico cursado por el sector, el cual es medido a través de la ocupación, y la medición de calidad de las llamadas utilizando ya sea el BER (cuando se tienen frecuencias fijas) o bien el FER (cuando ha sido implementado el Frequency Hopping).

### 1.3 Proceso de evaluación de la Red de Radio en la ciudad de Trujillo

#### 1.3.1 Evaluación de la cobertura

Las gráficas adjuntas muestran la cobertura del conjunto de sitios involucrados en la zona a ser optimizada.

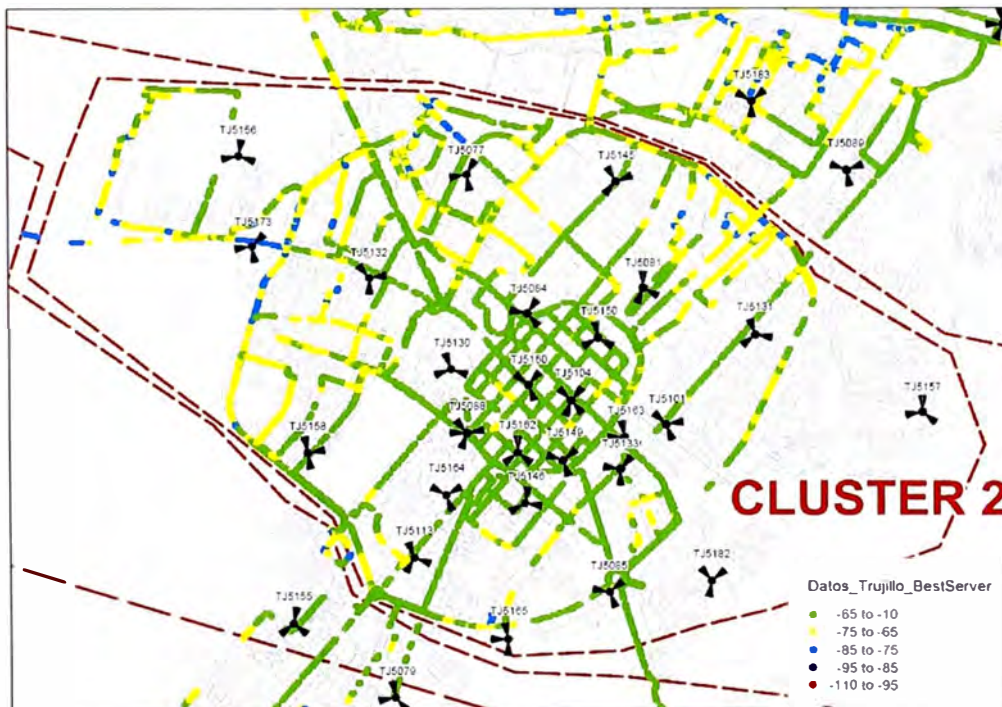


Fig. 1.1 Niveles más fuertes de RSSI medidos por escáner

Donde se pueden observar zonas donde los niveles de señal están por debajo de -75 dBm, lo que nos da una referencia de las zonas donde se requiere trabajar con mayor prioridad. Además es necesario evaluar las coberturas correspondientes a cada sector, a fin de que los mismos no se extiendan más allá de lo que debe tener cada uno como cobertura que pueda garantizar niveles indoor adecuados ( $> -75$  dBm).

### 1.3.2 Evaluación de la capacidad

Las configuraciones de capacidad que se encontraron en cada uno de los sitios, dentro del cluster 2 a ser optimizado, se muestran en la tabla 1.1.

TABLA N° 1.1 Configuraciones de capacidad – Cluster 2

Cluster 2		Número de transmisores			
Sitio	Nombre	Sector 1	Sector 2	Sector 3	Sector 4
TJ5077	Da Silva	4	4	4	
TJ5081	Caqueta	4	4	3	
TJ5084	Mansiche	4	3	5	
TJ5085	Miguel Grau	5	4	5	
TJ5088	Monserate	5	5	5	4
TJ5101	Trujillo Centro	4	4	4	
TJ5104	Galerías	6	5	5	5
TJ5113	Sede Trujillo	4	4	3	
TJ5130	Daniel Carrión Trujillo	3	5	5	
TJ5131	Guzman Barrón	7	5	6	
TJ5132	Santa Inés	3	4	4	
TJ5133	Los Incas Trujillo	3	4	3	
TJ5145	Hermilio Valdizán	8	5	5	
TJ5146	Villanueva	3	3	3	
TJ5149	Bolognesi	4	3	3	
TJ5150	Plaza de Toros	4	4	3	
TJ5156	Los Cedros	4	4	3	
TJ5157	El Bosque	4	2	4	
TJ5158	Trupal	3	3	4	
TJ5160	El Libertador	3	4	3	
TJ5162	Pizarro	2	2	3	
TJ5163	Chicago	3	4	5	
TJ5164	Mar Picante	3	3	3	
TJ5165	Costa Rica	3	5	5	
TJ5173	El Cortijo Trujillo	3	3	3	

### 1.3.3 Evaluación de la interferencia

La figura 1.2 muestra el estatus de los valores de portadora sobre interferencia (C/I), a nivel de todo el conjunto de sitios considerados en la zona a ser optimizada.

Donde claramente se pueden observar zonas donde el valor de C/I es muy bajo (valores inferiores a 10), lo que nos indica que existen varias portadoras entre las cuales no hay una dominante, pues llegan con valores similares a esta zona; esto debido a que existe un traslape de coberturas entre sectores, lo cual requiere un análisis detallado a fin de ajustar las mismas variando el tilt y/o azimuth, donde se evalúa como tarea necesaria lograr la mejora en los niveles de C/I.

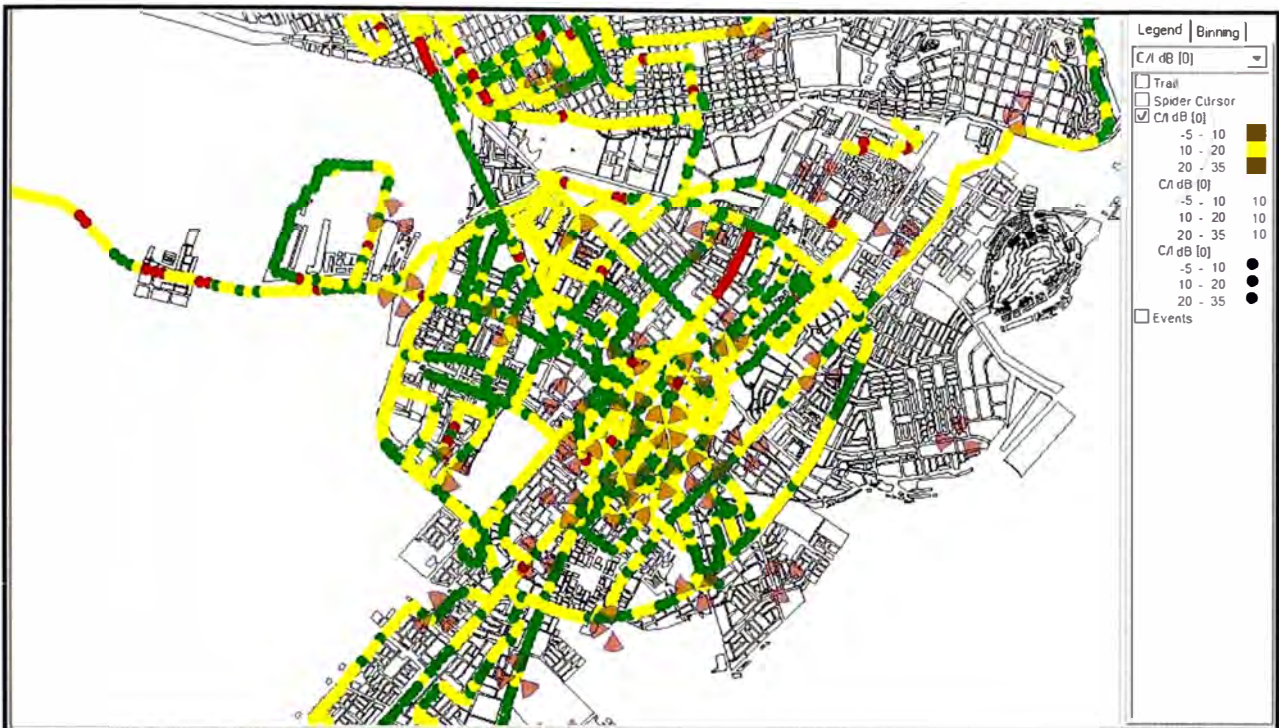


Fig. 1.2 Niveles de C/I medidos en la zona a ser optimizada

### 1.3.4 Evaluación de los indicadores de calidad (KPIs)

- La figura 1.3 muestra el estatus de las llamadas caídas a nivel de todo el conjunto de sitios considerados en la zona a ser optimizada (cluster 2).

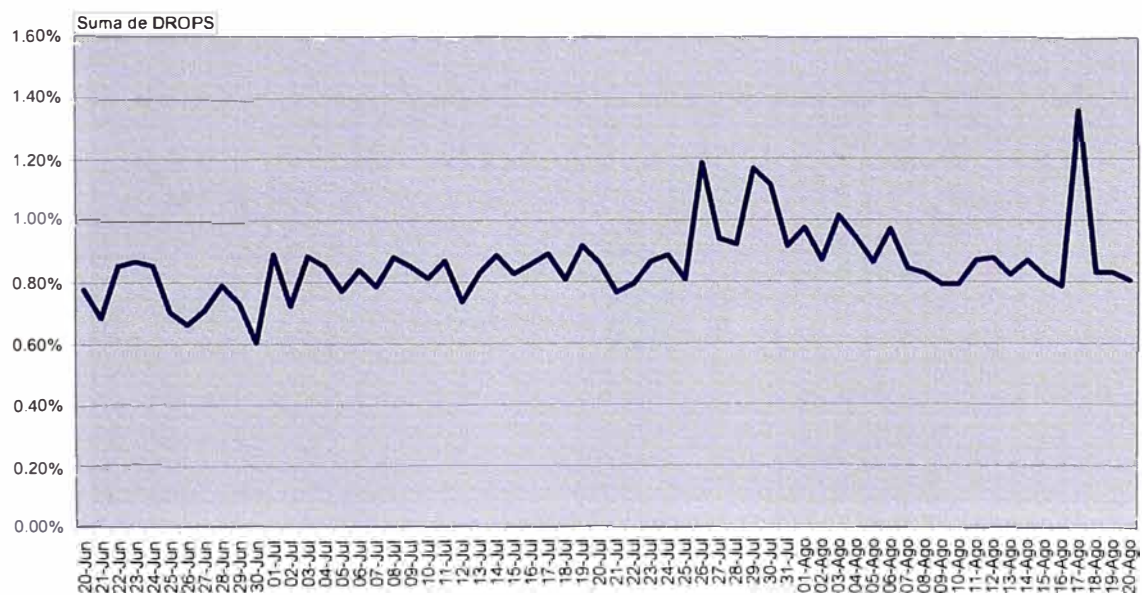


Fig. 1.3 Tasa de llamadas caídas antes de las acciones de optimización

- La figura 1.4 muestra el estatus de la congestión en los sectores a nivel de todo el conjunto de sitios considerados en la zona a ser optimizada.

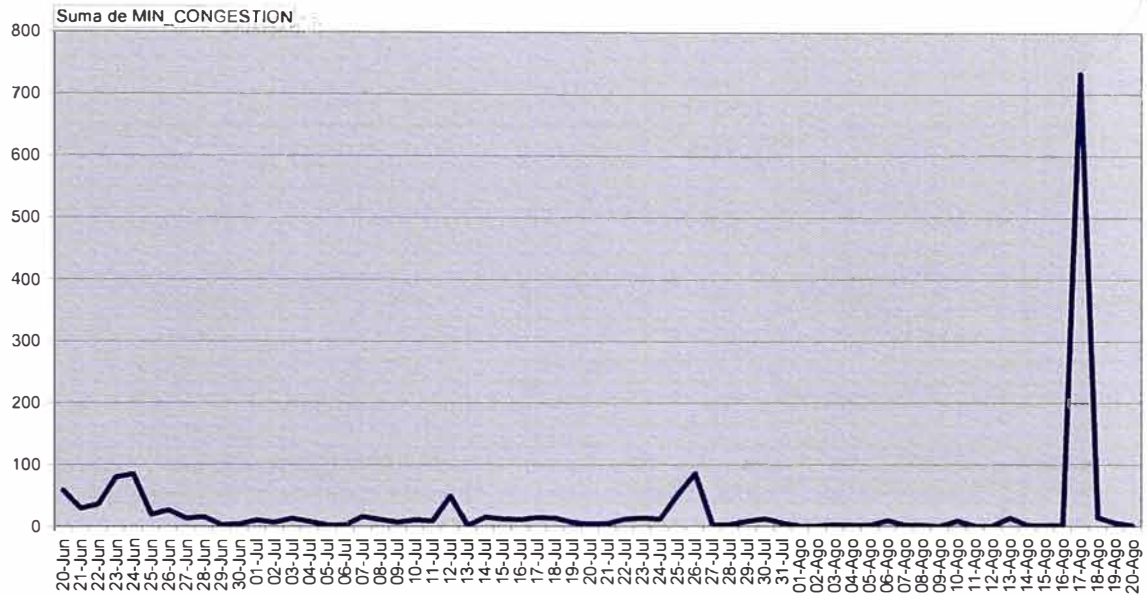


Fig. 1.4 Congestión en la hora pico del total de sitios del Cluster 2

- La figura 1.5 muestra el estatus del tráfico de voz en los sectores a nivel de todo el conjunto de sitios considerados en la zona a ser optimizada.

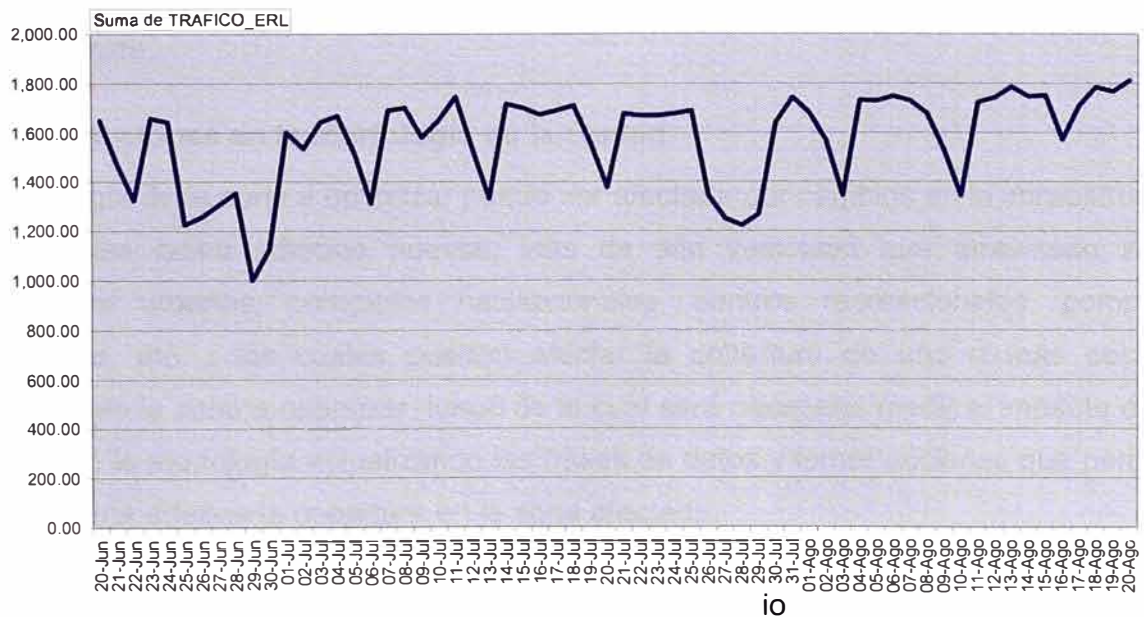


Fig. 1.5 Evolución del tráfico de voz del total de sitios en el Cluster 2

- La figura 1.6 muestra el estatus de la accesibilidad de los sectores a nivel de todo el conjunto de sitios considerados en la zona a ser optimizada.



Fig. 1.6 Evolución de la accesibilidad de los sitios del Cluster 2

## 1.4 Limitaciones del Proceso de Optimización

Existen varios factores que pueden influir en la optimización, prolongando esta en algunos casos, haciéndola mas compleja en otros, o también predictiva que requiere tomar en cuenta eventos a largo plazo, así como analítica a fin de resolver problemas en forma eficiente.

### 1.4.1 Variaciones en la morfología de la ciudad

La morfología de la zona a optimizar puede ser afectada por cambios en la infraestructura urbana, tales como edificios nuevos, vías de alta velocidad que atraviesan zonas densamente urbanas, complejos habitacionales, centros recreacionales, complejos comerciales, etc. ; los cuales pueden afectar la cobertura de uno o más sectores servidores en la zona a optimizar, luego de lo cual será necesario medir el impacto de los cambios en la morfología actualizando las bases de datos y tomar acciones que permitan mantener una adecuada cobertura en la zona afectada.

### 1.4.2 Variaciones de tráfico en zonas hot spot

La optimización debe tomar en cuenta las zonas donde se llega a tener alto tráfico ya sea este eventual o bien sea constante, a fin de tomar las medidas anticipadas que permitan atender a tiempo esta demanda requerida, sin llegar a la situación de que el usuario perciba en algún momento problemas en la calidad del servicio en la zona a optimizar.



### **1.4.3 Influencias del tipo de plan de frecuencias usado**

El plan de frecuencias a ser implementado durante el proceso de optimización debe tomar en cuenta la flexibilidad de poder incrementar la capacidad instalada para cursar tráfico, de acuerdo a los requerimientos; sin tener que llegar a la situación de perjudicar los niveles de C/I en forma abrupta y por lo tanto afectar la calidad del servicio percibido por el usuario. Para lograr este objetivo se hace necesario el uso en una primera etapa de una asignación de frecuencias fijas para cada transmisor, basándonos en un factor de reuso tanto para la capa de BCCHs, así como para la capa de TCHs. Luego a medida que el tráfico cursado se va incrementando se deberá implementar un plan de frecuencias que requiera el uso del Frequency Hopping, que nos permitirá aumentar enormemente la capacidad de crecimiento de los transmisores sin impactar en gran medida en los niveles de C/I de la zona a optimizar, manteniendo una buena percepción del servicio brindado por el operador. Para el caso del cluster a optimizar será necesario la implementación del Frequency Hopping sintetizado, debido a que el tráfico de los sitios involucrados se encuentran en crecimiento permanente.

### **1.4.4 Complejidad en la ubicación de nuevos sitios requeridos**

Durante el despliegue de los sitios, de acuerdo al estudio realizado para el dimensionamiento de la red, se presentan situaciones que hacen complicada la ubicación de nuevos sitios, las cuales pueden deberse a: las negativas de los vecinos cercanos al lugar propuesto para construir el nuevo sitio, zonas de búsqueda que coincide con áreas arqueológicas, desacuerdo con el valor del arriendo, fallas estructurales de la edificación propuesta para construir el sitio, permisos municipales, etc. Todas estas situaciones impiden un rápido avance en el despliegue a tiempo de la infraestructura requerida, lo cual obliga a realizar acciones de optimización temporales hasta completar la infraestructura final.

### **1.4.5 Variación en los parámetros de red por modificaciones en la topología**

A medida que se va realizando el despliegue de una red, se hace necesario modificar las interconexiones entre las BTSs con los BSCs, y entre los BSCs con los MSCs, tomando en cuenta la distribución geográfica de cada uno de estos elementos y de la carga de tráfico que cursa por cada uno de ellos, a fin de brindar permanentemente un servicio adecuado a los usuarios. Por lo cual, se requerirá cambiar los valores de LACs y RACs en las BTSs, la actualización de los parámetros de adyacencias en las fronteras entre los BSCs, y otros; a fin de que no se afecte la calidad del servicio brindado al usuario.

## **1.5 Síntesis del proceso de optimización**

El proceso de optimización consta de varias etapas, las cuales se dan de una manera cíclica y se prolongan en el tiempo hasta cumplir los requerimientos establecidos como objetivo. Estas son:

### **1.5.1 Auditoría de la red a optimizar**

Consiste en el levantamiento de la información correspondiente a los parámetros físicos y lógicos de los sitios involucrados en el cluster a optimizar, a fin de tener la información de los valores iniciales de los mismos, y así comparar posteriormente los cambios que han sido requeridos como resultado de la optimización, luego de lograr una mejora en la calidad del servicio prestado al usuario. Los parámetros físicos o de ingeniería se refieren al sistema radiante, tales como: azimuth, tilt, tipo de antena, altura de torre, etc. Los parámetros lógicos se refieren a los parámetros de configuración de cada una de las BTSs, y demás parámetros relacionados a las mismas que se encuentran tanto en el BSC y el MSC. Esta auditoría debe realizarse en el menor tiempo posible, con el fin de tomar una “foto” instantánea de la configuración de los sitios involucrados en el cluster a optimizar.

### **1.5.2 Realización de las pruebas de drive test**

Las pruebas de drive test deben ser realizadas tratando de abarcar en lo posible toda el área definida en el cluster a optimizar, configurando los equipos de medición de tal forma de coleccionar en forma simultánea la información medida por el MS y por el escáner y así poder utilizarlas como una información de entrada para el proceso de optimización. Se requiere para esta tarea el uso de un vehículo, de equipos de medición GSM, un ingeniero de radiofrecuencia y de un conductor.

### **1.5.3 Análisis de la información recolectada**

Toda la información recolectada tanto del equipo de medición, así como de las estadísticas de la Red, nos permitirán analizar y encontrar una solución a los problemas que puedan estar siendo percibidos por el usuario. Luego, en conjunto con las estadísticas del sistema conseguir evaluar la continuidad de la optimización en la zona del cluster.

### **1.5.4 Modificaciones planteadas a la red**

Luego del análisis de la información recolectada se proceden a plantear modificaciones a la red, las cuales pueden ser cambios en los parámetros del sistema radiante o bien cambios en los parámetros de configuración del sitio. Estos cambios deben ser

registrados detalladamente a fin de poder tener un histórico por cada sitio y así realizar un análisis completo, que en su conjunto puedan contribuir a la solución de los problemas reportados en el Top de KPIs, mejorando así la percepción del usuario sobre la calidad del servicio.

#### **1.5.5 Conclusiones parciales y replanteo de la optimización**

Luego de realizados los cambios propuestos se pueden evaluar los resultados de los mismos, y obtener conclusiones que nos permitirán decidir si se ha alcanzado los objetivos definidos para los KPIs, dando por concluida la optimización; o bien si el proceso de optimización deberá continuar bajo los mismos lineamientos o con un replanteo de estos a fin de conseguir mejorar los KPIs en la forma requerida. Siempre se debe tratar de buscar soluciones de optimización lo más eficientemente posible y de resultados inmediatos, repitiendo el proceso tantas veces como sea necesario hasta alcanzar los requerimientos definidos para los KPIs.

## CAPÍTULO II

### INTERFASE DE RADIO

#### 2.1 Radio Propagación

##### 2.1.1 Definición del sistema de red de radio

La red móvil GSM tiene tres principales subsistemas: el network subsystem (NSS), el network management subsystem (NMS) y el base station subsystem (BSS) los cuales son ilustrados en la figura 2.1.

El network subsystem (NSS) contiene la parte de conmutación del sistema GSM, y esta formado por el Mobile Switching Center (MSC) y el Gateway Mobile Switches Center (G-MSC) a través del cual se establecen los puntos de interconexión con las diversas redes ya sean las móviles GSM, otras redes móviles así como con la PSTN (Public Switch Transmission Network). Otro elemento adicional es el Network Management System (NMS) el cual contiene el equipamiento para la operación y mantenimiento de la red móvil tal como el Operation and Maintenance Center (OMC). Finalmente, tenemos al base station subsystem (BSS) el cual contiene el equipamiento para manejar la interfase de radio entre la estación móvil y la red de radio celular. El cual esta formado por el Base Station Controller (BSC) que está en medio entre la Base Transceiver Station (BTS) y el MSC, y que controla las funciones principales de los Mobile Station (MS) y de las Base Stations (BTS).

Las BTSs tienen una conexión de radio con los MSs, y estas representan una interfase física de radio de la red móvil como se ilustra en la figura 2.1. Es decir, la BTS es capaz de comunicarse con los MSs sobre una cierta área de cobertura y ofrecer la suficiente capacidad (canales de tráfico) para realizar esta comunicación (incluyendo la transferencia de señalización para voz y datos). Es necesario notar que la BTS por sí sola, puede manejar típicamente de 1 a 6 áreas de cobertura independientes o sectores, cada uno de los cuales contienen un grupo independiente de transmisores (frecuencias). Estas áreas de cobertura pueden ser obtenidas usando antenas omni-direccionales o direccionales tanto para la trasmisión y para la recepción. La figura 2.2 muestra una

BTS con un sector (antena de transmisión y recepción omni-direccionales), también muestra una BTS con dos sectores (antenas direccionales de haz horizontal ancho), y finalmente una BTS con tres sectores (antenas direccionales de haz horizontal angosto).

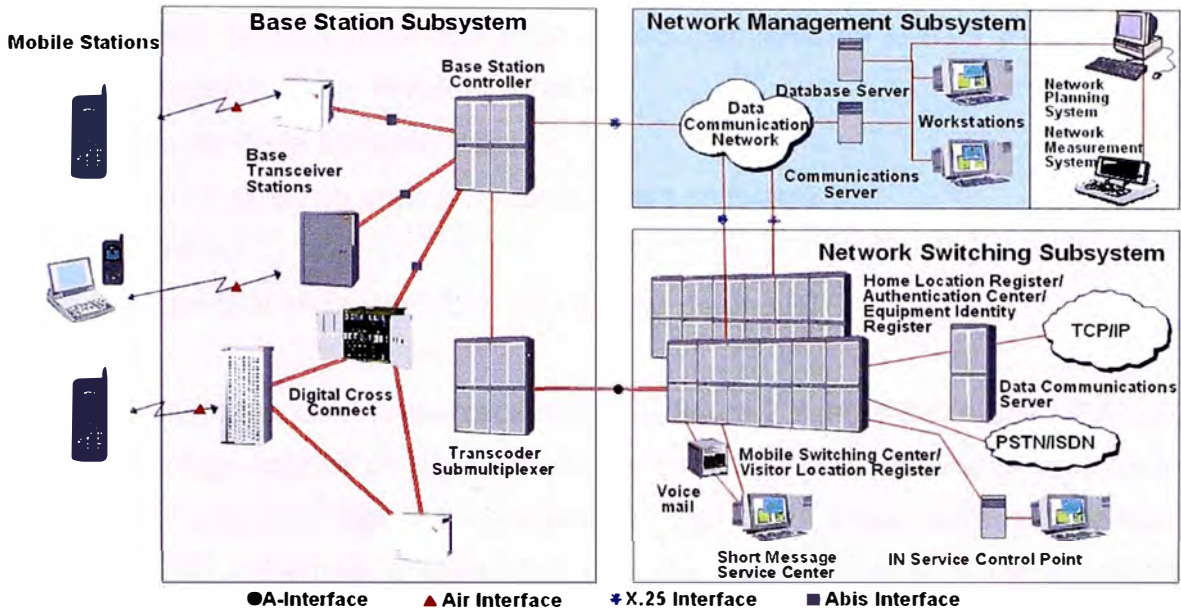


Fig. 2.1 Arquitectura de Red GSM [1]

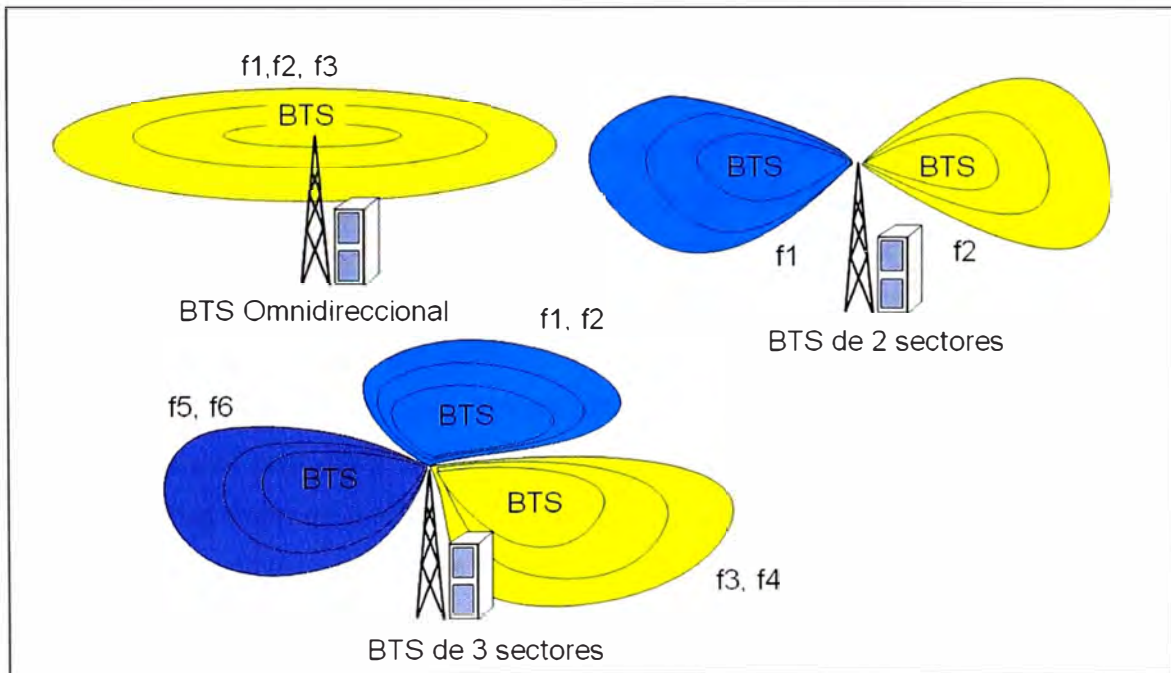


Fig. 2.2 Configuraciones de BTS [1]

Estación Base como término es inadecuado para describir todas las partes relacionadas y usaremos la siguiente terminología y condiciones a fin de hablar con precisión de los ítems correctos:

- Sitio de la Estación base (BTS):

Ubicación física de toda la configuración del equipamiento de la BTS y de las líneas de antena (alimentadores que llevan la señal RF).

- Equipamiento de la Estación Base:

Equipamiento sin línea de antena (hardware mas software).

- Celda o Sector:

El área de cobertura en la dirección de la antena de una BTS.

De esta forma, todas las representaciones de la figura 2.2 muestran a una BTS que tiene diferentes configuraciones de Equipamiento de Estación Base y de líneas de antena.

Las celdas omni-direccionales usualmente no son implementadas porque sus propiedades de cobertura y capacidad son las peores. La BTS de 2 sectores es típicamente usada para cobertura de vías de tránsito rurales (carreteras, caminos, etc.) y la configuración de tres sectores para áreas urbanas y rurales, ya que esta provee la mayor área de cobertura (debido a la propiedad de alta ganancia de las antenas direccionales) y además de más alta capacidad (por la sectorización).

### **2.1.2 Red de Radio Celular**

La interfase de radio en las redes celulares móviles está basada en una estructura celular porque las frecuencias a configurarse requieren ser re-usadas debido a que hay una cantidad limitada de recursos de frecuencias y porque hay un enorme número de usuarios compartiendo estos recursos. La infraestructura celular en un área suburbana está descrita como sigue: cada celda contiene el Equipamiento de la Estación Base, la cual transmite y recibe voz y/o tráfico de datos usando un arreglo de antenas y un determinado grupo de frecuencias. Todas estas frecuencias son rehusadas luego de una adecuada distancia requerida a fin de evitar altos niveles de interferencia. La mínima distancia entre las mismas frecuencias está determinada por el tipo de medio circundante (colinas, árboles, edificios, etc.) que afecta la propagación de radio.

