



PONTIFICIA **UNIVERSIDAD CATÓLICA** DEL PERÚ

Esta obra ha sido publicada bajo la licencia Creative Commons  
Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 2.5 Perú.

Para ver una copia de dicha licencia, visite  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



# PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

## FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA



### OPTIMIZACIÓN DE LA ZONA CENTRO-NORTE DE LA RED GSM DE UN OPERADOR MÓVIL EN LIMA A NIVEL DE RADIO

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO DE LAS  
TELECOMUNICACIONES PRESENTADO POR

**Adriana Merino-Reyna Capriles**

Lima – Perú

2008

## RESUMEN

El proyecto de tesis consiste en el diseño del trabajo de optimización de una red GSM y realizar ejemplos demostrativos para probar su validez. Para la demostración, se tomará un grupo de estaciones base de la red GSM de un operador móvil en Lima, ubicado en la zona centro norte de la capital. Todo es a nivel de red de acceso (radio).

En el primer caso se mostrará cómo, en una red ya totalmente establecida, puede ocurrir ciertos problemas, y cómo éstos se solucionan. En el segundo caso se muestra cómo mejora una zona respecto a cobertura y capacidad al colocar una nueva estación base.

Para explicar todo esto se realizará un estudio teórico previo sobre la tecnología GSM, sus partes y funcionamiento. Luego se procederá a explicar los parámetros más importantes de dicha tecnología y los procedimientos de optimización a realizar.

Se utilizarán herramientas que son de gran importancia para realizar este tipo de trabajos y otros más dentro del ámbito de comunicaciones móviles.

Luego de realizar las experiencias se hará un análisis exhaustivo para dar las soluciones del caso y así, finalmente presentarán conclusiones y recomendaciones.

## ÍNDICE

RESUMEN .....	2
ÍNDICE .....	3
LISTA DE FIGURAS.....	5
LISTA DE TABLAS.....	7
GLOSARIO.....	8
PROGRAMAS UTILIZADOS .....	11
INTRODUCCIÓN.....	12
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO .....	15
1.1 Redes celulares: Uso del espectro radioeléctrico .....	16
1.2 Estructura y topología de una red GSM .....	24
1.3 Planificación de una red GSM .....	29
1.3.1 Planificación de Tráfico.....	30
1.3.2 Parámetros de Link Budget .....	31
1.3.3 Planificación de frecuencias.....	33
1.4 Canales GSM en la interfaz de aire .....	34
CAPÍTULO II: PARÁMETROS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ÁREA DE SERVICIO DE UNA RED MÓVIL .....	38
2.1 Parámetros.....	39
2.1.1 Selección de Celda.....	39
2.1.2 Reselección .....	39
2.2 Handover (HO) .....	42
2.2.1 Criterio de HO.....	43
2.2.2 Causas de HO por prioridad .....	44
2.2.3 Vecindades.....	44
2.3 Reducción de Interferencia .....	46
2.3.1 Control Dinámico de Potencia.....	46
2.3.2 Transmisión Discontinua.....	47
2.4 Ubicación de Canales por Nivel de Interferencia .....	48
2.5 Jerarquía de Celdas .....	48
CAPÍTULO III: PROCEDIMIENTOS DE INGENIERÍA PARA OPTIMIZAR UNA RED GSM .....	50
3.1 Significado de Optimización en Comunicaciones Móviles.....	51
3.2 Evaluación del Rendimiento de la Red .....	51

3.2.1 Indicadores de Rendimiento (KPI) .....	51
3.2.3 Drive Tests .....	53
CAPÍTULO IV: OPTIMIZACIÓN DEL CLUSTER 04 DE LA RED GSM DEL OPERADOR MÓVIL UTILIZADO EN LIMA - RESULTADOS .....	
4.1 Descripción del Cluster a Optimizar .....	57
4.2 Procedimiento.....	66
4.2.1 Resultados.....	66
4.2.2 Primera parte: desde las 10:15:21 hasta las 13:05:25 .....	68
4.2.3 Segunda parte: desde las 14:51:11 hasta las 17:35:15.....	76
4.3 Conclusiones .....	84
CAPÍTULO V: OPTIMIZACIÓN DE LA RED COLOCANDO UNA NUEVA BTS .....	
5.1 Detección de la zona a colocar la nueva BTS.....	90
5.2 Estadísticas del tráfico en la zona antes y después de colocar la nueva BTS.....	91
5.2.1 BTS OLIVOS Sector 2 .....	91
5.2.2 BTS MENDIOLA Sector 2.....	92
5.2.3 BTS NARANJAL Sector 3.....	93
5.2.4 Nueva BTS TAHUANTINSUYO .....	94
5.3 Drive test en la zona antes y después de colocar la nueva BTS.....	95
5.3.1 Para la banda de 850MHz .....	95
5.3.2 Para la banda de 1900MHz .....	96
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	98
REFERENCIAS .....	102

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Espectro Radioeléctrico [1 – Diseño Propio] .....	17
Figura 2: Regiones para la atribución de bandas de frecuencias [3] .....	18
Figura 3: Duplexaje FDD para una comunicación celular [4].....	19
Figura 4: TDMA – Time slots en cada canal de frecuencia [4] .....	20
Figura 5: Cluster formado por 7 celdas [4] .....	21
Figura 7: Estructura de una red GSM [2] .....	25
Figura 6: Estadísticas de Tecnologías a Nivel Mundial [5] .....	25
Figura 8: Estructura de una red GSM – 2 [4] .....	26
Figura 9: Diagrama de Flujo para la planificación de una red GSM [2] .....	30
Figura 10: Niveles de cobertura [6].....	32
Figura 11: Lógicos GSM [7] .....	34
Figura 12: Canales BCCH [7] .....	35
Figura 13: Canales CCCH [7] .....	36
Figura 14: Canales DCCH [7] .....	37
Figura 16: Celda A con Histéresis Aplicada (A pertenece a otro LAC) [8] .....	41
Figura 15: Ejemplo de celda con histéresis [8].....	41
Figura 17: Celda con prioridad aplicada [8].....	42
Figura 18: Tipos de Handover [8] .....	43
Figura 19: Ejemplo de vecindades entre celdas [Fuente Propia] .....	45
Tabla 7: Parámetros para realizar handover [8] .....	46
Figura 20: Esquema de parámetros para realizar handover [8] .....	47
Figura 22: Imagen de captura del TEMS Investigation[11].....	55
Figura 21: Pantalla del equipo TEMS [12].....	55
Figura 23: Mapa del cluster 04 - Las celdas rojas cubren la zona a optimizar [Fuente Propia].....	58
Figura 24: Recorrido del drive test a realizar en el cluster 04. Nos orientamos con los caminos grises. Las BTS en color verde pertenecen a dicho cluster .....	66
Figura 25: Imagen de captura de vista general del recorrido realizado en la primera parte del drive test hecho con el MS2.....	68
Figura 26: Zoom del evento ocurrido (Dropped Call) - Primera parte MS2.....	69
Figura 27: Imagen de captura que muestra que el celular no responde los mensajes, que hay interferencia y un FER muy elevado antes de que se caiga la llamada.....	70

Figura 28: Imagen de captura que muestra el momento en que la llamada se cayó y el equipo pasa a estado Idle .....71

Figura 29: Vista general del recorrido realizado en la primera parte del drive test hecho con el MS3.....72

Figura 30: Zoom del evento ocurrido (Handover Failure) - Primera parte MS3 .....73

Figura 31: Imagen de captura antes de intentar hacer el handover. Tiene como servidor a AV\_ABANCAY sector 1.....74

Figura 32: Imagen de captura intentando hacer el handover hacia ANGEL sector 1 .....75

Figura 33: Vista general del recorrido realizado en la segunda parte del drive test hecho con el MS2.....76

Figura 34: Zoom del evento ocurrido (Dropped Call) - Segunda parte MS2.....77

Figura 35: Imagen de captura que muestra que el celular no responde los mensajes y que el FER es muy elevado antes de que se caiga la llamada. Se observa el RL Timeout Counter en 0 .....78

Figura 36: Vista general del recorrido realizado en la segunda parte del drive test hecho con el MS3.....79

Figura 37: Zoom del evento ocurrido (Blocked Call) - Segunda parte MS3.....80

Figura 38: Imagen de captura que muestra que el RxLev y el RxQual son muy bajos (-95dBm y 18.10 respectivamente). Se observa el RL Timeout Counter en 0 .....81

Figura 39: Zoom del evento ocurrido (Dropped Call) - Segunda parte MS3.....82

Figura 40: Imagen de captura que muestra que el RxLev y el RxQual son muy bajos (91dBm y 18.10 respectivamente), y un FER de 88%. Se observa el RL Timeout Counter en 1, a punto de llegar a 0.....83

Figura 41: Zona donde se colocó la nueva BTS Tahuantinsuyo .....90

Figura 42: Estadística del tráfico de diciembre de la celda OLIVOS Sector 2 .....91

Figura 43: Estadística del tráfico de diciembre de la celda MEDIOLA Sector 2 .....92

Figura 44: Estadística del tráfico diciembre de la celda NARANJAL Sector 3.....93

Figura 45: Estadística del tráfico diciembre de la celda TAHUANTINSUYO Sector 3 .....94

Figura 46: Drive test antes y después de entrar en servicio la BTS Tahuantinsuyo en la banda de 850MHz.....95

Figura 47: Drive test antes y después de entrar en servicio la BTS Tahuantinsuyo en la banda de 1900MHz.....96

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Uso de Canales de Frecuencia de la banda A (850MHz) para la Red GSM del operador móvil.....	22
Tabla 2: Uso de Canales de Frecuencia de la banda B (1900MHz) para la Red GSM del operador móvil.....	23
Tabla 3: Valores de Potencia y Sensibilidad para el Link Budget [6].....	31
Tabla 4: Valores de Pérdidas por Penetración y por el Cuerpo Humano [6] .....	31
Tabla 5: Resultado General del Link Budget [6].....	32
Tabla 6: Causas de Handover por Prioridad [8] .....	44
Tabla 7: Parámetros para realizar handover [8].....	46
Tabla 8: Parámetros para usar control dinámico de potencia [8] .....	48
Tabla 9: Datos generales de cada celda.....	61
Tabla 10: Datos generales de cada sector por celda antes de realizar las pruebas.....	65
Tabla 11: Datos generales de cada sector por celda en la actualidad .....	85
Tabla 12: Mejoras en los niveles de RxLev al poner en servicio a TAHUANTINSUYO.....	97



## GLOSARIO

**Abonados Móviles:** Usuarios o clientes que hacen uso de la red móvil.

**AGCH:** Access Grant Channel.

**AMR:** Adaptive multi-rate. Codificador utilizado en GSM.

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

**AUC:** Authentication Center (Centro de autenticación). Valida a los usuarios por parte de la red.

**BCCH:** Broadcast Control Channel

**Billing:** Sistema de tarificación.

**BSC:** Base Station Controller (Controlador de estación base). Parte de la red de acceso que se comunica con la central o switch.

**BSS:** Base Station Sub-System. Conformado por BTS's y BSC's. Red de acceso.

**BTS:** Base Transceiver Station. Parte de radio de una red GSM que se comunica con los móviles.

**CBCH:** Cell Broadcast Channel.

**CBQ:** Prioridad de Selección.

**CCCH:** Common Control Channel.

**Celda:** Otra forma de decir BTS.

**Cluster:** Grupo de celdas que utilizan todas las frecuencias disponibles que tiene el operador.

**Cobertura:** Área geográfica en la que un terminal móvil puede acceder a la red.

**DCCH:** Dedicated Control Channel.

**Downlink:** Canal de bajada. Canal para que la BTS envíe mensajes al terminal móvil.

**Drive Test:** Método en el cual se recorre una determinada zona, midiendo la calidad de la señal de la red en cada punto del recorrido.

**EDGE:** Enhanced Data rates for GSM/global Evolution. Tasas mejoradas de datos para la Evolución Global de GSM.

**Efecto ping pong:** Efecto causado por realizar demasiados handover entre dos mismo lados.

**EIR:** Equipment Identification Register. Contiene identidades de los equipos móviles para evitar robos.

**Erlang (Er):** Unidad para medir el tráfico.

**Espectro radioeléctrico:** Recurso natural formado por ondas electromagnéticas.

Pertenece al patrimonio nacional.

**FACCH:** Fast Associated Control Channel.

**FCCH:** Frequency Correction Channel.

**FDD:** Frequency Division Duplexing. Duplexación por división de frecuencia.

**Full-Duplex:** Canal en el cual se puede transmitir y recibir simultáneamente.

**GOS:** Grade of Service. Grado de servicio.

**GSM:** Global System Mobile. Sistema global para las comunicaciones móviles. Tecnología móvil.

**Half-Duplex:** Canal en el cual se puede transmitir y recibir pero no de manera simultánea.

**Handover:** Cambio que hace el terminal móvil (de la señal con la que habla) al moverse de un lugar a otro para que continúe la comunicación y no se corte la llamada.

**Histéresis:** Método utilizado para darle mayor prioridad a una celda y así evitar el efecto ping pong.

**HLR:** Home Location Register (Registro de Localización de usuarios domésticos). Base de datos que contiene de manera estática los datos de cada usuario.

**Hopping:** Salto en frecuencia. Método utilizado en el cual mediante un algoritmo van cambiando las frecuencias, lo cual permite el uso de un espectro limitado sin que hayan interferencias.

**Hora cargada:** Hora del día en que se tiene mayor tráfico.

**Idle Mode:** Estado del teléfono cuando está en espera (no en llamada).

**IMEI:** International Mobile Equipment Identity. Identificador internacional de equipos GSM.

**Interferencia adyacente:** Interferencia presentada en redes GSM por haber dos frecuencias adyacentes en áreas cercanas.

**Interferencia co-canal:** Interferencia presentada en redes GSM por haber dos frecuencias iguales en áreas cercanas.

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

**Location Areas (LAC):** Áreas dentro de un MSC, creadas para ubicar a un móvil más rápido.

**MSC:** Mobile Switching Center (Centro de conmutación móvil). Central o cerebro de la red.

**MTC:** Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones

**NCH:** Notification Channel.

**NMC:** Network Management Center (Centro de gestión de la red).

- O&M:** Sistema de operación y mantenimiento.
- Paging:** Mensaje enviado por la red al terminal móvil para saber dónde está ubicado.
- PCH:** Paging Channel.
- PNAF:** Plan Nacional de Asignación de Frecuencias.
- PSTN:** Public Switching Telephone Network (Red de telefonía pública conmutada). Red de telefonía fija.
- QoS:** Quality of Service. Calidad de servicio.
- RACH:** Random Access Channel.
- Red de Acceso:** Parte de la red que se comunica con los usuarios pero no procesa nada. Conformada por las BTS's y BSC's.
- SACCH:** Slow Associated Control Channel.
- SCH:** Synchronization Channel.
- SDCCH:** Stand Alone Dedicated Control Channel.
- Sector:** Parte de las BTS en el cual están colocadas antenas sectoriales (cubren un sector). Las celdas están divididas normalmente en 3 sectores.
- SFH:** Synthesized Frequency Hopping.
- SIM :** Subscriber Identity Module. Tarjeta que se inserta en el equipo la cual identifica al usuario.
- SMS:** Short Message Service.
- TCH:** Traffic Channel. Canal de tráfico por donde pasa la voz al conversar.
- TDD:** Time Division Duplexing. Duplexación por división de tiempo.
- Terminal Móvil:** Equipo que utiliza un usuario para comunicarse con la facilidad de la movilidad.
- Time Slot:** Ranura de tiempo. La trama GSM se divide en 8 time slots. En cada uno puede haber una conversación.
- Tráfico:** Medición que indica cuán cargada está la red.
- TRX:** Sistemas radiantes para la comunicación móvil en GSM.
- Uplink:** Canal de subida. Canal para que el terminal móvil envíe sus mensajes a la BTS.
- VLR:** Visitor Location Register. Base de datos temporal para los usuarios visitantes.
- Vocoder:** Codificador de voz.
- WAP:** Wireless Application Protocol.

## PROGRAMAS UTILIZADOS

1. MapInfo Professional 9.0: Programa que permite la visualización de mapas. Para el uso en comunicaciones móviles permite cargar y analizar las estaciones base. Se pueden obtener todos los datos de ellas, así como clasificarlas de acuerdo a diversas características según el requerimiento.
2. TEMS Pocket 5.1: Terminal Móvil con un programa (software) que permite la captura de mensajes enviado en el downlink. Es utilizado al momento de realizar los drive tests.
3. TEMS Investigation 6.2.5 Data Collection: Programa (software) en el cual se capturan los drive tests. Permite la repetición de dicho recorrido para hacer su análisis. Tiene opciones para observar de distintas formas los parámetros obtenidos durante el recorrido. También da la posibilidad de cargar mapas propios, en este caso, mapas de Lima, las celdas de la red GSM del operador móvil utilizado en la presente tesis con sus nombre, entre otros.
4. Corel Draw: Programa de diseño utilizado para realizar las figuras mostradas en el presente documento.
5. Photoshop: Programa de edición de fotos que permite realizar de manera exacta modificaciones en las figuras.
6. Microsoft Excel: Programa utilizado para realizar las tablas presentadas en la presente monografía.
7. Microsoft Word: Herramienta para redactar la presente monografía.



La presente tesis trata sobre un análisis exhaustivo del comportamiento de la parte de radio o RF de una red GSM, para luego, mediante modificaciones de parámetros propios del estándar GSM y/o de movimientos físicos en los sistemas radiantes de las estaciones base, mejorar la calidad en las comunicaciones con la optimización de recursos. La optimización debe ser constante en el tiempo tratándose de una red con abonados móviles en constante crecimiento. (300% al año).

Se tendrá como referencia manuales, libros y presentaciones hechas por los principales proveedores de los equipos que conforman la red GSM. Se utilizará la red GSM de un operador móvil para hacer los estudios, y así ésta se beneficiará con las mejoras a realizar.

El Capítulo 1 presenta una descripción teórica de una red GSM, comenzando por la relación entre la red y el espectro electromagnético. Se presenta sus partes, su funcionamiento y la planificación de la red de acceso.

En el Capítulo 2 se explica la teoría de los parámetros en la interfaz de aire que se manejan en una red GSM. Se mencionan los principales, los cuales en varios casos hay que modificar para que la red tenga un mejor funcionamiento.

El Capítulo 3 plasma los procedimientos para realizar el trabajo de optimización de una red GSM. Se habla de los KPI's, de los Drive Tests y de todo el equipo necesario para poder realizar estas pruebas.

El Capítulo 4 muestra el trabajo realizado en la zona elegida de la red. Esta zona es llamada cluster 04, la cual incluye parte del distrito de Los Olivos, Rímac, Lima, Breña y El Agustino. También se tiene que considerar las celdas de los alrededores del cluster. Finalmente, se muestran los eventos encontrados y los cambios necesarios. Se hace una comparación de las características de las celdas de antes y de la actualidad.

En el Capítulo 5 se presenta como adicional, la puesta en servicio de una nueva Estación Base llamada Tahuantinsuyo en el distrito Independencia, para

mejorar la capacidad y la cobertura de la zona. Se muestran estadísticas del tráfico de la zona antes y después de entrar en servicio, así como recorridos de drive test que muestran la mejora de niveles de señal.

Finalmente se dan conclusiones y recomendaciones obtenidas de la experiencia de realizar la presente tesis.





## CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO



Al hablar de optimización en general, nos referimos por ejemplo, a modificar algo que ya está construido o realizar cambios sobre algún procedimiento que ya está en marcha todo con el fin de mejorar su desempeño.

En el caso de la presente tesis, para poder explicar claramente cómo se optimiza una red GSM, es necesario antes realizar un marco teórico para entender cómo se planifica desde los inicios, dicha red estructural y topológicamente, así como los parámetros técnicos de la interfaz de aire propios de la tecnología.

### 1.1 Redes celulares: Uso del espectro radioeléctrico

La telefonía móvil es un servicio público de telecomunicaciones basado en el uso del espectro radioeléctrico como medio de acceso a una red, el cual permite a los usuarios o abonados la capacidad de movilidad. Este servicio se da a través de redes celulares. [1]

La telefonía celular está formada básicamente por dos partes: la red celular y los terminales o celulares que son los que acceden a esta red en forma inalámbrica. Una de las partes importantes que conforma la red celular, en donde entre otras cosas y de acuerdo a su distribución geográfica brindan el alcance o área de cobertura, son las Estaciones Base, las cuales proporcionan la interfaz de aire necesaria para la comunicación hacia o desde el móvil. La palabra “celular” proviene precisamente de la distribución geográfica de estas estaciones bases como celdas imaginarias (hexágonos).

El espectro radioeléctrico es un recurso natural formado por ondas electromagnéticas que van desde 9KHz hasta 300GHz y pertenece al patrimonio de la Nación. En el Perú, es el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) el encargado de su gestión, administración y control.

A continuación en la **figura 1** podemos observar cómo está dividido dicho espectro de forma general:

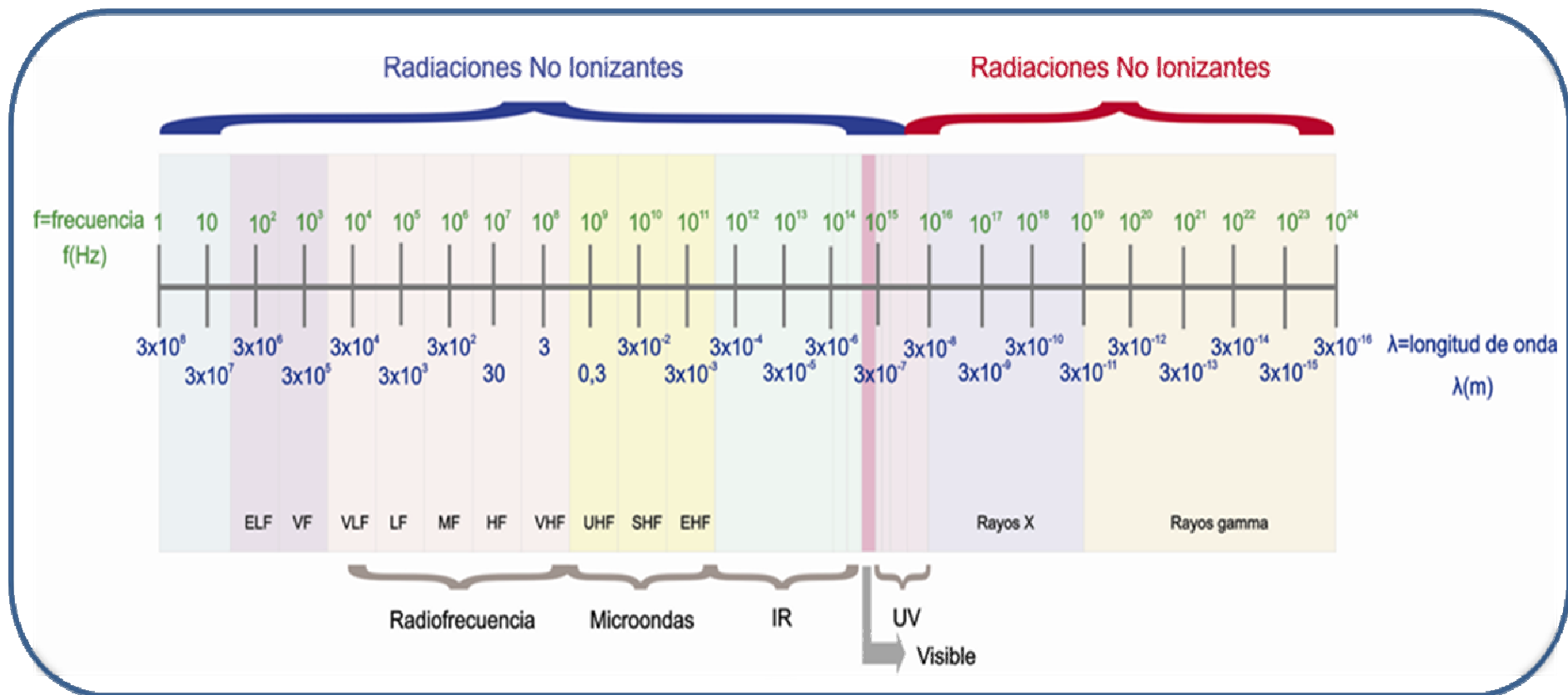


Figura 1: Espectro Radioeléctrico [1 – Diseño Propio]

El Plan Nacional de Atribución de Frecuencias (PNAF) [1] distribuye el espectro a los diferentes servicios de telecomunicaciones de tal manera que se asegure su operatividad sin interferirse entre ellos.

Para las empresas de telecomunicaciones que brindarán servicios de telefonía móvil, el PNAF le atribuye una banda de frecuencias (o parte de ella). Éste a su vez considera este servicio como *Servicio Móvil* descrito como “*Servicio de Radiocomunicación entre estaciones móviles y estaciones terrestres o entre estaciones móviles*” [2].

Para la atribución de las bandas de frecuencias, el mundo se ha dividido en tres regiones. El Perú pertenece a la Región 2.

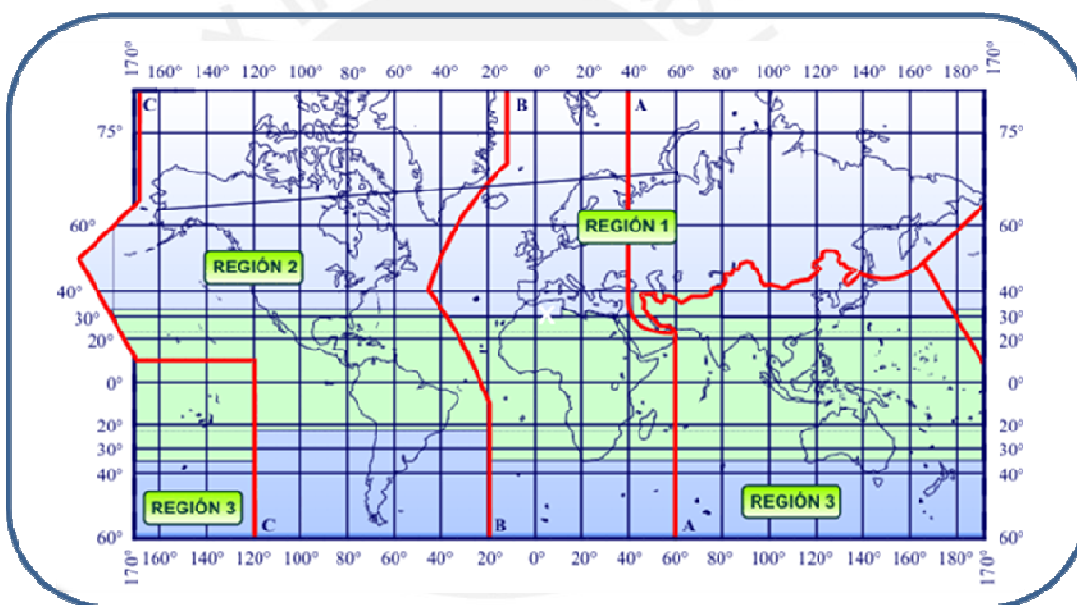


Figura 2: Regiones para la atribución de bandas de frecuencias [3]

Del gráfico, la Región 2 a la que pertenece el Perú, comprende la zona entre las líneas B y C.

De acuerdo a las Regiones existen diferentes servicios, calificados como “Primarios”, “Permitidos” y “Secundarios”.

Las bandas 824 – 849MHz y 869 – 894MHz están atribuidas como servicio Primario a la telefonía móvil. De igual manera está atribuida la banda de 1850 –

1910MHz y 1930 – 1990MHz. Con esto se llega a la conclusión de que el espectro que utilizamos para la comunicación celular es limitado y por ello, el diseño del plan de frecuencias a utilizar por las estaciones base debe ser elaborado con mucho cuidado de tal manera que se asegure máxima capacidad con alta calidad.

Ahora, el sistema de transmisión de la telefonía celular es clasificado como Full-Duplex, el cual permite la transmisión y recepción de radio simultánea entre un usuario y la estación base (se llama también duplexaje). El duplexaje se hace usando técnicas de dominio de frecuencia (Frequency Division Duplex - FDD) o técnicas de dominio de tiempo (Time Division Duplex – TDD). En la mayoría de los sistemas celulares es usado el FDD por lo que nos enfocaremos en este. [4]

Para realizar el duplexaje en FDD se necesitan dos canales de frecuencia debidamente separadas, uno de subida (uplink) que lleva el tráfico del móvil a la estación base, y uno de bajada (downlink) que lleva el tráfico de la estación base al móvil. En la **figura 3** se observa gráficamente cómo funciona el duplexaje en FDD:



**Figura 3: Duplexaje FDD para una comunicación celular [4]**

Para que muchos usuarios puedan comunicarse a la vez se usa una técnica de acceso múltiple. Esta es TDMA (Time Division Multiple Access).

Lo que hace el TDMA es dividir un único canal de frecuencia en slots de tiempo. En el caso de GSM, cada canal se divide en 8 time slots. Esto permite que

más usuarios puedan comunicarse usando la misma cantidad de recurso (espectro). En la **figura 4** se presenta una imagen del funcionamiento del TDMA:

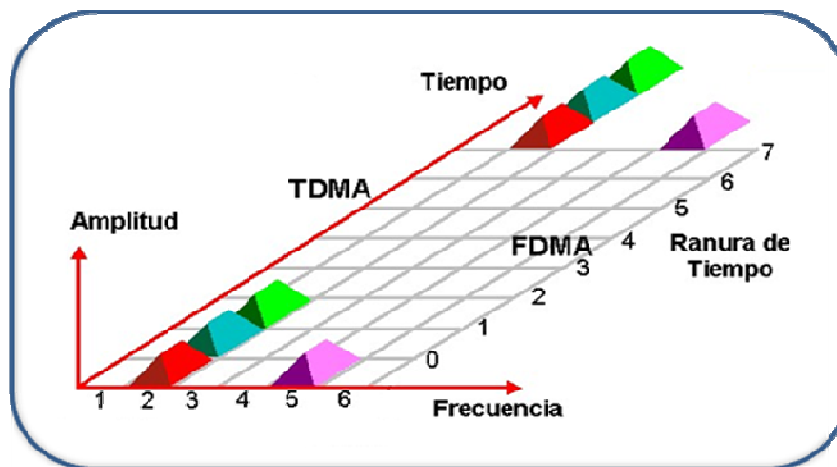


Figura 4: TDMA – Time slots en cada canal de frecuencia [4]

Una red celular debe cumplir con tres condiciones:

- Alta capacidad de usuarios
- Uso de un espectro limitado
- Gran cobertura.

Para lograr esto, y de acuerdo a un plan diseñado con las frecuencias disponibles del espectro, a cada estación base, también llamada celda, se le asigna un número fijo de dichas frecuencias o canales (grupo), para dar servicio a cierta cantidad de usuarios. Un “cluster” está formado por el conjunto de celdas que contienen todos los grupos de frecuencias del plan diseñado sin repetirse.

Finalmente, con una correcta distribución de estos grupos de frecuencias dentro un cluster, el reuso de los mismos en clusters adyacentes se hace posible incrementando así indefinidamente la cobertura con un espectro limitado.

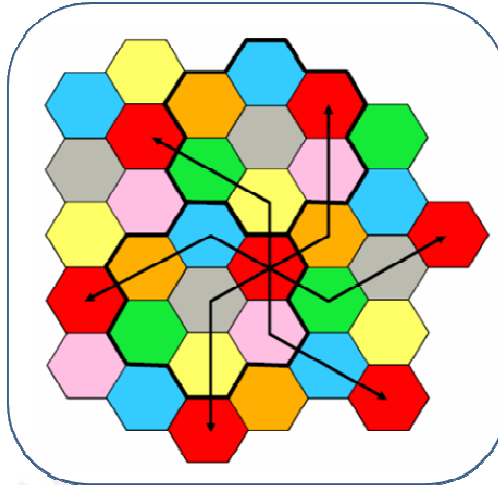


Figura 5: Cluster formado por 7 celdas [4]

En la figura anterior se diferencian por colores los grupos de frecuencias. Podemos observar que dichos grupos de frecuencias o canales se reusan a una distancia clara para evitar la interferencia co-canal.

La banda celular de 850MHz está dividida en 2 sub-bandas para que exista competencia: “A” y “B”.

El Operador Móvil tomado en cuenta en la presente tesis tiene asignada parte de la banda de 850MHz llamada banda “A” y parte de la banda de 1900MHz llamada banda “B”. La banda “A”, a su vez está conformada por 3 partes: A, A’ y A”. Es importante especificar que actualmente parte de la banda A se utiliza para el CDMA-1XRTT.

A continuación se muestra una tabla que describe la distribución y uso actual por parte del operador móvil de los canales de frecuencias de la banda A (A, A’, A”), y una que muestra los canales de frecuencia de la banda B.

Tabla 1: Uso de Canales de Frecuencia de la banda A (850MHz) para la Red GSM del operador móvil.

GSM 850				BANDA A
ARFCN	Uplink [MHz]	Downlink [MHz]		
128	824.20	869.20	HOPPING	A"
129	824.40	869.40	HOPPING	A"
130	824.60	869.60	BCCH	A"
131	824.80	869.80	BCCH	A"
132	825.00	870.00	BCCH	A"
133	825.20	870.20	HOPPING	A
134	825.40	870.40	HOPPING	A
135	825.60	870.60	HOPPING	A
136	825.80	870.80	HOPPING	A
137	826.00	871.00	HOPPING	A
138	826.20	871.20	HOPPING	A
139	826.40	871.40	HOPPING	A
140	826.60	871.60	HOPPING	A
141	826.80	871.80	HOPPING	A
142	827.00	872.00	HOPPING	A
143	827.20	872.20	HOPPING	A
144	827.40	872.40	HOPPING	A
145	827.60	872.60	BCCH	A
146	827.80	872.80	BCCH	A
147	828.00	873.00	BCCH	A
148	828.20	873.20	BCCH	A
149	828.40	873.40	BCCH	A
150	828.60	873.60	BCCH	A
151	828.80	873.80	BCCH	A
152	829.00	874.00	BCCH	A
153	829.20	874.20	BCCH	A
154	829.40	874.40	BCCH	A
155	829.60	874.60	BCCH	A
156	829.80	874.80	BCCH	A
157	830.00	875.00	BCCH	A
158	830.20	875.20	HOPPING	A
159	830.40	875.40	HOPPING	A
160	830.60	875.60	HOPPING	A
161	830.80	875.80	HOPPING	A
162	831.00	876.00	HOPPING	A
163	831.20	876.20	HOPPING	A
164	831.40	876.40	HOPPING	A
179	834.40	879.40	HOPPING	A
180	834.60	879.60	HOPPING	A
181	834.80	879.80	HOPPING	A
233	845.20	890.20	HOPPING	A'
234	845.40	890.40	HOPPING	A'
235	845.60	890.60	HOPPING	A'
236	845.80	890.80	HOPPING	A'
237	846.00	891.00	HOPPING	A'
238	846.20	891.20	HOPPING	A'

Tabla 2: Uso de Canales de Frecuencia de la banda B (1900MHz) para la Red GSM del operador móvil.