Adicionalmente al medio circundante, la propagación de radio también depende del tipo de arreglo de antenas usada en la Estación Base y de su altura efectiva con respecto a la tierra. Si la ubicación del arreglo de antenas de la Estación Base es muy alta (claramente por encima del promedio de la altura de los edificios en un área urbana), las ondas de radio se propagarán muy lejos causando interferencia en la red celular llegando a ser

fácilmente limitada la capacidad porque estas frecuencias no pueden ser rehusadas fácilmente en la misma área debido a la interferencia. Así, el medio de propagación de radio y la configuración del arreglo de antena de la Estación Base determinarán el máximo reuso de frecuencias en el área de cobertura de la red. Además, este máximo reuso de frecuencias definirá una capacidad máxima así como un número mínimo de Estaciones Base a ser requeridas sobre un área de cobertura de la red celular.

### **2.1.3 El medio de propagación de radio**

La propagación de radio (su cobertura y capacidad) dependen del medio ambiente de propagación la cual es típicamente dividida en tres principales clases (urbano, suburbano y rural) y en dos clases especiales (micro celular e indoor). Los tipos de área (urbano, suburbano y rural) están referidos a los obstáculos construidos (por ejemplo edificios) o los obstáculos naturales (por ejemplo árboles), los cuales varían en tamaño y densidad alrededor de las antenas de la BTS y del MS. En las clasificaciones mayores el medio es llamado macrocelular debido a que los arreglos de antena de la BTS está por encima del promedio del nivel rooftop; luego el medio de propagación de radio es llamado micro celular cuando el arreglo de antena de la BTS es implementado debajo del promedio del nivel rooftop.

### **2.1.4 Ruta de evolución de la Red**

Una red de radio se extiende a medida que evoluciona a causa del incremento en tráfico (expansiones de capacidad) y requerimientos de mejores coberturas indoor y outdoor (expansiones de cobertura). Esta evolución puede ser dividida en diferentes fases:

- Desarrollo de la cobertura básica.
- Las primeras expansiones de capacidad y desarrollo de las mejoras de cobertura (cobertura indoor).
- Desarrollo inteligente con mejora en la capacidad al mismo tiempo de una fuerte mejora de la cobertura indoor.
- Desarrollo de las áreas de cobertura de la estación base a través de splitting, micro celular y/o dual band.

Estas diferentes fases de la evolución de la red de radio están directamente relacionadas a los diferentes medios de propagación de radio. En las fases iniciales las estaciones base son mas del tipo macrocelular pero después de realizar el splitting de las mismas, las antenas deberán ser instaladas a ubicaciones más bajas a fin de evitar áreas de cobertura muy grandes, simultáneamente el medio de propagación también cambia hacia

uno de tipo micro celular. El uso de antenas a alturas bajas mejora la capacidad pero al mismo tiempo la cobertura es reducida en forma significativa y por lo tanto son necesarias más y más estaciones base a fin de completar los nuevos huecos de cobertura.

Las diferentes fases de evolución siempre ocurren en forma sucesiva, tal como se puede apreciar:

Primero las diferentes características de hardware y software relacionadas a la capacidad son utilizadas y luego más celdas son implementadas (primero partiendo las estaciones macro hasta llegar a estaciones micro). Finalmente, se procede con la utilización de nuevas bandas de frecuencias (red dual band), el cual es uno de los últimos ítems a ser cubiertos en el proceso de mejora de la capacidad.

## 2.2 Fundamentos teóricos del sistema GSM

Al principio de los 80s era claro que los países europeos usaban diferentes sistemas móviles incompatibles entre si. Al mismo tiempo, la necesidad para los servicios de telecomunicaciones se fue claramente incrementando. Debido a esto, CEPT (Conférence Européenne des Postes et Télécommunications) fundó un grupo para especificar un sistema móvil común para el Oeste de Europa. Este grupo fue llamado "Groupe Spéciale Mobile" y el sistema pasó a llamarse GSM.

Esta abreviación desde entonces ha sido interpretada de otras maneras, pero la expresión mas común hoy en día es **Global System for Mobile Communications**.

### 2.2.1 Configuración de Canales

#### a) Estructura de la trama TDMA

El GSM esta basado en la tecnología TDMA, lo cual significa que los canales (para tráfico y señalización) están separados uno de otro por el tiempo. Esto significa que en el camino de radio entre las antenas de un MS y de una BTS, cada canal tiene un específico tiempo en cada frecuencia durante el cual este puede actuar. La división básica consiste en que una frecuencia esta dividida en ocho "time slots" o "burst" y cada uno de estos burst es un canal individual. Más precisamente, cada frecuencia tiene ocho canales, ya sean canales de tráfico o canales de señalización. Estos ocho canales tienen sus propios "time slots" relacionados al tiempo para transmitir o recibir datos. Asimismo, cada canal tiene un "derecho" para actuar cada octavo time slot.

Cada burst demora 0.577 ms (exactamente 15/26 ms) y dichos ocho bursts demoran 4.615 ms. en total. Hay un par de tipos diferentes de bursts para diferentes propósitos. El contenido de los burst puede variar, pero el tiempo de duración de cada burst es siempre



el mismo. La estructura de los ocho bursts es llamado trama TDMA y la duración de una trama TDMA es llamado el Período Burst. La trama TDMA es la más pequeña y actualmente la unidad básica de una estructura de trama TDMA. El total de la estructura TDMA está compuesto por tramas TDMA, las cuales son colocadas continuamente una después de otra tal como se muestra en la figura 2.3.

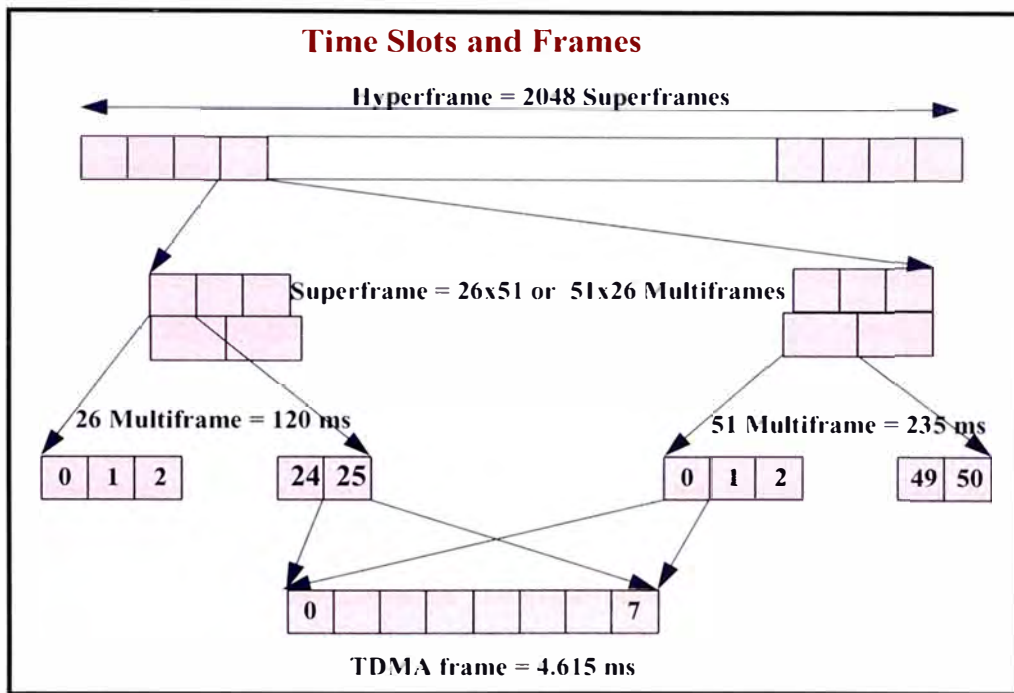


Fig. 2.3 Estructura de la trama TDMA [4]

Como podemos ver, la trama TDMA esta cíclicamente repitiéndose así misma un tiempo después del otro. Ahora, otras tramas de más alto nivel son necesitadas para la estructura de canal GSM. En la figura 2.3, dos tipos diferentes de supertramas pueden ser vistas, repetidas un tiempo después del otro: la Supertrama 26 x 51 y la Supertrama 51 x 26. Estas Supertramas han sido usadas de tal forma que la Supertrama 26 x 51 es usada por time slot con la configuración de canal de tráfico y la Supertrama 51 x 26 es usada por time slot con configuración de canal de señalización. Finalmente, estas Supertramas son repetidas de tal forma que el resultado es una Hipertrama, la cual es la de más alto nivel de las tramas en GSM.

Como se ha mencionado, hay dos tipos principales de canales: los canales de tráfico y los canales de señalización. Los canales de tráfico son usados para el envío de información tales como voz, servicios de datos de fax, etc. y los canales de señalización son usados para las negociaciones entre el MS y la Red, a fin de tomar el control de la

Red. Entre el MS y la Red se están enviando diferentes tipos de mensajes a través de los canales de señalización.

La otra división está entre los tipos de canales full rate y los de half rate. En el canal full rate, la voz ha sido codificada a una tasa de 13 kBit/s, y en el canal half rate, alrededor de 7 kBit/s. En ambos casos, los datos pueden ser enviados a la tasa de 3.6 o 6.0 kBit/s, así como en full rate a 12 kBit/s también. Todos estos canales (tráfico y señalización, full y half rate) tienen un nombre común: canales lógicos.

b) Canales de señalización

i. Canales lógicos

Una MS y una BTS negocian una con la otra. Esta negociación contiene mensajes con gran cantidad de información, siendo todos estos los mensajes necesarios para las diferentes operaciones descritas en las especificaciones GSM (por ejemplo asignación de llamadas, handovers, location updates). A través de estos canales de señalización, se envía toda la información requerida tal como los parámetros necesarios para los diferentes procesos, los resultados de la medición hechos por el MS (nivel de intensidad de señal y calidad), y los Mensajes Cortos.

Como podemos ver, una gran cantidad de información es enviada entre un MS y una BTS, y diferentes tipos de canales de señalización son necesarios para llenar todas estas necesidades. Asimismo, diferentes canales han sido reservados para diferentes propósitos. Estos canales pueden ser divididos en dos clases: canales de control Broadcasting y canales de control dedicados. Los canales de control Broadcasting son usados todo el tiempo (también en modo idle) y los canales de control dedicados son usados solamente en modo dedicado. Ambos canales serán descritos en ambas direcciones (uplink y downlink) separadamente.

En la dirección downlink, la BTS usa cuatro tipos de canales broadcasting para diferentes propósitos: Frequency Correction Channel (FCCH), Synchronisation Channel (SCH), Paging Channel (PCH) y Access Grant Channel (AGCH). En el FCCH, la BTS envía correcciones de frecuencia, y en el SCH, los mensajes de sincronización son enviados. El PCH y el AGCH son usados para la asignación de la llamada de tal forma que el PCH es usado para el paging de un MS, y en el AGCH, la información del SDCCH (a ser explicado luego) es enviado a la MS antes de la asignación de un canal de tráfico al MS.

La BTS usa tres diferentes tipos de canales dedicados para comunicarse con el MS: Slow Dedicated Control Channel (SDCCH), Fast Associated Control Channel (FACCH) y Slow Associated Control Channel (SACCH). El SDCCH es usado para el procedimiento de asignación de la llamada antes de entregar un canal de tráfico a una MS. El SDCCH es

usado también para los Location Updates. Los Mensajes Cortos son también enviados en el SDCCH, todo esto si es que hay suficiente capacidad disponible. El FACCH es usado principalmente para enviar mensajes de Handover y el SACCH es usado para enviar el System Information y los Mensajes Cortos. En la fase 2, el FACCH puede también ser usado para el proceso de asignación de llamadas: respuesta al paging, re-establecimiento de llamada, call setups de emergencia o también en call setups normales.

El CBCH (Cell Broadcast Channel) está también implementado en la fase 2 y permite el envío de mensajes de texto a todos los móviles en una cierta área y grupo de usuarios. El área puede ser tan pequeña como una celda y tan grande como la red entera. Los mensajes son "not acknowledged" y la máxima longitud es 1395 caracteres. El usuario puede filtrar parte de los mensajes a ser recibidos. Hay otro modo de operación llamado recepción discontinua. En este modo el MS solamente escucha al CBCH, cuando hay una información valida para aquel particular usuario (mensaje programado).

En la dirección uplink, una MS envía información a la BTS usando parcialmente los mismos canales como en la dirección downlink. La más grande diferencia comparando con el downlink es que la MS envía a la BTS solamente un canal de broadcasting el cual es llamado Random Access Channel (RACH). En este canal, el móvil envía un requerimiento de servicio a la BTS (o a la Red) en ambos casos ya sea el móvil el originante o el móvil el terminante. Los canales dedicados que el móvil usa son los mismos que los disponibles en la dirección downlink, mientras el uso de estos canales es un poco diferente. El SDCCH es usado de la misma manera que en la dirección downlink: principalmente para asignación de llamadas y para location updates. El FACCH es también usado tal como este es usado en la dirección downlink para propósitos de handover y en la fase 2 para el proceso de asignación de llamadas. Además, el único canal usado en forma diferente es el SACCH, el cual es usado en la dirección uplink, principalmente para el envío de los resultados de la medición realizados por el MS.

## ii. Combinación de Canales

Los Time Slots 0 y 1 en cada TRX son usualmente necesitados para el uso de todos esos canales anteriormente mencionados. Por razones de capacidad, hay dos principales configuraciones para estos canales.

Estructura Canal Combinado BCCH/SDCCH (hasta un máximo 2 TRXs/Celda, figura 2.4)

TS0: BCCH+CCCH /3 + SDCCH/4 en ambas direcciones (uplink, downlink)

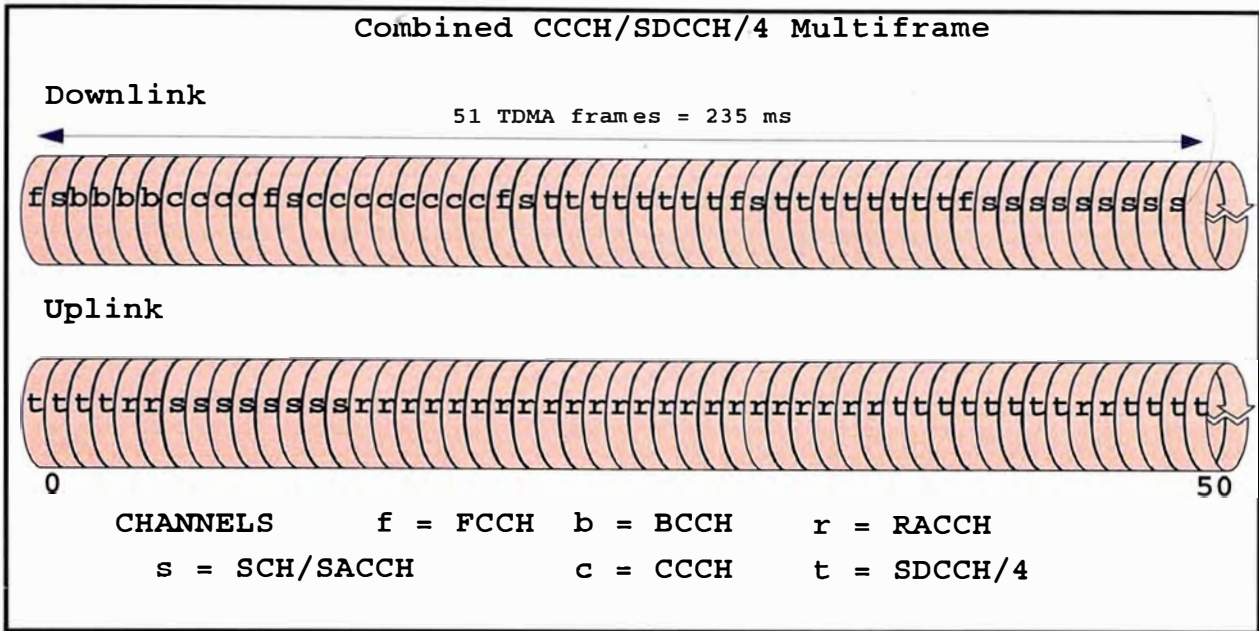


Fig. 2.4 Estructura de canal BCCH/SDCCH [4]

Estructura de Canal Separado BCCH + SDCCH/8 (3-4 TRXs/Celda, figuras 2.5 y 2.6).

TS0: BCCH+CCCH/9

TS1: Todos son SDCCH/8s (uplink, downlink).

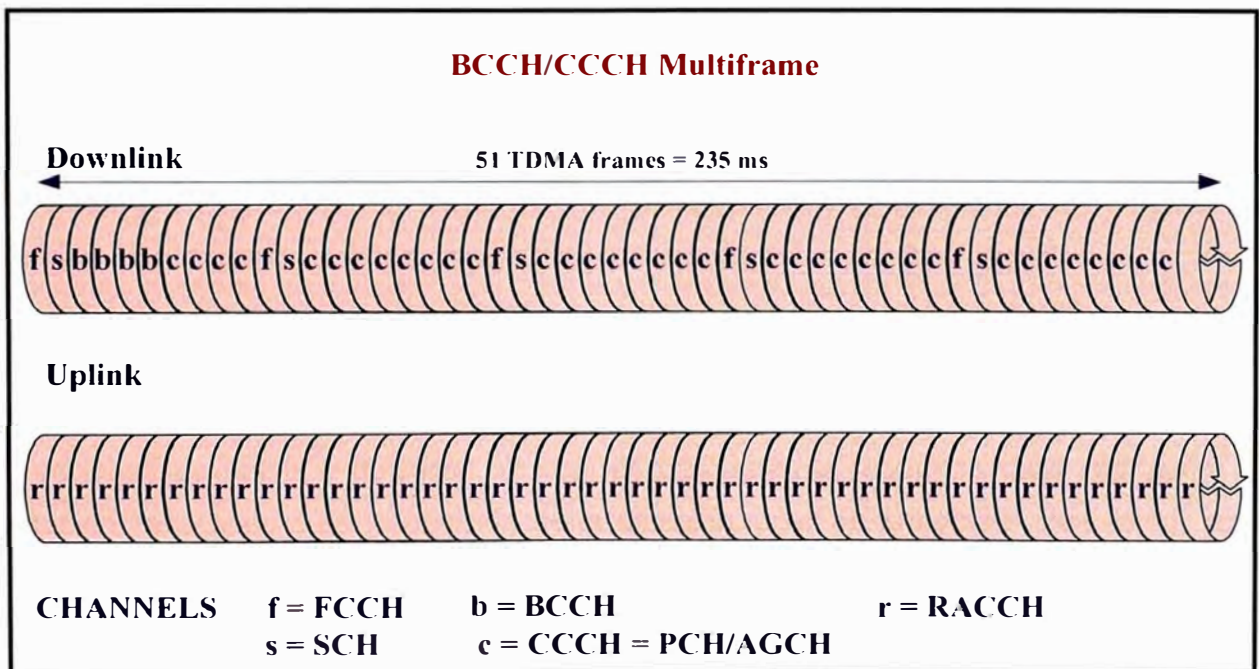


Fig. 2.5 Multitrama BCCH [4]

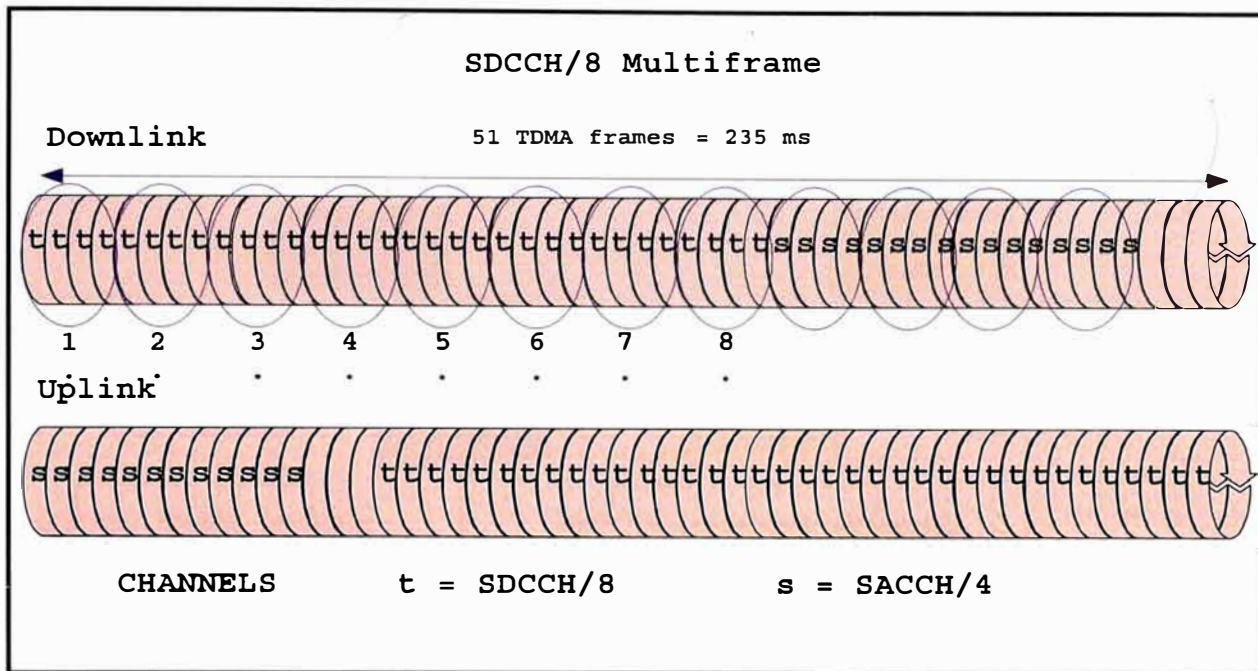


Fig. 2.6 Multitrama SDCCH/8 [4]

Estructura de Canal Híbrido BCCH/SDCCH + SDCCH/8 (3-4 TRXs/Celda)

TS0: BCCH + CCCH/3 + SDCCH/4 (uplink, downlink)

TS1: SDCCH/8s (uplink, downlink).

Esta última configuración da más capacidad SDCCH para el call setup y location update pero menos para el paging y para la asignación de canales (AGCH).

Además, como se ha visto, usualmente 1-2 time slots son necesitados para la señalización. Finalmente, la capacidad de señalización y la necesidad de canales de señalización dependen del paging (PCH) y de los requerimientos de SDCCH.

### iii. Señalización entre la BTS y el MS

Esta se refiere a la señalización de la interface radio entre la BTS y el MS en las direcciones de uplink y downlink, la cual es básicamente requerida para informar a la estación base acerca de la posición de la estación móvil en el campo. Así como, para controlar la conversación de los canales de señalización de ambos modos en IDLE (sin llamada) y DEDICADO (con llamada), estos se dan a través de los canales mostrados en la figura 2.7.

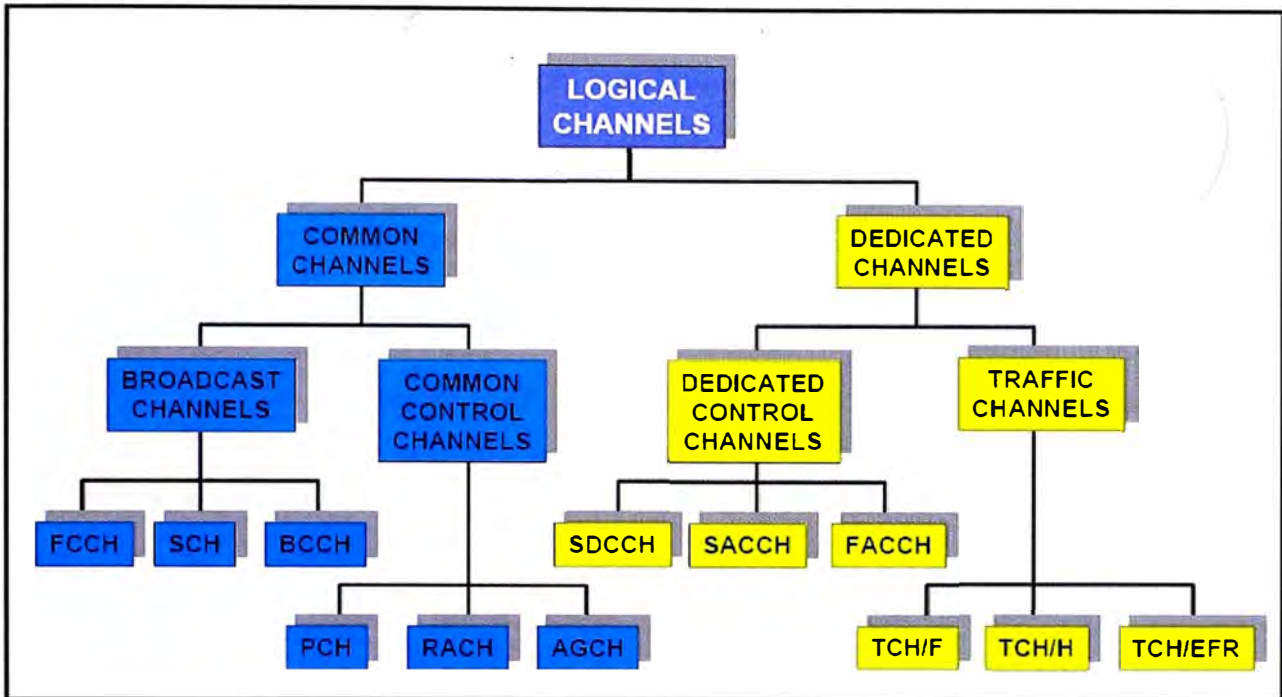


Fig. 2.7 Canales Lógicos [1]

Notar que un “canal” no tiene un significado físico y que estas conexiones, donde la información es transferida entre la estación base y la estación móvil, a pesar que son llamados canales no son realmente canales de frecuencia o time slots (son una parte de los time slots). El significado físico de “canal” de señalización será explicado luego.

#### iv. Señalización de la BTS al MS (idle/dedicado)

La señalización es requerida en la dirección downlink para informar principalmente a la estación móvil acerca de la configuración de la red de radio. Los canales broadcast common channel (BCCH) y common control channel (CCCH) son usados para este propósito. El BCCH contiene la información acerca de la red de radio lo cual es crítico. Si la información del BCCH no puede ser decodificada por la estación móvil esta puede perder la información acerca de los parámetros esenciales que vienen de la red. Los canales CCCH son usados para el paging (PCH) y para el informing (AGCH) a la estación móvil acerca de cual slow dedicated control channel (SDCCH), la estación móvil puede usar antes que tome el canal de tráfico (si el SDCCH es requerido en el establecimiento de una llamada). Por lo cual, el BCCH es enviado en ambos modos idle y dedicado, siendo el PCH disparado en el modo dedicado cuando la llamada termina en el móvil (del tipo MTC). El canal AGCH es usado en el modo dedicado justo después del PCH y del random access channel (RACH) el cual responde al PCH en la dirección uplink.

Los dedicated control channels (DCCH) tales como el slow associated control channel (SACCH), el fast associated control channel (FACCH) y el slow dedicated control channel

(SDCCH) no son usados continuamente, pero sólo cuando son necesarios. Los comandos de control de potencia son enviados en el canal SACCH y dejan algo de espacio para enviar mensajes cortos si esto es requerido. El canal FACCH es usado para los comandos de handover y siendo este canal normalmente un canal de tráfico (TCH) con un flag el cual indica que un TCH es usado para señalización en ese momento. El FACCH es tan rápido como el TCH lo cual quiere decir que este es varias veces más rápido que el SACCH. En consecuencia, no se presentan problemas de retardo durante los handovers. El canal SDCCH es usado principalmente para los mensajes cortos, location updates y para el proceso de establecimiento de llamada. Las capacidades del canal y sus requerimientos son detallados más adelante pero se debe tener presente aquí que los canales de señalización críticos en la dirección del downlink son el PCH, AGCH y SDCCH por la capacidad y el BCCH por la interferencia.

v. Señalización del MS hacia la BTS (idle/dedicado)

La dirección uplink tiene casi los mismos canales que pueden ser encontrados en la dirección downlink pero el uso de ellos es ligeramente diferente. Hay solamente un canal de control común en la dirección uplink llamado el random access channel (RACH) el cual siempre inicia la comunicación entre el MS y la BTS. Si la llamada es originada por el móvil (el usuario del móvil hace la llamada) el canal RACH es enviado primero en el uplink para indicar una necesidad de canal de radio. El sistema responde enviando un AGCH el cual contiene información de cual SDCCH (frecuencia y time slot) puede la MS usar en la próxima transmisión uplink. En el SDCCH la estación móvil envía un requerimiento de servicio (Ej. el establecimiento de llamada de voz o datos), luego se produce la actualización de la localización, la autenticación y del cifrado quedando finalmente lista la conexión para la voz o datos. Si el móvil recibe una llamada (una llamada terminada en el móvil) el procedimiento es el mismo excepto que el paging del downlink en el canal PCH inicia el proceso y luego sigue el RACH.

Si en la dirección del uplink el SACCH está totalmente ocupado enviando los resultados de la medición de la estación móvil de las estaciones base vecinas a la estación base servidora (no hay espacio para ninguna otra información). Entonces el control de potencia tanto como los comandos de handover son enviados en el canal FACCH en la dirección uplink porque el SACCH está lleno. Además, el canal SDCCH es usado también en la dirección downlink para ayudar al SACCH. Tiene que notarse que estos resultados de las mediciones son reportados solo en el modo dedicado ocurriendo que en el modo idle no hay conexión entre la estación móvil y la estación base (la estación móvil solamente recibe información desde la red).

## vi. Canales de Tráfico

Los canales de tráfico usan la Supertrama 51 x 26, lo cual significa que la estructura de la Multitrama de trama-26 es siempre la misma como en la figura 2.8.

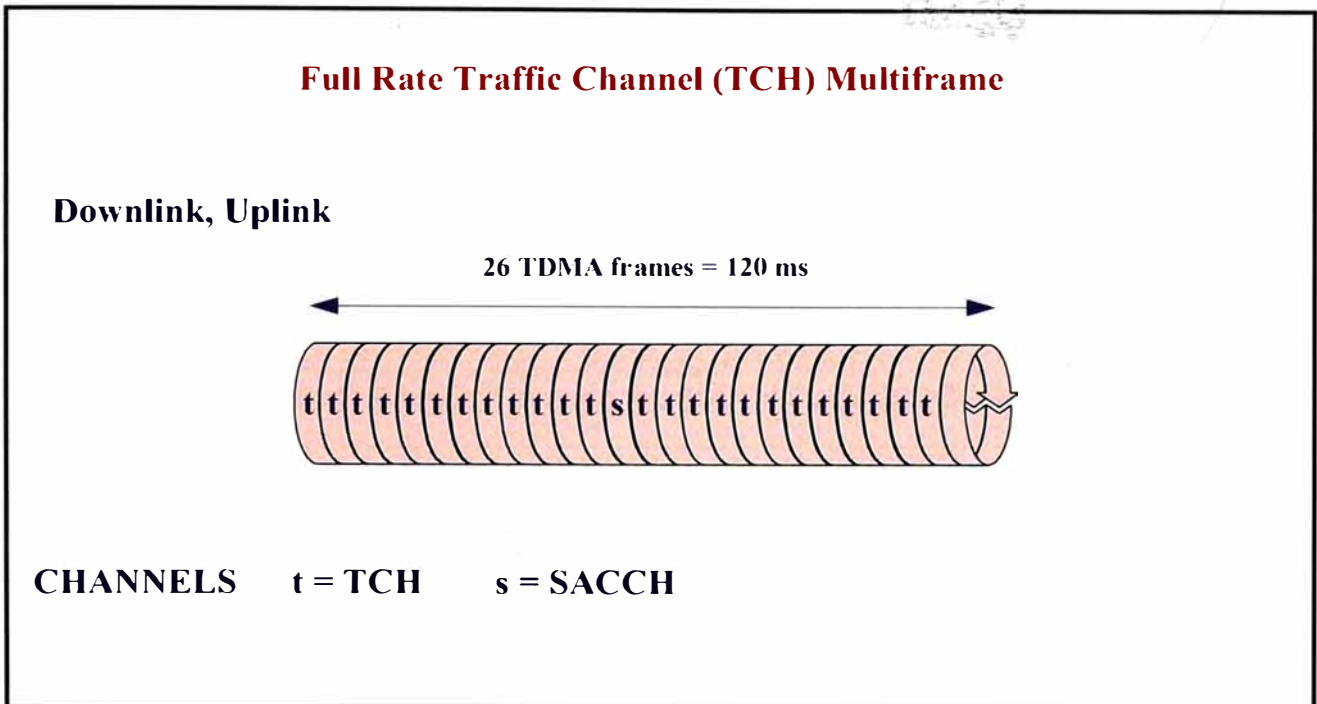


Fig. 2.8 Configuración TCH [4]

## vii. Capacidad (SDCCH, PAGCH)

La capacidad de señalización depende principalmente de la capacidad del canal de paging (PCH) y de la capacidad SDCCH. Ambas capacidades pueden ser calculadas muy fácilmente, y en base a estos cálculos, la configuración de canal final (combinados BCCH/SDCCH o separados BCCH y SDCCH) pueden ser definidas.

El paging es realizado cuando una llamada o mensaje corto es dirigido a un MS. El mensaje de paging contiene la identidad del suscriptor (numero IMSI/TMSI). El móvil reconoce una llamada entrante o mensaje corto por este número.

El MSC envía un requerimiento de paging (el VLR le pregunta al MSC a fin de realizar un page a cierto IMSI/TMSI-móvil) para todos los BSCs dentro del location area (LA) donde el MS es registrado.

Hay contadores en el VLR para los mensajes de paging satisfactorios y para los fallidos, los cuales pueden ser leídos por las mediciones de tráfico.

La capacidad de Paging esta relacionada al número de paging groups, los cuales dependen de la estructura trama/canal y de los parámetros noOfMultiframesBetweenPaging y NumberOfBlocksForAccessGrant, explicados luego.

La capacidad de Paging también da una muy buena visión acerca del tamaño de cada location area (LA), porque los pages (desde la BTS al MS) son enviados sobre el total de



la location area todo el tiempo. Ejemplos de las capacidades de ambos canales aclaran la situación:

➤ Ejemplo de la capacidad SDCCH:

2 TRXs/Celda => 8.11 Erl/Celda

1% probabilidad de bloqueo

1.5 min./llamadas/subscriptor/BH

SDCCH usados para

location updates una vez cada 60 min.

Asignación de llamadas (7 seg./Llamada incluyendo ciphering y autenticacion)

Densidad de trafico 25 mErl/Subs => 325 Subs/Celda

Tiempo de establecimiento de llamada

Tiempo de reservación SDCCH 7 seg. / 3600 seg. = 1.94 mErl

=> 325 llamadas/celda \* 1.94 mErl/Llamada = 0.631 Erl/Celda (SDCCH)

Location update

Location update una vez cada 60 minutos

=> 325 llamadas/celda \* 1.94 mErl/Llamada = 0.631 Erl/Celda (SDCCH)

=> Capacidad SDCCH necesitados 0.631 Erl/Celda + 0.631 Erl/Celda = 1.262 Erl/Celda (SDCCH)

Transformación a canales usando la tabla Erlang B

Probabilidad de bloqueo al 1% (usualmente configurado debajo de 1%, por ejemplo 0,2%) = 5 SDCCHs

En este caso el resultado muestra que no es posible usar una estructura de canal combinado por encima de 2 TRXs/Celda. Este caso ha sido calculado con mucha holgura y el resultado es un poco pesimista.

➤ Ejemplo de la capacidad del PCH:

Configuración de canal de señalización combinado BCCH/SDCCH

1 bloque usado para AGCH -> 2 bloques para paging

máximo 4 mensajes de paging/bloque, usado (TMSI), 3 en promedio

En promedio tenemos que enviar 2 mensajes de paging para llamar a un móvil.

3 pages/bloque x 2 bloques = 6 mensajes de paging (en cada Multitrama de trama 51 = 235 ms)

- Conseguimos 3600 seg. / 0.235 seg \* 6 mensajes de paging = 91915 mensajes de paging en la hora pico
- Podemos llamar 91915 / 2 = 45 957 móviles/BH

Para asegurar que los mensajes de paging alcanzan al MS, el mensaje de paging es enviado varias veces. El procedimiento de repetición es definido en el MSC. Parámetros MSC: Repaging\_Internal (Tiempo entre intentos de paging) y Number\_of\_Repaging\_Attempts puede ser modificado en el MSC.

Los parámetros son definidos en base a una location area (LA). El repaging interno debe ser configurado de tal forma que haya suficiente tiempo entre mensajes de paging

consecutivos. Esto es para evitar que los mensajes sean enviados sobre los mismos mensajes en la interface aire (bloqueo de paging).

El promedio de la información del tiempo de page para una determinada celda puede ser colectado en el reporte de medición de tráfico (en el MSC).

Durante el paging y el procedimiento de establecimiento de llamada, si no hay disponibles canales SDCCH, el BSC ordenará al MS permanecer en el estado idle por un cierto período (indicación de espera). Durante ese tiempo el MS no enviará algún mensaje de channel\_request o respuesta a algún mensaje de paging. Los parámetros deberán ser definidos de tal forma que ningún intento de repaging se pierda durante este período ( por ejemplo el intervalo de repaging interval en el MSC deberá ser unos pocos segundos mas largo que el tiempo de indicación de espera en el BSC).

Los resultados experimentales desde las redes vivas muestran que más de 3 intentos de paging son usualmente innecesarios.

### **2.2.2 Manejo de los recursos de radio**

Esto se refiere al manejo de la conexión de radio entre la estación base (BTS) y la estación móvil (MS). Este manejo tiene que ser hecho cuando la estación móvil está en el modo IDLE o en el modo DEDICATED y puede ser dividido en dos partes principales: el control del modo IDLE y el control del modo DEDICATED. En ambos modos la estación móvil tiene que ser informada del acceso al uso de la estación base y acerca del uso de los recursos de radio de la estación base. Simultáneamente, el sistema de radio controla el acceso y los recursos de radio que son usados por la estación móvil. El manejo del acceso en ambos modos IDLE y DEDICATED contiene un grupo de IDs y un grupo de parámetros para definir cuando la estación base puede ser usada (parámetros de acceso). Simultáneamente, los recursos de radio son controlados por un grupo de parámetros para definir la mejor calidad de radio para la conexión BTS-MS. Estos parámetros de manejo de los recursos de radio realmente controlan en el modo IDLE (primero los IDs y luego el acceso) y en el modo DEDICATED (el acceso, la asignación de los recursos de radio y el liberado de la llamada).

#### **a) Operación en modo idle (no llamada)**

##### **i. IDs:**

Diferentes IDs son requeridos para separar diferentes redes de radio, una de otra. Las frecuencias separan diferentes operadores en el mismo país pero en el borde del área del país las mismas bandas de frecuencia pueden ser usadas y estos diferentes IDs son

definitivamente requeridos. Los IDs de la red de radio también ayudan a la estación móvil para reconocer las estaciones base de la propia red lo cual es crítico para el billing y en situaciones especiales tales como llamadas de emergencia. Además, los IDs de la red de radio pueden ser utilizados en la recolección de datos estadísticos porque los resultados pueden ser conectados a los location areas o a ciertas estaciones base. Los específicos y principales identificadores ETSI son presentados en la tabla 2.1 que muestra dos principales ítems de parametrización llamados: base station identity code (BSIC) y el ID del location area (LAI).

TABLA N° 2.1 Identificadores básicos para definir y separar las BTSs [3],[1]

<b>BS identity code</b>	
Network colour code	0 - 7
BTS colour code	0 - 7
<b>Location area id</b>	
Mobile Country code	244
Mobile Network code	5
Location area code	xxx

El BSIC es actualmente la combinación del base station colour code (BCC) y el network colour code (NCC) y puede ser calculado usando el método del módulo 8 lo cual significa que el valor del BSIC =  $8 \cdot \text{NCC} + \text{BCC}$ . Este valor de BSIC es necesitado para separar las frecuencias co-canal una de la otra cuando las estaciones móviles están midiendo los niveles de potencia recibida de las estaciones base vecinas en la dirección del downlink (ver figura 2.9). Estas mediciones son activadas en las frecuencias BCCH y los resultados son usados para seleccionar la mejor estación base (el mejor servidor) en el modo IDLE, así como para evaluar y activar los handovers en el modo DEDICATED.

Los ID de location area (LAI) es otro grupo crítico de IDs que contienen el mobile country code (MCC), el mobile network code (MNC) y el location area code (LAC). El MCC y MNC son definidos por el MOU (Memorandum de Entendimiento entre los operadores) y los LACs tienen que ser definidos durante el proceso de planning. El mismo LAC tiene que ser usado para la misma location area y es crítico el uso de valores de LAC correctos con el fin de evitar innecesarios location areas y location update. Los IDs de estaciones base no son mencionados en la tabla 2.1 pero ellos están también de acuerdo a lo necesitado por cada estación base.

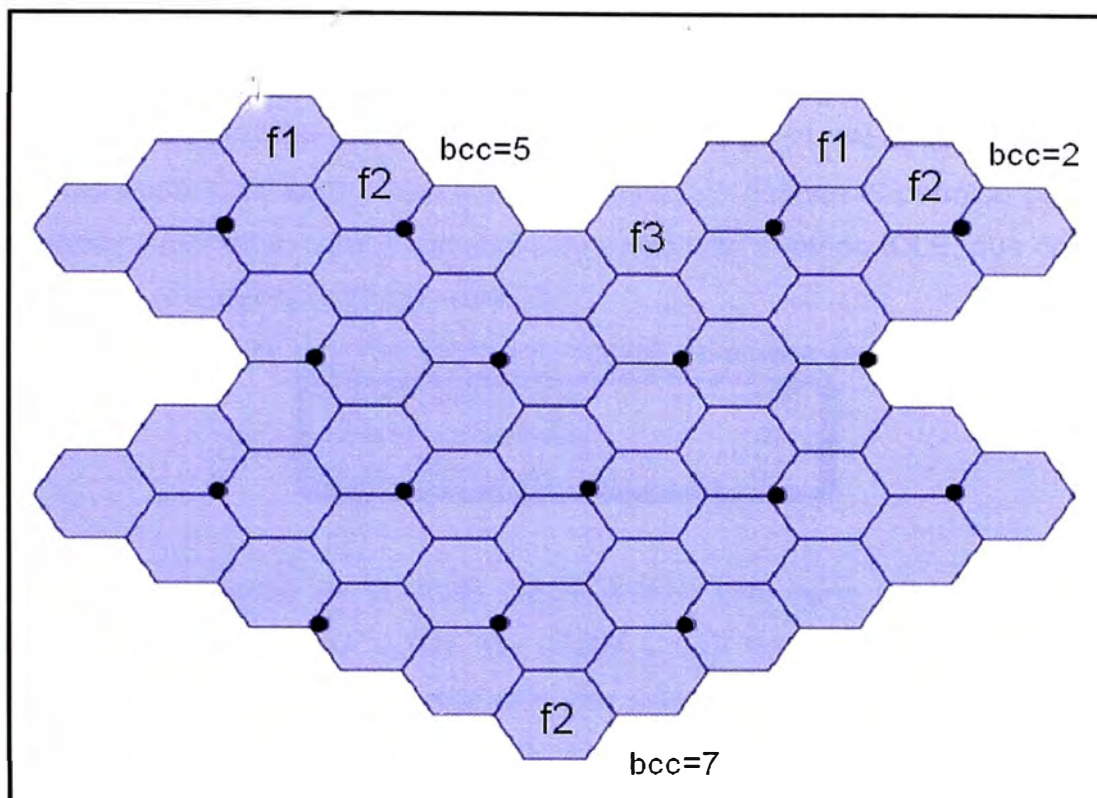


Fig. 2.9 La necesidad de BSIC para el manejo de frecuencias co-canales [1]

ii. Acceso:

Cuando cada estación base tiene sus propios IDs (ID de BTS, BSIC, LAC), el acceso (o control de acceso) a estas BTSs en las diferentes locaciones de la estación móvil tienen que ser definidas. La definición de acceso empieza con los parámetros que definen si es que el uso de una determinada BTS está permitido o no. Es crítico conocer:

- La frecuencia.
- Verificar que la estación base está en "barred" o no.
- Verificar que el re-establecimiento de llamada esté permitido o no.
- Verificar que las llamadas de emergencia están permitidas o no.
- Verificar que determinadas clases de MS no estén permitidas a ser usadas en la estación base.

TABLA N° 2.2 Parámetros de acceso de BTS básicos [1]

Banda de frecuencias en uso	GSM
Cell barred	no
Call re-establishment allowed	no
Emergency call restricted	no
Not allowed access class	
PLMN permitted	0-7

Típicamente, estos parámetros tienen valores fijos los cuales son presentados en la tabla 2.2. El último parámetro en la tabla 2.2 (PLMN permitido), controla las mediciones de la

estación móvil. La estación móvil mide las frecuencias que son obtenidas del sistema reportando y utilizando solamente los resultados de las mediciones que tienen el valor correcto del PLMN permitido. Este parámetro permitido de PLMN es crítico por ejemplo, en las áreas bordes del país. Todos estos parámetros definen el permiso para usar la estación base y preceden a los parámetros de acceso en el modo IDLE, que controlan el enlace de radio (definiendo al mejor servidor).

TABLA N° 2.3 Parámetros de control de enlace de radio [1]

rx_level_access_min	-105
cell_reselect_hysteresis	6
ms_tx_power_max_cch	33

En el modo IDLE (como en el modo DEDICATED) esto tiene que ser definido para encontrar cual estación base pueda ser usada y cual de estas es la mejor servidor. Primero, el parámetro rx\_level\_access\_min (ver tabla 2.3) define el mínimo nivel que la estación base puede usar en el establecimiento de la llamada. Después, este mismo parámetro y el ms\_tx\_power\_max\_CCH (potencia de transmisión máxima de la estación móvil en el establecimiento de la llamada) son usadas en la ecuación 2.1, para definir al mejor servidor.

$$C1 = (A - \max(B, 0)) \quad (2.1)$$

A = nivel de recepción promediado – P1  
 B = P2 – potencia de salida RF máxima del MS  
 P1 = rx\_level\_access\_min  
 P2 = ms\_tx\_power\_max\_CCH

Estos niveles de potencia recibidas desde las BTSs dadas son medidas por el móvil, los valores de C1 son calculados por el móvil y son comparados por el mismo, luego la estación base con el más alto C1 es seleccionada como el mejor servidor (cada 5 seg). Si una estación base tiene el valor de C1 mejor en 1 dB que las otras esta se convierte en el mejor servidor; excluyendo los bordes de location area donde las histéresis son usadas a fin de evitar demasiados location updates. Esta histéresis es definida por el parámetro cell\_reselect\_hysteresis y este es usado cuando se esta comparando los valores de C1 entre las estaciones base de diferentes location areas. La estación base desde la nueva location area es seleccionada como el mejor servidor solamente cuando la misma esta por ejemplo 6 dB mejor.

La más avanzada selección de estación base llamada C2 puede también ser aplicada, por ejemplo en redes multiniveles (banda dual) cuando un nivel es requerido a ser

priorizado para obtener un establecimiento de llamada. La red tiene que indicar a la estación móvil por el parámetro `cell_reselect_param_ind` si es que el móvil tiene que usar el procedimiento de selección C2. Simultáneamente, la red envía los valores del parámetro a la estación móvil para calcular los valores de C2, usando la ecuación 2.2.

$$C2 = \begin{cases} C1 + cell\_reselect\_offset - temporary\_offset * H(penalty\_time - T), \\ penalty\_time \neq 11111 \\ C1 - cell\_reselect\_offset, penalty\_time = 11111 \end{cases} \quad (2.2)$$

$$H(x) = \begin{cases} 1 & \text{para } x \geq 0 \\ 0 & \text{para } x < 0 \end{cases}$$

Un ejemplo básico del uso de C2 es poner el parámetro `penalty_time` `<> 11111` y el `temporary offset` = 0 dB, que se traduce a la ecuación  $C2 = C1 + cell\_reselect\_offset$ . Si el valor del parámetro `cell_reselect_offset` es por ejemplo 10 dB, entonces la estación base candidata a reelección tiene que tener 10 dB más que el valor C2 de la BTS actual y la misma es 10 dB más favorable para quedar seleccionada.

#### b) Acceso/IDs en modo dedicado

La selección de la estación base es la última fase en el control en el modo IDLE antes del procedimiento de establecimiento de la llamada originada por el móvil o de la llamada terminada en el móvil (MOC/MTC). Cuando estos procedimientos han empezado, puede decirse que la estación móvil está en modo DEDICATED y un mayor control es requerido. Antes que todo, la estación móvil aún necesita los mismos IDs que en el modo IDLE y adicionalmente las frecuencias BCCH de las estaciones vecinas a fin de medir las más favorables. Toda esta información es enviada a la estación móvil en los mensajes de información del sistema en el canal de señalización SACCH.

Lo importante en el manejo del recurso de radio en el modo DEDICATED es el control del mismo así como de las frecuencias y de los time slots, mientras que los IDs no están tan involucrados porque ellos son los mismos que en el modo IDLE. Las áreas principales en este control del recurso de radio es la asignación del canal de tráfico y de la influencia de las configuraciones adicionales tales como el frequency hopping. La idea básica de la asignación del canal de tráfico es la minimización de la interferencia tanto en las direcciones del downlink y del uplink. Esto puede ser controlado solamente en la dirección uplink porque la estación base esta midiendo los time slots libres (sin tráfico). Cuando la estación base mide el time slot sin tráfico el resultado es ruido o interferencia (proveniente de los móviles que están usando el mismo canal en otra estación base) porque en esta se conoce que no hay tráfico. Los niveles de potencia medidos son

divididos en diferentes categorías definidos por parámetros y el time slot con el nivel de interferencia más bajo puede ser seleccionado para una nueva asignación de canal. Las frecuencias son también seleccionadas usando diferentes tipos de algoritmos, como por ejemplo: ya sea preferir frecuencias BCCH o bien usar todas las frecuencias por turno.

Cuando la frecuencia y el time slot son seleccionados en la estación base, la estación móvil tiene que conocer como usar estos dependiendo de las características relativas al uso de la frecuencia a ser aplicada, por ejemplo: el frequency hopping que contiene algunos parámetros adicionales.

### c) Manejo de la movilidad

La señalización toma en cuenta la conversación entre la red y la estación móvil, la cual principalmente contiene la información importante acerca de la red. El manejo de los recursos de radio principalmente se refiere al uso de elementos de radio, como frecuencias y time slots. Consecuentemente las mediciones y handovers, que están estrictamente relacionados al manejo del recurso de radio son considerados como tópicos separados. El manejo de la movilidad existe en todas estas áreas y tiene que ser entendida y subrayada como de aspecto clave en lo relativo a la ubicación del móvil en la red tanto en modo IDLE y en el modo DEDICATED.

El manejo de la movilidad puede ser considerado como el manejo del recurso de radio empezando en el modo IDLE, analizando luego el modo DEDICATED, y finalmente en lo referente a las funciones relativas al liberado de la llamada. En el modo IDLE la red sólo conoce el location area donde la estación móvil se encuentra y usa esta información para el paging. Esta es la razón por la cual la estación móvil tiene que informar a la red cada vez que este cambie de location area. Los parámetros C1 o C2 y el cell\_reselect\_hysteresis puede también ser relacionadas al manejo de la movilidad. En adición, el período de tiempo del location update es usado para asegurarse que la estación móvil está aún en la red y que la información acerca de la estación móvil en la red es aún correcta. Cuando la estación móvil hace una llamada o recibe una llamada esta comienza el modo DEDICATED, luego la red conoce la localización de la estación móvil a nivel de la estación base porque el core de la red (master) controla los recursos de radio y las funciones de la estación móvil basado en las órdenes que provienen de la red (el móvil es esclavo); por ejemplo la red ordena a la estación móvil realizar un handover a una determinada estación base destino. Debido a que las mediciones, los handovers y sus parámetros pueden ser relacionados al manejo de la movilidad (o al manejo de los recursos de radio), cuando el móvil sufre una caída de la llamada o finaliza esta, la llamada termina (liberado anormal) o un normal liberado de llamada

ocurre. Después de la liberación de la conexión la estación móvil tiene que actualizar la ubicación para determinar si esta ha cambiado durante la llamada. Si el área de ubicación es la misma como al comienzo de la llamada de la estación móvil, este empieza a analizar el criterio del C1 o C2. En este modo (IDLE) esta actuando aun el parámetro IMSI\_attach\_detach, el cual controla que la estación móvil ya sea esté prendida o bien apagada. La estación móvil envía el IMSI attach o detach automáticamente (si la función es usada) a la red para informar que la misma está en la red o no aún.

#### d) Protocolos

Los protocolos han sido descritos en las especificaciones GSM muy cuidadosamente. El propósito de estos (en los Recursos de Radio) es describir la señalización entre el MS y la BTS en diferentes situaciones. Los siguientes esquemas muestran los protocolos de las situaciones mas usuales.

##### i. Asignación de canal

La asignación de canal toma lugar cuando el MS realice una llamada (llamada originada por el móvil) o recibe una llamada (llamada terminada en el móvil), ver figura 2.10.

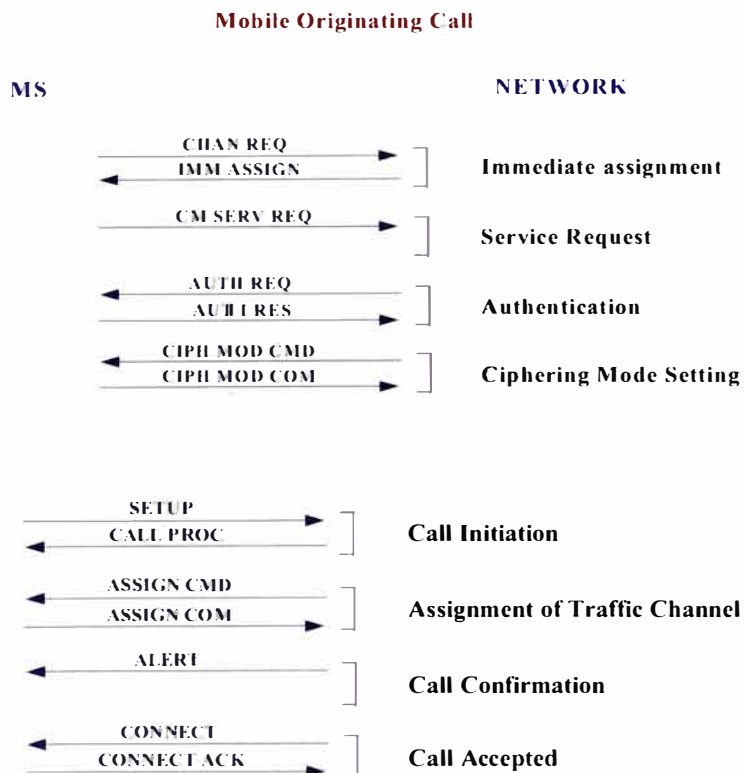


Fig. 2.10 Llamada originada por el móvil [4]



Como puede verse arriba, las principales fases pueden fácilmente ser separadas: Immediate Assignment, Service request, Authentication, Ciphering Mode, Call Initiation, Assignment of Traffic Channel, Call Confirmation y Call Acceptation. Las mismas fases pueden actualmente ser encontradas en Llamada Terminada en el móvil, la cual es descrita en la figura 2.11.

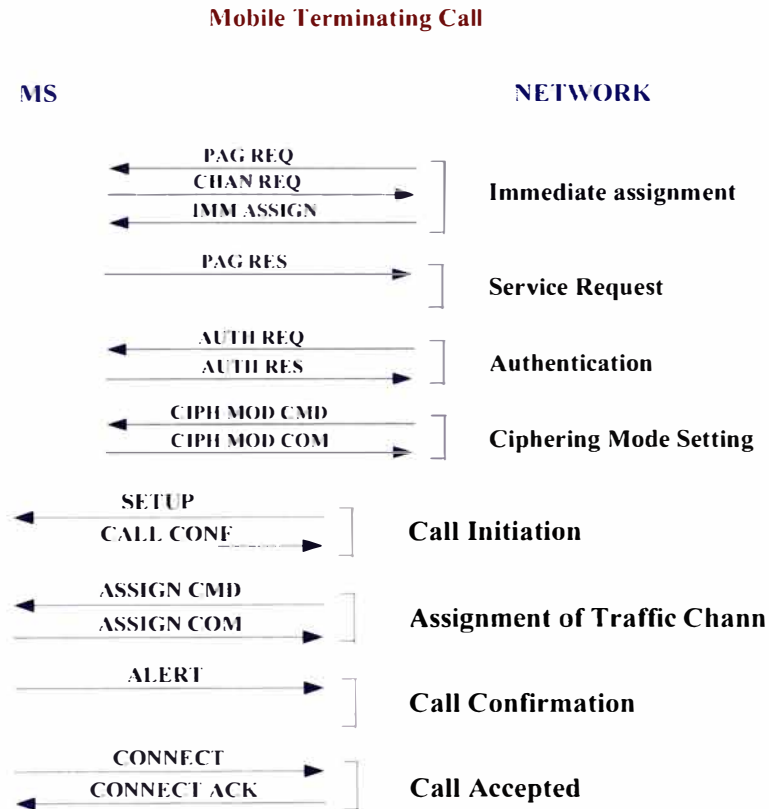


Fig. 2.11 Llamada Terminada en el móvil [4]

## ii. Location Update

El MSC necesita conocer debajo de cual location area el MS puede ser alcanzado. Los location updates son necesitados por esta razón y esta información del location area es necesitada para el paging hecho por la BTS, ver figura 2.12.

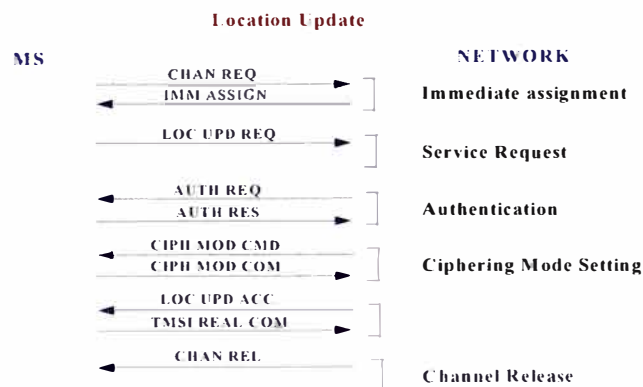


Fig. 2.12 Location Update [4]

## iii. Disconnect

El protocolo disconnect es necesitado cuando la MS o la Red quieren finalizar una llamada por alguna razón, ver figuras 2.13 y 2.14.

### Disconnect, Network Initiated

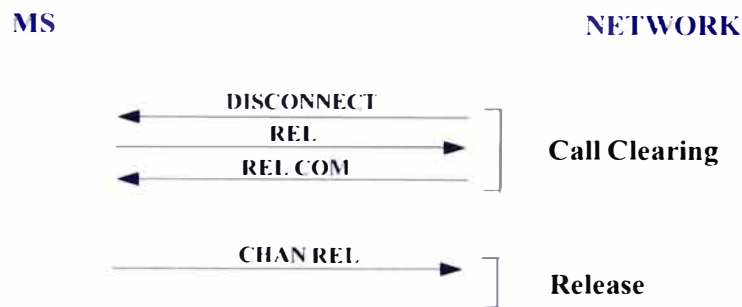


Fig. 2.13 Disconnect, iniciado por la Red [4]

### Disconnect, MS Initiated

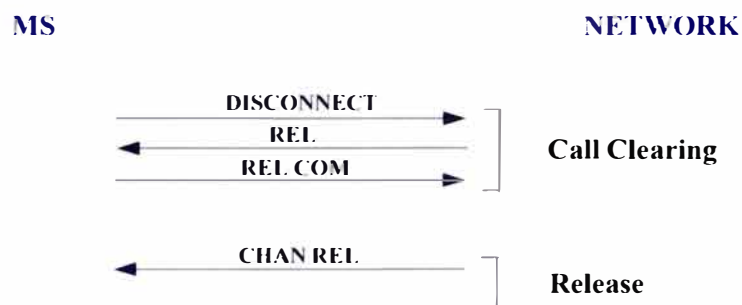


Fig. 2.14 Disconnect, Iniciado por el móvil [4]

## iv. Handovers

En los diferentes procesos de handover, los protocolos son ligeramente diferentes a causa de que en los handovers sincronizados, ninguna información de timing advance es necesitada. Esto reduce el protocolo de tal forma que ninguna información física necesita ser enviada. Ambos casos de handover – sincronizados y no sincronizados – están presentados separadamente. Asimismo el procedimiento de falla de handover ha sido también presentado; ver figuras 2.15, 2.16 y 2.17.

v. Handover sincronizado

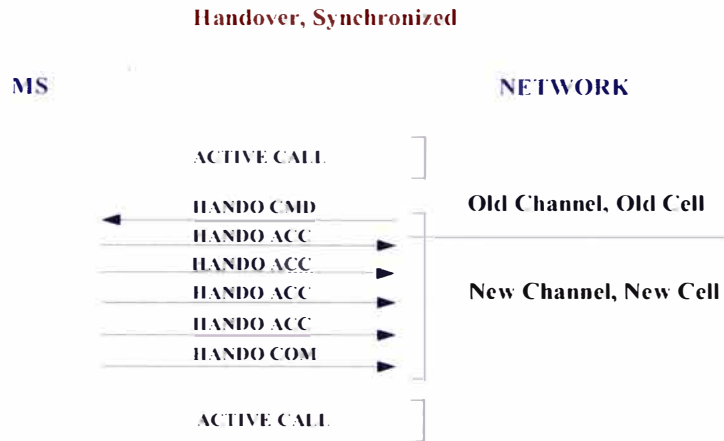


Fig. 2.15 Handover Sincronizado [4]

vi. Handover no sincronizado

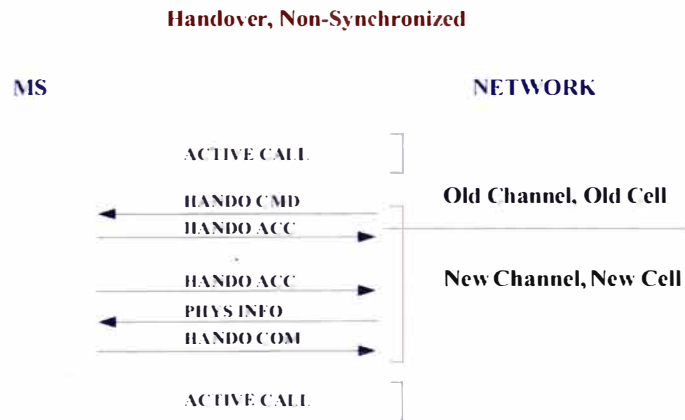


Fig. 2.16 Handover no Sincronizado [4]

vii. Falla de handover

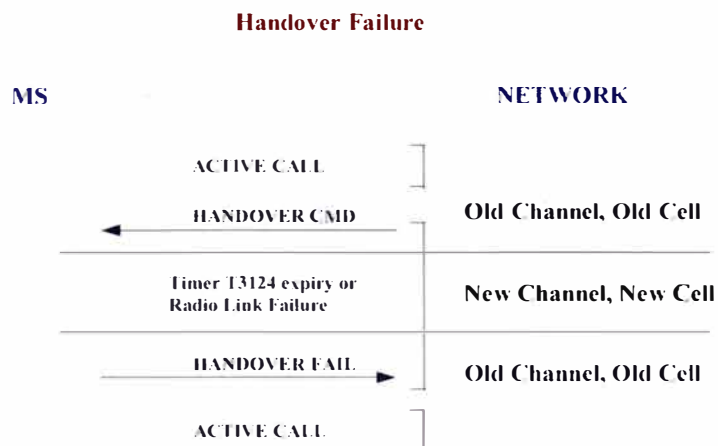


Fig. 2.17 Falla de Handover [4]

### 2.2.3 Mediciones y su procesamiento

Las mediciones son requeridas para controlar el recurso de radio y el manejo de la movilidad, lo cual significa que la red tiene que ofrecer al mejor servidor (la mejor BTS con la mejor frecuencia y la mejor calidad sobre todas las candidatas) para el MS en las diferentes ubicaciones. Si la BTS vecina tiene la mejor calidad o el mejor nivel de potencia, entonces el handover a esta BTS tiene que ser hecha basado en el criterio de handover. Adicionalmente a estas acciones, los niveles de potencia de los MS y de las BTSs pueden ser controladas a fin de disminuir la interferencia. Este control de potencia está también basado en las mediciones hechas por las BTSs y los MSs.