GSM 1900				BANDA B
ARFCN	Uplink [MHz]	Downlink [MHz]		
612	1870.2	1950.2	BCCH	B
613	1870.4	1950.4	BCCH	B
614	1870.6	1950.6	BCCH	B
615	1870.8	1950.8	HOPPING	B
616	1871	1951	HOPPING	B
617	1871.2	1951.2	HOPPING	B
618	1871.4	1951.4	HOPPING	B
619	1871.6	1951.6	HOPPING	B
620	1871.8	1951.8	HOPPING	B
621	1872	1952	HOPPING	B
622	1872.2	1952.2	HOPPING	B
623	1872.4	1952.4	HOPPING	B
624	1872.6	1952.6	HOPPING	B
625	1872.8	1952.8	HOPPING	B
626	1873	1953	HOPPING	B
627	1873.2	1953.2	HOPPING	B
628	1873.4	1953.4	HOPPING	B
629	1873.6	1953.6	HOPPING	B
630	1873.8	1953.8	HOPPING	B
631	1874	1954	HOPPING	B
632	1874.2	1954.2	HOPPING	B
633	1874.4	1954.4	HOPPING	B
634	1874.6	1954.6	BCCH	B
635	1874.8	1954.8	BCCH	B
636	1875	1955	BCCH	B
637	1875.2	1955.2	BCCH	B
638	1875.4	1955.4	BCCH	B
639	1875.6	1955.6	BCCH	B
640	1875.8	1955.8	BCCH	B
641	1876	1956	BCCH	B
642	1876.2	1956.2	BCCH	B
643	1876.4	1956.4	BCCH	B
644	1876.6	1956.6	BCCH	B
645	1876.8	1956.8	BCCH	B
646	1877	1957	BCCH	B
647	1877.2	1957.2	BCCH	B
648	1877.4	1957.4	BCCH	B

De la tablas 1 y 2, el término “ARFCN” significa *Absolute Radio Frequency Channel Number*. Dicho término es utilizado para “enumerar” los canales de frecuencia. Cada ARFCN denota un par de canales (uplink y downlink) separados



por 45MHz. Cada canal (frecuencia central) está separado de su adyacente 200KHz.

Dentro del actual plan de frecuencias que viene usando TM en su red, se distinguen (de la tabla anterior) dos tipos de canales: BCCH y HOPPING.

Un canal BCCH es aquel que contiene la información de señalización necesaria para que un móvil entienda que se encuentra en una red GSM (información del sistema, identificador de la celda, configuración del canal, frecuencias de la celda, paging de terminación, entre otras). Esta información de señalización sólo se encuentra en el primer “time slot” de los ocho que posee cada canal en GSM. Los siete restantes pueden ser usados para tráfico de voz o datos.

Por lo tanto, por ser este canal el utilizado para el reuso de frecuencias, existen 16 canales BCCH los cuales deben ser asignados necesariamente a cada sector de cada celda. De lo último entonces, cada cluster está compuesto por 16 sectores.

Por otro lado, dentro del plan de frecuencias se encuentran los canales denominados “HOPPING”. Si un sector tiene la necesidad por tráfico de tener más de 2 frecuencias, la primera, de lo explicado anteriormente, tiene que ser el denominado canal BCCH (canal fijo). Las siguientes frecuencias de tráfico pueden ser fijas o saltar en el tiempo entre determinadas frecuencias las que se denominan “lista de hopping”. Por lo tanto, si en la parte de radio de una red GSM decimos que estamos usando la capacidad de “Frequency Hopping” quiere decir que, excluyendo a la primera frecuencia de cada sector (BCCH), las demás no tienen una frecuencia fija en la que irradian, sino, usan la lista de hopping para saltar constantemente de frecuencia. Esta capacidad de salto en frecuencia optimiza el espectro a usar en capacidad y calidad.

## 1.2 Estructura y topología de una red GSM

GSM (Global System Mobile Communications) es una tecnología creada en Europa y que en la actualidad abarca el 80% de subscriptores móviles del mundo.

La **figura 6** muestra la distribución por tecnología de la totalidad de móviles que existen en el mundo (actualizado a Junio del 2007). [5]

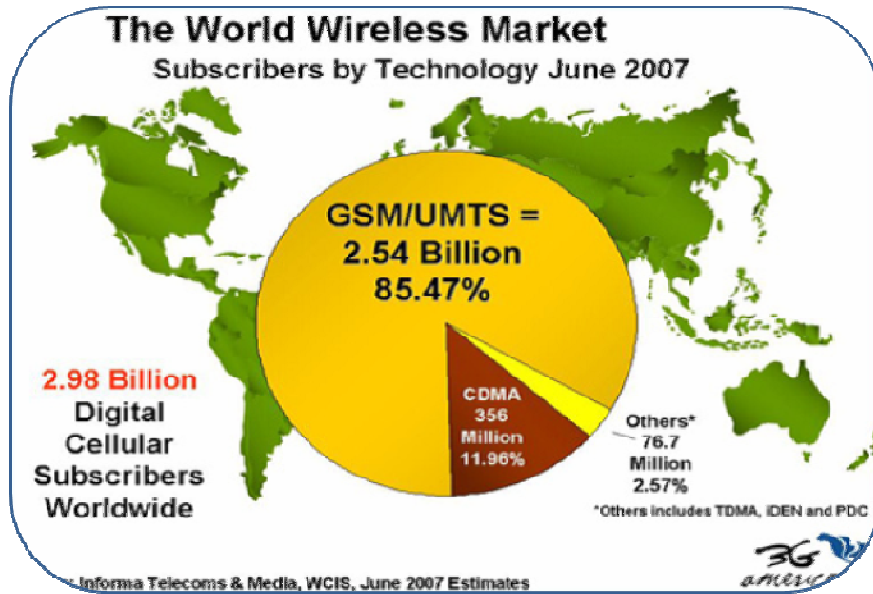


Figura 6: Estadísticas de Tecnologías a Nivel Mundial [5]

Ahora, entrando directamente a lo que es la estructura de la red GSM en sí, es de real importancia mencionar las diferentes partes de ella. A continuación mostraremos en la **figura 7** una imagen de la estructura de una red GSM y luego se explicarán debidamente sus partes:

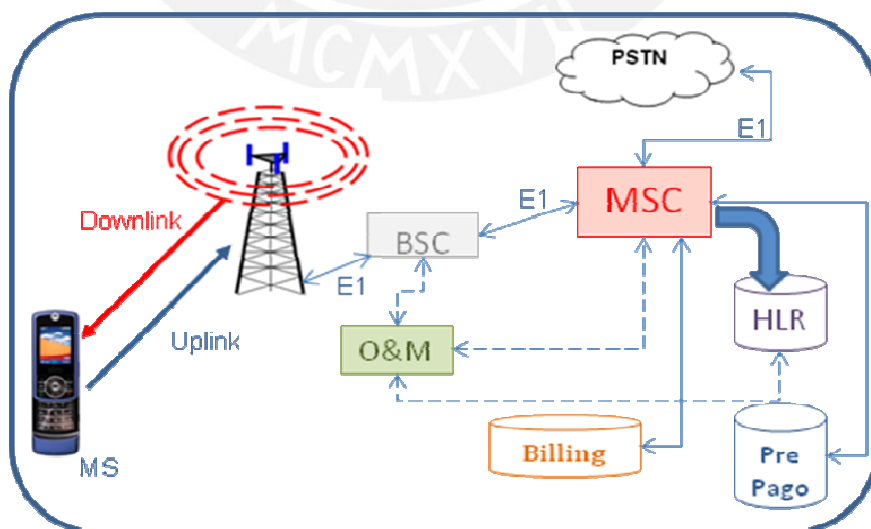


Figura 7: Estructura de una red GSM [2]

Otra manera de ver la red GSM la podemos observar en la **figura 8**:

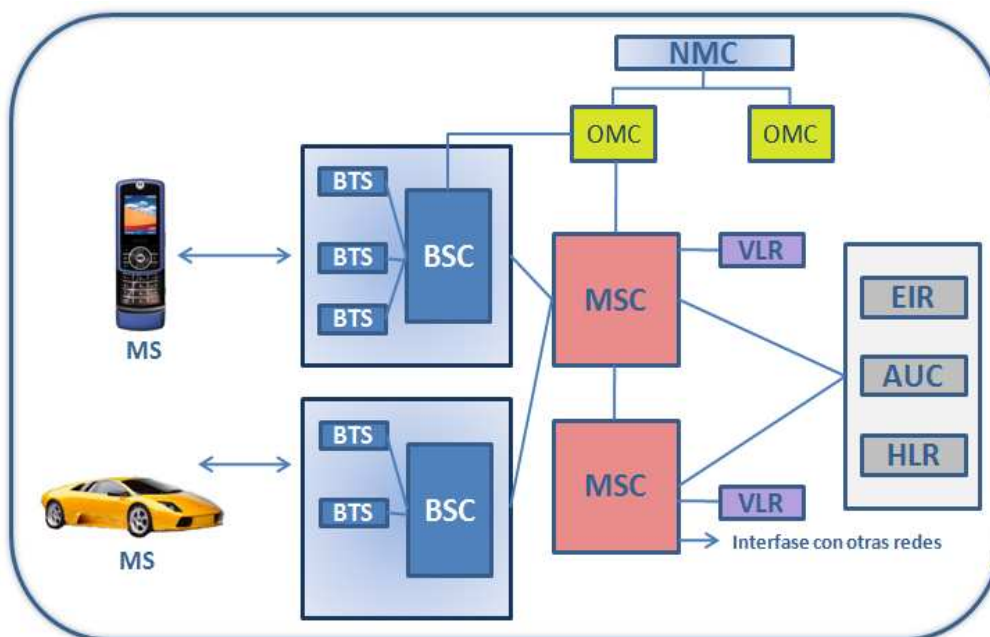


Figura 8: Estructura de una red GSM – 2 [4]

Ahora se explicará cada parte de la red [2][4]:

- **MS** (Mobile Station): Celular o Estación Móvil. Es el equipo físico utilizado por el usuario de GSM. Se identifica por su IMEI (International Mobile Equipment Identity – Identificación internacional del equipo móvil). Proporciona la plataforma física pero no funciona con la red hasta que se personaliza mediante la inserción de una SIM (Subscriber Identity Module – Módulo de identificador del suscriptor). La SIM contiene parámetros que identifican al abonado en la red, algoritmos de autenticación para acceder al terminal como el PIN y el PUK (Personal Identification Number – Número de Identificación Personal, Personal Unblocking Key – Llave de desbloqueo personal). Contiene a su vez información del usuario como la agenda, SMS recibidos y enviados, servicios GSM, etc.
- **BTS** (Base Transceiver Station): Estación radio base de transmisión y recepción. Están constituidas por equipos transmisores y receptores de radio como elementos de conexión al sistema radiante, las antenas, instalaciones y accesorios como torres, pararrayos, sistemas a tierra, sistemas de ventilación, grupo electrógeno o baterías de reserva.

Normalmente están ubicadas en lugares donde no hay mantenimiento, por lo que sus equipos deben ser sencillos, fiables, duraderos y de coste moderado.

- **BSC** (Base Station Controller): Controlador de radio base. Este es el elemento que se encarga de la gestión de varias BTS es lo relativo a recursos de radio: asignación, utilización y liberación de las frecuencias, ciertos tipos de traspasos, control de potencia, entre otros. También puede realizar ciertas funciones de conmutación. Se interacciona con él a través del OMC para labores de operación y mantenimiento. También recoge todo tipo de estadísticas y alarmas tanto de su propio funcionamiento como de las BTS que controla para detectar posibles problemas en la red radio. Sirve como interfaz entre la BTS y el MSC.
- **BSS** (Base Station Subsystem): Sistema conformado por un BSC y varias BTS.
- **MSC** (Mobile Switch Center): Centro de Conmutación Móvil. Es, en esencia, una central telefónica que realiza las funciones de encaminamiento y conmutación de llamadas. Además, proporciona las funciones adicionales necesarias para sustentar la movilidad y organizar la asignación de los recursos radioeléctricos y realizar los traspasos de llamadas entre BTS controladas por distintas MSCs.
- **HLR** (Home Location Register): Registro de Ubicación Local. Es una base de datos donde están inscritos todos los clientes del operador que se utiliza para la gestión de los abonados móviles. El HLR contiene toda la información administrativa de cada abonado (parámetros de identificación, servicios contratados, limitaciones de servicio) junto con los datos de localización del mismo; información como: direcciones del VLR y del MSC e identidad temporal de la Móvil).
- **VLR** (Visitor Location Register): Registro de ubicación de visitantes. Base de datos, asociada a un MSC, donde se almacena información dinámica (temporal) sobre los usuarios transeúntes en el área geográfica cubierta por la MSC. Cuando un Móvil entra en una zona de MSC, éste lo notifica al VLR asociado. El Móvil recibe una dirección de visitante que sirve para encaminar las llamadas destinadas a ese móvil. El VLR contiene otros datos necesarios para el tratamiento de las llamadas desde/hacia el móvil como

- los datos de los servicios contratados por el usuario, identificación completa del cliente, estado del terminal (apagado, registrado), restricciones, etc.
- **AUC** (Authetication Center): Centro de Autenticación. Base de datos en donde se guardan las identidades IMSI de los clientes junto con la clave secreta de identificación de cada usuario, el cual tiene almacenada en la tarjeta SIM de su teléfono móvil una copia . El AuC está asociado al HLR y proporciona la información necesaria para la validación de los usuarios por parte de la red.
  - **EIR** (Equipment Identification Register): Registro de identidad de equipos. Base de datos que contiene las identidades de los equipos móviles, IMEI (International Mobile Equipment Identity). El IMEI permite identificar cada terminal internacionalmente de forma unívoca. Incluye, junto a otra información, el código del fabricante y el número de serie del equipo. También se almacena en la memoria del terminal. Cuando un MS trata de realizar una llamada, el MSC consulta al EIR la validez del IMEI de ese equipo. Contiene tres tipos de listas:
    - Lista blanca: terminales autorizados para el acceso a la red.
    - Lista gris: terminales en observación (fallos, irregularidades).
    - Lista negra: terminales que tienen prohibido el acceso a la red (por ejemplo por haber sido robados).
  - **OMC** o O&M: Centro de Operación y mantenimiento. Desde él se realizan y supervisan las funciones de control y gestión de la red de carácter técnico y/o administrativo.
  - **NMC** (Network Manager Center): Centro de Administración de la red.
  - **Billing System**: Sistema de facturación.
  - **Prepaid System**: Sistema Prepago. Modalidad de contratación en la que el cliente desembolsa una cierta cantidad (saldo) antes de acceder a los servicios de la red.

Además de esto, existen otras plataformas en la red que brindan servicios de valor añadido:

- **WAP**: Este servicio te permite navegar con tu celular en noticias internacionales y locales, finanzas, deportes, entretenimiento y mucho más.

### 1.3 Planificación de una red GSM

En el proceso de planificación de una red GSM se deben tomar en cuenta diversos aspectos que aseguren un funcionamiento óptimo de todos los recursos que la conforman, contemplando un plan de crecimiento de capacidad en sus diferentes partes debido al aumento natural de usuarios y/o de tráfico. Todo el proceso lo podemos dividir en las siguientes etapas[6]:

1. Pronosticar y asumir una demanda de tráfico para cada tipo de zonificación en la ciudad a la cual se brindará servicio celular (áreas de cobertura urban, dense urban, etc). Luego de esto, estimar las mejores ubicaciones de las estaciones base para asegurar la cobertura deseada y tráfico, y de acuerdo a la demanda pronosticada por zonas, realizar los cálculos para satisfacer las necesidades en base a un grado de servicio del 2%.
2. Estimar la movilidad de los usuarios para hacer cálculos de los posibles handovers (entre celdas o BTS's, BSC's y MSC's) lo cual también es importante en el dimensionamiento. De acuerdo a esto, por ejemplo, se pronosticará la cantidad de actualizaciones de ubicación de los usuarios que luego nos ayudará a calcular la capacidad de los VLR's y del HLR.
3. Dimensionamiento de la cantidad de canales de voz (TCH) y de control por celda de acuerdo a las estimaciones hechas anteriormente. Algunos canales importantes de control son el SDCCH, BCCH y el PCH.
4. Determinación del número de BSC's, MSC's, VLR y HLR.
5. Diseño de la topología de la red, incluyendo la ubicación de los BSC y de los MSS estudiando el costos de las diferentes posibilidades.
6. Diseño para interconectar la red GSM con la PSTN también verificando las opciones con respecto a los costos.