#### a) Detalles de las mediciones

Las mediciones son hechas en el mismo canal tanto en las direcciones de uplink y de downlink; siendo insuficiente considerar solo las mediciones del MS porque estas contienen algunas limitaciones las cuales no ocurren en la dirección uplink (la BTS tiene el suficiente tiempo y capacidad de procesamiento para hacer las mediciones siempre que sea necesario). El MS reporta (envía) los resultados de la medición de las seis mejores BTSs vecinas (mediciones en downlink) y la BTS servidora (mediciones en uplink) cada 480 ms. Durante este período de SACCH el MS mide las BTSs vecinas (máximo 32 vecinos) y decodifica los BSICs de las mismas. Ocurriendo que los resultados de la medición del MS no son reportados a la BTS si el BSIC no es decodificado o si los resultados de la medición están proviniendo de una BTS que tiene un incorrecto valor de PLMN permitido.

#### b) Procesamiento de las mediciones

Después de las mediciones en las direcciones de uplink y downlink, los resultados de estas son reunidos en la BTS, donde se realiza la pre-promediación si esta fuese requerida. Después de la pre-promediación la BTS empieza a promediar los resultados de la medición o bien los resultados son enviados al controlador de estación base (BSC) donde estos son promediados.

El proceso de promediación (para las direcciones uplink y downlink) es hecha para el bit-error-rate (llamado calidad en GSM) y para las mediciones de nivel de potencia recibida. Los parámetros  $p$ ,  $n$  y  $window\_size$  son críticos para obtener los resultados apropiados. El  $window\_size$  define la manera como varios resultados serán promediados y los valores  $p$ ,  $n$  como varios resultados ya promediados ( $p$ ) han excedido por ejemplo el umbral de handover dentro de una cierta ventana ( $n$ ).

P (dBm)	FS(dBμVim)	LEV	BER(%)	BER(%)	QUAL
-110	27	0	Range	Mean	
-109	28	1	< 0.2	0.14	0
-108	29	2	0.2 - 0.4	0.28	1
.	.	.	0.4 - 0.8	0.57	2
.	.	.	0.8 - 1.6	1.13	3
.	.	.	1.6 - 3.2	2.26	4
-49	88	61	3.2 - 6.4	4.53	5
-48	89	62	6.4 - 12.8	9.05	6
-47	90	63	> 12.8	18.1	7

Fig. 2.18 Las unidades de potencia y niveles de calidad [1],[4]

La figura 2.18 muestra los valores de la potencia recibida y las mediciones de calidad. Notar que las unidades decibel son usadas en las mediciones de nivel de potencia y correspondientemente los valores de BER promedio (los valores 0.14 – 18.1) son usados cuando se está calculando los resultados de calidad. El último valor llamado QUAL es una clase de calidad GSM que es usada en el handover y en el control de potencia.

Estas unidades tienen un fuerte efecto en la estrategia de promediación y el siguiente ejemplo demuestra la imprecisión en las mediciones de nivel de calidad. Los valores medidos (clases de calidad GSM) son:

0 (el promedio usado en el cálculo es 0.14), 0, 7 (el promedio es 18.1) y 0.

El valor promediado es corregido:

$$(0.14 + 0.14 + 18.1 + 0.14) / 4 = 4.63$$

El cual corresponde a la clase de calidad 5, según la figura anterior, lo cual además causará un handover si un umbral de handover típico 4 fue usado en la red. Por lo tanto, solamente con una muestra mala (clase de calidad 7) se podría causar un handover innecesario, el cual puede deteriorar la calidad (funcionalidad) sobre el resto en la Red. Esto, la promediación de las muestras de calidad no necesariamente corresponde a la situación presente en el campo.

#### 2.2.4 Proceso de Handover

Los handovers tienen que ser realizados con el fin de ofrecer la mejor calidad de radio a los MSs en las diferentes ubicaciones de los mismos en la red.

##### a) Decisión de Handover

La decisión para realizar un handover es hecha basada en el nivel de potencia de uplink y de downlink así como por las mediciones de calidad; y la activación final del handover ocurre mediante el uso de algoritmos de handover en la BTS y/o BSC el cual comanda al

MS a la nueva BTS de destino. Los handovers pueden ser divididos en unos pocos grupos principales llamados:

- Handovers por nivel de potencia (uplink y downlink).
- Handovers por calidad (uplink y downlink).
- Handovers por mejor BTS – power budget y otras causas basados en handovers.

Todos estos tipos de handovers contienen el mismo proceso con unas pocas fases las cuales tienen que ser entendidas a fin de comprender el uso de los parámetros para estas diferentes fases. El proceso de handover incluye las siguientes fases:

- El resultado de la medición y la comparación con el umbral del handover.
- La evaluación de las seis mejores estaciones base vecinas.
- La selección de la estación base destino.

El proceso de handover empieza después del proceso de promediación con la comparación del resultado de las mediciones y del umbral de handover como es presentado en la figura 2.19.

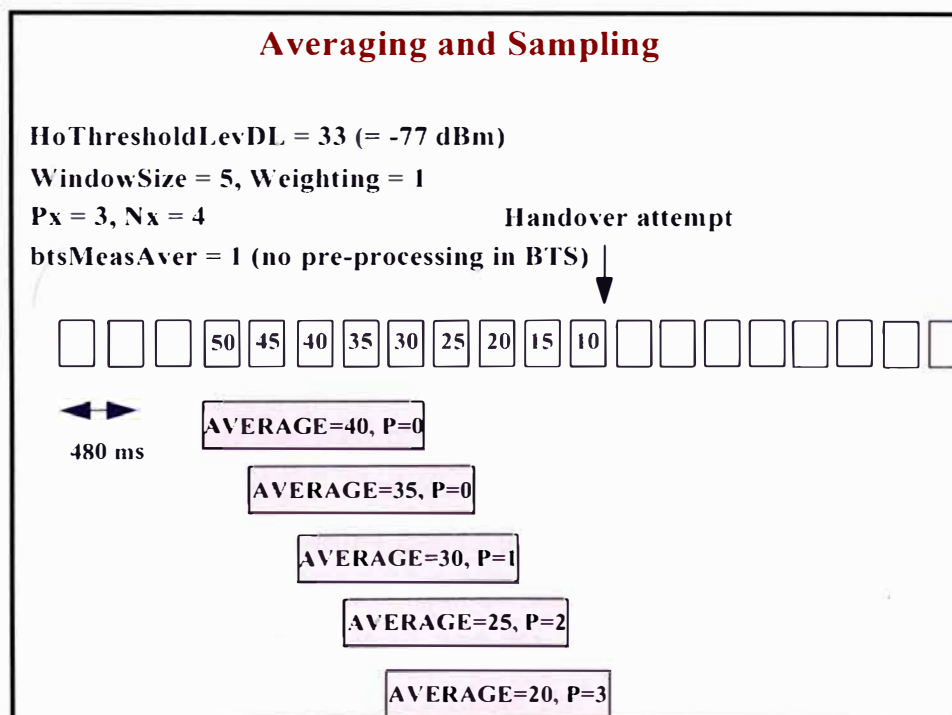


Fig. 2.19 Comparación de los resultados medidos y promediados [4]

b) Intervalo entre Handover y los Intentos de Handovers

El BSC normalmente controla los intervalos entre los intentos de handovers y el handover por los parámetros: **MinIntBetweenHoReq** (0 ... 30s) y **MinIntBetweenUnsuccHoAttempt** (0 ... 30s). El primer parámetro previene los

handovers repetitivos para el mismo MS con un timer que configura el mínimo intervalo entre handovers relacionados a la misma conexión. El otro parámetro indica el tiempo mínimo que el MS debe esperar después que el intento de handover falla, antes este puede tratar de realizar un intento de handover nuevamente.

La comparación de la promediación y del umbral de HO no se detiene durante estos intervalos a pesar que los handovers no son posibles.

c) Evaluación de la celda destino

La evaluación de la BTS vecina de destino es un proceso donde todas las mejores BTSs vecinas son comparadas a la BTS servidora a fin de decidir si cada BTS vecina es capaz de proveer el mejor servicio (calidad global: cobertura, capacidad y BER) que la actual BTS servidora. Esta evaluación es hecha en base a los algoritmos de handover proporcionados y el resultado es el grupo de BTSs candidatas para el handover destino y la BTS de destino final es seleccionada desde este grupo de candidatas.

La evaluación de la celda destino es hecha por el RR Management en el BSC y su propósito es encontrar la mejor celda para el handover. La evaluación de la lista preferencial de las celdas destino esta basada en:

1. Las mediciones del enlace de radio.
2. Comparación del umbral.
3. Los niveles de prioridad de las celdas vecinas.
4. La carga de las celdas vecinas las cuales pertenecen al mismo BSC que la celda servidora.
5. Comparación de los niveles de recepción – si esto es necesitado.

La BTS envía la lista de los mejores candidatos al BSC. Primero el BSC define y selecciona aquellas celdas que cumplen los requerimientos para las propiedades del enlace de radio. El RR Management puede tomar hasta 16 mejores candidatos para la evaluación de la celda destino. Las cargas de estas celdas candidatas son revisadas por el parámetro **btsLoadThreshold (0 ... 100 %)**. Si una de estas celdas candidatas se encuentra ya sobrecargada, la prioridad (dada por el parámetro **hoLevPriority (0 ... 7)**) de esta celda es decrementada por el parámetro **hoLoadFactor (0 ... 7)**. Después de revisar la carga de cada candidato, una comparación entre prioridades de cada celda candidata es hecha, y el candidato con la mas alta prioridad será seleccionado como una celda destino. Si hay varias celdas con iguales prioridades altas, la celda con el mejor nivel de señal de recepción será seleccionada.

## d) Algoritmos

Los handovers son hechos a base de algoritmos, los cuales son actualmente usados, para las comparaciones. Diferentes handovers hacen uso de diferentes algoritmos para ser exitosos en situaciones diferentes. Las ecuaciones para diferentes handovers pueden ser vistos en la figura 2.20.

<b>Handover Algorithms</b>	
<b>In all Handover cases (in imperative HO only requirement)</b>	
1.	$AV\_RXLEV\_NCELL(n) > rxLevMinCell(n) + \text{Max}(0, A)$ $A = msTxPwrMax(n) - msTxPwrMax$
<b>Except for Umbrella Handover</b>	
1'.	$AV\_RXLEV\_NCELL(n) > hoLevelUmbrella(n)$
<b>The additional condition</b>	
2.	$PBGT > hoMarginPBGT(n)$ $PBGT = (msTxPwrMax - AV\_RXLEV\_DL\_HO - (btsTxPwrMax - BTS\_TXPWR)) - (msTxPwrMax(n) - AV\_RXLEV\_NCELL(n))$
2'.	$AV\_RXLEV\_NCELL(n) > AV\_RXLEV\_DL\_HO + hoMarginLev(n)$

Fig. 2.20 Algoritmos de Handover [4]

El  $AV\_RXLEV\_NCELL(n)$  se encarga de los niveles de recepción promediados de las celdas vecinas y el  $AV\_RXLEV\_DL\_HO$  se encarga de los niveles de recepción promediados en la celda servidora. De tal forma, minúsculas o mayúsculas n quieren decir siempre la celda vecina N-ésima. La  $BTS\_TX\_PWR$  se encarga de los niveles de potencia transmitidas de la celda servidora.

Las ecuaciones 1 y 2' de la figura 2.20, son usadas en el caso de handovers debido a nivel, calidad o distancia. En el caso del Handover Umbrella, son usadas las ecuaciones 1' y 2' de la figura 2.20. Para el Handover por Power Budget, son usadas las ecuaciones 1 y 2 de la figura 2.20.

## e) Resultados de la medición y la comparación con el umbral de handover

Esta comparación es hecha entre la servidora y las BTSs vecinas utilizando los algoritmos de handover basados en el fabricante de los equipos. El primer propósito de esta comparación es resolver cuando los diferentes tipos de handover son activados (algoritmos de handover son requeridos para todos los tipos de handover) y segundo resolver cuales estaciones base vecinas cumplirán las condiciones para la función como una nueva BTS servidora (la evaluación de las seis mejores BTSs vecinas).



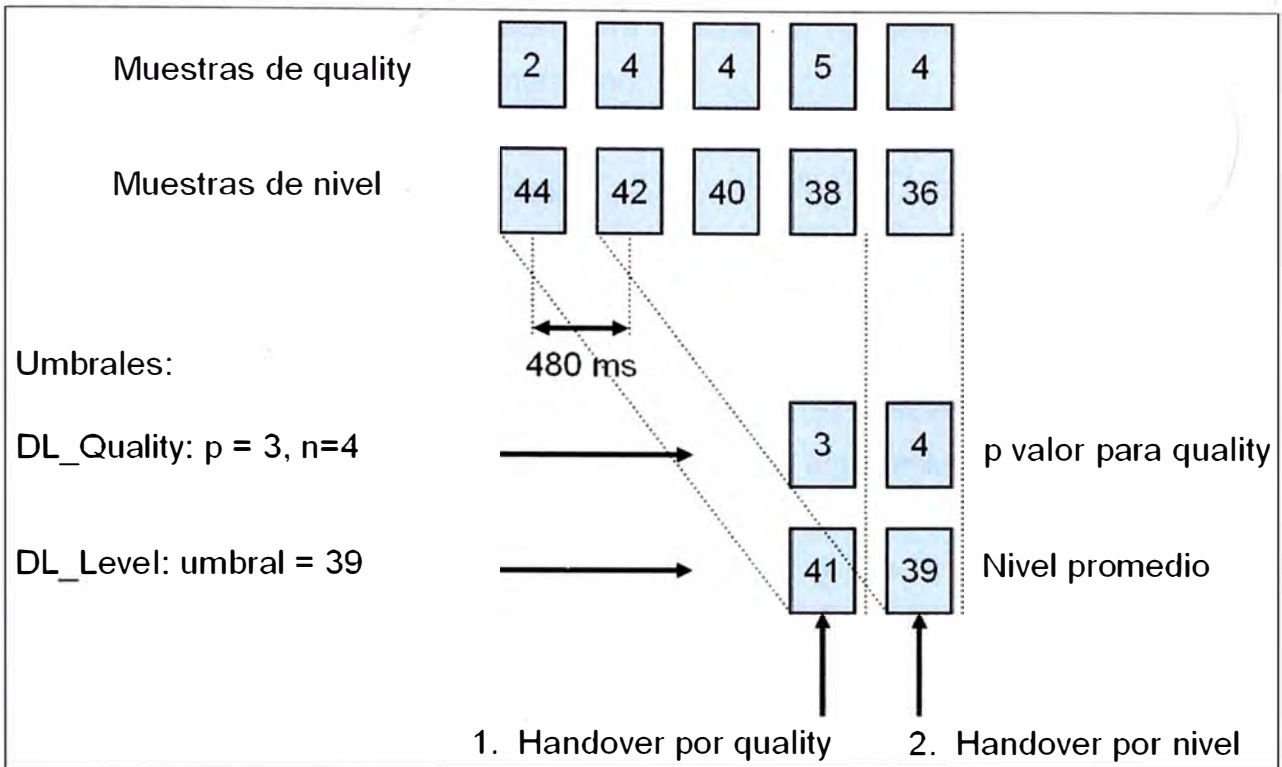


Fig. 2.21 La comparación de los resultados medidos y promediados [3],[1]

La primera parte de la comparación del umbral de handover – la activación del handover – empieza estudiando cuales handovers son activados en las direcciones del uplink y downlink después de cada nuevo resultado de la medición (después de cada período SACCH). Todos los diferentes tipos de handover pueden ser revisados después de cada período SACCH y los resultados promediados son usados con este propósito. En la figura 2.21 la última muestra de nivel de potencia de la BTS servidora en la dirección downlink es 36 (en las unidades GSM), la ventana de promediación es cuatro muestras y asimismo el valor promediado después de la última muestra es 39. El umbral de handover para el downlink en este ejemplo es 39 para el nivel de potencia y así hasta este punto el handover por nivel de potencia será activado si  $p=1$  y  $n=1$ . En forma correspondiente, las últimas cuatro muestras de calidad downlink de la BTS servidora son cuatro, cuatro, cinco y cuatro (notar que la promediación no es usada para las muestras de calidad). El handover por calidad es activado después de la muestra de valor 5 si el valor umbral típico cuatro podría ser considerado con los valores  $p=3, n=4$  y si la promediación no es usada. La misma comparación para los niveles de potencia y calidad tienen que ser hechas también en la dirección uplink. Adicionalmente, tiene que ser recordado que los handovers por mejor BTS, tales como handovers por power budget también tienen que ser revisados. Si los diferentes tipos de handover son activados al mismo tiempo la prioridad de los tipos de handover podría definir cual tipo de handover

será usado primero como una razón para realizar un handover. Las prioridades de handover son clasificadas típicamente como:

- Por calidad uplink/downlink.
- Por nivel uplink/downlink.
- Mejor estación base (power budget y otros).

Cuando los umbrales han sido comparados y el tipo de handover (causa) ha sido resuelto es el momento para definir cuales estaciones base vecinas cumplirán las condiciones de ser una BTS destino candidata. Esta evaluación de la BTS candidata es hecha usando los algoritmos de handover basados en el fabricante del equipamiento GSM.

### 2.2.5 Control de potencia

El control de potencia es la otra función que utilizan los resultados de la medición en uplink y downlink para controlar la potencia de la BTS y del MS a fin de disminuir la interferencia y ahorrar consumo de potencia del equipamiento en la red de radio. La meta es realizar el control de potencia antes que los handovers porque los handovers deberán tener siempre la más alta prioridad que el control de potencia. También tiene que ser recordado que en la frecuencia BCCH el control de potencia no puede ser usado en la dirección downlink porque la transmisión continua es requerida.

El principio del control de potencia es definir un límite superior y límite inferior, y que los niveles de potencia recibida y de calidad deberán ser mantenidos dentro de esta ventana a fin de optimizar el consumo de potencia y de calidad en la red de radio. La figura 2.22 muestra este principio de control de potencia y los parámetros del control de potencia en el caso del nivel recibido. También puede ser visto en la figura 2.22 cuales parámetros son necesitados para definir los límites superior e inferior y de acuerdo a esto, el período de tiempo cuando ocurra la activación.

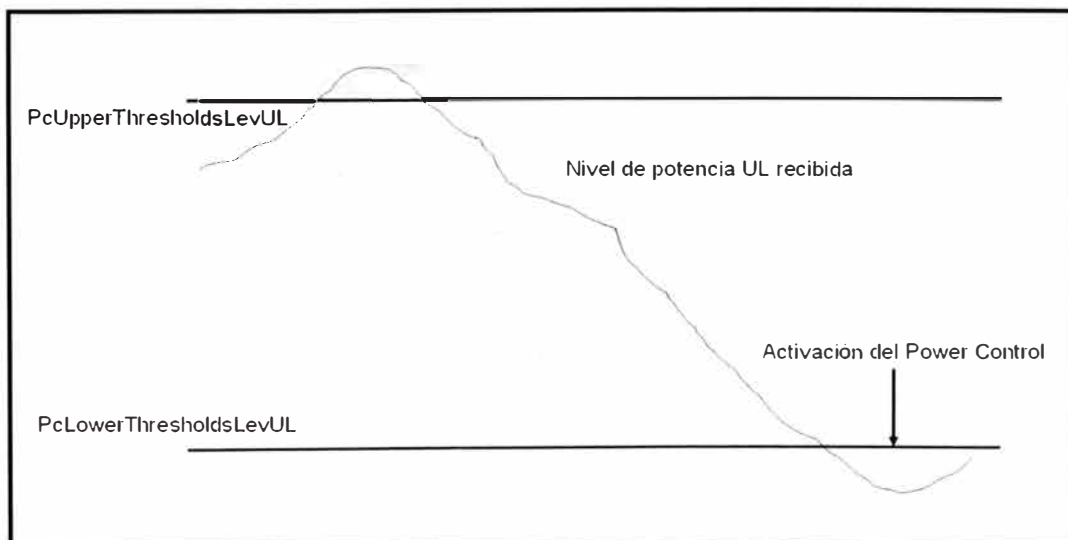


Fig. 2.22 Proceso de control de potencia [1]

La ventana es típicamente puesta para una histéresis de 10 dB (la diferencia entre los límites superior e inferior) el cual puede ser incluso muy alto. Luego, si la ventana es de 4dB se optimiza el nivel de potencia recibida con mayor precisión y puede proveer incluso una mejor calidad de radio pero esto también carga al sistema mucho más. Sin embargo, no hay limitaciones en el sistema (por ejemplo señalización) que principalmente eviten ocurra un control de potencia rápido.

a) Razones y estrategia

El control de potencia es usado a fin de reducir el consumo de potencia del MS (en la dirección uplink) a fin de alcanzar un tiempo de servicio mayor para el MS. Otra razón es para reducir la interferencia en ambas direcciones (uplink y downlink) usando una potencia de transmisión tan baja como sea posible en el MS y en la BTS en todo instante. El control de potencia puede ser usado en la dirección downlink en cualquier TRX, excepto en la TRX con el BCCH, porque la BTS tiene que enviar información continuamente en estas frecuencias sin ningún control de potencia (potencia máxima en esa celda). Esto es necesario a causa de que el MS esta continuamente midiendo el nivel de recepción de los BCCHs de las celdas vecinas. El MS puede usar control de potencia en cada frecuencia continuamente, si fuese necesario. A fin de usar el control de potencia de BTS, el parámetro PowerCtrlEnabled deberá ser habilitado celda por celda en principio.

Cuando se esta usando el control de potencia, suficiente margen tiene que ser reservado para el desvanecimiento Rayleigh y tiene que ser tomado en cuenta que el handover siempre tiene más alta prioridad que el control de potencia.

b) Comparación entre el umbral de control de potencia y el comando de control de potencia

Después de cada período multitrama SACCH, el BSC compara cada uno de los resultados de las mediciones procesadas (promediadas) con los umbrales de control de potencia relevantes.

Si el umbral de control de potencia indica que el MS o la BTS (un radio time slot en una portadora) necesita un incremento o decremento en la potencia RF, el BSC envía un comando de PC al MS/BTS incluyendo el nuevo nivel de potencia de transmisión del MS/BTS. Cuando el BSC define el nuevo nivel de potencia de transmisión del MS, este toma en cuenta ambos la capacidad de potencia RF y el nivel de revisión del MS. El BSC podrá enviar un comando de PC simultáneamente tanto al MS y a la BTS o a alguno de ellos, es decir, el control de potencia para el MS y la BTS arrancan independientemente.

Las mínimas y máximas potencias de transmisión del MS son determinadas celda por celda. La máxima potencia de transmisión que un MS puede usar en la celda servidora es controlado por el parámetro MsTxPwrMax. La mínima potencia de transmisión del MS es controlada por el parámetro MsTxPwrMin.

La máxima potencia de transmisión de la BTS es controlada por el parámetro BsTxPwrMax. El parámetro BsTxPwrMin indica la mínima potencia de transmisión de la BTS. El rango de la potencia de transmisión de la BTS es desde 30 dB a 0 dB de atenuación desde la potencia pico máxima de la estación base transmisora. El parámetro PowerCtrlEnabled indica si es que el control de potencia de BTS está habilitado. Cuando el control de potencia está habilitado, este involucra a todos los transmisores de la BTS con la excepción del transmisor del BCCH (broadcast control channel) el cual siempre transmite con el máximo nivel de potencia (parámetro BsTxPwrMax).

A fin de prevenir cambios de potencia repetitivos para las mismas MS/BTS, hay un timer para el mínimo intervalo entre los cambios del nivel de potencia de salida RF. Este timer es controlado por el parámetro PowerControlInterval, el cual es el mínimo intervalo entre los cambios en el nivel de potencia RF. La promediación y la comparación del umbral de PC no se detienen durante este instante pero los comandos de PC no son posibles.

El BSC observa los cambios de potencia desde los resultados de las mediciones recibidas desde la BTS (el resultado de la medición incluye el nivel de potencia RF, el cual el MS y la BTS han usado durante los previos periodos multitrama SACCH). Si el MS no cambia su potencia de salida a tiempo, el BSC envía el comando de PC una vez más. El control de potencia del MS no se detiene hasta que el MS no haya hecho el cambio en su potencia de salida RF. Si la BTS no cambia su potencia de salida con el primer comando de PC, el BSC no envía ningún comando adicional de PC a la BTS.

Los resultados de las mediciones (uplink o downlink) precedentes al cambio de potencia de MS/BTS no son validos después del cambio de potencia. Si el scaling de los resultados de las mediciones es deshabilitado (seleccionado a través del parámetro EnaFastAvePC), la promediación y la comparación de umbrales basados en esos resultados de las mediciones (uplink/downlink) deben empezar desde el principio después del cambio de potencia (esto es referente tanto al Handover y al Control de Potencia). Cuando el scaling de los resultados de las mediciones esta habilitado, el BSC escala los resultados de las mediciones relevantes precedentes al cambio de potencia de tal forma que ellos corresponden al nuevo nivel de potencia de transmisión del MS/BTS y así la promediación y la comparación de los umbrales pueden continuar sin interrupción, con la excepción de la comparación del umbral de PC el cual siempre inicia desde el principio después del cambio de potencia.

### 2.2.6 Indicadores de Performance (KPIs)

El performance de las redes de radio celular y en particular de los servicios de voz pueden ser medidos usando diferentes KPIs. Asimismo, varios de estos KPIs pueden ser colectados ya sea por mediciones de campo o desde las estadísticas del NMS. Desde que las estadísticas del NMS representan la performance del total de la red, ellos son más representativos que los resultados de las mediciones de campo. Los KPIs basados en las mediciones de campo deberán solamente jugar un rol relevante en el monitoreo de la red total cuando dichos KPIs no están disponibles desde las estadísticas del NMS. Adicionalmente, las estadísticas pueden representar la performance de la hora pico o del promedio diario.

Tradicionalmente, los operadores celulares han medido y comparado la performance de sus redes usando mayormente el BER y la tasa de llamadas caídas (DCR) para cuantificar la calidad de la voz y la tasa de las conexiones perdidas respectivamente. Adicionalmente, la tasa de llamadas exitosas (CSR) y la tasa de handover exitosos (HSR) han sido usados para medir la performance de los canales de señalización asociados con las originaciones de llamadas y handovers. Asimismo, hay un número de KPIs adicionales que pueden ser usados también para medir la performance de la red, y en particular, la calidad de la voz. La figura 2.23 ilustra los diferentes KPIs y la ubicación en la cadena receptora donde ellos son medidos. Estos indicadores no son solamente utilizados para medir la performance de la red sino también pueden ser usados por la red para múltiples funciones de manejo de los recursos de radio, tales como los handovers, control de potencia, enlaces AMR y adaptaciones del modo de canal, adaptación de enlaces GPRS, etc.

Un aspecto importante a considerar cuando se esta midiendo la performance de toda la red es la significativa variación de esta medición con la performance de los diferentes terminales. Esto es principalmente debido a las diferencias en la potencia de radiación y sensibilidad, los cuales pueden impactar potencialmente el balance de link budget del enlace y asimismo la performance experimentada.

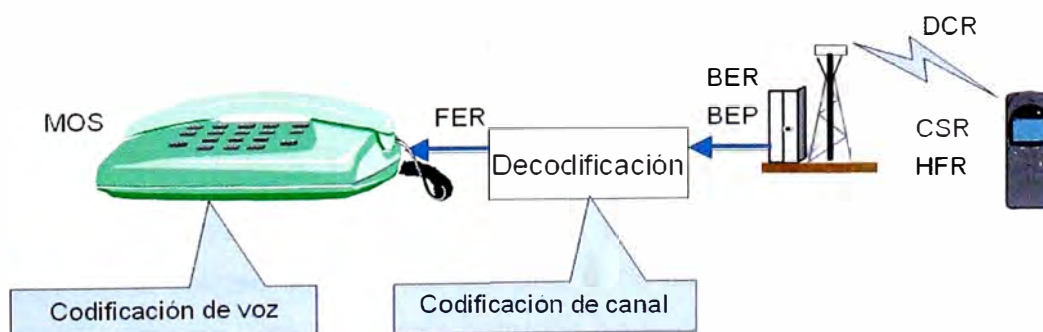


Fig. 2.23 Principales KPIs de voz [2]

a) MOS (Mean Opinion Score)

La calidad de la voz puede ser cuantificada usando el MOS (mean opinion score). Los valores de MOS, además, pueden ser medidos solamente en un ambiente de pruebas de laboratorio. El rango de los valores MOS van desde el 1 (malo) hasta el 5 (excelente). Ellos son generados desde la subjetividad de la calidad de voz percibida y reportada por el grupo de escuchas participantes en el test. Adicionalmente, las pruebas de escucha realizados en diferentes condiciones (tales como el material hablado, lenguaje usado y condiciones de escucha) pueden orientar a diferentes resultados de MOS. Además, los valores de MOS absolutos entre las diferentes pruebas no pueden ser directamente comparadas. Hay, asimismo, múltiples herramientas en el mercado que tratan de medir y cuantificar la calidad de voz subjetiva del enlace desde la información colectada a través de los drive tests usando diferentes algoritmos.

b) BER (Bit Error Rate)

El BER es la medición de la tasa de error de bit cruda en la recepción antes de que el proceso de decodificación tome lugar. Algunos factores que impactan la performance de la decodificación, tales como el uso de FH o la fortaleza del canal de decodificación asociado con cierta codificación de voz, el cual impactará en la correlación entre BER y el Frame Erasure Rate (FER), o la calidad de voz percibida por el usuario final. Asimismo, a fin de medir apropiadamente la calidad del enlace usando este KPI, esta correlación tendrá que ser considerada para todos los códigos existentes y perfiles de canal. En GSM, el BER es mapeado en RXQUAL, los valores cuyo rango van desde 0 a 7 como se muestra en la figura 2.24.

RXQUAL	BER (%)	Valor asumido (%)
0	< 0.2	0.14
1	0.2 - 0.4	0.28
2	0.4 - 0.8	0.57
3	0.8 - 1.6	1.13
4	1.6 - 3.2	2.26
5	3.2 - 6.4	4.53
6	6.4 - 12.8	9.05
7	> 12.8	18.1

Fig. 2.24 Valores de RXQUAL y su correspondiente BER [1]

c) FER (Frame Erasure Rate)

El FER es un indicador de performance muy poderoso debido a que tiene una alta correlación con la calidad de voz final que el usuario final percibe. Diferentes códigos de voz tendrán, asimismo, una diferencia pequeña en la correlación del FER al MOS desde la más pequeña tasa de bit de código de voz que es la más sensible en presentar errores

de tramas. Por lo cual, el FER puede ser eficientemente usado como un indicador de performance de calidad.

Un problema tradicional asociado con el uso del FER como KPI en los sistemas GSM ha sido la falta de estadísticas del NMS basadas en el FER. Asimismo, solo datos de mediciones de campo han estado disponibles para medir el FER del sistema. Además, el FER esta disponible en la red sólo en el uplink (UL), y para el downlink (DL) el FER puede ser estimado con esta información disponible en la red.

d) BEP (Bit Error Probability)

Este es otro indicador de calidad de señal. Los terminales reportaran el BEP promedio y sus coeficientes de variación (desviación estándar / valor medio). La calidad de la señal recibida por cada canal deberá ser medida en base a burst por burst por el MS y el BSS en una forma que puede ser relacionado al BEP por cada burst, antes de la codificación del canal usando, por ejemplo, una salida suave desde el receptor. La escala del valor medio reportado estará en un rango desde 1 a 32 y los coeficientes de variación estarán en un rango desde 1 a 8.

El BEP tiene una mayor precisión que el RXQUAL y sus coeficientes de variación pueden ser usados para caracterizar el profile del canal.

e) DCR (Dropped Call Rate)

El DCR mide el porcentaje de conexiones perdidas y este ha sido siempre un KPI muy importante desde que es generalmente considerado que una llamada caída tiene un impacto muy negativo en la calidad de servicio (QoS) percibida por el usuario final. En GSM, el mecanismo de uno de los eventos de activación principales de una llamada de voz caída se refleja en un contador (radio link timeout) que varia subiendo o bajando dependiendo de la recepción exitosa de las tramas SACCH. Este mecanismo fue diseñado para cortar las conexiones cuyo enlace se ha degradado debajo de cierto umbral. Asimismo, a pesar de que el DCR esta correlacionado con la calidad de voz percibida por el usuario final, esto es también una indicación de la performance del enlace de señalización SACCH.

Hay diferentes caminos para calcular el DCR. Este puede ser calculado como llamadas caídas por Erlang, llamadas caídas sobre llamadas originadas y llamadas caídas sobre todas las llamadas realizadas por cada celda, incluyendo los handovers entrantes. Ver figura 2.25.

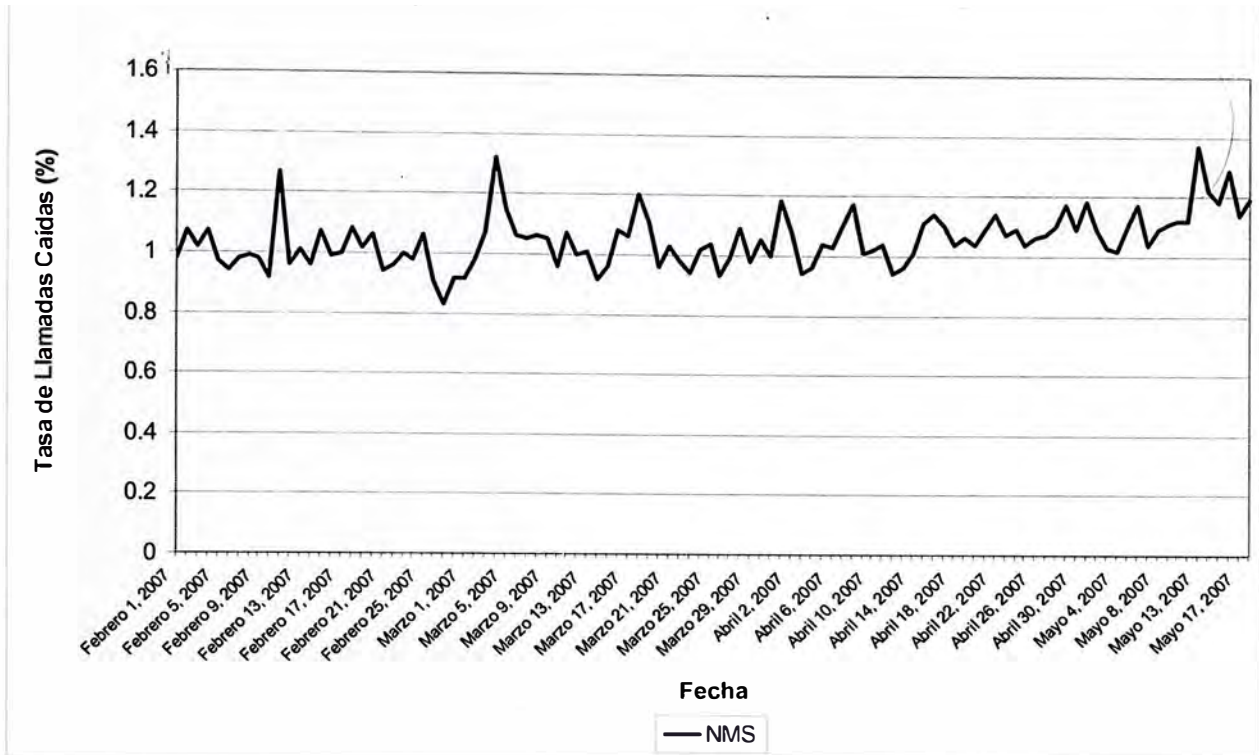


Fig. 2.25 Tasa de llamadas caídas de las estadísticas del NMS

f) CSR (Call Success Rate) y HSR (Handover Success Rate)

Hay otros KPIs, tales como el CSR (tasa de llamadas caídas) y el HSR (tasa de handovers exitosos), los cuales miden las tasas exitosas de los procesos de señalización relacionados con las originaciones y con los handovers respectivamente. La figura 2.26 muestra los valores colectados para diferentes días y configuraciones desde las redes en servicio para CSR y HSR. Las redes con buen performance deberán tener valores de CSR y HSR arriba del 95%.

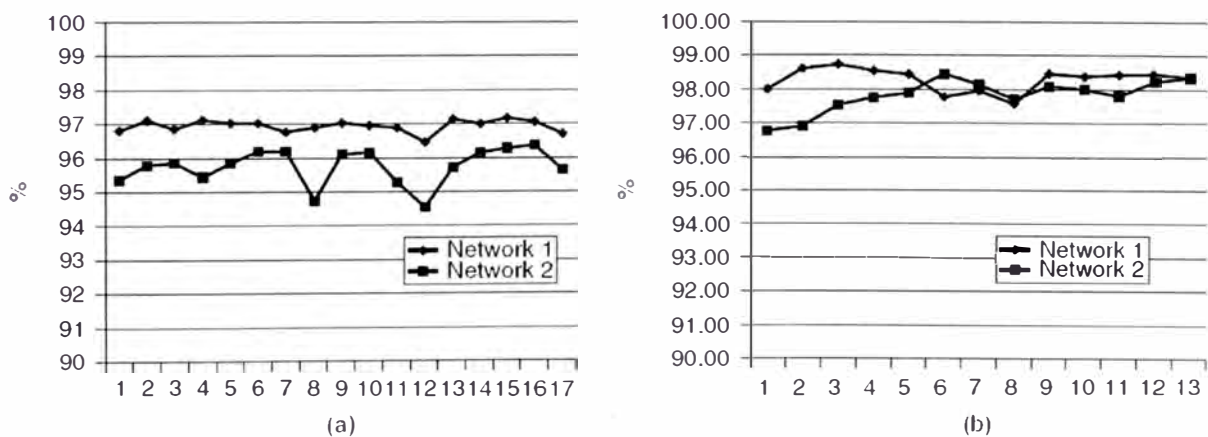


Fig. 2.26 Horas pico de redes en servicio (a) CSR y (b) HSR [2]



## g) Correlación de KPIs

No hay indicador de mala performance, desde que todos estos muestran diferentes aspectos de la performance de la red. Lo más importante es ser capaz de entender lo que cada uno representa y la correlación entre los diferentes indicadores relevantes. Adicionalmente, tal correlación puede ser dependiente en diferentes factores. Por ende, el BER puede ser usado para medir la calidad de la voz pero con el fin de analizar la calidad de la voz con los datos de BER, la correlación entre BER y la calidad de voz es necesitada. Esta correlación no es constante, desde que esta es dependiente de la ganancia de decodificación, la cual es dependiente de la codificación de canal y del profile del canal en uso. La figura 2.27 muestra la correlación diferentemente significativa entre el BER y el FER para los canales en hopping y en no-hopping, medidos en una red en servicio.

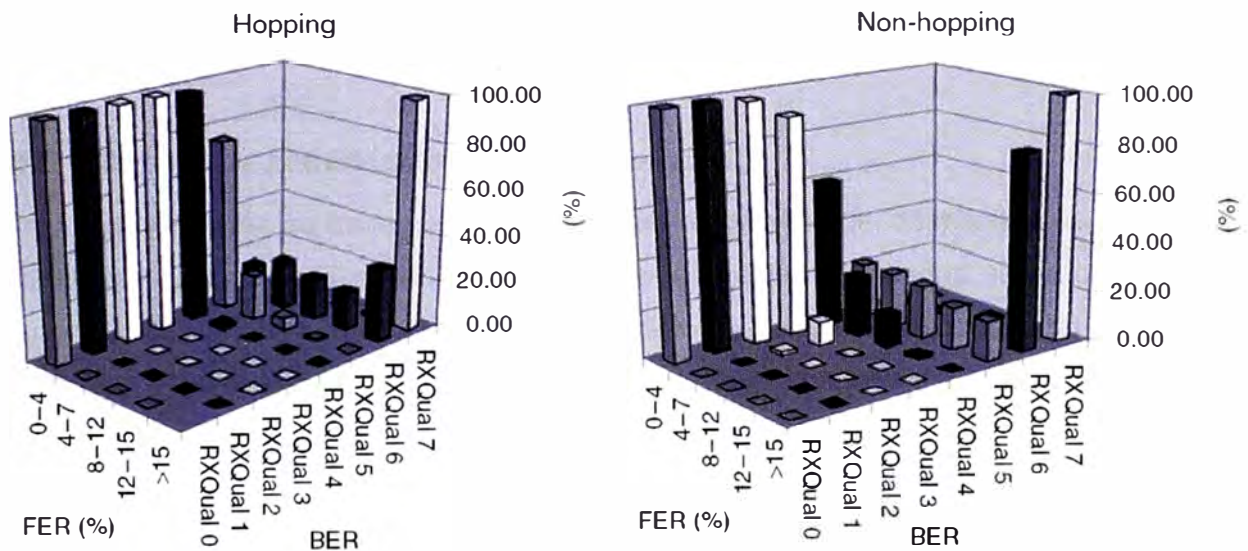


Fig. 2.27 Correlación de BER a FER para diferentes tipos de canales [2]

Finalmente, la figura 2.28 muestra la correlación de los más comunes KPIs para la misma red y con niveles de carga diferente.

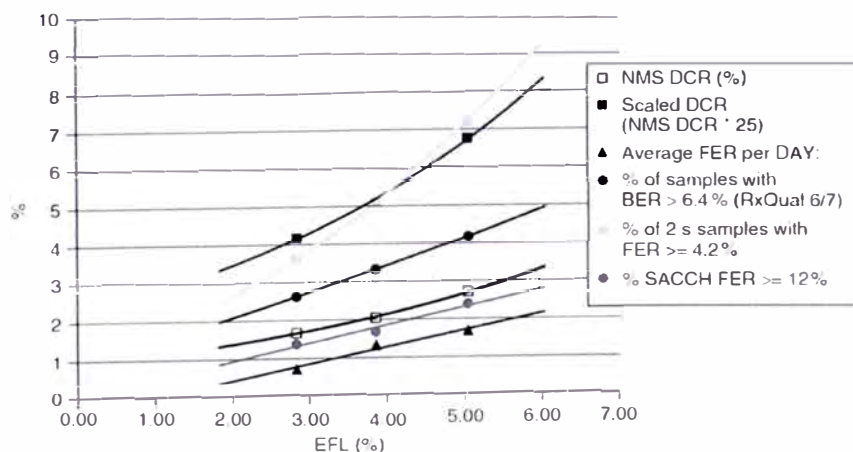


Fig. 2.28 Principal correlación de KPIs de una red en servicio [2]

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA OPTIMIZACIÓN**

#### **3.1 Información de la red necesaria para la optimización**

Se requiere conocer todos los elementos de la red a optimizar, a fin de que la tarea de optimización sea lo más eficiente posible. Siendo esta metodología compuesta de las siguientes partes:

##### **3.1.1 Reporte de planificación de la red de radio**

Para la optimización se hace necesario conocer los detalles del despliegue de la red a ser optimizada, a fin de tomar en cuenta las nuevas celdas planeadas, las modificaciones que se realizarán en la red y del tipo de morfología que se está considerando en cada zona para el diseño planteado. Este reporte consiste de: conocimiento de las áreas de despliegue de nuevas coberturas con la ubicación propuesta de los nuevos sitios, identificación de las áreas dependiendo del tipo de tráfico ya sea alto, bajo, temporal u otro; conocimiento del tipo de infraestructura que se ha de emplear para las nuevas integraciones, etc.

##### **3.1.2 Tabla de parámetros de ingeniería**

La configuración de ingeniería de cada celda nos permite conocer los máximos alcances de la optimización, así como sus limitaciones si estas involucran modificaciones de ingeniería. Por lo cual, la información de ingeniería resulta ser muy importante y ha de ser lo más cercana a la realidad, y esta consiste en: ubicación geográfica del sitio, altura, descripción detallada de la construcción, tipos de antenas usadas, azimuths, tilts, tipos de mástil usados y otros.

##### **3.1.3 Datos estadísticos**

Los datos estadísticos se pueden obtener del NMC, y nos ayudan a observar el desempeño de la red de radio a nivel total, y de esa manera evaluar el desarrollo de la

optimización en forma directa; asimismo, dichos resultados tienen un equivalente directo a la percepción en forma subjetiva por parte del usuario del estatus de la red en ese instante.

### **3.1.4 Historia de la optimización**

Es importante llevar un record de las diferentes acciones realizadas durante todo el proceso, a fin de comparar resultados en las diversas etapas de la optimización; y lograr mejores resultados usando las experiencias adquiridas en anteriores etapas del mismo.

### **3.1.5 Tabla de parámetros de celda**

El conocimiento actualizado de los parámetros de celda configurados en la red es muy importante a fin de determinar posibles cambios en los mismos como parte de la optimización. Existiendo la alternativa de implementar cambios en los parámetros de celda, utilizando nuevos features que permitan el mejoramiento de los KPIs a nivel general y por consiguiente una mejora en la percepción de la calidad de la señal por parte del usuario.

## **3.2 Desarrollo de la optimización**

La optimización es un proceso cuyo objetivo es la de mejorar los KPIs de la red en servicio, a fin de que esta mejora sea percibida en forma directa por el usuario final de la red. La misma esta compuesta de las siguientes etapas:

### **3.2.1 Preparación del proyecto de optimización**

Para la preparación del mismo es necesario:

- a) El conocimiento de la red existente

Para cumplir con este requerimiento se hace necesario disponer del reporte de planificación de la red de radio. Además de las mas recientes tablas de parámetros de configuración y parámetros de radio del sitio. Asimismo, se requiere tener disponibles los datos estadísticos del OMC y de los requerimientos del suscriptor de la red existente.

- b) Establecimiento de las divisiones por cluster y de los equipos de optimización

Se requiere establecer los equipos de optimización a fin de estimar la carga de trabajo, definiendo los requerimientos de recursos humanos y de herramientas preparando una distribución tal como se muestra en la figura 3.1.

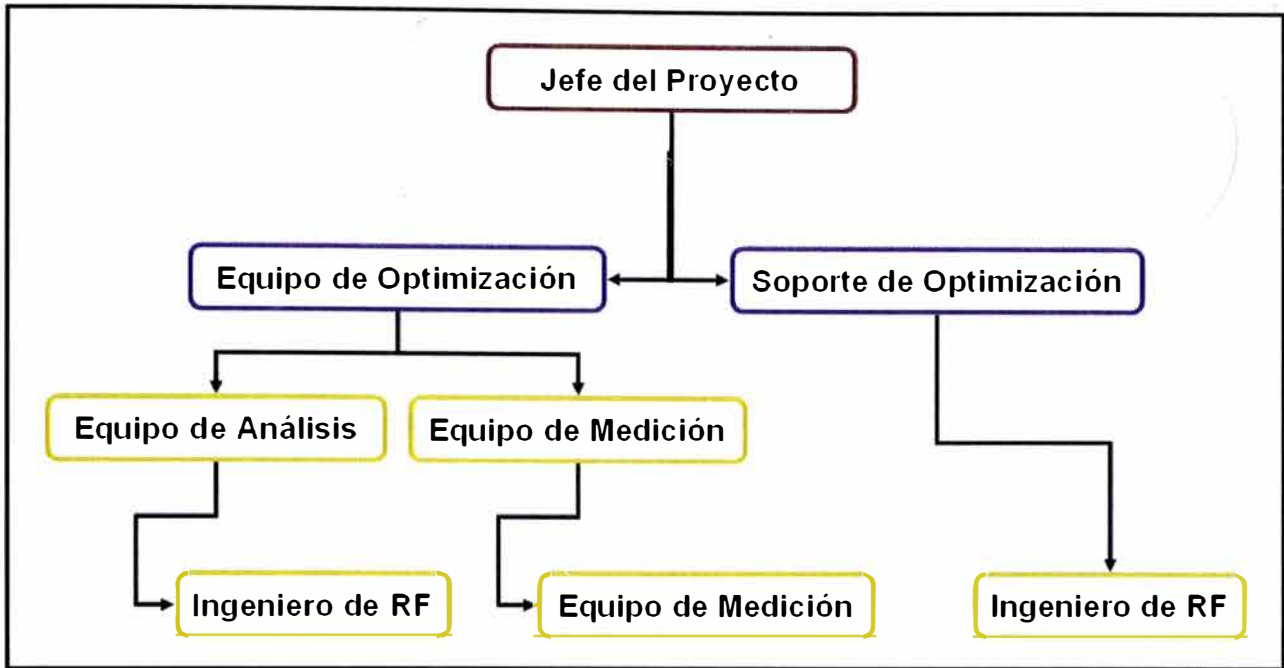


Fig. 3.1 Estructura del Equipo de Optimización

Debido a que el tiempo de colección de datos del área objetivo excede las 3 horas (valor óptimo), se dividió la zona a optimizar en tres cluster antes de empezar esta tarea. Cada cluster está definido como el conjunto de sitios en un bloque. El área de cada cluster tiene una completa ruta de pruebas y el tiempo para cada ruta de pruebas es en promedio tres horas; ver figura 3.2.

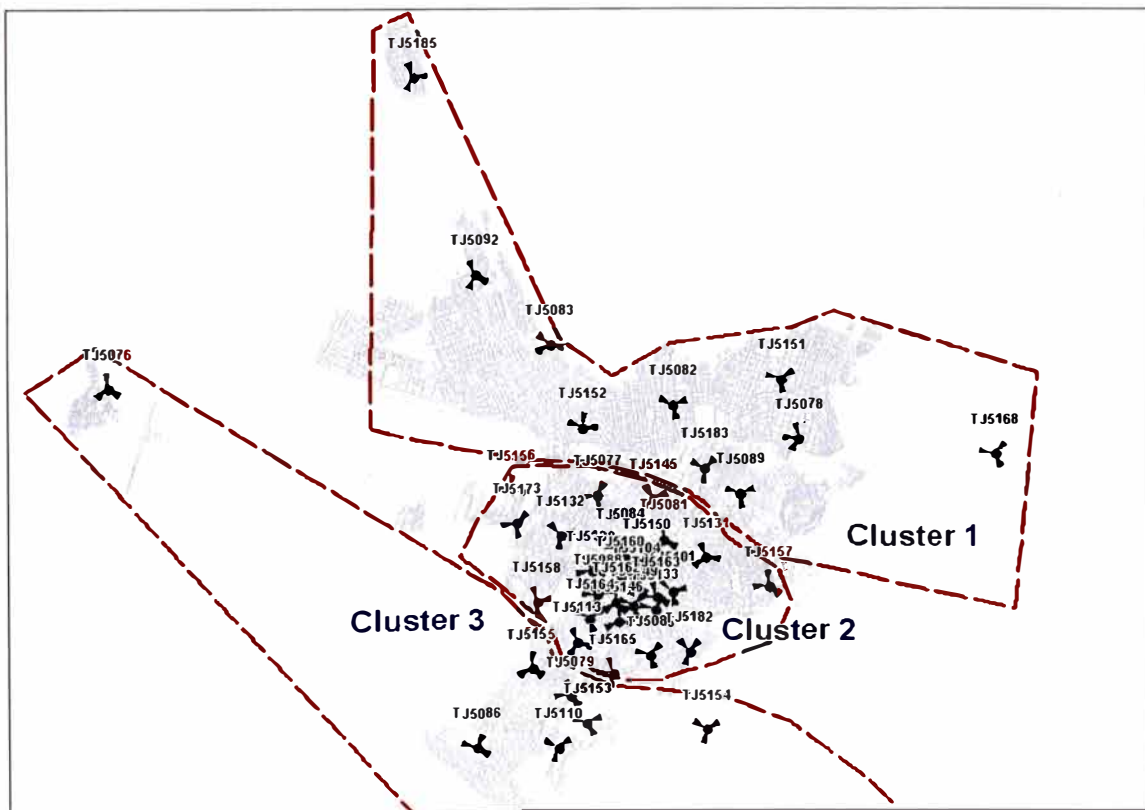


Fig. 3.2 División de Clusters en Trujillo

c) Disponer de herramientas y software de optimización

Cada equipo de medición de campo estuvo conformado con un conjunto de herramientas para tal fin, que incluyen lo siguiente:

- Escáner GSM de la banda 1900MHz, utilizando un teléfono Sony Ericsson T616 en modo de escaneo.
- Móvil GSM de la banda 1900MHz, compuesto por teléfono Sony Ericsson T616.
- GPS.
- Maletín donde se integran todos estos componentes.
- Computadora portátil.

El siguiente software complementario fue requerido por cada equipo:

- Herramienta de post procesamiento: TEMS Investigation 6.0 - Route Analysis.
- Software GIS: MapInfo 8.5, utilizado para algunos análisis detallados de la información colectada durante las pruebas de campo.

### **3.2.2 Simple verificación del sitio**

Una sencilla prueba de verificación del sitio es una parte de la optimización de la red GSM para asegurar que las funciones básicas de la celda estén normales, tales como el acceso y la calidad de las llamadas, los handovers y demás.

Esto involucró los siguientes aspectos:

- Revisión de la configuración de los parámetros en modo idle: que consistió en la verificación de la frecuencia del BCCH, del LAC, RAC y BSIC, de tal forma que sean iguales a los valores planificados para cada sector; registrando estos en una base de datos.
- Verificación en modo conectado: a través de pruebas de establecimiento de llamadas mediante originaciones y terminaciones, de los parámetros de FH y demás.
- Revisión del nivel de la señal (RSSI): confirmando que los valores en la cercanía de cada celda resulten ser los adecuados según la ubicación del MS.
- Revisión de los problemas de instalación presentes en la celda.

Asimismo, antes de empezar la revisión de cada sitio, se consultó con los ingenieros del NOC acerca de la presencia de alarmas, de tal forma que los problemas presentes recientemente se encontrasen resueltos y que la celda se encuentre en un estado de funcionamiento normal.

La ruta de la medición para cada sitio, abarcó el área de cobertura solo de la celda, tomando en cuenta los hábitos de conducir locales y tratando de evitar esperas por las luces del tráfico durante las pruebas.

Esta tarea es muy importante, porque se asegura que el equipamiento funcione con normalidad. Además, es la base para las siguientes etapas de la optimización: la optimización RF y la optimización del servicio.

### 3.2.3 Optimización RF

Una vez que todos los sitios fueron instalados y la verificación fue completada, la optimización RF comienza. Luego, esta consistió en la optimización de las señales de radio frecuencia, hasta lograr que la cobertura de estas señales de radio y la movilidad en la red de radio sean las más óptimas para luego proceder al siguiente nivel: la optimización de parámetros (servicio).

La optimización RF incluyó los siguientes aspectos:

- Optimización de la cobertura: la cual consistió en la optimización de las zonas de cobertura que tienen niveles bajos de señal, a fin de asegurar la continuidad de la cobertura de las celdas a través de la señal emitida por los BCCHs de cada sector en el área del cluster. Asimismo, la optimización de la cobertura del BCCH de cada celda asegura áreas de cobertura apropiada para cada sector, de tal forma que la reelección entre las celdas lleguen a ser lo mas reducidas posibles en la zona del cluster optimizado.
- Optimización del handover: la cual consistió en la revisión de las celdas vecinas que puedan estar faltantes en la lista de vecinos, verificando y completando las mismas, y así ir resolviendo los problemas de handover, llamadas caídas, e interferencia en el downlink. Llegándose a hacer uso en algunos casos de las mediciones de campo, para ajustar apropiadamente los parámetros de ingeniería que puedan afectar los handovers.

#### a) Descripción del proceso de optimización

La optimización requirió la ejecución de las siguientes etapas:

- Preparación de la prueba.
- Colección de los datos.
- Análisis del problema.
- Ajuste de parámetros.

Se debe tomar en cuenta que la colección de datos, el análisis del problema y el ajuste de parámetros fueron realizados repetidamente de acuerdo al objetivo de

optimización establecido y a la situación que presentaban los sitios hasta que los índices de RF alcanzaron los requerimientos de los KPI.

La figura 3.3 muestra el diagrama de flujo de la optimización de RF.

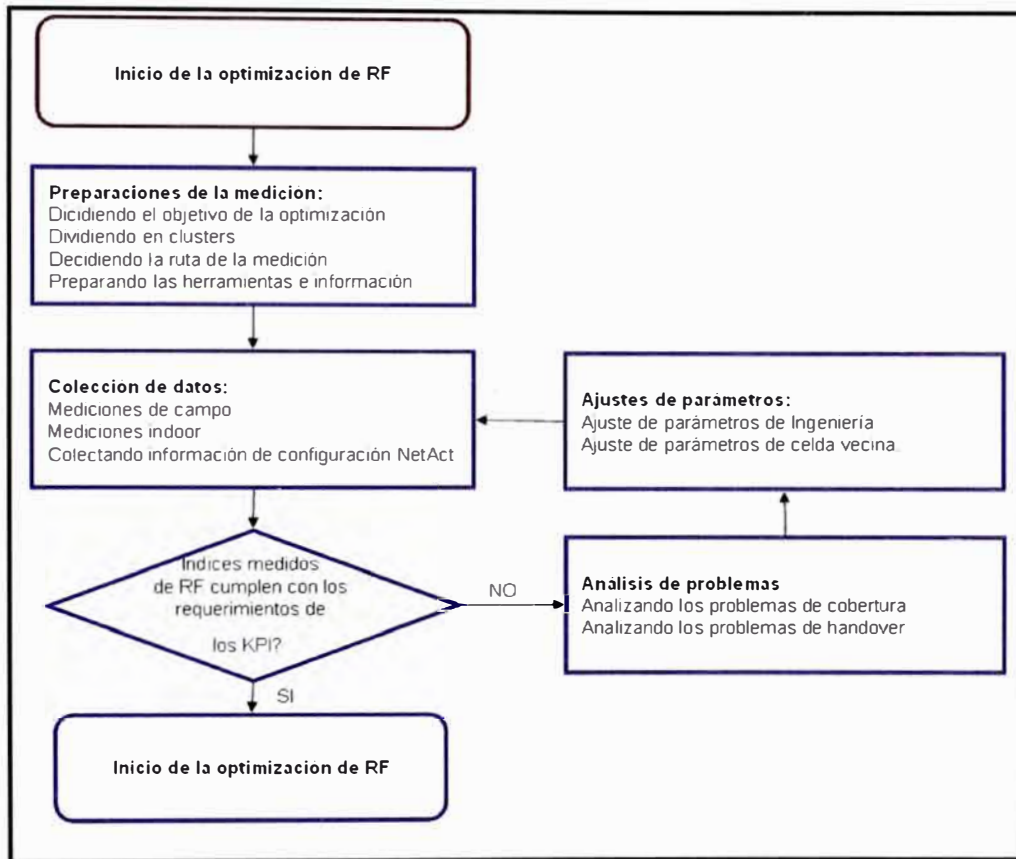


Fig. 3.3 Flujo de la optimización de RF

#### i) Preparación de la prueba

##### 1º) Decidiendo el objetivo de optimización

Se establecieron como objetivos los siguientes valores de KPIs:

- Drop call rate  $\leq 2\%$
- HO Failure  $\leq 5\%$
- Accesibilidad  $\geq 98\%$

##### 2º) Dividiendo los clusters

Se dividió la ciudad de Trujillo en tres clusters, a fin de abarcar todos los sitios con tecnología GSM. Siendo el cluster 2 que abarca el Centro histórico de Trujillo del que vamos a mostrar el desarrollo de su optimización en este documento; ver figura 3.4.

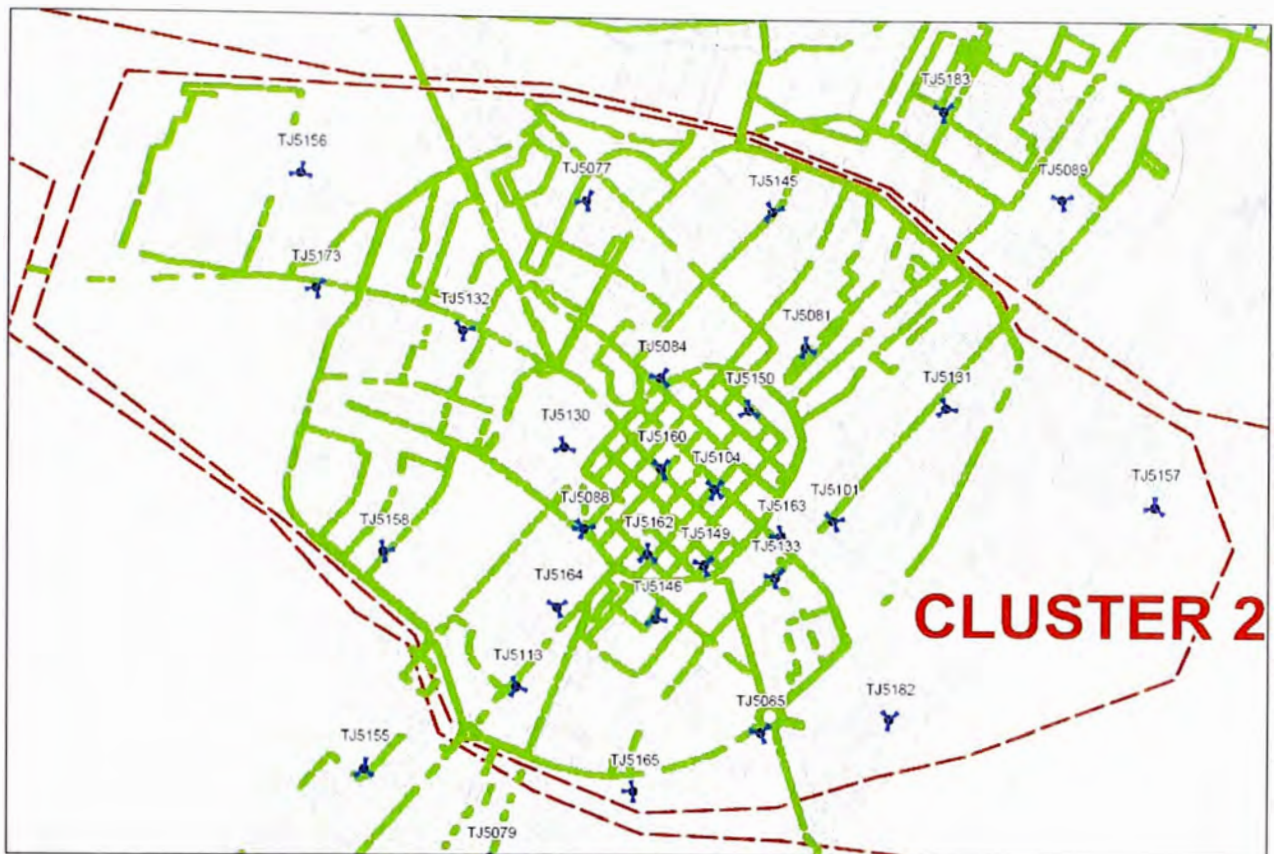


Fig. 3.4 Área de cluster y ruta de prueba

### 3º) Definiendo la ruta de prueba

La ruta de prueba se definió con el fin de abarcar el área de los tres clusters, que son el objetivo de la optimización RF.

### 4º) Preparando las herramientas e información

- Software: TEMS Investigation Route Analysis 6.0, MapInfo 8.5
- Dispositivos: Sony Ericsson T616 (modo de escáner), Sony Ericsson T616 (modo terminal de pruebas), computador portátil Centrino 1G/60G/USB/COM.
- Información de utilidad: lista de parámetros de ingeniería, mapa, parámetros de configuración de la red, detalle con los resultados de la verificación de sitios, requerimientos de KPI.