Los pasos mencionados anteriormente pueden ser iterativos, es decir, puede ser necesario que uno repase un paso previo para hacer modificaciones de ser necesario. Entonces, teniendo todos los datos del paso 1 (que en resumen es un estudio de mercado), podemos visualizar claramente el siguiente diagrama de flujos para entender mejor el procedimiento:

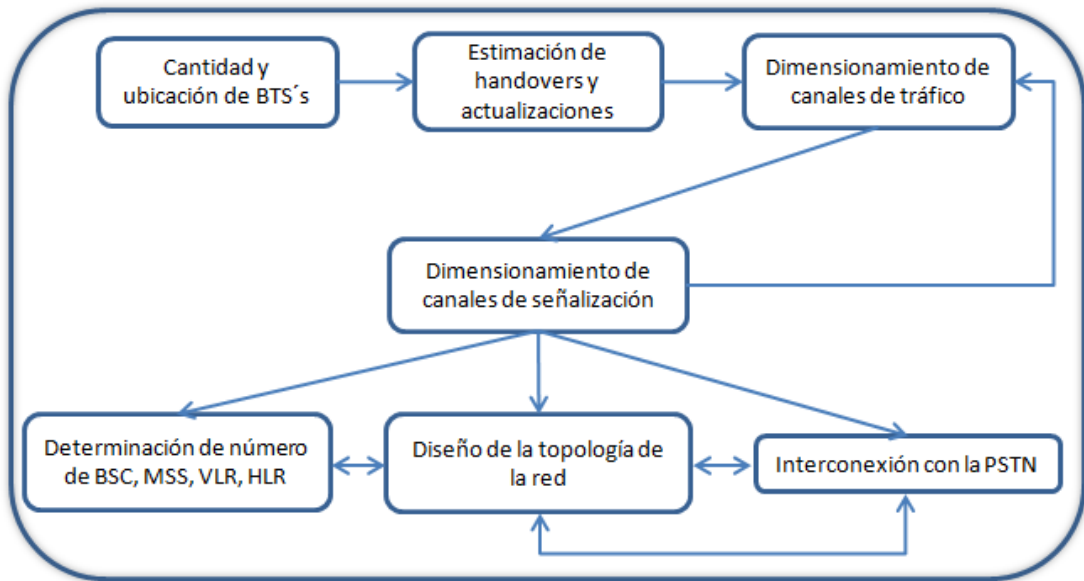


Figura 9: Diagrama de Flujo para la planificación de una red GSM [2]

Ahora, para realizar estos pasos de manera adecuada se deben tener en cuenta diversos parámetros [6].

### 1.3.1 Planificación de Tráfico

#### Parámetros de Modelo de Tráfico:

Comúnmente éstos son los valores considerados para cada parámetro al planificar el tráfico de una red GSM:

- Tráfico de Voz / Usuarios durante la hora cargada: 8.0 mErl/usuario
- QoS durante la hora cargada: 2%
- Vcodificadores: 20% AMR-FR  
80% AMR-HR

#### Distribución de Tráfico:

La distribución del tráfico por sitio (celda GSM), dependerá de la cantidad de espectro disponible.

### 1.3.2 Parámetros de Link Budget

El link budget es el acumulamiento de todas las ganancias y las pérdidas desde el transmisor, a través de un medio, hasta el receptor. En este caso se analizarán los parámetros para una comunicación a través de una red GSM.

Para hacer el cálculo del link budget para una red GSM asumimos los siguientes valores para los parámetros a continuación (son los valores más comunes en una situación normal, sin problemas). Se toman como base teléfonos móviles de clase 4 y el uso de EDGE carrier CU.V3:

**Tabla 3: Valores de Potencia y Sensibilidad para el Link Budget [6]**

	Potencia de Salida de Estación Móvil	Potencia de Salida de Estación Base	Sensibilidad de Estación Móvil	Sensibilidad de Estación Base
Voz	33 dBm (2W)	48 dBm (63W)	-102.0 dBm	-111.0 dBm

La ganancia por diversidad se asume en promedio 3dBm.

En pérdidas por penetración en interiores y por el cuerpo humano asumimos los siguientes valores de la tabla [6]:

**Tabla 4: Valores de Pérdidas por Penetración y por el Cuerpo Humano [6]**

	Urbano denso [dB]	Urbano [dB]	SubUrbano [dB]	Rural [dB]	Vehículo [dB]
Pérdida por Penetración (voz)	20	16	12	6	6
Pérdida por obstaculización (cuerpo) (voz)	3	3	3	3	3

Como resultado, el link budget nos da las clases de móviles requeridas en dBm para diferentes entornos [6]:



Tabla 5: Resultado General del Link Budget [6]

	Urbano denso (indoor)	Urbano (indoor)	Suburbano (indoor)	Rural (indoor)	Carretera (incar)	Rural (outdoor)
Sensibilidad RX	-102 dBm	-102 dBm	-102 dBm	-102 dBm	-102 dBm	-102 dBm
Pérdida en interiores / en vehículos	20 dB	16 dB	12 dB	6 dB	6 dB	0 dB
Pérdida por obstaculización (cuerpo)	3 dB	3 dB	3 Db	3 dB	3 dB	3 dB
Margen de degradación de sensibilidad en RX (inherente al transmisor)	0	0	0	2	2	2
Margen de degradación debida a interferencias (C/I)	3 dB	3 dB	3 dB	3 dB	3 dB	3 dB
Margen de desvanecimiento a largo plazo	10,2 dB	10,2 dB	5,6 dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB
Desequilibrio de vía (DL – UL)	-2,7 dB	-2,7 dB	-2,7 dB	-2,7 dB	-1,5 dB	-2,7 dB

En resumen, se deben cumplir los siguientes niveles de cobertura de acuerdo a cada zona:

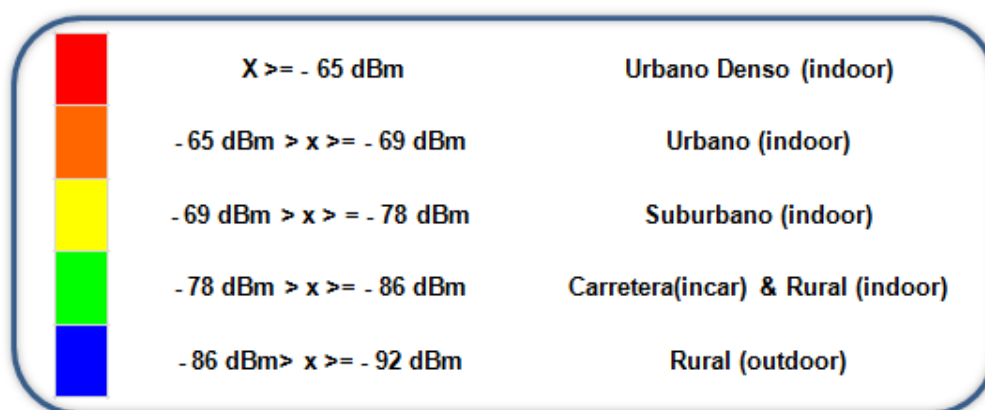


Figura 10: Niveles de cobertura [6]

### 1.3.3 Planificación de frecuencias

La asignación de frecuencias por sector de cada celda debe ser tal que se asegure la calidad de las llamadas, sobre todo en el canal BCCH por ser el que usa para el reuso [6].

Se asignará frecuencias fijas para los TRX's del BCCH y grupos de frecuencias SFH (Synthesized Frequency Hopping) para los otros TRX's.

Actualmente se utilizan 16 canales de RF GSM para BCCH y 30 canales de RF GSM para SFH.

En la planificación de frecuencias lo que se busca es distribuir el espectro disponible en los sectores de las estaciones base de manera tal que se evite la interferencia co-canal y la interferencia adyacente.

#### **Interferencia Co-Canal:**

La interferencia co-canal ocurre en zonas donde llega señal de dos estaciones base que tienen la misma frecuencia; lo que sucede es que el móvil no puede determinar de cual celda tomar la señal. [6]

#### **Interferencia Adyacente:**

La interferencia adyacente ocurre en zonas donde llega señal de canales de frecuencias adyacentes, por ejemplo, canal 150 y canal 151.

De ambas interferencias peor es la co-canal pues ocasiona que no se pueda hablar, en cambio la adyacente ocasiona que se escuche mal. Ambos casos deben evitarse. En caso ya esté listo el plan de frecuencias y se encuentren interferencias se debe hacer un análisis sobre cual frecuencia cambiar para no tener que realizar todo el plan nuevamente.

Para esto existen herramientas (sotwares) que pueden ser de gran ayuda.  
[6]

## 1.4 Canales GSM en la interfaz de aire

Los canales en la interfaz de aire en GSM son canales lógicos y están divididos en dos grandes grupos: TCH (Traffic Channels – Canales de Tráfico) y CCH (Control Channels – Canales de Control). Lo podemos observar mejor en la **figura 11**:

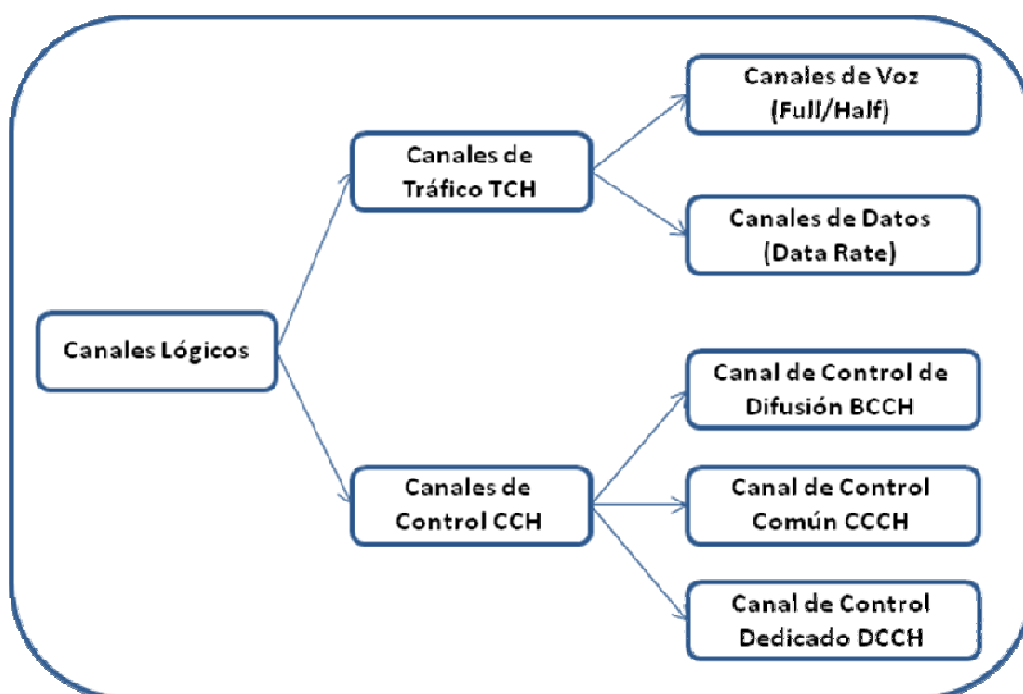


Figura 11: Lógicos GSM [7]

Los canales de tráfico se dividen a su vez en dos:

- Speech Channels (Full/Half): Son los canales por donde pasa la voz, los cuales pueden ser Full Rate o Half Rate.
- Data Channels (Data Rate): Son los canales por donde pasan los datos.

A los canales de voz normalmente se les da mucha mayor prioridad que a los canales de datos. [6]

Luego, como vimos anteriormente en la **figura 11**, los canales de control se dividen en tres: BCCH, CCCH y DCCH. A su vez éstos incluyen diferentes canales, los cuales se explicarán a continuación.

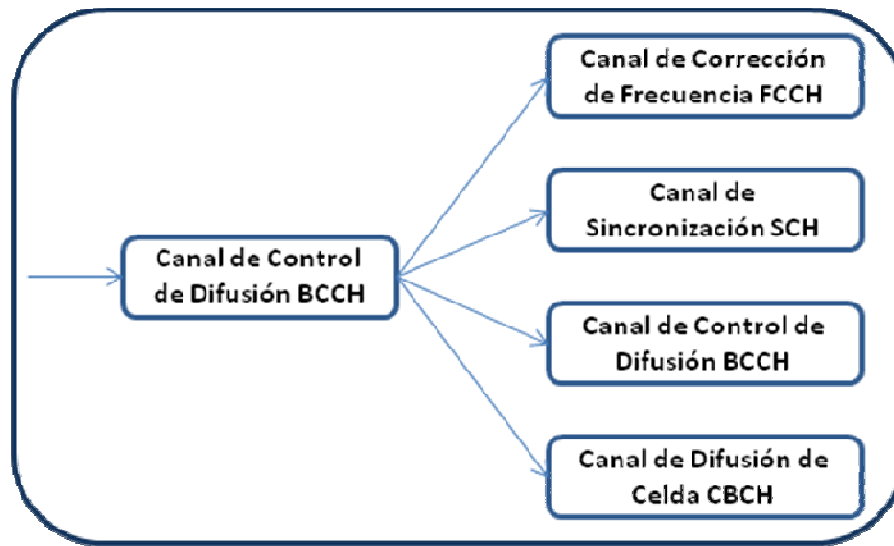


Figura 12: Canales BCCH [7]

El BCCH se subdivide a su vez en cuatro canales:

- FCCH (Frequency Correction Channel): Identifica la frecuencia BCCH. Realiza la sincronización de la frecuencia de la estación móvil.
- SCH (Synchronization Channel): Sincroniza el tiempo de trama. Identifica las celdas vecinas para realizar el handover.
- BCCH (Broadcast Control Channel): Contiene la información del sistema: el identificador de la celda, parámetros de la celda, configuración del canal, frecuencias de la celda, frecuencias de difusión, frecuencias de difusión de las celdas vecinas.
- CBCH (Cell Broadcast Channel): Difusión de mensajes cortos: tráfico, tiempo, datos. Contiene información que no sea del sistema.

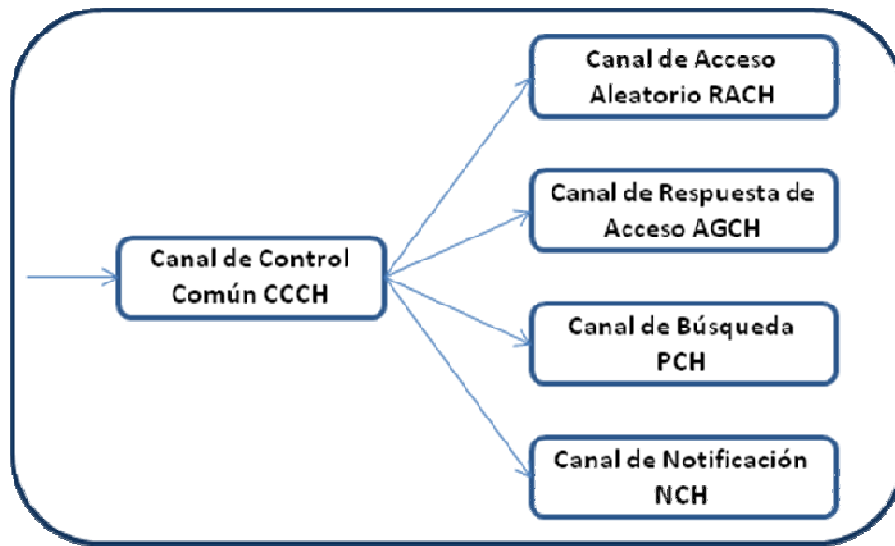


Figura 13: Canales CCCH [7]

El CCCH también se subdivide en cuatro canales:

- RACH (Random Acces Grant Channel): La estación móvil solicita un canal dedicado a la red (uplink).
- AGCH (Acces Grant Channel): Da la respuesta a un RACH. Designa un canal dedicado de señalización (downlink).
- PCH (Paging Channel): Una estación móvil busca un área de localización para realizar una llamada.
- NCH (Notification Channel): Búsqueda de sistemas móviles en todas las celdas de llamadas de un grupo de voz para ejecutar ASCII.

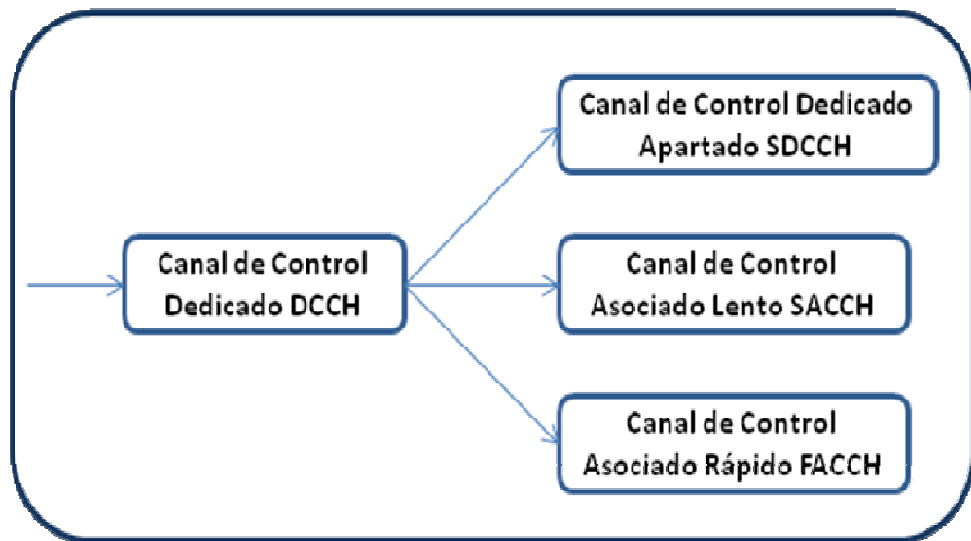


Figura 14: Canales DCCH [7]

El DCCH se subdivide en los siguientes 3 canales:

- SDCCH (Stand Alone Dedicated Control Channel): Canal de señalización apartado para la señalización del establecimiento de la llamada, SMS.
- SACCH (Slow Associated Control Channel): Canal de señalización periódica. En el downlink brinda informaciones del sistema, control de potencia. En el uplink brinda medidas de nivel de calidad y SMS.
- FACCH (Fast Associated Control Channel): Canal de señalización esporádica. Envía la señalización del handover y la modificación del modo del canal (de voz a data o viceversa).

## CAPÍTULO II: PARÁMETROS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ÁREA DE SERVICIO DE UNA RED MÓVIL



Para optimizar el área de servicio de una red móvil debemos analizar los parámetros que contiene la red de acceso. Tendremos en cuenta cinco puntos importantes: 1. Parámetros, 2. Señalización, 3. Handovers, 4. Location Areas y 5. Adyacencias. [8]

## 2.1 Parámetros

Los parámetros más relevantes para el correcto funcionamiento de la red de acceso son: selección de celda, reelección, handover, reducción de interferencia, y jerarquía.

A continuación se mencionarán los parámetros más importantes y su significado:

### 2.1.1 Selección de Celda

Es el acceso inicial de un MS en una celda. El MS escanea todos los BCCH hasta encontrar el más fuerte; este estado se llama "CAMPED NORMALLY". Cuando un MS está en un área de cobertura su estado pasa a ser "ANY CELL SELECTION", lo que significa que hay varios BCCH con alta potencia disponible.

### 2.1.2 Reelección

Un MS está en Idle Mode cuando ha seleccionado una celda servidora. En este estado el MS reelecciona otra celda más apropiada para él, por ejemplo, desde el punto de vista del MS, cuando recibe mejor señal de una celda vecina que de la celda actual. [9]

$C1 \text{ vecina} > C1 \text{ servidora}$

Para tomar esta decisión se tienen criterios, en los cuales participan los siguientes parámetros:

- AV\_RXLEV: Promedio de 5 muestras de nivel de las señales recibidas de cada portadora realizada por el MS de 3 a 5 segundos.
- RXLEV\_ACCESS\_MIN: También se le llama RXLEVAMI. Es el nivel mínimo recibido en el downlink para que una celda sea seleccionada; en nuestro



caso se toma el nivel de -100 dBm. Cuanto mayor es este valor, menor será el área de selección de una celda. Nota: La disminución del área de acceso puede causar áreas de sombra (no señal).

- MS\_TXPWR\_MAX\_CCH: También llamado MSTXPMAXCH. Es la mínima potencia transmitida por el MS para el acceso al RACH, es decir, para su canal de acceso.
- P: Potencia de salida del MS.

Entonces, el criterio de Reselección C, para pasar a otra celda se halla con la siguiente fórmula:

$$C1 = AV\_RXLEV - RXLEVAMI - \text{Max}(0, MS\_TXPWR\_MAX\_CCH - P)$$

Puede ser que al hacer una selección entre dos celdas el MS vuelva a hacer una selección a su celda original si ocurre un fading. Si sucede varias veces se le llama efecto ping pong. Si esto ocurre dentro de la misma LAC no hay problema puesto que no se genera procesamiento en la red, la decisión es solo tomada por el MS.

Cuando las celdas son de LACs diferentes se generará un procesamiento para actualizar datos; en este caso, si aparece el efecto ping pong aumentará el tráfico en el SDCCHD. Debe ser evitado.

Para solucionarlo es implementada una Histéresis. Lo que hace es dificultar ese efecto en el criterio de reelección:

$$C1 (\text{Candidato}) > C1 (\text{Servidor}) + \text{Histéresis}$$

- CELL\_RESELECT\_HYSTERESIS: También llamado CELLRESH. Por default el valor es 4 dB.

Resumiendo, si a una celda se le aplica un CELLRESH, se va a garantizar que el MS acceda al sistema a través de ella.

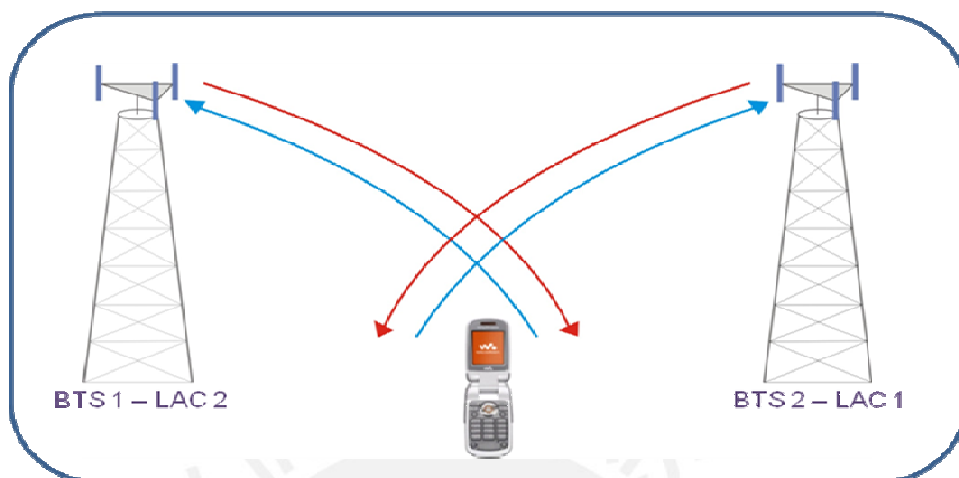


Figura 15: Ejemplo de celda con histéresis [8]

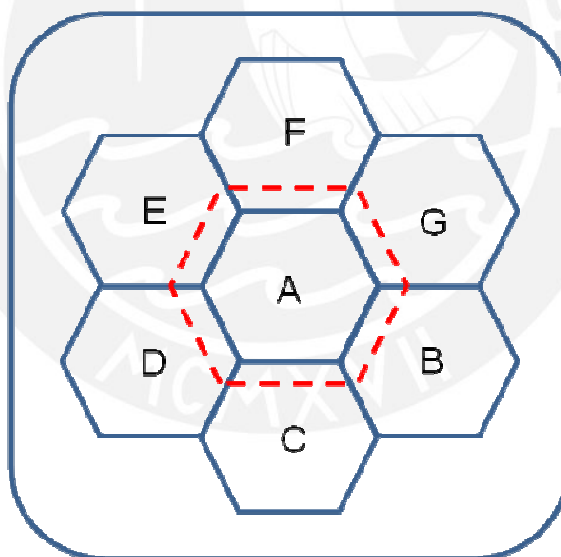


Figura 16: Celda A con Histéresis Aplicada (A pertenece a otro LAC) [8]

- CBQ: Prioridad de selección. El MS al hacer una selección buscará primero en las celdas con prioridad normal CBQ=0; si no se hallan buscará las celdas de menor prioridad CBQ=1, independientemente de quién sea el mejor servidor.

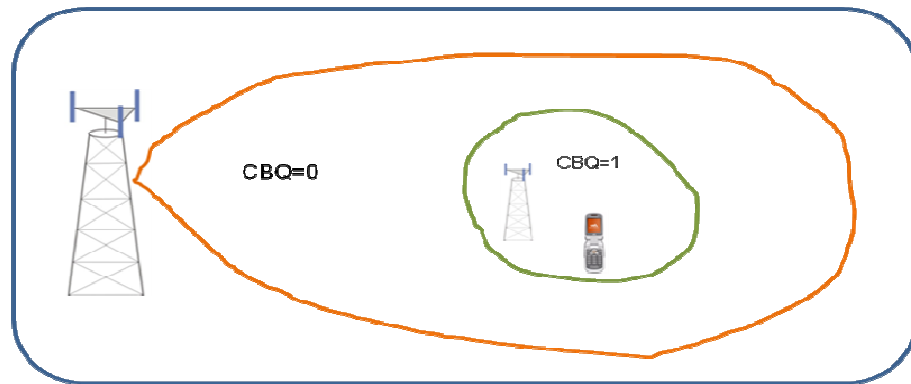


Figura 17: Celda con prioridad aplicada [8]

## 2.2 Handover (HO)

El HO tiene como objetivo preservar la llamada del usuario sin interrupción, lo que puede ocurrir si la señal se degrada o se congestiona la celda. Se intercambia la canalización (TRX o TS). [8]

Hay 4 tipos de HO:

1. Intracell HO: El MS cambia de TRX o Time Slot en la misma celda.
2. Intra BSC HO: El MS cambia de una celda a otra dentro de la misma BSC.
3. Inter BSC HO: El MS cambia de una celda a otra, que están en diferentes BSC.
4. Inter MSC HO: El MS cambia de una celda de un MSC a otra celda de otro MSC.

A los puntos 1, 2 y 3 también se les llama intra MSC HO ya que el cambio de las celdas ocurre dentro del mismo MSC.

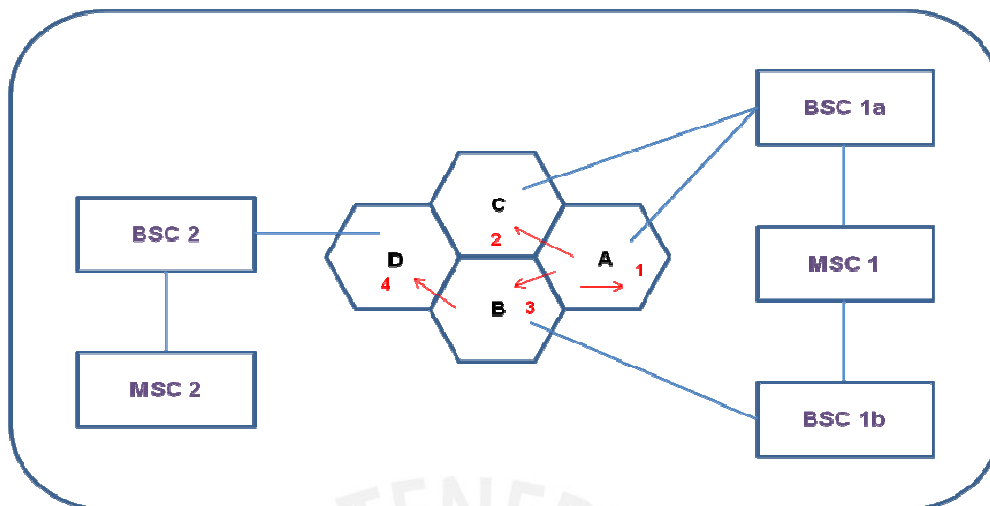


Figura 18: Tipos de Handover [8]

Los causantes del HO se definen en dos criterios:

Criterio de Radio:

- Calidad recibida muy baja o BER muy alto
- Muy bajo nivel de potencia de DL recibido
- Muy bajo nivel de potencia de UL recibido
- Mucha distancia entre el MS y la BTS
- Mejor candidato (Mejor resultado de POWER BUDGET).

Criterio de Red:

- Servidor congestionado
- Muy alto tráfico cursado
- Mucha o muy poca (en celdas extendidas) distancia entre el MS y la BTS
- Nivel recibido

### 2.2.1 Criterio de HO

El criterio elegido para HO está basado en medidas de nivel de potencia de UL y DL, la distancia absoluta del MS al BS, criterio de power budget de hasta 32 vecinos.[10]

Cuando va a ocurrir un Intercell HO se solicita la asignación de un canal dedicado de una celda candidata. Si es un Intracell HO se solicita la asignación de un canal dentro de la misma celda.

Hay tres clases de criterio de HO:

- Criterio Normal: HO por power budget
- Criterio Imperativo: Todas las otras causas de HO para TCH.
- Criterio Forzado: HO forzado iniciado por la BSC.

### 2.2.2 Causas de HO por prioridad

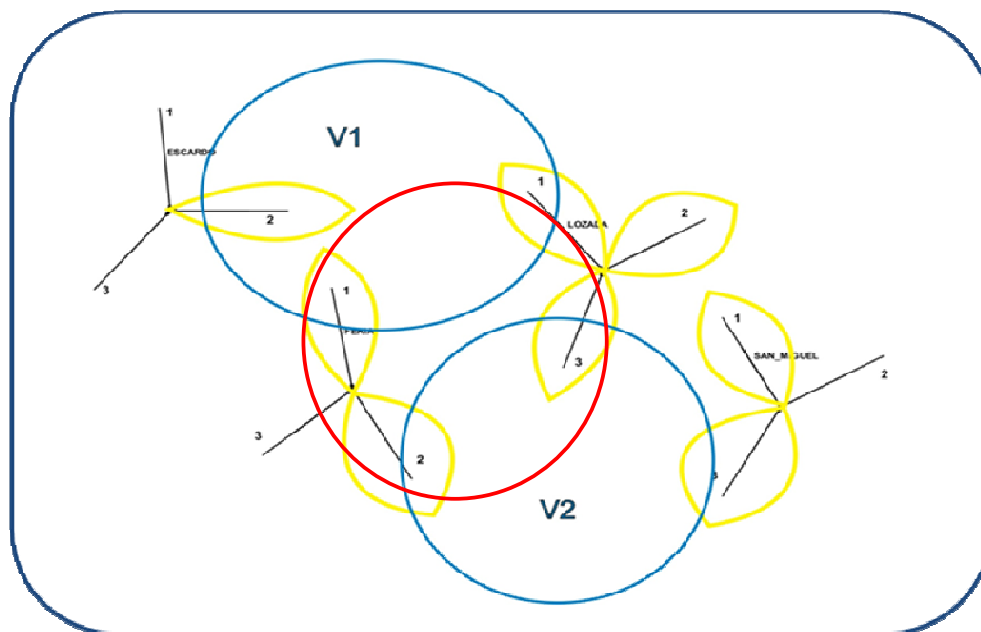
Tabla 6: Causas de Handover por Prioridad [8]

Prioridad	Causas de HO	Tipo de HO	Clase de HO	Canal analizado
1	HO Celda Extendida	Intracell	imperativo	TCH
1	HO celda Concéntrica	Intracell	imperativo	TCH
2	HO por Calidad	Intercell	imperativo	TCH
3	HO por Nivel	Intercell	imperativo	TCH
4	HO por Distancia	Intercell	imperativo	TCH
5	HO por PwrBudget	Intercell	Normal	TCH
6	HO por calidad	Intracell	imperativo	TCH
7	HO por Tráfico	Intercell	Normal	BTS
-	HO Forzado	Intercell	Forzado	SDCCH/TCH
-	HO por Fast Uplink	Intercell	imperativo	UL-TCH

### 2.2.3 Vecindades

Para que pueda haber handover tanto en estado idle como en estado dedicado cada sector debe tener declarada su vecindad. Esto significa que se debe configurar mediante comandos en cada sector, los sectores de la misma o de otras estaciones base con las que puede hacer handover. Si esta configuración no está

definida, cuando un usuario pase de una zona a otra en llamada, ésta se caerá pues no hará handover [8]. Por ejemplo veamos la **figura19**:



**Figura 19: Ejemplo de vecindades entre celdas [Fuente Propia]**

Como se puede observar en la figura anterior debe haber una vecindad V1 entre el sector 2 de la celda Escardó, el sector 1 de Feria, y el sector 1 de Lozada. De igual manera debe haber otra vecindad entre el sector 2 de Feria, el 3 de Lozada y el 3 de San Miguel. A la vez, como vemos en el círculo rojo, debe haber otra vecindad entre los sectores 1 y 2 de Feria, y los sectores 1 y 3 de Lozada.

Esta configuración se debe hacer sector por sector, se debe colocar la frecuencia del sector vecino, y finalmente qué tipo de handover realizar en estado idle y es estado dedicado (en llamada) (por calidad o por nivel de señal).

Como se puede observar, resulta bastante tedioso realizar esta tarea. Debe realizarse con mucho cuidado.

## 2.3 Reducción de Interferencia

### 2.3.1 Control Dinámico de Potencia

Se trata de adaptar las potencias tanto en el uplink como en el downlink para mejorar las condiciones de recepción. El control dinámico de potencia es aplicado separadamente a cada canal lógico. Así se logra reducción de la interferencia sentida por usuarios que utilizan el mismo canal, y también se reduce el consumo de energía, principalmente para el móvil.