### ii) Colección de los datos

Durante la optimización RF, el objetivo principal es la optimización de la distribución de las señales de radio usando la información recolectada por el drive test, a través del escáner y del MS; usando adicionalmente la información de configuración de las celdas vecinas y de toda la información disponible.

La información fue recolectada de una llamada continua en GSM y de un escáner en banda de 1900MHz (equipo de medición TEMS 6.0).



### iii) Análisis del problema

Luego de realizar los drive test se encontraron algunos problemas de cobertura e interferencia, los cuales fueron resueltos a través del ajuste de parámetros del sitio involucrado, tales como:

- Inclinación de antena.
- Orientación de la antena.
- Ubicación de la antena.
- Separación del sector.
- Eliminación del sector.
- Combinación de sectores.
- Modificación de la altura de la antena.
- Cambio del tipo de antena.
- Instalación de TMAs.
- Equipamiento adicional para el sitio.
- Ubicación de un nuevo sitio.

Llegándose a resolver algunos problemas completamente luego de la modificación apropiada; pero hay que tomar en cuenta también que la optimización RF puede tener desventajas e inconvenientes, como las siguientes:

- i) La duración de la optimización RF será siempre muy prolongada.
- ii) Algunos ajustes propuestos son difíciles de implementar.
- iii) Si el problema no es resuelto por lo optimización RF, es difícil regresar las antenas a las condiciones anteriores iniciales.

A fin de realizar la optimización, en algunos casos se visitó el sitio o bien se revisaron las fotos y reportes realizados anteriormente de estos, y de esa forma conocer sus condiciones actuales y encontrar una solución al problema; asimismo se realizaron ajustes de RF en “caliente” y se verificaron los resultados de los cambios realizados al mismo tiempo, con el fin de acelerar la optimización.

#### 1º) Análisis del problema de cobertura RF:

El análisis del problema de cobertura RF es importante para la optimización RF, e involucra a la distribución de señal. Siendo los problemas de cobertura analizados los siguientes:

- La cobertura baja presentada en ciertos casos, con niveles de señal menores a -95dBm.
- Traslape de cobertura de ciertos sectores con otros, mas allá del rango planeado, llegando a ser el mejor servidor en forma discontinua en las áreas de cobertura de otros sitios.

- Desbalance entre uplink y downlink, que se refiere a áreas de cobertura no simétricas para uplink y downlink en algunos sitios que implicaron la instalación de TMAs para conseguir un mejor balance.
- La no existencia de sectores dominantes en ciertas zonas, que incrementan los eventos de handover y reelección de los MS entre diferentes sectores.

Todo lo cual requirió la ejecución del proceso de análisis de cobertura siguiente:

- Análisis de cobertura downlink.
  - De los niveles de cobertura del canal de control (BCCH), que requirió la identificación de las áreas con pobre cobertura, tal como se puede ver en la figura 3.5; siendo los valores utilizados para definir la cobertura los siguientes:
    - ❖ Buena cobertura (cobertura indoor):  $RSSI \geq -75$  dBm.
    - ❖ Aceptable cobertura (cobertura outdoor):  $-95 \text{ dBm} \leq RSSI < -75$  dBm.
    - ❖ Pobre cobertura:  $RSSI < -95$  dBm.

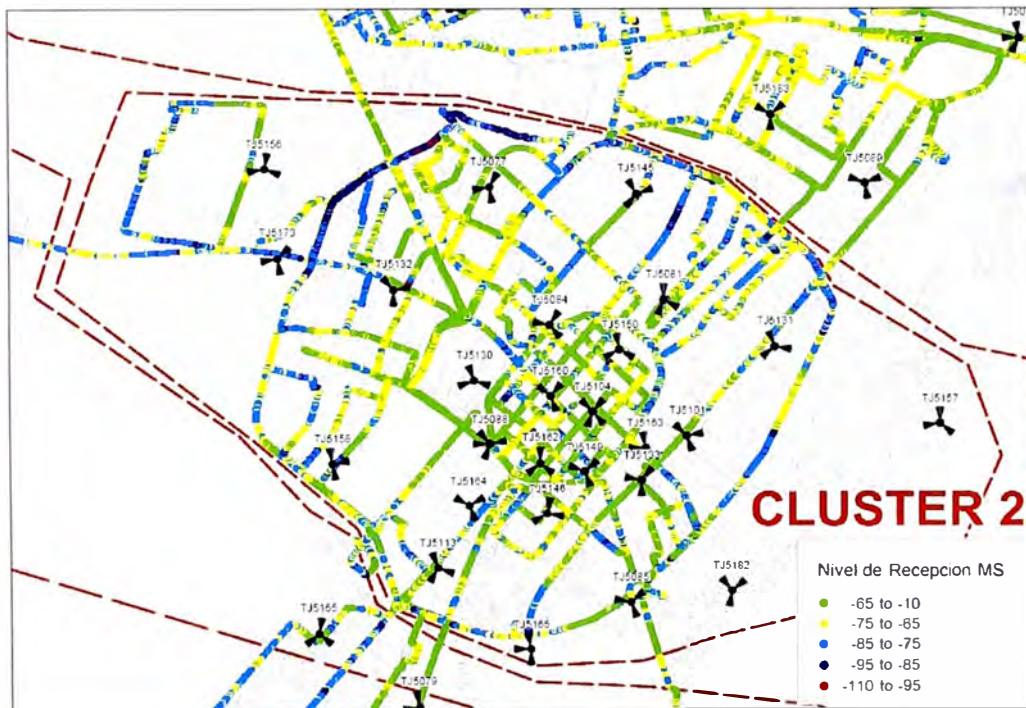


Fig. 3.5 Niveles de recepción del MS

Usando estos valores identificamos las áreas con débil cobertura ( $< -95$  dBm) o aquellas que tienen solo cobertura outdoor ( $\geq -95$  dBm y  $< -75$  dBm) donde no hay sectores dominantes y las separamos del total del área del cluster a fin de realizar un mayor análisis.

- De la calidad de cobertura del canal de control.

Se mide a través del Rx Quality de la llamada durante su duración, tal como se puede ver en la figura 3.6.

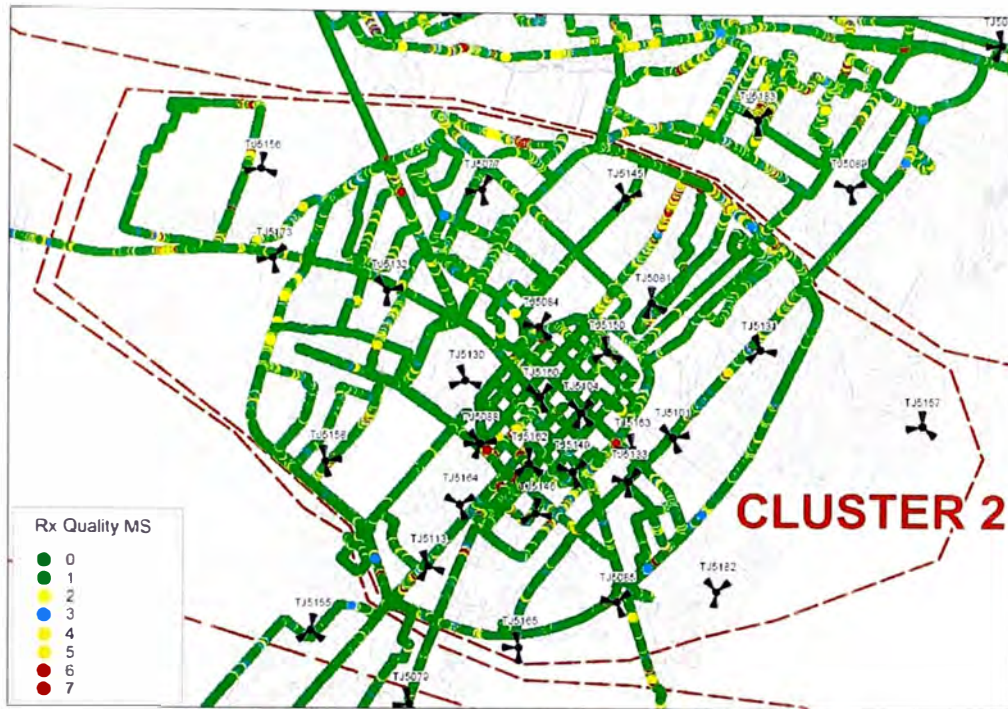


Fig. 3.6 Niveles de calidad del MS

El rango de Rx Quality va desde 0 hasta 7, los cuales tienen una equivalencia en BER y fueron analizados en base a los siguientes umbrales:

- Buena calidad:  $0 \leq RxQuality \leq 1$
- Aceptable calidad:  $2 \leq RxQuality \leq 3$
- Mala calidad:  $4 \leq RxQuality \leq 5$
- Muy mala calidad:  $6 \leq RxQuality \leq 7$

Luego de la verificación de cobertura usando la clasificación descrita en base a los rangos de RxQuality, se encontraron varias zonas con mala calidad que se plantearon a ser un objetivo a mejorar; con este propósito también se realizó la dispersión entre los niveles de señal medidos por el MS con los niveles de calidad medidos en el mismo instante a fin de determinar la presencia de interferencia, esto es detectando si hay mediciones con valores de calidad entre 5 y 7 (malos) con niveles de señal mayores a -70dBm, lo cual se muestra en la figura 3.7.

Luego de analizar la misma se concluye que si existe cierto grado de interferencia que debe ser mejorado como parte del proceso de optimización.

Adicionalmente, los resultados de las mediciones de campo iniciales realizadas con el equipo TEMS 6.0, se pueden ver en las figuras 3.8, 3.9, 3.10, 3.11 y 3.12.

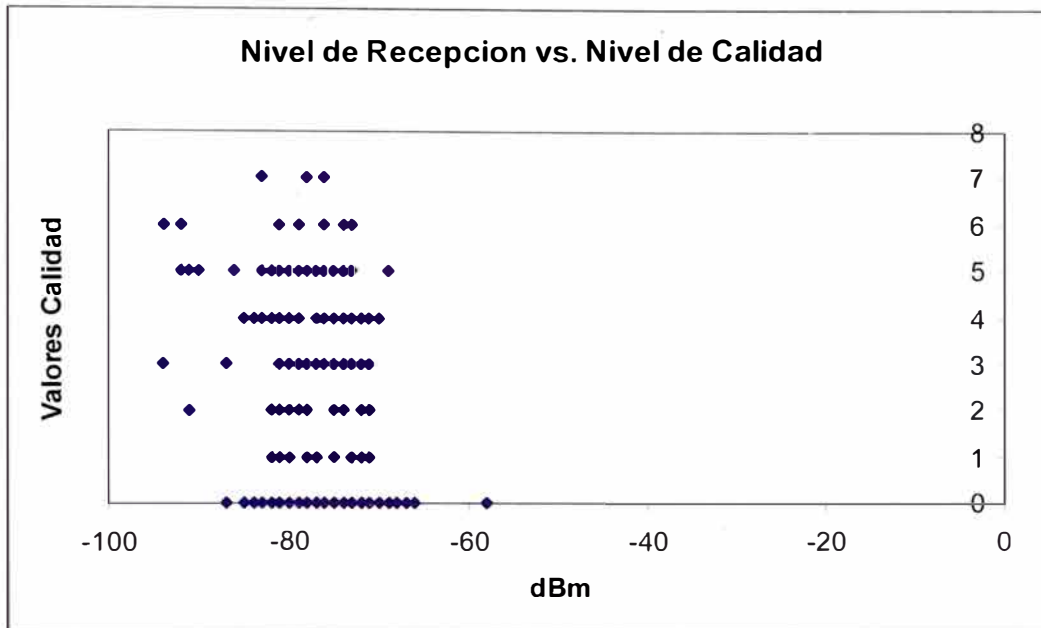


Fig. 3.7 Distribución de Valores de Recepción vs. Valores de Calidad

- De la cobertura del canal de control por sector.

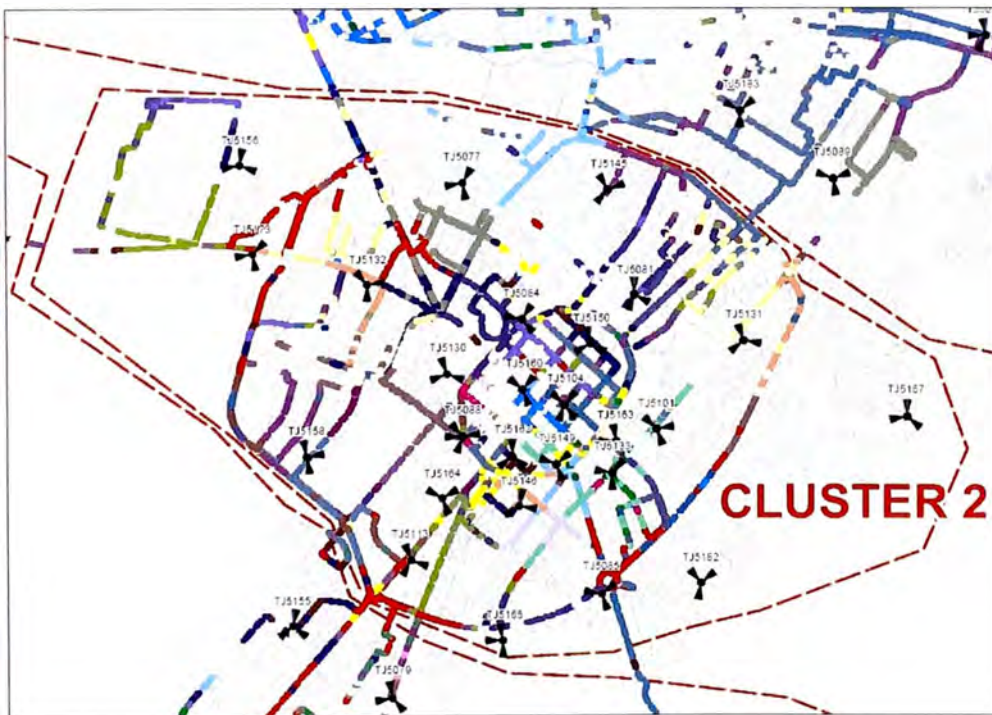


Fig. 3.8 Cobertura por sector (escáner)

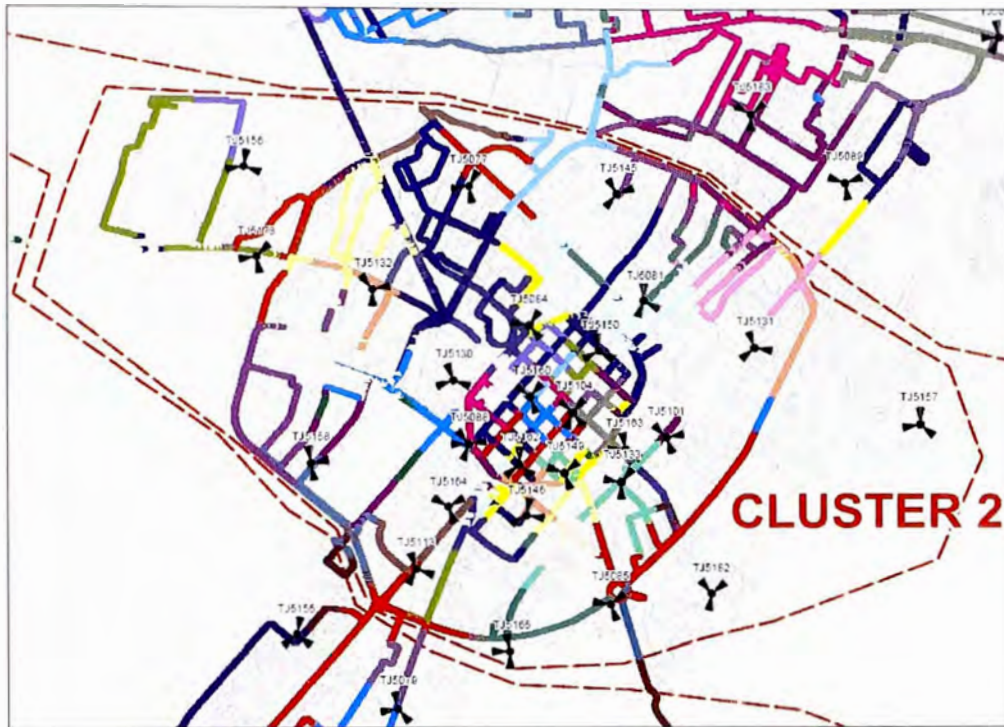


Fig. 3.9 Cobertura por sector (MS)

- De la comparación de la cobertura RSSI entre el MS y el escáner.

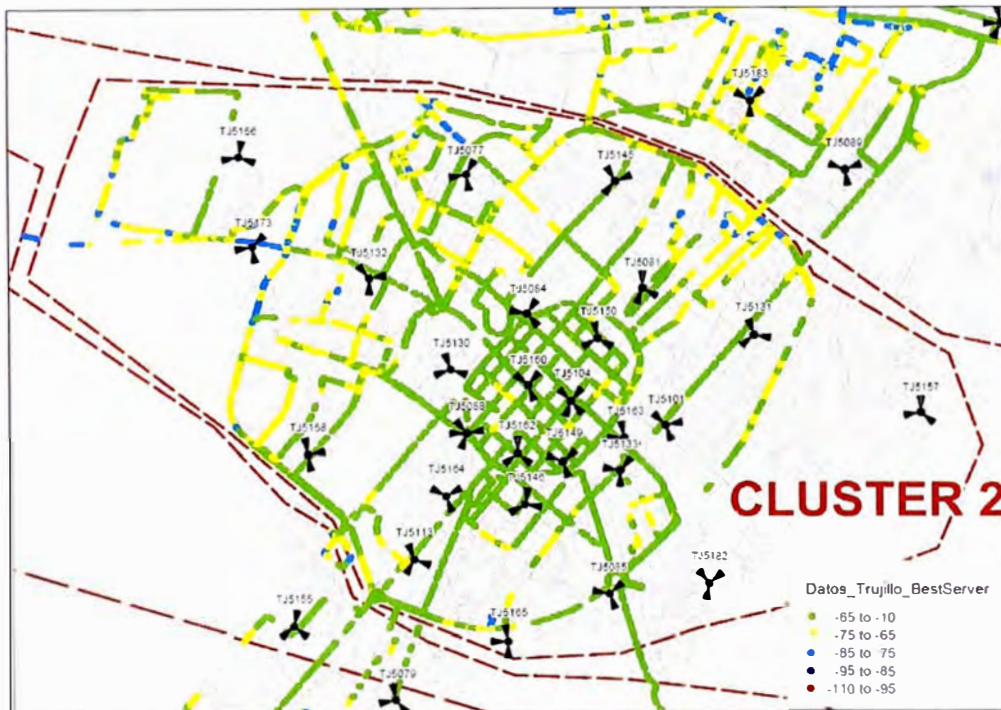


Fig. 3.10 Niveles de señal RSSI medidos en el escáner

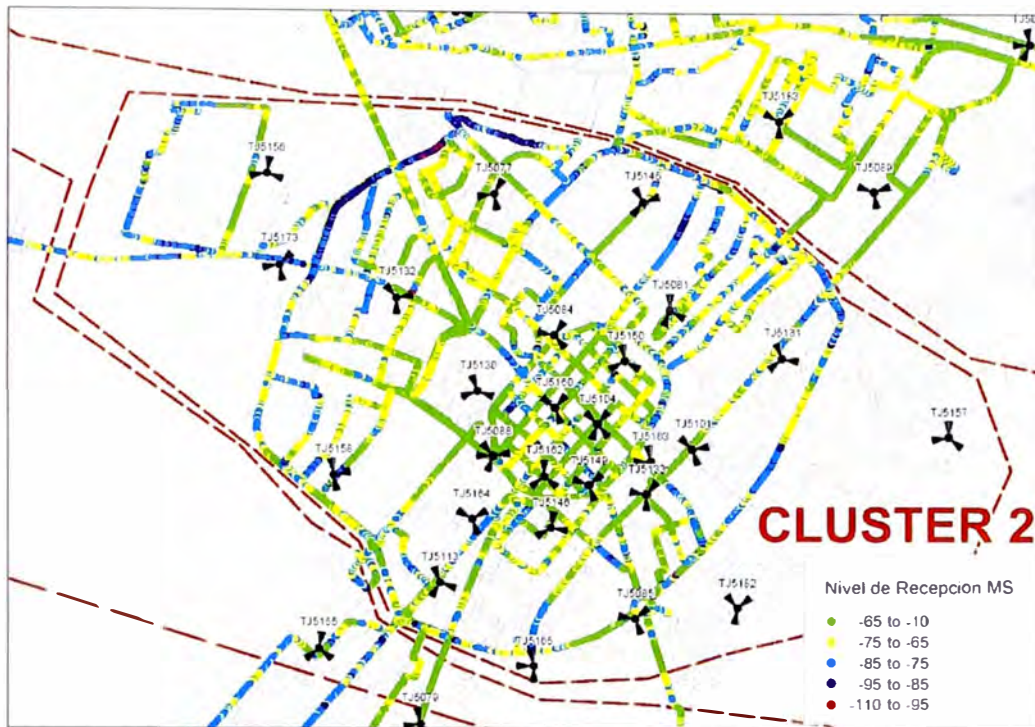


Fig. 3.11 Niveles de señal RSSI medidos por el MS

- Análisis de cobertura uplink.
  - De la distribución de la potencia transmitida por el MS.

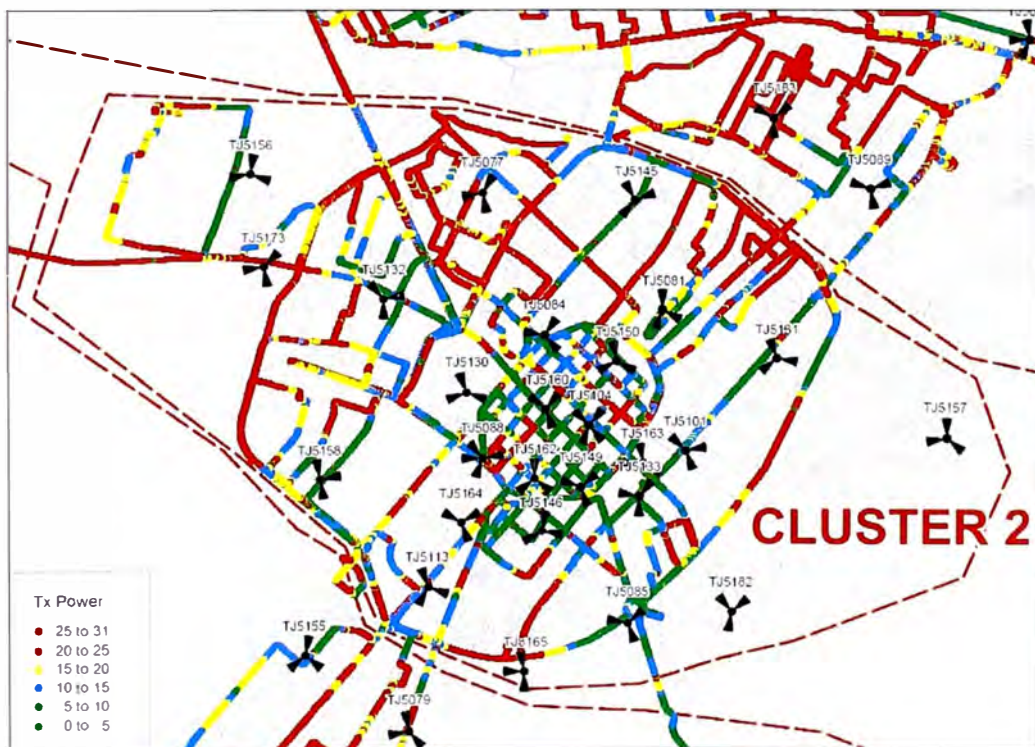


Fig. 3.12 Niveles de transmisión de potencia del MS

El análisis de la cobertura uplink se obtiene de la potencia transmitida por el MS durante las pruebas de campo, tal como se observa en la figura 3.12. Asimismo, se pueden definir los siguientes valores para clasificar los valores de Tx Power:

- Bueno: si el MS transmite  $\leq 0$  dBm
- Aceptable: si el MS transmite  $\leq 10$  dBm
- Malo: si el MS transmite  $> 10$  dBm

## 2º) Análisis de los problema de handover:

A través del ajuste de los parámetros de RF, se logró controlar el tamaño y la ubicación de las áreas de handover, lo cual contribuyó a la reducción de las llamadas caídas debido a fluctuación de la señal y al incremento de la tasa de handovers exitosos.

La solución del problema de handover requirió realizar la optimización de las celdas vecinas, a través del ajuste del azimuth y/o de la inclinación de las antenas, ya que esto cambia la cobertura de las celdas reduciendo las áreas de handovers a fin de evitar las sobre-coberturas.

Además, durante la optimización RF la falta de una celda vecina en las lista de vecindades es un problema crítico. Por lo cual, la optimización de las celdas vecinas incluyó el agregado y borrado de estas. Esto es:

- Agregando, vecindades faltantes hasta un máximo de 32 en la lista de vecinos. Debido a que esta falta puede causar que una celda con el canal de control más fuerte no pueda establecer una conexión con el MS, de tal forma que se incremente la probabilidad de que se produzca una caída de llamada al producirse un arrastre de llamada por el MS por no haberse realizado el handover.
- Borrando, aquellas vecindades que no fueron medidas por el MS pero que están definidos en la lista de vecinos. Debido a que una lista redundante de vecinos causa que la información de celdas vecinas sea excesiva y que un costo de señalización innecesario ocurra.

Además se realizó la comparación entre las celdas vecinas vistas por el escáner (ver figura 3.8) y las celdas vecinas configuradas a fin de hallar las vecindades faltantes. Esto se realizó ubicando las celdas en un mapa y analizando si la vecindad que aparentemente es necesaria agregar es vecina o existe una sobre-cobertura de esta; si esto último ocurrió en algunos casos lo primordial que se tomó en cuenta fue resolver el problema de cobertura a través del ajuste de parámetros de RF, y si ocurría que se perjudicaba la cobertura, se resolvió el problema agregando temporalmente la vecindad requerida hasta que probablemente se defina la ubicación de una nueva celda.

Otra manera de encontrar zonas con celdas vecinas faltantes fue a través de la comparación de la medición del RSSI del MS con la medición del escáner del canal de control más fuerte. Estas zonas fueron localizadas y se completaron las adyacencias faltantes siguientes:

- Entre el sector TJ50772 con el sector TJ51302.
- Entre el sector TJ51731 con el sector TJ50771.
- Entre el sector TJ50811 con el sector TJ50892.
- Entre el sector TJ50813 con el sector TJ50841.
- Entre el sector TJ50884 con el sector TJ50843.
- Entre el sector TJ51451 con el sector TJ50841.
- Entre el sector TJ50772 con el sector TJ51503.
- Entre el sector TJ50813 con el sector TJ50771.
- Entre el sector TJ50813 con el sector TJ50772.
- Entre el sector TJ51582 con el sector TJ50793.

En los casos donde se encontró sobre-cobertura fue necesario reducir o cambiar las áreas de handover usando los siguientes métodos:

- Incrementando el downtilt.
- Modificando el azimuth.
- Reduciendo la altura de la antena.
- Reduciendo la potencia del canal de control donde fue necesario.

b) Obtención de los nuevos parámetros de ingeniería

Los nuevos parámetros de ingeniería se obtienen mediante el uso de herramientas de simulación que nos permiten predecir la nueva cobertura de un sector tomando en cuenta los probables cambios en los parámetros físicos o parámetros de ingeniería (azimuth, tilt, altura, tipo de antena, etc.) o en los parámetros lógicos (potencia, activación de funcionalidades como HR y demás parámetros posibles de simular su efecto en la red). Dichas herramientas usan modelos de propagación de cobertura basados en el tipo de morfología, usan también en su base de datos las características constructivas de las zonas de evaluación y adicionalmente se pueden ajustar aún más a la realidad retroalimentándose con información colectada de las mediciones de campo. A fin de que una vez aplicados los cambios propuestos (resultados del uso de estas herramientas) dentro de los sitios correspondientes al cluster se logre una mejora del servicio prestado al cliente. Los valores de los parámetros de ingeniería encontrados durante las pruebas de medición de campo se pueden apreciar en la tabla 3.1.