Los parámetros para habilitar el control dinámico de potencia en el uplink y en el downlink son EN\_MS\_PC y EN\_BS\_PC respectivamente. [8]

#### Algoritmo de decisión:

Existen cuatro parámetros para el uplink y cuatro para el downlink, lo cuales harán que se tomen ciertas decisiones con respecto a la potencia [8]:

Tabla 7: Parámetros para realizar handover [8]

Nombre de la Especificación	Intervalo	Valor Patrón	Significado
L_RXLEV_DL_P	0 ... 63	25	Definen el menor nivel de señal aceptable. En Caso de que RXLEV caiga bajo ese límite, ocurre un aumento de potencia.
L_RXLEV_UL_P		18	
U_RXLEV_DL_P	0 ... 63	35	Definen el mayor nivel de señal aceptable. En Caso de que RXLEV sea mayor de ese límite, ocurre una disminución de potencia.
U_RXLEV_UL_P		28	
L_RXQUAL_DL_P	0 ... 7	4 (3)	Definen el menor nivel de calidad aceptable. En Caso que RXQUAL este encima de ese límite, ocurre un aumento de potencia.
L_RXQUAL_UL_P			
U_RXQUAL_DL_P	0 ... 7	2 (1)	Define el mayor nivel de calidad aceptable. En Caso que RXQUAL caiga abajo de ese límite, ocurre una disminución de potencia.
U_RXQUAL_UL_P			

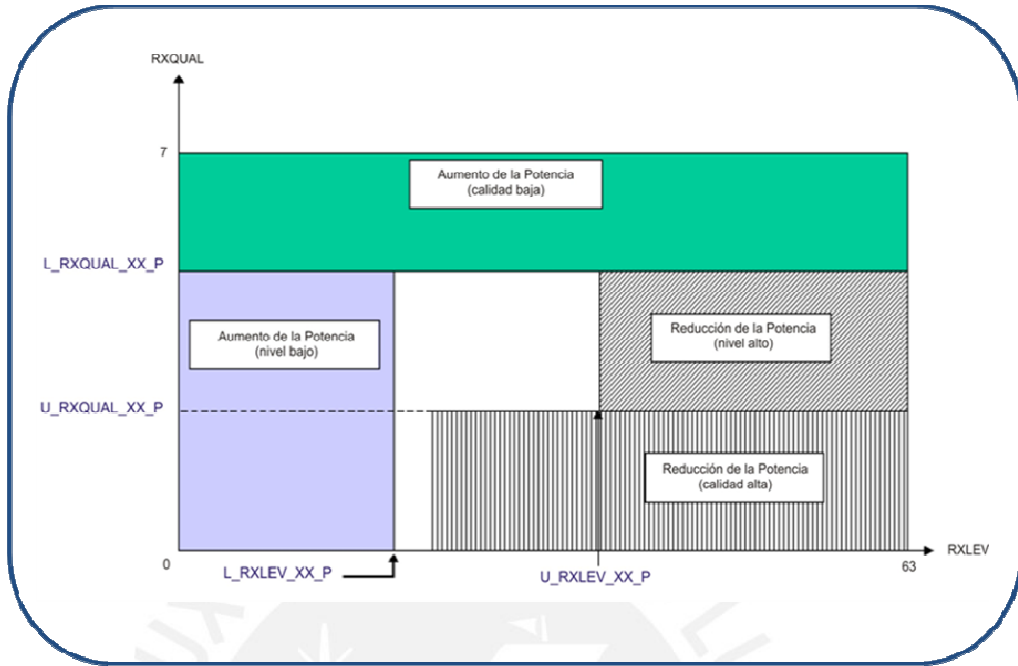


Figura 20: Esquema de parámetros para realizar handover [8]

En resumen:

$RXQUAL\_XX < U\_RXQUAL\_XX\_P$	Disminución de Potencia
$RXQUAL\_XX > L\_RXQUAL\_XX\_P$	Aumento de Potencia
$RXLEV\_XX > U\_RXLEV\_XX\_P$	Disminución de Potencia
$RXLEV\_XX < L\_RXLEV\_XX\_P$	Aumento de Potencia

### 2.3.2 Transmisión Discontinua

Como en una conversación, cada participante habla aproximadamente el 50% del tiempo, la transmisión discontinua activa los radios en los cuadros en los que exista transmisión útil a ser transmitida. Entonces, se utilizan algoritmos de detección de voz VAD (Voice Activity Detection). [8]

Cuando no hay actividad de voz se genera una señal de descanso que simula ruido de fondo. Esta señal ocupa apenas un cuadro de voz (260 bits durante 20ms), el cual es repetido a cada cuadro de SACCH.



Así, en vez de tener una velocidad de 13Kbits/s en la interfaz de aire, se tiene 500bits/s, que son suficientes para codificar la señal de descanso. En las interfaces  $A_{BIS}$  y  $A_{SUB}$  la codificación de la señal de descanso es repetida cada cuadro de voz.

Al igual que en el Control Dinámico de Potencia, se disminuye la interferencia y hay ahorro de energía.

**Tabla 8: Parámetros para usar control dinámico de potencia [8]**

Nombre en la Especificación	Intervalo	Significado
DTX Indicator uplink	0	El móvil puede usar DTX (si es posible)
	1	El móvil debe usar DTX
	2	El móvil no debe usar DTX
DTX Indicator downlink	FALSE TRUE	Indica si la BTS debe o no utilizar DTX en sus transmisiones

## 2.4 Ubicación de Canales por Nivel de Interferencia

El objetivo es usar siempre el canal de tráfico que esté sufriendo la menor interferencia. Para esto la BTS realiza, para los canales no utilizados, mediciones de nivel de la señal recibida. El valor de RXLEV es interpretado como interferencia presente en el canal utilizado. [8]

## 2.5 Jerarquía de Celdas

Se tienen dos capas: Superior e Inferior.

En la capa superior se tiene a las macro-celdas. Estas tienen alta potencia de transmisión, ubicadas sobre en nivel de los techos con una cobertura global.

En la capa inferior se tiene a las micro-celdas. Estas tienen baja potencia de transmisión, pueden estar ubicadas outdoor o indoor. Cubre a las zonas de alto tráfico y atiende a móviles de baja velocidad.

Atender a móviles de alta velocidad con macro-celdas disminuye la tasa de handover, lo cual disminuye la probabilidad de caída de llamadas y la carga de señalización asociada con los handover. [8]



### CAPÍTULO III: PROCEDIMIENTOS DE INGENIERÍA PARA OPTIMIZAR UNA RED GSM



### 3.1 Significado de Optimización en Comunicaciones Móviles

Primeramente tenemos que dejar en claro el significado de “optimizar”. Optimizar significa mejorar algo que ya existe y está funcionando.

En comunicaciones móviles la optimización lleva a mejorar la calidad de la red.

Hay dos puntos de vista para mejorar u optimizar la red [10]:

- Desde el punto de vista de los suscriptores o clientes:  
Se hacen pruebas diversas y al notar vulnerabilidades en diferentes zonas se realizan diversos cambios para eliminarlos. También se toman en cuenta reclamos que se reciban de los clientes para verificar la zona y realizar los cambios respectivos.
- Desde el punto de vista del propio operador:  
Muchas veces el operador (sus trabajadores) realizan cambios en los parámetros de la red porque se dan cuenta que de esa manera el funcionamiento va a ser mejor. También se pueden hacer cambios que hagan que los recursos sean mejor explotados.

### 3.2 Evaluación del Rendimiento de la Red

La red está constantemente cambiando; se debe detectar los problemas, y si es posible, predecirlos, antes de que los clientes se quejen. Para esto se realizan continuamente pruebas de campo y se verifican alarmas que se generan cuando hay algún problema en alguna parte de la red, por ejemplo, en una BTS. [9]

#### 3.2.1 Indicadores de Rendimiento (KPI)

Diversos KPI (Key Performance Indicators) describen el performance de la red, como por ejemplo Drop Call Rate DCR (tasa de caída de llamadas), el Tráfico y la Congestión. Los KPI se obtienen de sistemas medidores de performance (PMS – Performance Measurement System). El análisis de estos resultados nos ayuda a detectar y mejorar, por ejemplo, problemas de diseño y configuración e identificar zonas de problemas.

La data se obtiene del BSS, más exactos del Controlador (BSC). Estos se obtienen en intervalos de 15, 30 o 60 minutos dependiendo de la configuración. Normalmente lo que se verifica es el performance de cada celda, ya que si lo vemos por regiones es posible que no notemos si hay alguna falla al promediar por la cantidad de BTS.

Se tiene como datos el nombre de la celda y cuántos radios o TRX se tienen por celda, y más específicamente, por sector. Para analizar el performance de una celda se tienen los siguientes KPI's [9][10]:

- Número de Canales TCH.
- Tráfico TCH en Erlang.
- Porcentaje de Congestión de Tráfico TCH.
- Porcentaje de Disponibilidad de Canales TCH.
- Número de Drop Calls (Caída de Llamadas).
- Porcentaje de Tasa de Caída de Llamadas (TCH Drop Call Rate).
- Número de Canales SDCCH.
- Porcentaje de Congestión SDCCH.
- Tráfico SDCCH en Erlang.
- Porcentaje de Disponibilidad de SDCCH.
- Porcentaje de Tasa de Caídas SDCCH (SDCCH Drop Rate).
- Porcentaje de Tasa de Handovers Exitosos (Handover Success Rate).
- Calidad Promedio en el Downlink.
- Calidad Promedio en el Uplink.

En los KPI's negativos como Drop Calls o Congestión se debe mantener que la incidencia no sea mayor al 2% (en el peor de los casos un 4%). Cuando vemos en una celda un valor por ejemplo del 10% o más es que efectivamente hay un problema, como por ejemplo en el caso de los drop calls alguna interferencia por algún cambio de BCCH recientemente realizado, o en el caso de problemas de congestión, algún problema de funcionamiento con alguna TRX o tal vez tráfico excesivo por algún evento especial en la zona de cobertura, entre otros motivos.

Si se habla de los KPI's positivos como los Handover exitosos o Calidad se debe mantener mayor al 98% y como límite 95%.

### 3.2.3 Drive Tests

La red se divide en zonas. Los Drive Tests son recorridos que se hacen en cada zona para verificar su correcto funcionamiento desde el punto de vista de los clientes o suscriptores. Se obtienen parámetros que nos describen la funcionalidad y la calidad del servicio.

Para realizar drive tests se necesitan los siguientes equipos y softwares [11]:

- Dos estaciones móvil (celular) con modo operacional, en este caso el TEMS Pocket 5.1 de Sony Ericsson. En este equipo se pueden obtener datos muy importantes de la zona de servicio donde se está ubicado.
- Un scanner de doble banda (850MHz y 1900MHz), de igual manera para obtener los parámetros de la zona.
- Una antena también de doble banda.
- Un GPS.
- Una laptop con el Software TEMS Investigation instalado.
- Un auto para realizar el drive test.

Para poder iniciar el drive test los equipos debe conectarse y configurarse de la siguiente manera:

Se conecta la antena al scanner. Tanto el scanner como los celulares se conectan a la laptop. Se enciende todo y luego se inicia el programa. Se deben configurar los puertos donde están conectados el scanner y los tems. Una vez todo esté listo se inicia el drive test en sí.

En el software TEMS Investigation, el scanner es el MS1, el equipo que realiza llamadas largas es MS2 y el equipo que realiza llamadas cortas es MS3. Las llamadas largas se suponen no deben colgarse intencionalmente, y las llamadas cortas duran 60 segundos cada una, con 20 segundos de intervalo. Así se pueden verificar todos los eventos que pueden ocurrir durante el recorrido. Lo mencionado anteriormente depende de la configuración, de esta manera es lo más común.

Luego de haber hecho el drive test, el recorrido se almacena en un archivo .log, el cual puede ser reproducido para su respectivo análisis y así, de ser necesario, corregir los errores que se observen en la red.

Al realizar el análisis se deben tener los datos de la zona a la mano: frecuencias, vecindades, cobertura, entre otros. Así, de acuerdo a un resultado esperado, se analizan los eventos ocurridos.

Los puntos críticos que pueden ser capturados son los siguientes [10][11]:

- Fallas de acceso.
- Caídas de llamadas (Dropped Calls).
- Llamadas bloqueadas (Blocked Calls): Que la BTS ya no tiene recursos para servir a esa llamada.
- Handover fallidos.
- Handover faltantes: HO que debieron ocurrir pero no se hicieron.
- Handover a celdas erróneas: Cuando la calidad de la llamada empeoró luego de haber hecho el HP.
- Lugares cobertura es diferente a la esperada.
- Áreas con baja calidad (bajo RXQUAL): Esto puede suceder por interferencia co-canal o adyacente.
- Áreas con baja intensidad de señal (bajo RXLEV).
- Zonas donde están sirviendo las celdas distantes en vez de las cercanas.
- Vecindades que falten.
- Vecindades que deban eliminarse.
- Áreas donde no haya un servidor dominante, lo que ocasiona el efecto Ping-Pong (realiza HO constantemente).
- Lugares donde no se pudo establecer llamadas.
- Interferencia de otro operador.

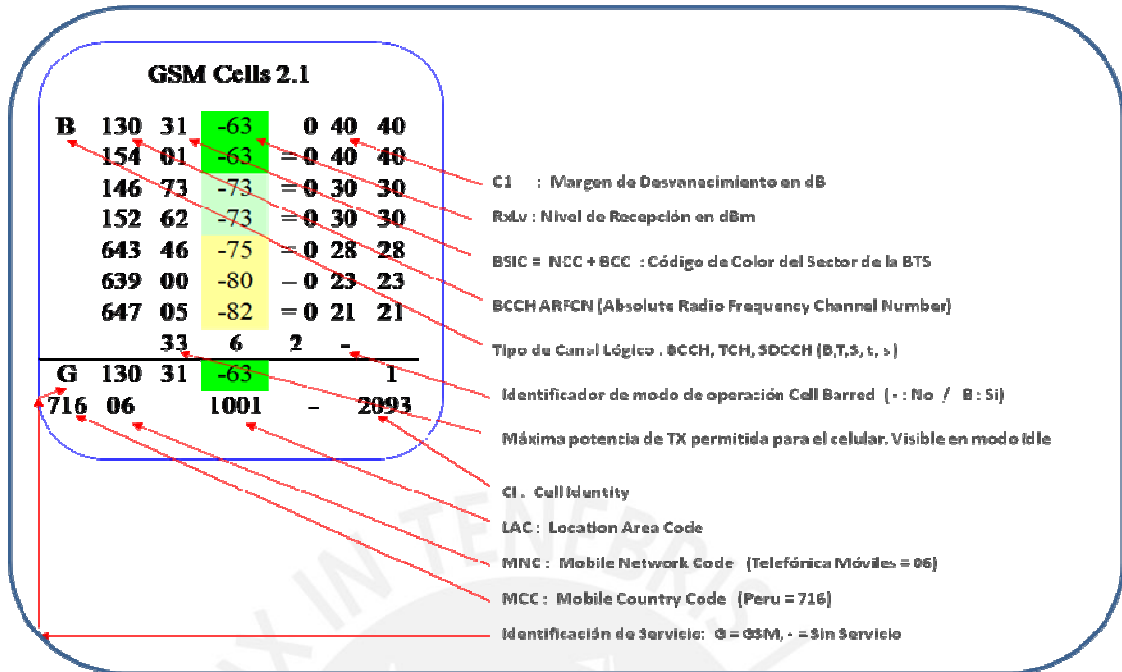


Figura 21: Pantalla del equipo TEMS [12]

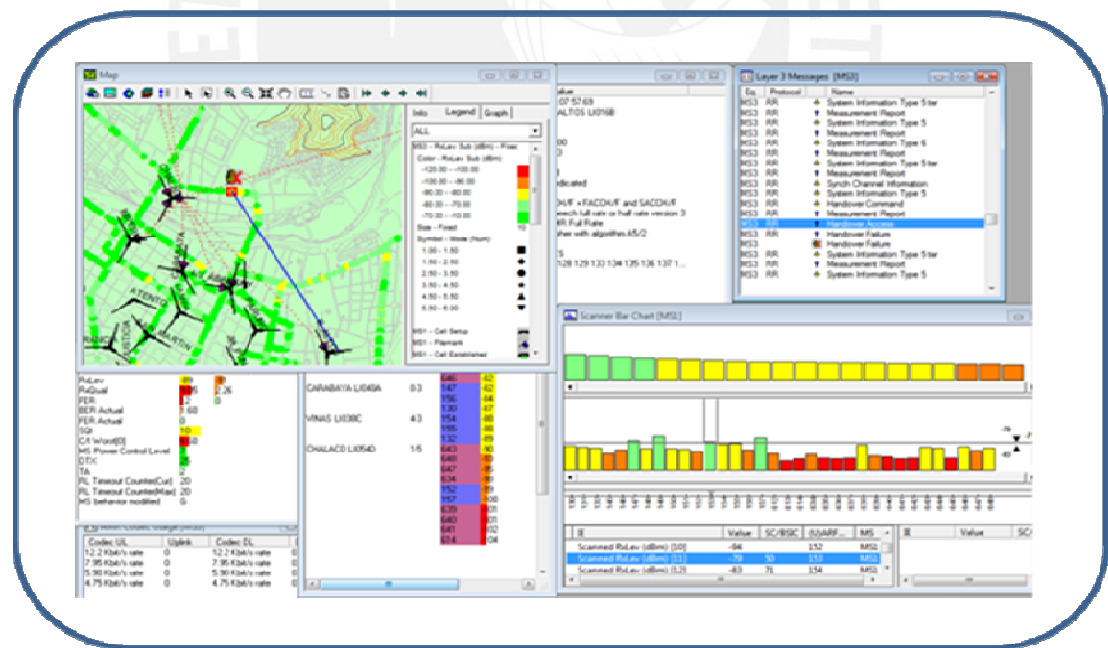
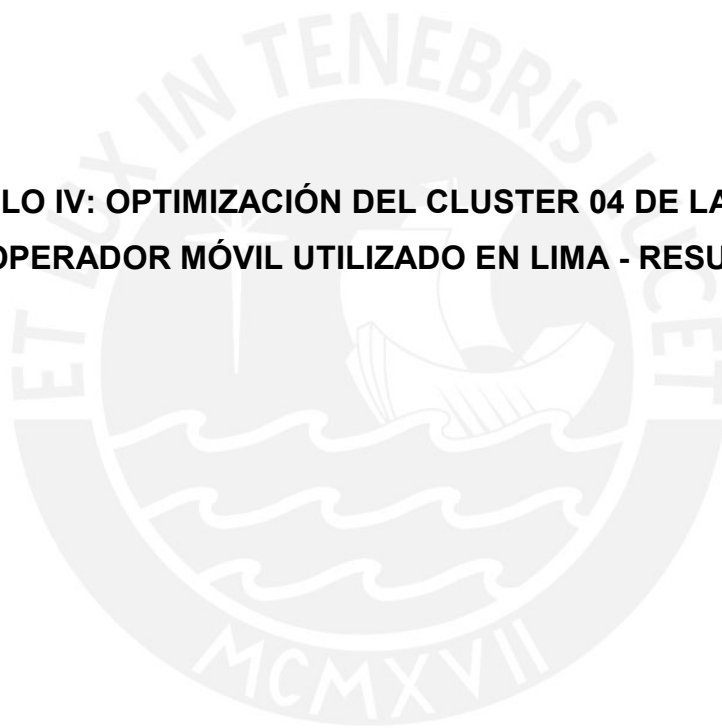


Figura 22: Imagen de captura del TEMS Investigation[11]



**CAPÍTULO IV: OPTIMIZACIÓN DEL CLUSTER 04 DE LA RED GSM  
DEL OPERADOR MÓVIL UTILIZADO EN LIMA - RESULTADOS**



#### 4.1 Descripción del Cluster a Optimizar

La finalidad de la presente tesis es optimizar (mejorar la calidad) de un grupo de estaciones base. La red de Lima del operador móvil utilizado en la presente tesis está dividida en 13 clusters o zonas.

La definición teórica de “cluster” explicada en el capítulo 1 no se cumple porque la zona donde se despliega la red no es topológicamente estable; hay objetos interferentes, se colocan nuevas BTS para aumentar capacidad, entre otros motivos. En la realidad se considera como cluster a un grupo de celdas para tener la red dividida de alguna manera y así, tener un orden y darles el mantenimiento necesario.

Se eligió el cluster número 04, el cual está comprendido por 27 celdas divididas en los distritos de Lima, Breña, Rímac y San Martín de Porres. A continuación en la **figura 23** se presenta un mapa de la zona con las celdas que involucra el cluster 04.

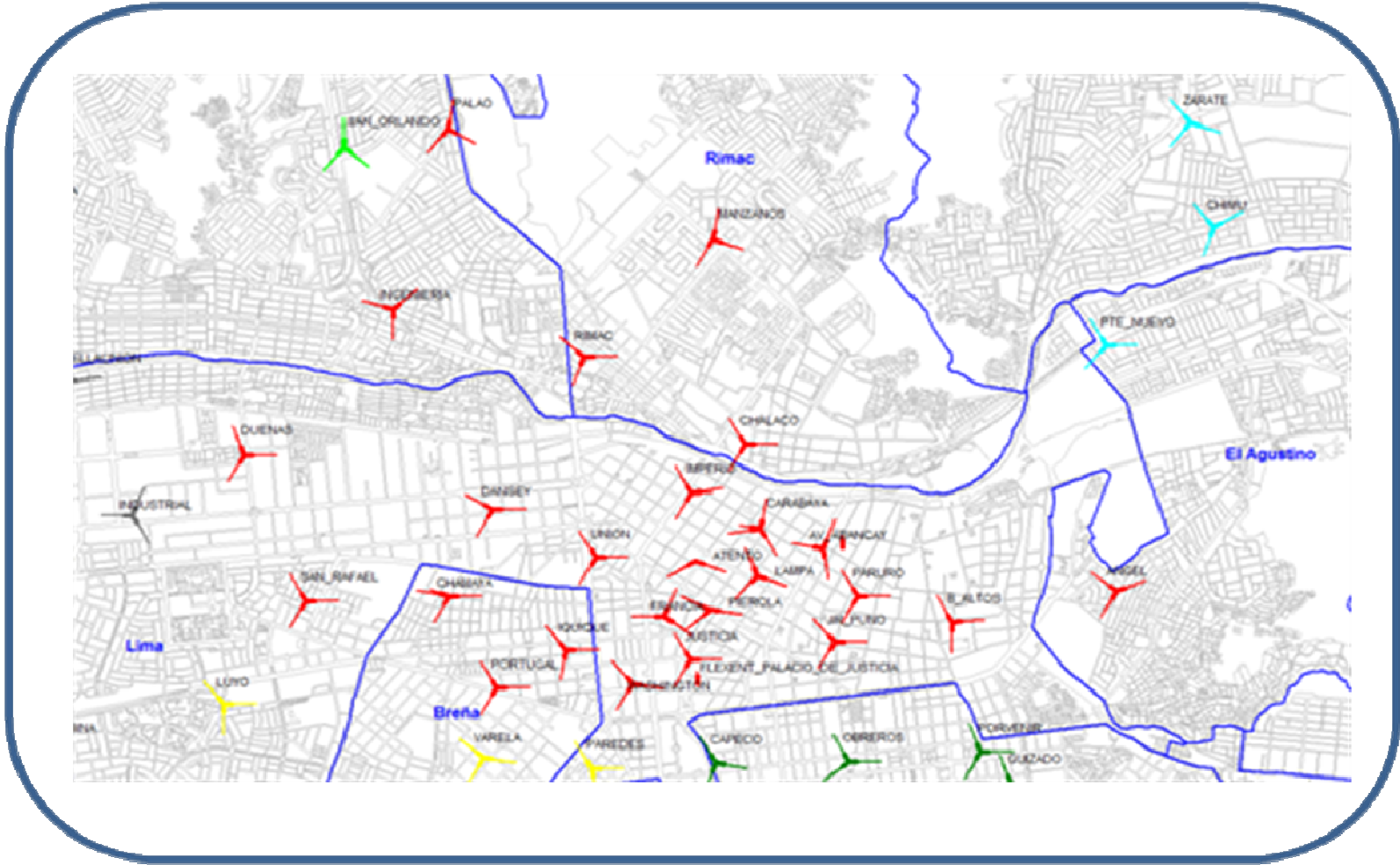


Figura 23: Mapa del cluster 04 - Las celdas rojas cubren la zona a optimizar [Fuente Propia]

Cada celda de la red GSM contiene características y/o datos básicos importantes que se deben tener en cuenta al iniciar el proceso de optimización. Se pasará ahora a explicar los más relevantes y a su vez se mostrará en una tabla su configuración actual:

- Sector: División de la BTS. Normalmente son tres sectores por celda.
- Cell ID (CI): Es el identificador de cada sector en la red. Cada sector tiene un único identificador.
- Azimuth: Es el ángulo horizontal con el cual está orientado cada sector tomando como 0° el norte.
- Longitud y Latitud: Forma la ubicación exacta de la BTS. Toman como referencia el meridiano de Greenwich y la línea del Ecuador.
- Altura: Indica a qué altura están ubicados los sistemas radiantes de los sectores de la BTS.
- Tilt: Indica cuántos grados está inclinado la antena del sector con respecto a la horizontal, el cual puede ser positivo (uptilt) o negativo (downtilt). Además existe el Tilt Eléctrico y el Tilt Mecánico; el primero es el más usado en la actualidad por ser más eficiente en zonas "dense urban".
- Radio de Cobertura: Indica el alcance aproximado de cada sector, la zona de cobertura. Generalmente es 0.24 Km por sector en la banda de 850MHz y 0.16 Km por sector para la banda de 1900MHz. Esto dependerá de la densidad de celdas.
- N° de TRX: Cantidad de tarjetas por sector que contienen la señal de RF para la comunicación. Mientras más TRX se ampliará la capacidad de dicho sector. La cantidad de TRX varían por sectores de acuerdo al tráfico de la zona.
- N° de frecuencias de hopping: Por los canales de frecuencias disponibles para GSM en la banda A de 850MHz, cada sector toma 30 canales para hopping:  $46 \text{ (total)} - 16 \text{ (BCCH)} = 30 \text{ (hopping)}$ . El hopping hace que una llamada establecida tenga saltos de frecuencias. Para la banda de 1900MHz se tienen 19 frecuencias de hopping por sector.
- Frecuencia BCCH: Indica el canales de frecuencia asignados para BCCH, es decir, que contiene la información del sistema en general. Estas son las frecuencia que se reusan, por eso, dos canales iguales en el diseño de la red no pueden estar adyacentes porque causarían interferencia. Tampoco

es recomendable que en el diseño estén adyacentes canales muy cercanos (también puede causar interferencia).

- BSIC: Es la numeración de los sectores que tienen el mismo BCCH. No pueden haber dos BSIC con un BCCH igual.
- LAC: Location Area; área a donde pertenece cada celda.

A continuación se muestra una tabla con los datos por celda antes de realizar el drive test. Todos los sectores tienen estos mismos datos por celda. Las BTS's OBREROS y CAPECO no pertenecen al cluster 04, pero se colocan porque al estar muy cerca, interactúan en el área. Luego se mostrará una tabla en la que aparecen los datos por sector de cada celda, incluyendo a OBREROS y CAPECO. Todo antes de realizar el drive test y optimizar.



Tabla 9: Datos generales de cada celda

CELDA	Site_Id	Longitud	Latitud	LAC
DANSEY	LI009	-77.048978	-12.045315	1007
INGENIERIA	LI013	-77.05577661	-12.03119535	1007
B_ALTOS	LI016	-77.01773754	-12.05320146	1007
DUENAS	LI025	-77.06590339	-12.04146598	1007
ATENTO	LI031	-77.03519043	-12.04890344	1007
CARABAYA	LI040	-77.03080174	-12.0466437	1007
AV_ABANCAY	LI049	-77.02648974	-12.04801924	1007
CHALACO	LI054	-77.03180935	-12.04070284	1007
CHAMAYA	LI055	-77.05195667	-12.051355	1007
FLEXENT_CONGRESO_2	LI064	-77.02521192	-12.04796256	1007
FRANCIA	LI081	-77.03733333	-12.05283333	1007
IMPERIO	LI091	-77.03549803	-12.04411206	1007
JUSTICIA	LI101	-77.03559479	-12.05584119	1007
LAMPA	LI112	-77.03104608	-12.04995299	1007
MANZANOS	LI131	-77.034031	-12.026335	1007
FLEXENT_PALACIO_DE_JUSTICIA	LI162	-77.03509739	-12.05753554	1007
PALAO	LI164	-77.05206242	-12.01855892	1007
JR_PUNO	LI171	-77.0257366	-12.05457744	1007
PARURO	LI172	-77.02418498	-12.051385	1007
PIEROLA	LI180	-77.03388529	-12.05182431	1007
PORTUGAL	LI184	-77.0486902	-12.05780445	1007
ANGEL	LI202	-77.0066072	-12.05103185	1007
RIMAC	LI205	-77.042746	-12.03453986	1007
SAN_RAFAEL	LI220	-77.06168889	-12.05169167	1007
WASHINGTON	LI252	-77.0395	-12.0575	1007
UNION	LI257	-77.042	-12.04866667	1007
IQUIQUE	LI282	-77.044	-12.0551	1007
OBREROS	LI153	-77.0248	-12.063	1008
CAPECO	LI173	-77.0338	-12.0631	1001

Tabla 9: Continuación

CELDA	SECT	Cell Id	Azimuth	BSIC	BCCH
DANSEY	1	91	330	30	154
	2	92	90	11	130
	3	93	210	32	146
	4	10091	330	76	639
	5	10092	90	37	644
	6	10093	210	67	637
INGENIERIA	1	131	285	70	152
	2	132	50	56	130
	3	133	180	72	149
	4	10131	285	53	636
	5	10132	50	51	614
	6	10133	180	15	634
B_ALTOS	1	161	330	60	147
	2	162	85	70	155
	3	163	180	31	151
	4	10161	330	61	643
	5	10162	85	13	645
	6	10163	180	06	634
DUENAS	1	251	340	01	147
	2	252	90	27	153
	3	253	210	33	151
	4	10251	340	33	613
	5	10252	90	45	643
	6	10253	210	23	647
ATENTO	1	311	110	72	152
	2	312	240	54	149
	4	10311	110	30	646
	5	10312	240	62	612
	6	10313	110	62	612
CARABAYA	1	401	10	03	147
	2	402	150	62	131
	3	403	280	21	154
	4	10401	10	15	612
	5	10402	150	27	635
	6	10403	280	37	641
AV_ABANCAY	1	491	280	50	153
	2	492	20	11	155
	3	493	170	03	132
	4	10491	280	51	648
	5	10492	20	70	644
	6	10493	170	06	640

Tabla 9: Continuación

CELDA	SECT	Cell Id	Azimuth	BSIC	BCCH
CHALACO	1	541	330	71	154
	2	542	90	25	146
	3	543	210	23	151
	4	10541	330	15	643
	5	10542	90	35	646
	6	10543	210	25	639
CHAMAYA	1	551	290	67	150
	2	552	90	53	147
	3	553	210	21	157
	4	10551	290	26	641
	5	10552	90	05	613
	6	10553	210	10	634
FLEXENT_CONGRESO_2	1	641	0	22	157
FRANCIA	1	811	270	01	148
	2	812	20	24	157
	3	813	125	45	131
	4	10811	270	41	648
	5	10812	20	65	640
	6	10813	125	13	644
IMPERIO	1	911	330	12	148
	2	912	90	22	130
	3	913	210	11	132
	4	10911	330	01	613
	5	10912	90	72	634
	6	10913	210	72	636
JUSTICIA	1	1011	330	16	154
	2	1012	90	60	149
	3	1013	210	16	145
	4	11011	330	30	641
	5	11012	90	30	647
	6	11013	210	21	612
LAMPA	1	1121	340	21	156
	2	1122	110	03	148
	3	1123	220	32	145
	4	11121	340	50	638
	5	11122	110	51	645
	6	11123	220	04	642
MANZANOS	1	1311	10	14	151
	2	1312	110	10	131
	3	1313	210	41	153
	4	11311	10	52	637
	5	11312	110	13	640
	6	11313	210	53	635
FLEXENT_PALACIO_DE_JUSTICIA	1	1621	0	02	153
	4	11621	0	04	643



Tabla 9: Continuación

CELDA	SECT	Cell Id	Azimuth	BSIC	BCCH
PALAO	1	1641	10	17	145
	2	1642	120	61	156
	3	1643	235	13	132
	4	11641	10	52	638
	5	11642	120	15	645
	6	11643	235	04	640
JR_PUNO	1	1711	330	62	146
	2	1712	100	01	157
	3	1713	210	74	153
	4	11711	330	42	637
	5	11712	100	23	635
	6	11713	210	53	641
PARURO	1	1721	330	47	154
	2	1722	90	03	156
	3	1723	210	72	150
	4	11721	330	52	614
	5	11722	90	67	639
	6	11723	210	03	612
SAN_MARTIN	1	1801	350	70	147
	2	1802	120	14	130
	3	1803	220	30	151
	4	11801	350	22	637
	5	11802	120	42	613
	6	11803	220	00	634
PORTUGAL	1	1841	330	56	151
	2	1842	90	75	131
	3	1843	210	55	145
	4	11841	330	72	646
	5	11842	90	14	635
	6	11843	210	47	612
ANGEL	1	2021	310	43	153
	2	2022	70	14	145
	3	2023	190	51	149
	4	12021	310	01	647
	5	12022	70	01	637
	6	12023	190	05	612
RIMAC	1	2051	310	26	146
	2	2052	90	03	157
	3	2053	200	41	131
	4	12051	310	63	646
	5	12052	90	31	638
	6	12053	200	01	642

Tabla 10: Datos generales de cada sector por celda antes de realizar las pruebas

CELDA	SECT	Cell Id	Azimuth	BSIC	BCCH
SAN_RAFAEL	1	2201	330	13	131
	2	2202	90	20	155
	3	2203	210	07	147
	4	12201	330	31	635
	5	12202	90	12	638
	6	12203	210	31	614
WASHINGTON	1	2521	320	22	156
	2	2522	110	41	150
	3	2523	210	43	152
	4	12521	320	63	639
	5	12522	110	57	614
	6	12523	210	17	637
UNION	1	2571	330	06	145
	2	2572	90	21	155
	3	2573	210	04	153
	4	12571	330	74	647
	5	12572	90	32	643
	6	12573	210	71	614
IQUIQUE	1	2821	330	15	132
	2	2822	80	11	146
	3	2823	200	70	130
	4	12821	330	12	642
	5	12822	80	12	638
	6	12823	200	05	644
OBREROS	1	1531	330	40	154
	2	1532	90	77	132
	3	1533	210	34	145
	4	11531	330	30	648
	5	11532	90	72	644
	6	11533	210	14	642
CAPECO	1	1731	330	65	147
	2	1732	100	57	157
	3	1733	200	74	132
	4	11731	330	42	638
	5	11732	100	62	646
	6	11733	200	3	640

## 4.2 Procedimiento

Con las herramientas expuestas en el capítulo anterior, se realizó el respectivo drive test por las rutas (en color gris alrededor de las celdas verdes) mostradas a continuación:

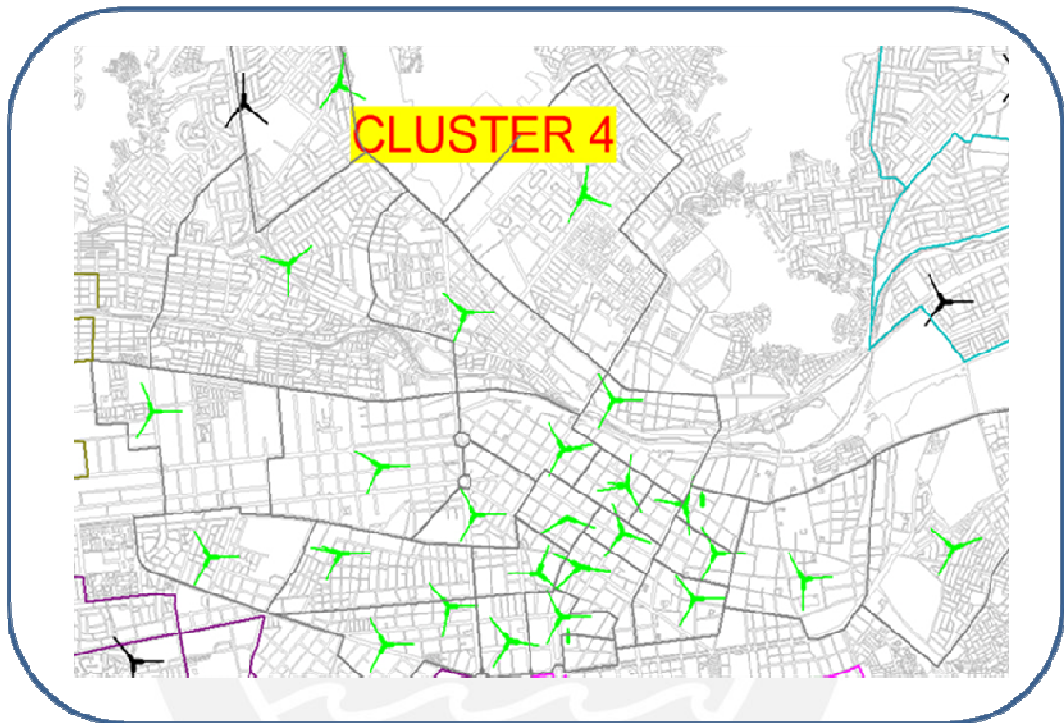





Figura 24: Recorrido del drive test a realizar en el cluster 04. Nos orientamos con los caminos grises. Las BTS en color verde pertenecen a dicho cluster

### 4.2.1 Resultados





El drive test se realizó el 20 de diciembre del 2007, y está dividido en dos partes: la primera de 10:15:21 a 13:05:25 y la segunda de 14:51:11 hasta las 17:35:15.