TABLA N° 3.1 Parámetros de ingeniería durante mediciones en Cluster 2 (Trujillo)

Sitio	Nombre	Sector	LAC	RAC	Azimuth Inicial	Tilt Inicial	Altura torre	Tipo de antena
TJ5077	Da Silva	TJ50771	4001	206	30	2	27	CS72156 01
TJ5077	Da Silva	TJ50772	4001	206	170	5	27	CS72156 01
TJ5077	Da Silva	TJ50773	4001	206	260	4	27	CS72156 01
TJ5081	Caqueta	TJ50811	4001	206	0	5	28	CS72156 01
TJ5081	Caqueta	TJ50812	4001	206	120	5	28	CS72156 01
TJ5081	Caqueta	TJ50813	4001	206	200	6	28	CS72156 01
TJ5084	Mansiche	TJ50841	4001	206	35	4	23 35	CS72156 01
TJ5084	Mansiche	TJ50842	4001	206	140	5	23 35	CS72156 01
TJ5084	Mansiche	TJ50843	4001	206	280	4	23 35	CS72156 01
TJ5085	Miguel Grau	TJ50851	4001	206	50	4	30	CS72148
TJ5085	Miguel Grau	TJ50852	4001	206	160	4	30	CS72148
TJ5085	Miguel Grau	TJ50853	4001	206	280	4	30	CS72148
TJ5088	Montserrat	TJ50881	4001	206	80	6	38	CS72156 01
TJ5088	Montserrat	TJ50882	4001	206	200	6	38	CS72156 01
TJ5088	Montserrat	TJ50883	4001	206	270	4	38	CS72156 01
TJ5088	Montserrat	TJ50884	4001	206	320	6	38	CS72156 01
TJ5101	Trujillo Centro	TJ51011	4001	206	80	2	25	AP18-1850/065D/XP
TJ5101	Trujillo Centro	TJ51012	4001	206	160	4	25	AP18-1850/065D/XP
TJ5101	Trujillo Centro	TJ51013	4001	206	310	6	25	AP18-1850/065D/XP
TJ5104	Galerías	TJ51041	4001	206	40	4	25	741989
TJ5104	Galerías	TJ51042	4001	206	140	6	25	741989
TJ5104	Galerías	TJ51043	4001	206	200	5	25	741989
TJ5104	Galerías	TJ51044	4001	206	315	6	25	741989
TJ5113	Sede Trujillo	TJ51131	4001	206	110	5	35	741989
TJ5113	Sede Trujillo	TJ51132	4001	206	210	5	35	AP18-1850/065D/XP
TJ5113	Sede Trujillo	TJ51133	4001	206	340	5	35	AP18-1850/065D/XP
TJ5130	Daniel Carrion Trujillo	TJ51301	4001	206	110	5	29 43	742215
TJ5130	Daniel Carrion Trujillo	TJ51302	4001	206	250	3	29 43	742215
TJ5130	Daniel Carrion Trujillo	TJ51303	4001	206	340	3	29 43	742215
TJ5131	Guzman Barron	TJ51311	4001	206	100	4	32	742215
TJ5131	Guzman Barron	TJ51312	4001	206	230	5	32	742215
TJ5131	Guzman Barron	TJ51313	4001	206	340	5	32	742215
TJ5132	Santa Ines	TJ51321	4001	206	80	4	30	742215
TJ5132	Santa Ines	TJ51322	4001	206	180	3	30	742215
TJ5132	Santa Ines	TJ51323	4001	206	320	3	30	742215
TJ5133	Los Incas Trujillo	TJ51331	4001	206	40	5	20	742215
TJ5133	Los Incas Trujillo	TJ51332	4001	206	180	4	20	742215
TJ5133	Los Incas Trujillo	TJ51333	4001	206	280	5	20	742215
TJ5145	Hermilio Valdizan	TJ51451	4001	206	70	4	30	742215
TJ5145	Hermilio Valdizan	TJ51452	4001	206	220	5	30	742215
TJ5145	Hermilio Valdizan	TJ51453	4001	206	330	3	30	742215
TJ5146	Villanueva	TJ51461	4001	206	10	5	19	742215
TJ5146	Villanueva	TJ51462	4001	206	100	4	19	742215
TJ5146	Villanueva	TJ51463	4001	206	240	4	19	742215
TJ5149	Bolognesi	TJ51491	4001	206	50	4	19.4	742215
TJ5149	Bolognesi	TJ51492	4001	206	160	4	19.4	742215
TJ5149	Bolognesi	TJ51493	4001	206	290	6	19.4	742215
TJ5150	Plaza de Toros	TJ51501	4001	206	120	4	22	742215
TJ5150	Plaza de Toros	TJ51502	4001	206	240	5	22	742215
TJ5150	Plaza de Toros	TJ51503	4001	206	350	4	22	742215
TJ5156	Los Cedros	TJ51561	4001	206	10	4	30 25	742215
TJ5156	Los Cedros	TJ51562	4001	206	110	5	30 25	741989
TJ5156	Los Cedros	TJ51563	4001	206	260	3	30 25	741989
TJ5157	El Bosque	TJ51571	4001	206	0	4	30	741989
TJ5157	El Bosque	TJ51572	4001	206	130	3	30	741989
TJ5157	El Bosque	TJ51573	4001	206	260	4	30	742215
TJ5158	Trupal	TJ51581	4001	206	80	3	30 25	742215
TJ5158	Trupal	TJ51582	4001	206	170	4	30 25	742215
TJ5158	Trupal	TJ51583	4001	206	350	4	30 25	742215
TJ5160	El Libertador	TJ51601	4001	206	40	4	15.7	742215
TJ5160	El Libertador	TJ51602	4001	206	160	4	15.7	742215
TJ5160	El Libertador	TJ51603	4001	206	310	4	15.7	742215
TJ5162	Pizarro	TJ51621	4001	206	0	6	18	742215
TJ5162	Pizarro	TJ51622	4001	206	130	6	18	742215
TJ5162	Pizarro	TJ51623	4001	206	230	5	18	742215
TJ5163	Chicago	TJ51631	4001	206	120	6	19	742215
TJ5163	Chicago	TJ51632	4001	206	270	5	19	742215
TJ5163	Chicago	TJ51633	4001	206	350	5	19	742215
TJ5164	Mar Picante	TJ51641	4001	206	60	6	20	742215
TJ5164	Mar Picante	TJ51642	4001	206	160	6	20	742215
TJ5164	Mar Picante	TJ51643	4001	206	300	6	20	742215
TJ5165	Costa Rica	TJ51651	4001	206	180	5	24	742215
TJ5165	Costa Rica	TJ51652	4001	206	270	5	24	742215
TJ5165	Costa Rica	TJ51653	4001	206	350	6	24	742215
TJ5173	El Cortijo Trujillo	TJ51731	4001	206	45	5	30	928DG65T5E-M
TJ5173	El Cortijo Trujillo	TJ51732	4001	206	170	5	30	928DG65T5E-M
TJ5173	El Cortijo Trujillo	TJ51733	4001	206	260	5	30	928DG65T5E-M
TJ5182	Casuarinas Trujillo	TJ51821	4001	206	50	4	18	MG D3-800TV
TJ5182	Casuarinas Trujillo	TJ51822	4001	206	190	4	18	MG D3-800TV
TJ5182	Casuarinas Trujillo	TJ51823	4001	206	320	4	18	MG D3-800TV

Valores iniciales de azimuth del sector.  
Valores iniciales de tilt del sector

Asimismo, los cambios propuestos luego del análisis usando la información colectada y una herramienta de simulación de cobertura se muestran en la tabla 3.2. Donde pueden apreciarse que los nuevos parámetros de ingeniería incluyen cambios en los tilt y/o azimuth de algunos de los sectores involucrados en la optimización del cluster 2, los cuales tienen el propósito de mejorar los niveles de señal así como la calidad de servicio celular prestado por el operador. Además, todos los cambios propuestos fueron posibles de realizar en cada uno de los sectores indicados lo cual nos da una mayor certeza en que esto se reflejará con el efecto deseado en la mejora de la calidad en el cluster 2.

TABLA N° 3.2 Nuevos parámetros de ingeniería optimizados del Cluster 2 (Trujillo)

Sitio	Nombre	Sector	LAC	RAC	Azimuth Final	Tilt Final	Altura torre	Tipo de antena
TJ5077	Da Silva	TJ50771	4001	206	30	2	27	CS72156 01
TJ5077	Da Silva	TJ50772	4001	206	170	5	27	CS72156 01
TJ5077	Da Silva	TJ50773	4001	206	260	5	27	CS72156 01
TJ5081	Caqueta	TJ50811	4001	206	0	6	28	CS72156 01
TJ5081	Caqueta	TJ50812	4001	206	120	6	28	CS72156 01
TJ5081	Caqueta	TJ50813	4001	206	220	7	28	CS72156 01
TJ5084	Mansiche	TJ50841	4001	206	35	5	23 35	CS72156 01
TJ5084	Mansiche	TJ50842	4001	206	140	6	23 35	CS72156 01
TJ5084	Mansiche	TJ50843	4001	206	270	5	23 35	CS72156 01
TJ5085	Miguel Grau	TJ50851	4001	206	40	6	30	CS72148
TJ5085	Miguel Grau	TJ50852	4001	206	160	5	30	CS72148
TJ5085	Miguel Grau	TJ50853	4001	206	280	6	30	CS72148
TJ5088	Monserate	TJ50881	4001	206	80	8	38	CS72156 01
TJ5088	Monserate	TJ50882	4001	206	180	8	38	CS72156 01
TJ5088	Monserate	TJ50883	4001	206	270	6	38	CS72156 01
TJ5088	Monserate	TJ50884	4001	206	345	8	38	CS72156 01
TJ5101	Trujillo Centro	TJ51011	4001	206	60	5	25	AP18-1850/065D/XP
TJ5101	Trujillo Centro	TJ51012	4001	206	180	5	25	AP18-1850/065D/XP
TJ5101	Trujillo Centro	TJ51013	4001	206	315	6	25	AP18-1850/065D/XP
TJ5104	Galerias	TJ51041	4001	206	40	6	25	741989
TJ5104	Galerias	TJ51042	4001	206	140	6	25	741989
TJ5104	Galerias	TJ51043	4001	206	200	6	25	741989
TJ5104	Galerias	TJ51044	4001	206	315	6	25	741989
TJ5113	Sede Trujillo	TJ51131	4001	206	10	5	35	741989
TJ5113	Sede Trujillo	TJ51132	4001	206	160	6	35	AP18-1850/065D/XP
TJ5113	Sede Trujillo	TJ51133	4001	206	270	6	35	AP18-1850/065D/XP
TJ5130	Daniel Carrion Trujillo	TJ51301	4001	206	110	6	29 43	742215
TJ5130	Daniel Carrion Trujillo	TJ51302	4001	206	230	5	29 43	742215
TJ5130	Daniel Carrion Trujillo	TJ51303	4001	206	340	5	29 43	742215
TJ5131	Guzman Barron	TJ51311	4001	206	35	4	32	742215
TJ5131	Guzman Barron	TJ51312	4001	206	170	5	32	742215
TJ5131	Guzman Barron	TJ51313	4001	206	260	5	32	742215
TJ5132	Santa Ines	TJ51321	4001	206	80	5	30	742215
TJ5132	Santa Ines	TJ51322	4001	206	180	5	30	742215
TJ5132	Santa Ines	TJ51323	4001	206	320	3	30	742215
TJ5133	Los Incas Trujillo	TJ51331	4001	206	40	6	20	742215
TJ5133	Los Incas Trujillo	TJ51332	4001	206	180	5	20	742215
TJ5133	Los Incas Trujillo	TJ51333	4001	206	280	6	20	742215
TJ5145	Hermilio Valdizan	TJ51451	4001	206	90	4	30	742215
TJ5145	Hermilio Valdizan	TJ51452	4001	206	220	5	30	742215
TJ5145	Hermilio Valdizan	TJ51453	4001	206	330	3	30	742215
TJ5146	Villanueva	TJ51461	4001	206	350	6	19	742215
TJ5146	Villanueva	TJ51462	4001	206	100	5	19	742215
TJ5146	Villanueva	TJ51463	4001	206	240	5	19	742215
TJ5149	Bolognesi	TJ51491	4001	206	30	6	19.4	742215
TJ5149	Bolognesi	TJ51492	4001	206	160	5	19.4	742215
TJ5149	Bolognesi	TJ51493	4001	206	290	7	19.4	742215
TJ5150	Plaza de Toros	TJ51501	4001	206	120	6	22	742215
TJ5150	Plaza de Toros	TJ51502	4001	206	240	6	22	742215
TJ5150	Plaza de Toros	TJ51503	4001	206	350	5	22	742215
TJ5156	Los Cedros	TJ51561	4001	206	10	4	30 25	742215
TJ5156	Los Cedros	TJ51562	4001	206	110	5	30 25	741989
TJ5156	Los Cedros	TJ51563	4001	206	260	3	30 25	741989
TJ5157	El Bosque	TJ51571	4001	206	0	4	30	741989
TJ5157	El Bosque	TJ51572	4001	206	130	3	30	741989
TJ5157	El Bosque	TJ51573	4001	206	260	5	30	742215
TJ5158	Trupal	TJ51581	4001	206	80	6	30 25	742215
TJ5158	Trupal	TJ51582	4001	206	170	6	30 25	742215
TJ5158	Trupal	TJ51583	4001	206	350	5	30 25	742215
TJ5160	El Libertador	TJ51601	4001	206	0	5	15.7	742215
TJ5160	El Libertador	TJ51602	4001	206	150	5	15.7	742215
TJ5160	El Libertador	TJ51603	4001	206	260	5	15.7	742215
TJ5162	Pizarro	TJ51621	4001	206	10	6	18	742215
TJ5162	Pizarro	TJ51622	4001	206	130	6	18	742215
TJ5162	Pizarro	TJ51623	4001	206	250	6	18	742215
TJ5163	Chicago	TJ51631	4001	206	120	6	19	742215
TJ5163	Chicago	TJ51632	4001	206	270	6	19	742215
TJ5163	Chicago	TJ51633	4001	206	350	6	19	742215
TJ5164	Mar Picante	TJ51641	4001	206	60	6	20	742215
TJ5164	Mar Picante	TJ51642	4001	206	160	6	20	742215
TJ5164	Mar Picante	TJ51643	4001	206	300	6	20	742215
TJ5165	Costa Rica	TJ51651	4001	206	180	6	24	742215
TJ5165	Costa Rica	TJ51652	4001	206	270	6	24	742215
TJ5165	Costa Rica	TJ51653	4001	206	350	6	24	742215
TJ5173	El Cortijo Trujillo	TJ51731	4001	206	45	6	30	928DG65T5E-M
TJ5173	El Cortijo Trujillo	TJ51732	4001	206	170	6	30	928DG65T5E-M
TJ5173	El Cortijo Trujillo	TJ51733	4001	206	260	6	30	928DG65T5E-M
TJ5182	Casuarinas Trujillo	TJ51821	4001	206	50	5	18	MG D3-800TV
TJ5182	Casuarinas Trujillo	TJ51822	4001	206	190	5	18	MG D3-800TV
TJ5182	Casuarinas Trujillo	TJ51823	4001	206	320	5	18	MG D3-800TV

Valores finales de azimuth del sector  
Valores finales de tilt del sector

### 3.2.4 Optimización de parámetros

#### a) Descripción del proceso

Los objetivos de la optimización de parámetros lógicos son:

- Incrementar la tasa de accesos exitosos, que se refiere a la mejora en los KPIs de accesibilidad.
- Reducir la tasa de llamadas caídas, que se refiere a una mejora en los KPIs de retenibilidad.
- Incrementar la calidad del servicio, que se refiere a lograr la mejora de los KPIs de calidad.

Las herramientas e información que se utilizaron para el análisis fueron:

- Escáner y MS.

- Información almacenada en el NetAct.
- Herramientas de base de datos y reportes de KPIs.

Esta optimización incluyó pruebas de campo usando equipos de medición RF así como el análisis de estadísticas.

Las pruebas de campo se dividieron en dos partes: mediciones en rutas principales y mediciones en áreas especiales. Estas mediciones en áreas especiales pueden realizarse a pie por el área de cobertura de algunas celdas indoor que usan sistemas de antenas distribuidas. Para el caso de este cluster no se tenían instalados sistemas indoor con tales características.

Las mediciones de campo fueron utilizados para conseguir información del estatus de la cobertura del servicio en las vías principales y de esa forma optimizar los problemas de fallas de acceso, caídas de llamadas, control de potencia, handover y de calidad del servicio.

#### b) Descripción de los datos de la medición

Las mediciones de campo consistían en:

- Medición del call setup para el servicio de voz.
- Medición de la continuidad de la llamada para el servicio de voz.
- Medición en el modo idle.

Estas mediciones fueron realizadas en forma repetitiva de acuerdo a la ubicación de los problemas a fin de asegurarse que estos estaban presentes constantemente.

El análisis de la información de las mediciones de campo consistieron en:

- Análisis y búsqueda de la solución para las fallas de acceso, tales como parámetros de control de potencia, parámetros de selección de celda y de re-selección, parámetros de acceso, etc.
- Análisis y búsqueda de la solución para las llamadas caídas, tales como parámetros de control de potencia, parámetros de handover, etc.
- Análisis y búsqueda de la solución para los problemas relativos a la calidad del servicio, tales como parámetros de control de potencia, parámetros de RLC, Frequency Hopping, etc.

Se tomó en cuenta durante la optimización de parámetros, que la influencia causada por el ajuste de parámetros de cada celda fueron analizados cuidadosamente. Asimismo, que es difícil predecir con precisión el impacto del cambio de los parámetros, para cuyo seguimiento fue necesario comparar el antes y el después del cambio de los parámetros. Además de realizar la evaluación simultánea junto con el análisis de las estadísticas de la red.

## c) Obtención de los nuevos parámetros de celda

Luego de plantear la modificación de los parámetros de ingeniería, se procedió a realizar la misma tarea con los parámetros lógicos de celda, obteniéndose el detalle de los parámetros iniciales encontrados durante la realización de las mediciones de campo, de los cuales sólo se muestran en la tabla 3.3, los valores de aquellos parámetros lógicos que se concluyó que podrían cambiarse.

TABLA N° 3.3 Parámetros lógicos iniciales del Cluster 2 (Trujillo)

Parámetros de Adyacencia		
Nombre del Campo	Valor Final	Detalle del cambio de parámetro
HO_PRIORITY_LEVEL	3	Inicialmente se encontró en el valor 3, que es un valor definido en la plantilla de creación de adyacencias, y al ser todas definidas con este valor no hay ninguna prioridad entre ellas.
HO_MARGIN_PBG	6	Inicialmente se encontró en el valor 6, que es el definido en la plantilla de creación de adyacencias, y se refiere a la cantidad de dB que deben ser superados por el sector candidato para realizarse un handover a este, cuando se compara el power budget.
HO_MARGIN_LEV	3	Inicialmente se encontró en el valor 3, que es el definido en la plantilla de creación de adyacencias, y se refiere a la cantidad de dB que deben ser superados por el sector candidato para realizarse un handover a este, cuando se compara los niveles de señal.
HO_MARGIN_QUAL	0	Inicialmente se encontró en el valor 0 que es el definido en la plantilla de creación de adyacencias, y se refiere a la cantidad de dB que deben ser superados por el sector candidato para realizarse un handover a este, cuando se compara los niveles de calidad.
TARGET CELL OF DIRECT ACCESS TO DESIRED LAYER (DADL)	N	Inicialmente se encontró en el valor No que es el definido en la plantilla de creación de adyacencias, y se refiere a la activación de prioridades entre bandas, para el establecimiento de llamadas.
AMR TARGET CELL OF DIRECT ACCESS TO DESIRED LAYER (DADLA)	N	Inicialmente se encontró en el valor No que es el definido en la plantilla de creación de adyacencias, y se refiere a la activación de prioridades entre bandas, para el establecimiento de llamadas.
Parámetros de BTS		
Nombre del Campo	Valor Final	Detalle del cambio de parámetro
BSIC_BCC	0..7	Valores iniciales antes de la implementación del plan de frecuencias usando Frequency Hopping.
BTS_IS_HOPPING	No	Valor sin la activación del Frequency Hopping.
BTS_LOAD_THR	70	Valor inicial definido en la plantilla de creación de BTSs, utilizado en la activación de alarmas menores indicando alto tráfico en el sector.
CELL_RESELECT_HYSTERESIS	6	Valor inicial definido en la plantilla de creación de BTSs, utilizado cuando el MS se encuentra en estado de no llamada.
DR_IN_USE	N	Valor inicial definido en la plantilla de creación de BTSs, utilizado para redireccionar el tráfico cuando empieza a aparecer congestión.
DTX_MODE	2	Valor inicial definido en la plantilla de creación de BTSs, siendo el valor 2 la indicación que no se encuentra activado.
HOPPING_MODE	No	Valor inicial definido en la plantilla de creación de BTSs, que indica que no se encuentra activado el Frequency Hopping.
HSN_1	0	Valor inicial definido en la plantilla de creación de BTSs, que indica que no se encuentra activado el Frequency Hopping.
MAIO_OFFSET	0	Valor inicial definido en la plantilla de creación de BTSs, que indica que no se encuentra activado el Frequency Hopping.
MAIO_STEP	1	Valor inicial definido en la plantilla de creación de BTSs, que indica que no se encuentra activado el Frequency Hopping.
MAX_TIME_LIMIT_DIRECTED_RETRY	5	Valor que no estaba uniforme en todos los sectores, y que define el umbral máximo para realizar el redireccionamiento de la llamada al sector vecino por congestión en el sector origen de la misma.
MIN_TIME_LIMIT_DIRECTED_RETRY	0	Valor que no estaba uniforme en todos los sectores, y que define el umbral mínimo para realizar el redireccionamiento de la llamada al sector vecino por congestión en el sector origen de la misma.
Parámetros de Handover		
Nombre del Campo	Valor Final	Detalle del cambio de parámetro
ENA_FAST_AVE_CALL_SETUP	N	Valor inicial definido en la plantilla de creación de BTSs, que indica se debe realizar un establecimiento de llamada en forma normal de acuerdo a los umbrales definidos.
ENA_FAST_AVE_PC	N	Valor inicial definido en la plantilla de creación de BTSs, que indica se debe realizar un control de potencia durante la realización de la llamada en forma normal de acuerdo a los umbrales definidos.
ENA_FAST_AVE_HO	N	Valor inicial definido en la plantilla de creación de BTSs, que indica se debe realizar el handover a un sector candidato en forma normal de acuerdo a los umbrales definidos.
Parámetros de Control de Potencia		
Nombre del Campo	Valor Final	Detalle del cambio de parámetro
PC_CTRL_ENABLED	N	Valor inicial definido en la plantilla de creación de BTSs, que indica que no se encuentra activo el control de potencia.

Tomando en cuenta este criterio, se realizó el análisis de cada uno de los parámetros mostrados en la tabla 3.3, llegándose a plantear nuevos valores. Todos los cuales se muestran en la tabla 3.4, y donde se detallan además las razones para escoger dichos valores.

Los valores de los parámetros indicados en la tabla 3.4, se plantearon debido a que se requería hacer más rápido el acceso de los móviles a la red, además de facilitar los handover, y asimismo realizar una distribución de la carga de tráfico en forma adecuada entre los sitios involucrados en el cluster de trabajo. Estos cambios de parámetros lógicos fueron implementados en forma simultánea a la implementación de los cambios en los parámetros de ingeniería mostrados en la tabla 3.2, a fin de obtener un resultado inmediato en la mejora de la calidad.

**TABLA N° 3.4 Nuevos parámetros lógicos optimizados del Cluster 2 (Trujillo)**

Parámetros de Adyacencia		Detalle del cambio de parámetro
Nombre del Campo	Valor Final	
HO_PRIORITY_LEVEL	2, 3	A ser definidos como 2 para la primera capa de adyacencias y como 3 para la segunda capa de adyacencias, a fin de acelerar el handover hacia la primera.
HO_MARGIN_PBG	3	Debe ser reducido a 3, a fin de que realice el handover en llamada más rápido.
HO_MARGIN_LEV	2	Debe ser puesto a 2 a fin de facilitar el HO por nivel.
HO_MARGIN_QUAL	3	Debe ser puesto a 3 a fin de evitar los handovers innecesarios, ya que se va a activar el Frequency Hopping.
TARGET_CELL_OF_DIRECT_ACCESS_TO_DESIRE_LAYER(DADL)	Y	Debe ser activado en los sitios con banda de 850 que serán implementados en la ciudad de Trujillo, a fin de asegurar que el tráfico tenga prioridad en la capa de 1900MHz.
AMR_TARGET_CELL_OF_DIRECT_ACCESS_TO_DESIRE_LAYER(DADLA)	Y	Debe ser activado en los sitios con banda de 850 que serán implementados en la ciudad de Trujillo, a fin de asegurar que el tráfico tenga prioridad en la capa de 1900MHz.
Parámetros de BTS		Detalle del cambio de parámetro
Nombre del Campo	Valor Final	
BSIC_BCC	0, 7	Nuevo valor a ser configurado luego de la implementación del plan de frecuencias usando Frequency Hopping.
BTS_IS_HOPPING	RF	De cambiar a Frequency Hopping de RF.
BTS_LOAD_THR	50	Debe ser modificado en los sitios con banda de 850 que serán implementados en la ciudad de Trujillo, a fin de asegurar que el tráfico tenga prioridad en la capa de 1900MHz.
CELL_RESELECT_HYSTERESIS	3	Debe ser reducido a 3, a fin de que realice el handover en idle más rápido.
DR_IN_USE	Y	Debe ser activado en todas las BTSs a fin de que se redireccione la llamada al sector vecino cuando hay congestión en la celda originaria de la llamada.
DTX_MODE	2	Debe ser activado a fin de que disminuyan los niveles de interferencia en el uplink.
HOPPING_MODE	RF	El modo de Frequency Hopping, el cual será el Sintetizado (RF).
HSN_1	0, 62	El valor de la secuencia de hopping a ser definido en cada sector.
MAIO_OFFSET	0, 62	El valor del offset para el hopping a ser definido en cada sector.
MAIO_STEP	2	Se definirá en 2 a fin de permitir una menor interferencia, ya que define el tipo de salto para el hopping.
MAX_TIME_LIMIT_DIRECTED_RETRY	5	Definición del umbral máximo para realizar el redireccionamiento de la llamada al sector vecino por congestión en el sector origen de la misma.
MIN_TIME_LIMIT_DIRECTED_RETRY	0	Definición del umbral de espera mínimo para realizar el redireccionamiento de la llamada al sector vecino por congestión en el sector origen de la misma.
Parámetros de Handover		Detalle del cambio de parámetro
Nombre del Campo	Valor Final	
ENA_FAST_AVE_CALL_SETUP	Y	Se cambiará Y, a fin de acelerar la realización de la originación de la llamada.
ENA_FAST_AVE_PC	Y	Se cambiará Y, a fin de acelerar la toma de decisión para realizar el control de potencia.
ENA_FAST_AVE_HO	Y	Se cambiará Y, a fin de acelerar la toma de decisión para realizar el handover.
Parámetros de Control de Potencia		Detalle del cambio de parámetro
Nombre del Campo	Valor Final	
PC_CTRL_ENABLED	Y	Se cambiará Y, a fin de activar el control de potencia a fin de disminuir los niveles de interferencia en el downlink.

### 3.2.5 Reporte final de optimización

El reporte de optimización fue presentado al final de haberse terminado el trabajo con el cluster 2 de la ciudad de Trujillo, y se preparó tomando en cuenta las siguientes partes:

- Introducción al proyecto de optimización del cluster.
- Estatus inicial de los sitios involucrados en el cluster.
- Descripción del proceso de optimización.
- Detalle del análisis de los problemas y las recomendaciones propuestas.
- Mediciones luego de los cambios y evaluación de los resultados.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Análisis descriptivo

Luego de la evaluación de las mediciones de campo realizadas usando los equipos de radiofrecuencia (TEMS Investigation 6.0), tomando en cuenta los resultados de las predicciones obtenidas con la herramienta de simulación (Asset), así como usando la información de configuración de los sitios y la información estadística disponible en el NetAct, se tiene que:

- Se observaron problemas de sobre-cobertura en toda el área correspondiente al cluster 2 de la ciudad de Trujillo, lo cual hizo necesario realizar ajustes en los parámetros de ingeniería en casi un 75% de los sectores del cluster, esto nos permitió una mejora en los niveles de C/I, y por tal razón una mejora en los índices de calidad. Los valores de los nuevos parámetros de ingeniería implementados se pueden observar en la tabla 3.2; así como también se puede apreciar la mejora en los índices de calidad (KPIs) en la figuras 4.3, figura 4.4, figura 4.5 y figura 4.6, comparando las gráficas que muestran estas figuras con el levantamiento de la información de KPIs inicialmente realizados, los cuales fueron mostrados en la figura 1.3, figura 1.4, figura 1.5 y figura 1.6.
- Son muy pocas las áreas dentro de este cluster, que tienen problemas de señal baja (inferior a -95dBm) esto en ambientes outdoor (exteriores), por lo que no fue necesario realizar la integración de nuevos sitios a causa de esto. Pero si se llegó a implementar dos sitios adicionales a fin de mejorar los niveles de señal indoor (dentro de las edificaciones). Estos fueron: Casuarinas Trujillo (TJ5182) y Costa Rica (TJ5165).
- Se determinó la necesidad de instalar TMAs (amplificadores en uplink) en algunos sectores que tenían problemas de señal baja en el uplink. Estos fueron: El Cortijo Trujillo (TJ5173), Da Silva (TJ5077), Monserrate (TJ5088), Mar Picante (TJ5164) y Plaza de Toros (TJ5150), debido a que esto contribuía a la existencia de un

desbalance entre la señal downlink y la señal uplink, y por tal razón se tenga una mayor tasa de llamadas caídas en estos sitios debido a este desbalance.

- Se determinó la necesidad de realizar un cambio de todo el plan de frecuencias en la ciudad de Trujillo (el cual incluyó al cluster 2), esto con el fin de mejorar la capacidad de crecimiento de transmisores sin llegar a afectar la calidad del servicio, además de mejorar la calidad de la señal a causa de la reducción de la interferencia. Debido a lo cual se implementó el Frequency Hopping Syntetizado (Hopping de RF) obteniéndose excelentes resultados con mejoras en los KPI del cluster.
- Se completaron adyacencias entre sectores vecinos que faltaban ser definidas, y que ocasionaba en algunos casos caída en las llamadas.
- Se realizaron ajustes en algunos parámetros lógicos de los sectores a fin de contribuir también en la mejora de la percepción de un buen servicio por parte del usuario, los cuales están detallados en la tabla 3.4, como los nuevos parámetros lógicos optimizados del cluster 2. Para cuya implementación en los sitios se hicieron uso de herramientas de software incluidas en la parte del Network Management Subsystem, específicamente el equipamiento de Operación y Mantenimiento, el cual esta compuesto de servidores que contienen base de datos y programas que almacenan la configuración del sistema celular y se encargan de su implementación en forma adecuada en cada elemento de Red involucrado.

## **4.2 Análisis de resultados de cambios propuestos en parámetros de ingeniería**

Luego de la implementación de los cambios propuestos en los parámetros de ingeniería se obtuvieron excelentes resultados, los cuales han sido descritos en los siguientes ítems:

### **4.2.1 Mejora en cobertura del cluster como resultado de cambios propuestos**

La figura 4.1 muestra la cobertura simulada antes de la ejecución de los cambios en los parámetros de ingeniería. Lo cual corresponde con los resultados de la medición de campo mostrados en la figura 3.10.

Como ya se mencionó anteriormente se evaluaron varios cambios en los parámetros de ingeniería los cuales fueron ejecutados en su totalidad.

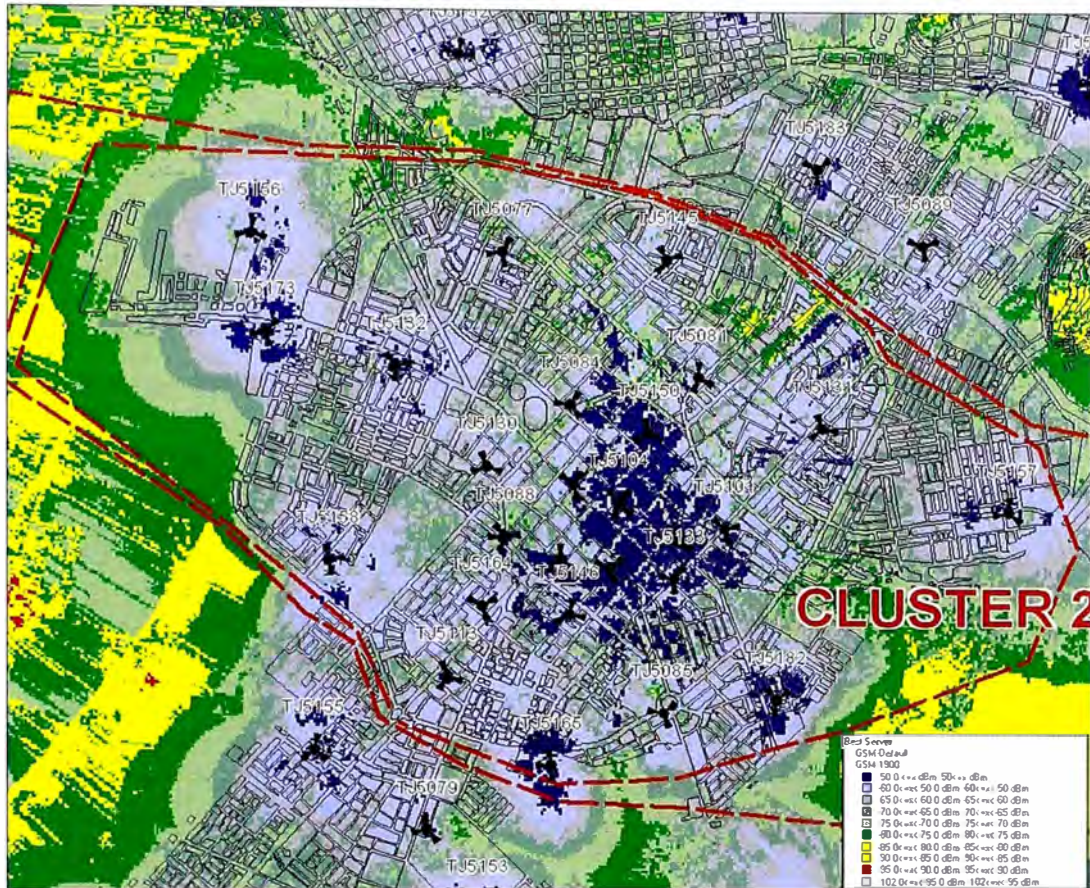


Fig. 4.1 Cobertura simulada antes de los cambios en los parámetros de ingeniería

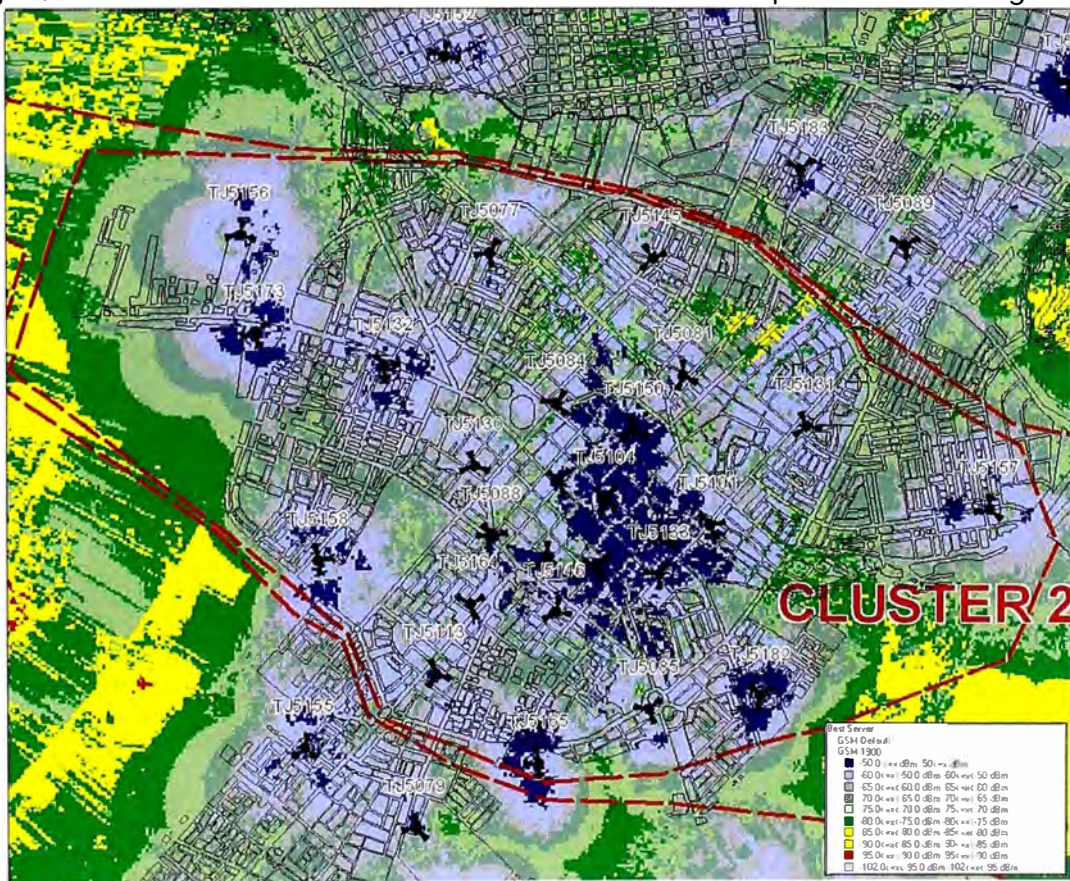


Fig. 4.2 Cobertura simulada incluyendo los cambios en los parámetros de ingeniería



Es necesario mencionar que la simulación de cobertura fue realizada usando la base de datos con una resolución de 15m. por cluter, que es suficiente para tener una simulación realista que toma en cuenta la morfología presente actualmente en el área del cluster.

#### 4.2.2 Mejora en los KPI como resultado de cambios propuestos

Se realizó también la evaluación de los KPI luego de la ejecución de los cambios propuestos, observándose también una evolución positiva en los mismos, tal como se puede observar en las figuras siguientes:

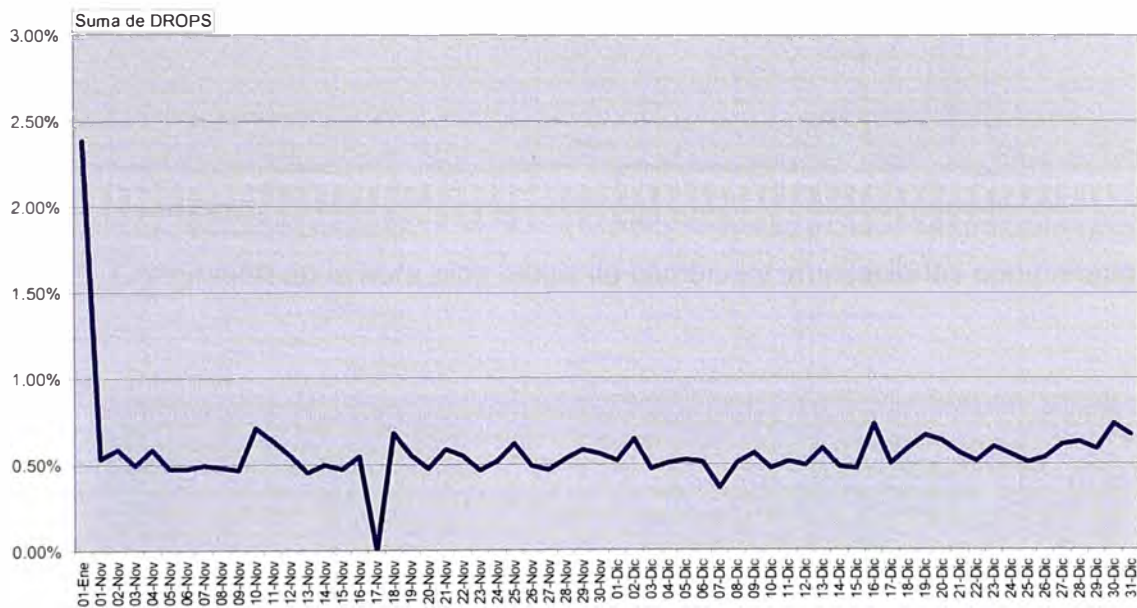


Fig. 4.3 Tasa de las llamadas caídas luego de las acciones de optimización

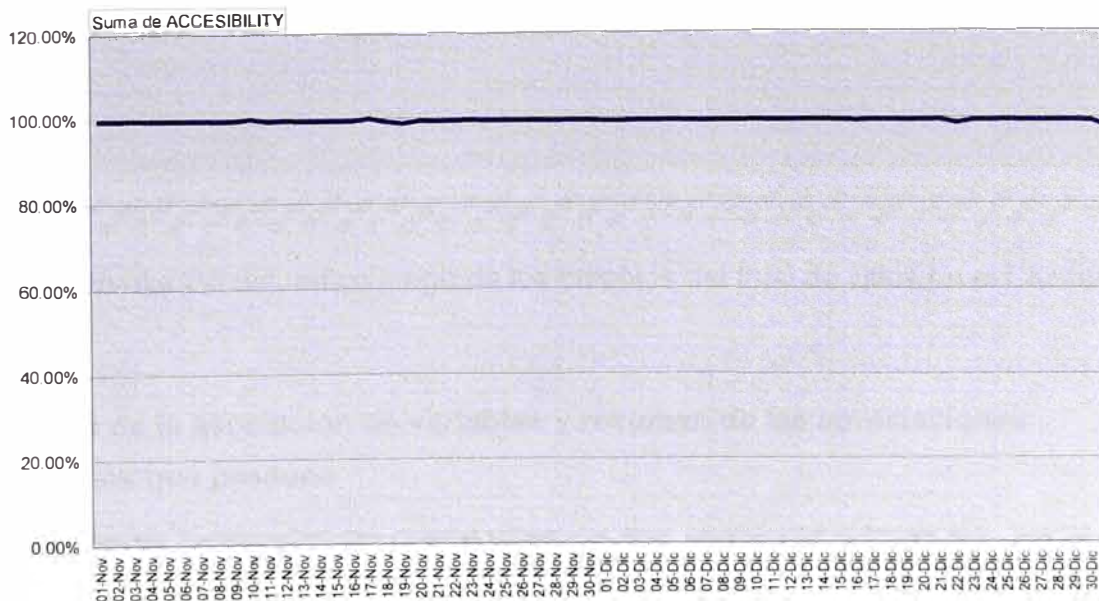


Fig. 4.4 Mejora en la accesibilidad de los sitios del cluster 2

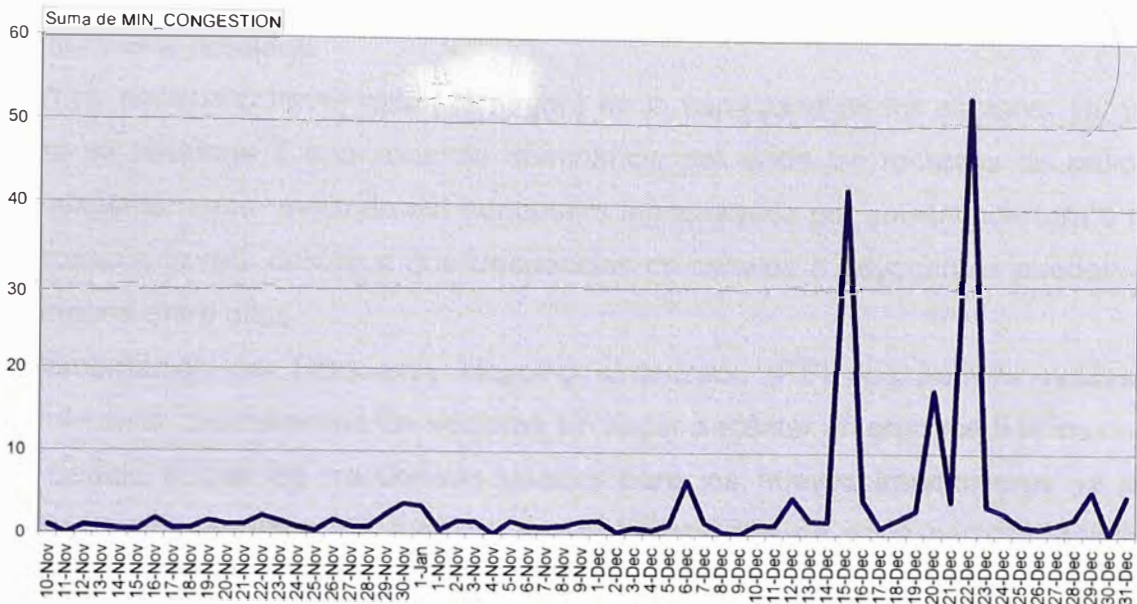


Fig. 4.5 Congestión en la hora pico luego de cambios y ampliaciones completadas

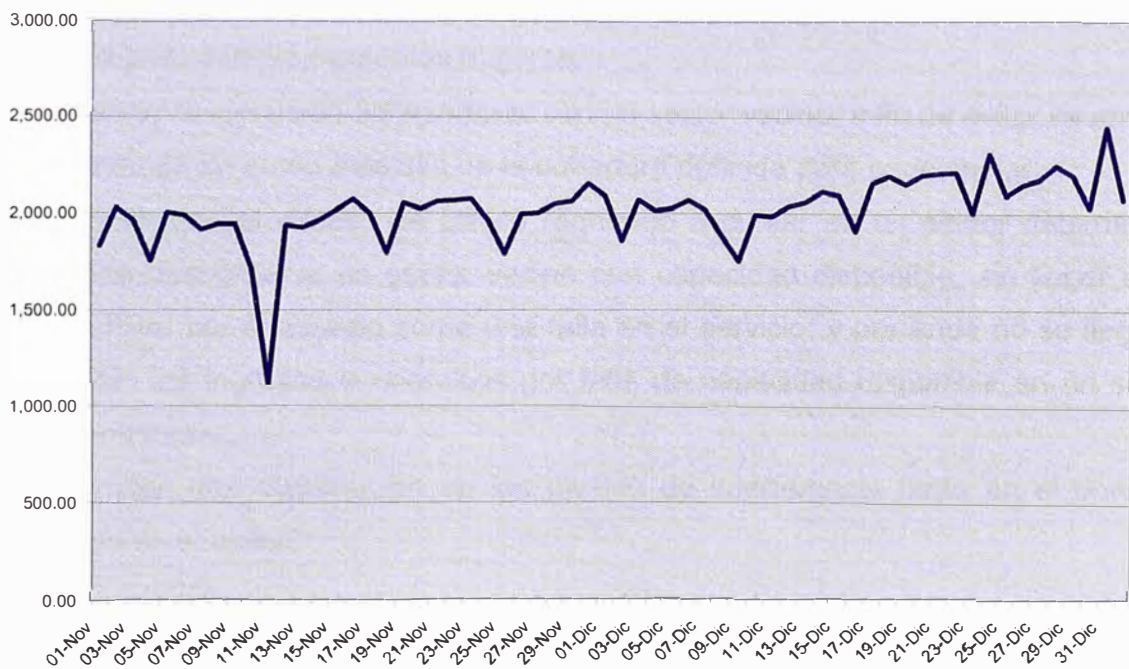


Fig. 4.6 Evolución del tráfico luego de los cambios del total de sitios en el Cluster 2

### 4.3 Análisis de la asociación de variables y resumen de las apreciaciones relevantes que produce

De los resultados mostrados, se puede observar que existe una interacción directa entre el ajuste de la cobertura de cada sector (a través del aumento en la inclinación de las antenas o del cambio en la orientación de las mismas) con la mejora de los indicadores,

ya que se definen zonas de dominancia en cada sector. Esto también influye en las mediciones de C/I, los cuales se incrementan generando valores de Rx Quality mejores a los anteriormente medidos.

También es necesario hacer notar, la mejora en la capacidad de los sectores ya que la cobertura se restringe a una zona de dominancia por ende los recursos de radio son usados eficientemente, evitando así handovers innecesarios por sobre-cobertura o fallas en el acceso a la red, debido a que frecuencias co-canales o adyacentes pueden estar interfiriéndose entre ellas.

La implementación del Frequency Hopping sintetizado (RF) nos permite realizar un incremento en la capacidad de los sectores sin llegar a afectar en gran medida los niveles de C/I, debido a que las frecuencias usadas para los nuevos transmisores ya están siendo usado en las listas de hopping ya implementados en cada sector. Asimismo, usando esta estrategia del plan de frecuencias podemos llegar a realizar expansiones en la cantidad de transmisores por sector hasta llegar al límite dado por la capacidad del hardware.

La modificación en los parámetros lógicos (configuración en el sistema), mostrados en la tabla 3.4 nos permiten las siguientes mejoras:

- Acelerar la ejecución del handover con un sector vecino, a fin de evitar se arrastre la llamada en curso más allá de la cobertura definida para cada sector.
- Permitir que el exceso de tráfico requerido a cursar en un sector determinado pueda desbordar a un sector vecino con capacidad disponible, sin llegar a ser percibido por el usuario como una falla en el servicio; y por ende no se llegan a perder los ingresos económicos por falta de capacidad disponible en un sector determinado.
- Permiten una disminución en los niveles de interferencia tanto en el downlink como en el uplink.

#### **4.4 Presupuesto y tiempo de ejecución**

La realización del proyecto de optimización del cluster 2 en la ciudad de Trujillo, tomó en cuenta varios aspectos, estos son:

##### **4.4.1 Recursos**

Los recursos requeridos para la medición de campo son:

- Un equipo de medición de campo conformado por: un Ingeniero de Radio Frecuencia, un conductor, una unidad móvil y el equipo de medición.

- Disponibilidad de chips con líneas telefónicas habilitadas, uno para las llamadas de voz y otro para las mediciones del escáner, usadas con el equipo de medición.

#### 4.4.2 Costos

El cálculo de costos requiere determinar los tiempos necesarios para las labores como parte del proceso de optimización, ya que fue necesario realizar mediciones de campo hasta en tres ocasiones antes de llegar a completar la optimización final.

Se obtuvo la siguiente tabla que muestra los factores a tomar en cuenta en los cálculos del trabajo realizado:

TABLA N° 4.1 Factores que influyen en el cálculo del costo

	Detalle de factores	Valor	Descripción
<b>Factores a tomarse en cuenta para cálculo de consumo telefónico.</b>	Tiempo total entre cada llamada (seg.)	120	Definido.
	Tiempo total de cada llamada efectivo (seg.)	90	Definido.
	Número de llamadas diario	180	Tiempo total diario/Tiempo entre cada llamada
	Tiempo total diario (seg.)	21600	Tiempo de trabajo efectivo diario x 3600 seg.
	Tiempo efectivo diario (seg.)	16200	Tiempo efectivo por llamada x Número de llamadas
	Velocidad promedio en ciudad (Km/h)	20	Definido.
	Velocidad promedio (Km/h) en carretera	50	Definido.
	Tiempo de trabajo efectivo diario (horas)	6	Definido.
<b>Factores a tomarse en cuenta para el cálculo de los días de trabajo.</b>	Tiempo requerido (horas)	4	Longitud a recorrerse en Cluster 2 Trujillo/Velocidad promedio en la ciudad
	Cantidad de días requeridos	0.67	Tiempo requerido en horas/Trabajo efectivo diario
	Días totales de trabajo por localidad	1	Valor redondeado.
	Longitud a recorrerse en el cluster 2, ciudad de Trujillo (Km)	80	Definido.
	Número de repeticiones de las mediciones.	3	Valor obtenido del trabajo total realizado.
<b>Requerimientos</b>	<b>Cantidad de días de trabajo total requeridos</b>	<b>3</b>	Resultado.
	<b>Consumo telefónico mínimo (minutos)</b>	<b>540</b>	Resultado.

La realización de la medición de campo del cluster, toma solamente un día, pero fue necesario realizar hasta 3 mediciones de campo en el mismo cluster, a fin de verificar los cambios finales y lograr la optimización del mismo. La ejecución del proyecto en su conjunto comprende varias etapas y su evolución en el tiempo tardó aproximadamente 7 días útiles, tal como se muestra en la tabla 4.2.

TABLA N° 4.2 Tiempo de ejecución para la optimización del cluster 2

Optimización del Cluster 2 en la ciudad de Trujillo									
	3 de Septiembre 2007	4 de Septiembre 2007	5 de Septiembre 2007	6 de Septiembre 2007	7 de Septiembre 2007	8 de Septiembre 2007	9 de Septiembre 2007	10 de Septiembre 2007	11 de Septiembre 2007
Recolección de datos inicial									
Análisis Inicial									
Segunda recolección de datos									
Análisis Complementario									
Recolección de datos final									
Análisis Final									
Generación de Reporte									

Finalmente, utilizando la información que muestra la tabla 4.1, se puede calcular el costo total de los trabajos realizados, tal como se muestra en la tabla 4.3.

TABLA N° 4.3 Detalles de los costos para optimizar el cluster 2

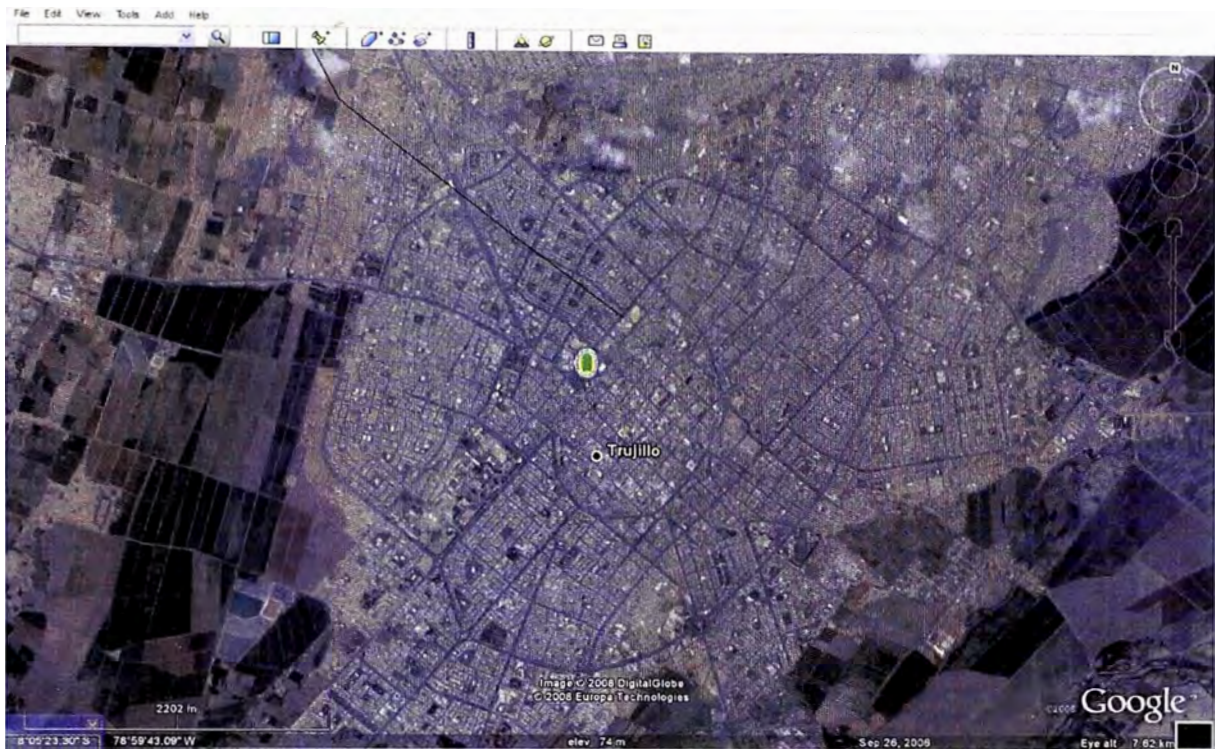
HONORARIOS		Costo Unitario	Cantidad (días)	Subtotal
Pago	Conductor	S/. 50.00	3	S/. 150.00
	Ingeniero RF	S/. 300.00	7	S/. 2,100.00
CONSUMO TELEFÓNICO		Costo Unitario	Cantidad (minutos)	Subtotal
Consumo una línea (min.)		S/. 0.50	540	S/. 270.00
COMBUSTIBLE		Costo Unitario	Cantidad (galones)	Subtotal
Consumo unidad móvil (galón)		S/. 12.00	10	S/. 120.00
ALQUILER EQUIPO DE MEDICIÓN		Costo Unitario	Cantidad (días)	Subtotal
Cantidad de veces (días)		S/. 300.00	3	S/. 900.00
<b>TOTAL</b>				<b>S/. 3,540.00</b>

## CONCLUSIONES

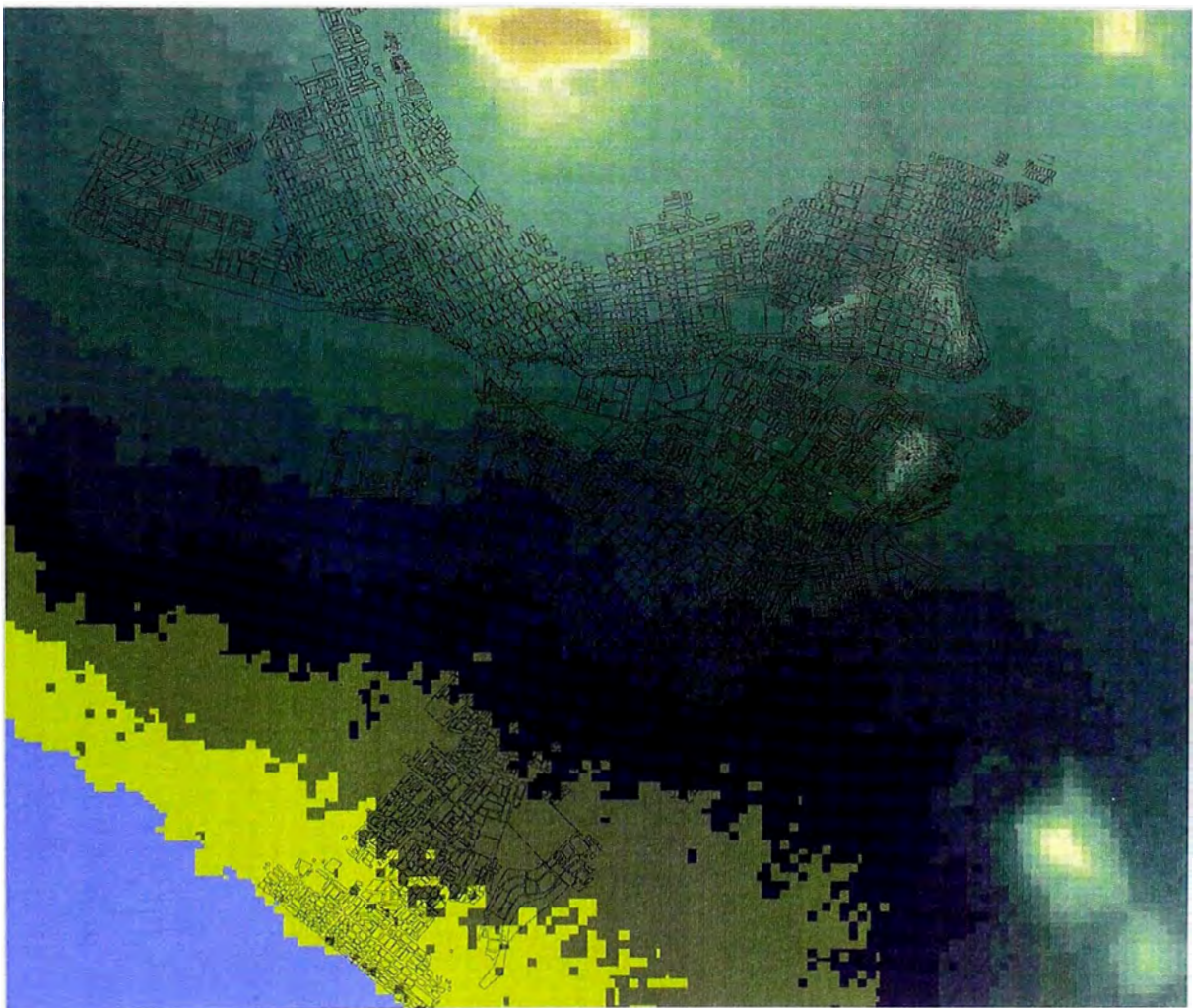
1. El proceso de optimización es una tarea que debe realizarse en forma continua, evaluando cada cierto periodo de tiempo el estatus de los indicadores de performance principales (KPIs), a fin de encontrar si alguno de ellos esta fuera del objetivo establecido y empezar a realizar de esa forma las acciones correctivas necesarias en los sitios afectados hasta lograr que vuelvan a estar dentro de los objetivos; todas estas acciones continuaran siendo válidas hasta que los nuevos valores de los KPIs vuelvan a estar fuera de los objetivos y se continúe con el proceso de optimización. Los indicadores de performance principales que deben estar en constante evaluación son: las llamadas caídas, la accesibilidad, la congestión y el tráfico.
2. La implementación de los cambios en los parámetros de ingeniería deben ser aplicados de una forma planificada y con precisión en cada uno de los sitios, a fin de plasmar a la realidad los resultados de las simulaciones, asimismo para tener un registro actualizado y real con los detalles de cada sitio. No habiéndose encontrado discrepancias significativas entre lo obtenido posteriormente en la parte práctica a través de las mediciones de campo y los resultados de las simulaciones previas con la herramienta de predicción, ya que la misma había sido ajustada tomando en cuenta los resultados de las mediciones de campo realizadas antes de la optimización; lo que nos indica que la herramienta de predicción de cobertura usada ha sido acertadamente seleccionada, directamente desde la matriz de la empresa en México.
3. La implementación de los cambios en los parámetros lógicos (configuración de parámetros por sitio) deben realizarse de una manera segura a través de elementos confiables del NMS (Network Management Subsystem), a fin de evitar errores en la implementación de los nuevos valores, que lleven a un deterioro en los KPI de los sitios pertenecientes al cluster, para lo cual debe procederse a la verificación posterior de los cambios realizados a fin de confirmar que coincidan con los valores planificados.

**ANEXO A**

**IMÁGENES DE LA CIUDAD DE TRUJILLO**



Vista satelital del centro de la ciudad de Trujillo



Niveles de altura del terreno en la ciudad de Trujillo



## **ANEXO B**

### **DEFINICIÓN DE TÉRMINOS Y ABREVIACIONES**

Abis	Definición de la conexión entre la BTS y el BSC
AGCH	Canal de acceso a la red GSM (downlink)
ARFCN	Número de Canal de Radio Frecuencia Absoluto
Asset	Herramienta de simulación de cobertura
Attach	Acción de registración del móvil en la red celular
Azimuth	Orientación con respecto a un plano cartesiano de una antena directiva
BCC	Código de Color de la Estación Base
BCCH	Canal de control de broadcasting
BEP	Probabilidad de Error de Bit
BER	Tasa de error de bit
Billing	Ingresos por llamadas cursadas
BLER	Tasa de error de bloqueo
BSC	Controlador de estaciones base
BSIC	Código de Identidad de la Estación Base
BSS	Subsistema de Estaciones Base
BTS	Estación Base de Transmisores
C/A	Tasa de Portadora a Canal Adyacente
C/I	Tasa de Portadora a Canal Interferente
Call setup	Etapas de inicio de la llamada
CGI	Identificador Global de celda
CI	Identificador de celda
Ciphering	Codificación de los datos de llamadas
Cluter	Unidad mínima de morfología, aplicado en herramientas de simulación
Core	Parte central de conmutación de la Red Celular
Detach	Acción de deregistración del móvil en la red celular
DL	Downlink
Downlink	Dirección de transmisión de la señal de la BTS al MS
Downtilt	Acción de realizar un aumento en la inclinación de la antena
Drop Call Rate	Tasa de llamadas caídas
Erl	Unidad de medida del tráfico cursado
FACCH	Fast Associated Control Channel
FACH	Forward Access Channel
Feature	Opción de software o hardware disponible de un elemento de Red.
FER	Tasa de errores de Trama

Frequency Hopping	Opción de configuración de transmisores usando frecuencias de una lista
Full Rate	Codificación de voz que usa el total de un canal de voz
G-MSC	Gateway Mobile Switches Center
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
GSM	Sistema Global para las Comunicaciones Móviles
Half Rate	Codificación de voz que usa la mitad de un canal de voz
Handover	Acción de pasar un MS de un sector a otro sector
HO	Handover
HO failure	Falla en el handover
Hopping sintetizado	Modo de Frequency Hopping
Id	Identificador del sector
Indoor	Descripción de la cobertura dentro de las edificaciones
KPI	Indicadores de funcionamiento principales
LA	Área de ubicación
LAC	Código que define el código de área para la ubicación de un MS (voz)
Location updates	Acción de actualizar la ubicación de un MS
Macrocelulares	Definición de celdas que tienen coberturas grandes
MCC	Código de País para la red móvil
Microcelulares	Definición de celdas que tienen coberturas pequeñas
Modo Idle	Estado de sin llamadas de un MS
MS	Definición de un teléfono móvil
MSC	Centro de conmutación móvil
NCC	Código de Color de la Red
NetAct	Herramienta de monitoreo de la arquitectura Nokia
Network Subsystem	Subsistema de red
NMS	Subsistema de administración de red
OMC	Central de Operación y Mantenimiento
Outdoor	Descripción de la cobertura a nivel de los exteriores de una zona urbana
Paging	Acción de realizar una búsqueda de una MS dentro un LAC
PSTN	Red pública de transmisión de conmutación
QoS	Definición de calidad de servicio
RA	Área de ruteo

RAC	Código que define el código de área para la ubicación de un MS (datos)
RACH	Canal de acceso a la red GSM (uplink)
Rooftop	Descripción de la ubicación en la azotea de un edificio
RSSI	Indicador de intensidad de la señal recibida
Rx Quality	Calidad de recepción de una llamada en curso
SACCH	Canal de Control Asociado Lento
SCH	Canal de Sincronización
SDCCH	Canal de Control Dedicado Estándar
Short messages	Mensajes cortos
Splitting	Acción de dividir un LAC o RAC por razones de carga de señalización
Subs.	Usuarios
TCH	Canal de tráfico
Tilt	Inclinación determinada de una antena
Time slot	Subdivisión de un elemento transmisor
Timers	Contador de tiempo, que realiza una acción luego de un evento definido
TMA	Amplificador de bajo ruido, usado en el uplink
TRX	Transmisor
TS	Time slot
Uplink	Dirección de transmisión de la señal del MS a la BTS

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Jukka Lempiainen, Matti Manninen, "Radio Interface System Planning for GSM/GPRS/UMTS", Kluwer Academic Publishers – USA, 2001.
- [2] Timo Halonen, Javier Romero, Juan Melero, "GSM, GPRS and EDGE Performance Evolution towards 3G/UMTS", John Wiley & Sons, Ltd. – England, 2003.
- [3] Rafael Ayuso, Blanca Ceña, Mar Fernández, Berta Millán, Saturnina Torres, "Comunicaciones Móviles GSM", Fundación Airtel – España, 1999.
- [4] Katja Sormunen, "Base Station Subsystem Parameters BSSPAR", Nokia Finlandia, 1999.