Los parámetros que vamos a tener en cuenta y sus niveles se presentan a continuación (el mejor nivel es el verde y el peor es el rojo):




RxLev (dBm):

$-120 \leq X < -100$ dBm	
$-100 \leq X < -90$ dBm	
$-90 \leq X < -80$ dBm	
$-80 \leq X < -70$ dBm	
$-70 \leq X < -10$ dBm	




RxQual:

$6.4 \leq X < 26.0$	
$1.6 \leq X < 6.4$	
$0.4 \leq X < 1.6$	
$0.0 \leq X < 0.4$	

FER (Frame Error Rate): Porcentaje de tramas que no han podido haber sido decodificadas:

$8.0 \leq X < 100.0$	
$4.0 \leq X < 8.0$	
$0.0 \leq X < 4.0$	

C/I (Carrier Over Interference): Qué tan interferida está una señal:

$5.0 \leq X < 10.0$	
$10.0 \leq X < 15.0$	
$15.0 \leq X < 35.0$	

RL Timeout Counter: Contador que comienza en 20s. De acuerdo a diversos sucesos, como por ejemplo, un muy bajo nivel de RxLev o de RxQual, empieza a disminuir. Si llega a 0 se corta la llamada.

#### 4.2.2 Primera parte: desde las 10:15:21 hasta las 13:05:25

Con el móvil MS2 (llamada larga):

Vista general:

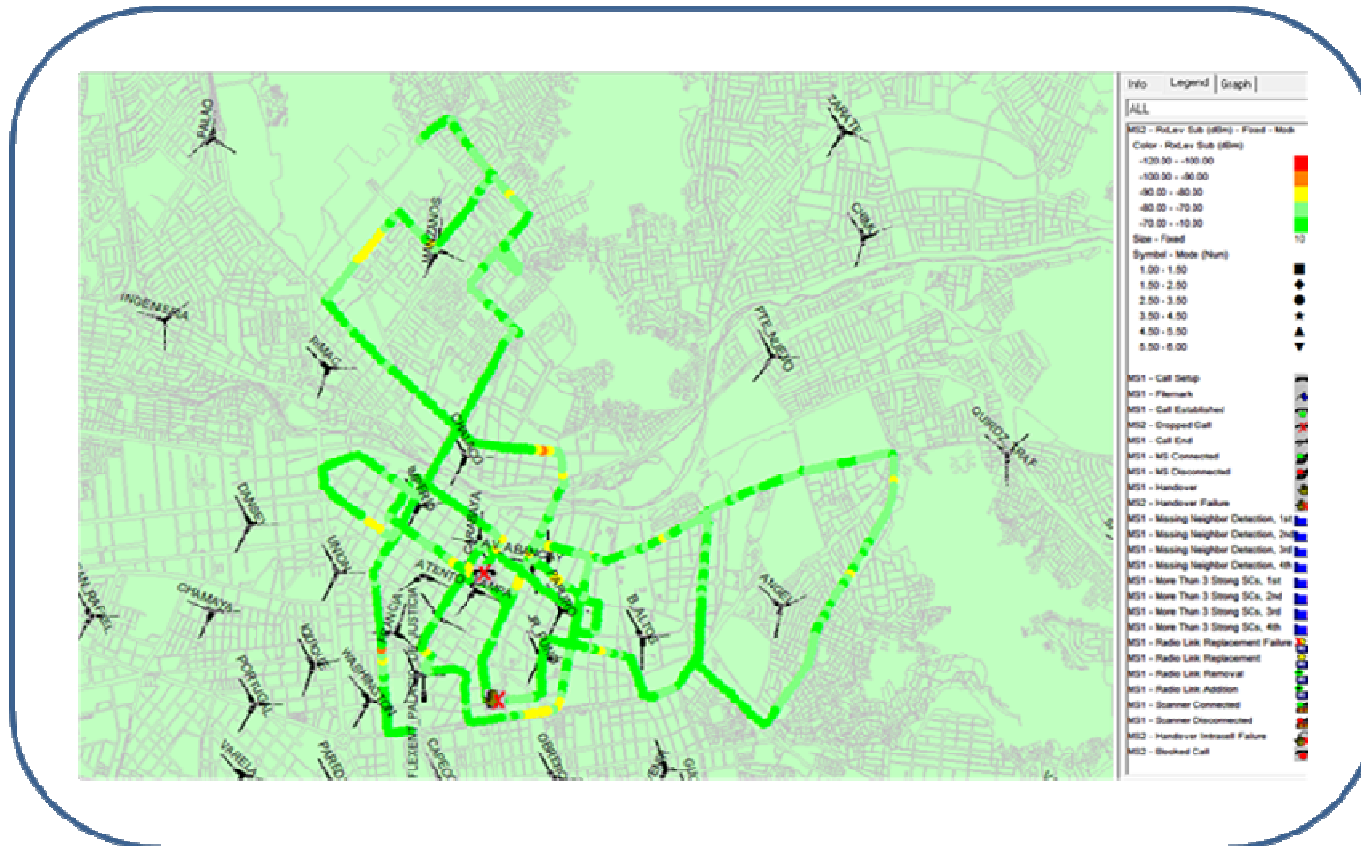


Figura 25: Imagen de captura de vista general del recorrido realizado en la primera parte del drive test hecho con el MS2

### Eventos encontrados:

1. Dropped Call (12:50:17). Hubo un Handover de CARABAYA sector 3, BCCH 154, BSIC 21 hacia IMPERIO sector 2, BCCH 130, BSIC 22, con C/I 7.2, RxLev -69dBm y RxQual de 0.28. Luego de esto el teléfono no puede decodificar el BSIC porque hay una interferencia adyacente con BCCH 131, BSIC 62 de CARABAYA sector 2. El Handover ocurre porque un instante antes, el móvil puede decodificar dicho BSIC y tiene un mejor RxLev, pero después ya no. De esto nos damos cuenta con ayuda del scanner. Cuando ya no decodifica el BSIC vemos que la diferencia entre los BCCH 130 y BCCH 131 es menos de 2 dB's, lo que significa que se presenta interferencia adyacente (para que no sea interferencia debe haber mínimo 3dB's de diferencia). También observamos que aparece como vecino IMPERIO sector 3 con BCCH 132, BSIC 11.

En este caso se debe realizar un cambio de frecuencia a CARABAYA sector 2 para que no interfiera con IMPERIO sector 2 (BCCH 130) ni con IMPERIO sector 3 (BCCH 132). El cambio fue a BCCH 150, BSIC 51.

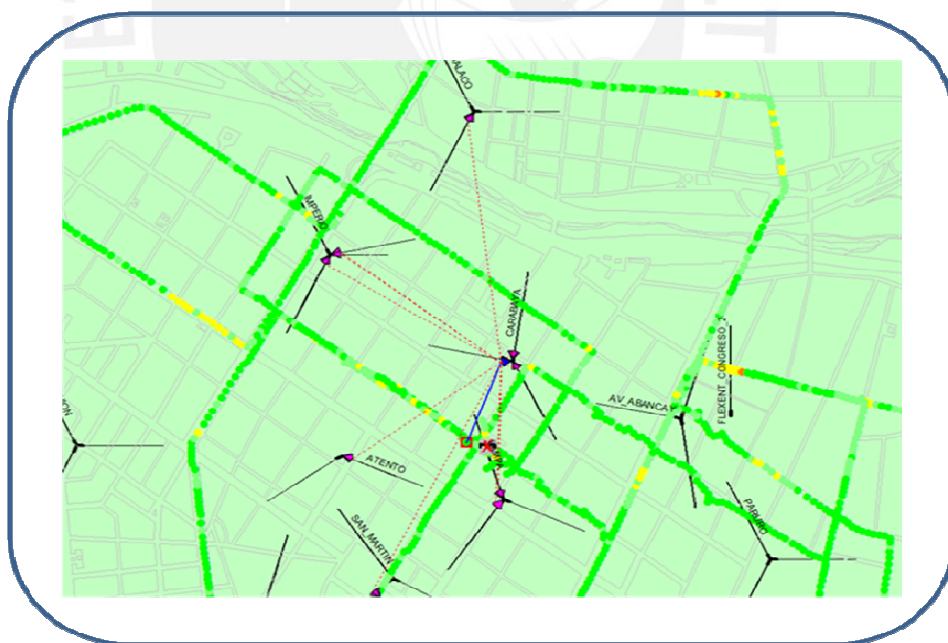


Figura 26: Zoom del evento ocurrido (Dropped Call) - Primera parte MS2



Figura 27: Imagen de captura que muestra que el celular no responde los mensajes, que hay interferencia y un FER muy elevado antes de que se caiga la llamada



Figura 28: Imagen de captura que muestra el momento en que la llamada se cayó y el equipo pasa a estado Idle



Con el móvil MS3 (llamadas cortas):

Vista general:

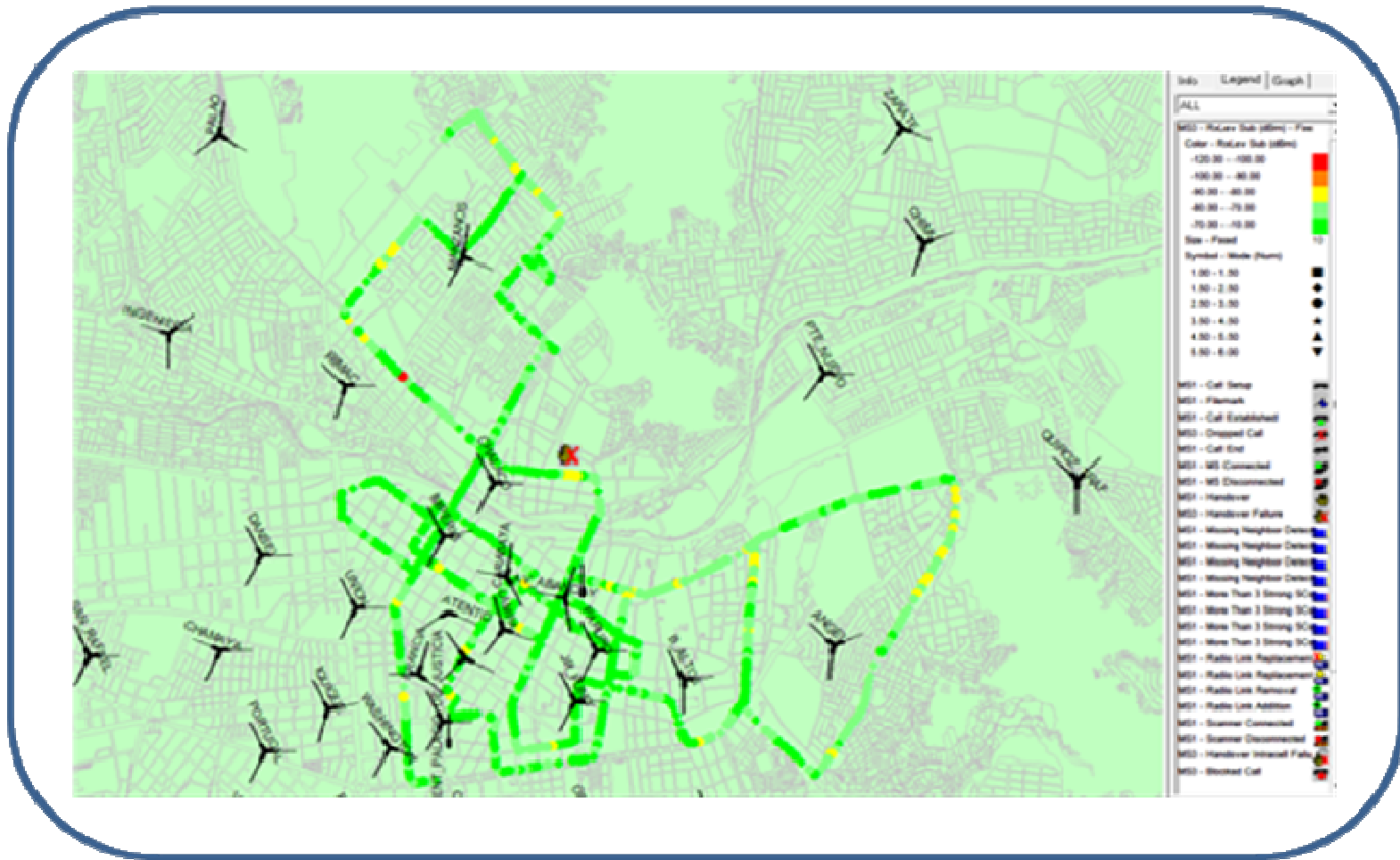


Figura 29: Vista general del recorrido realizado en la primera parte del drive test hecho con el MS3

## Eventos encontrados:

1. Handover Failure (12:07:55): De AV\_ABANCAY sector 5, BCCH 644, BSIC 70. El C/I es de 5.6 y el RxLev es de -88 dBm, hacia ANGEL sector 1, BCCH 153, BSIC 43. En el scanner observamos que en aparece el BCCH 153 pero con BSIC 50, que pertenece a AV\_ABANCAY sector 1. En este caso se presenta una interferencia co-canal. Se hizo el cambio de BCCH en el sector 1 de ANGEL, de 153 BSIC 43 a 155 BSIC 70.

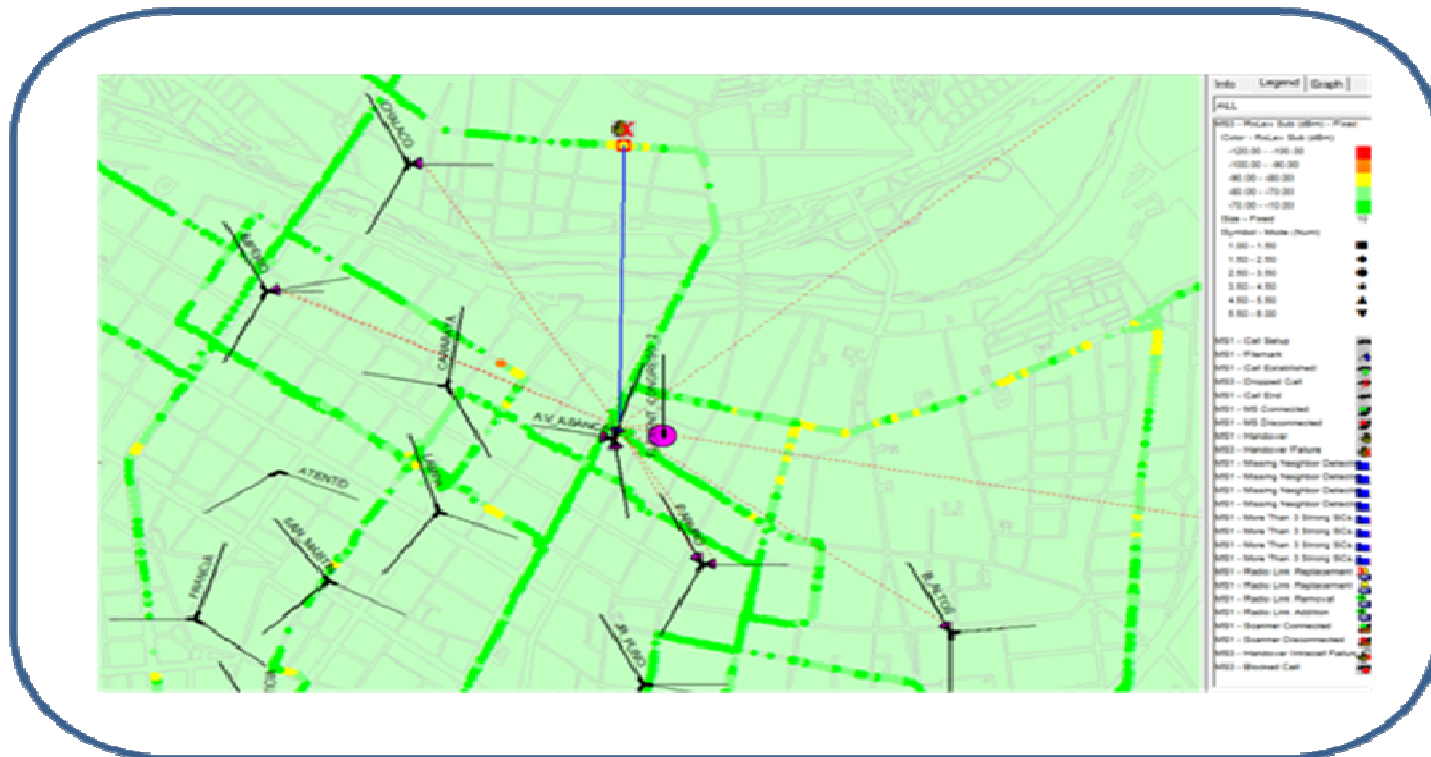


Figura 30: Zoom del evento ocurrido (Handover Failure) - Primera parte MS3

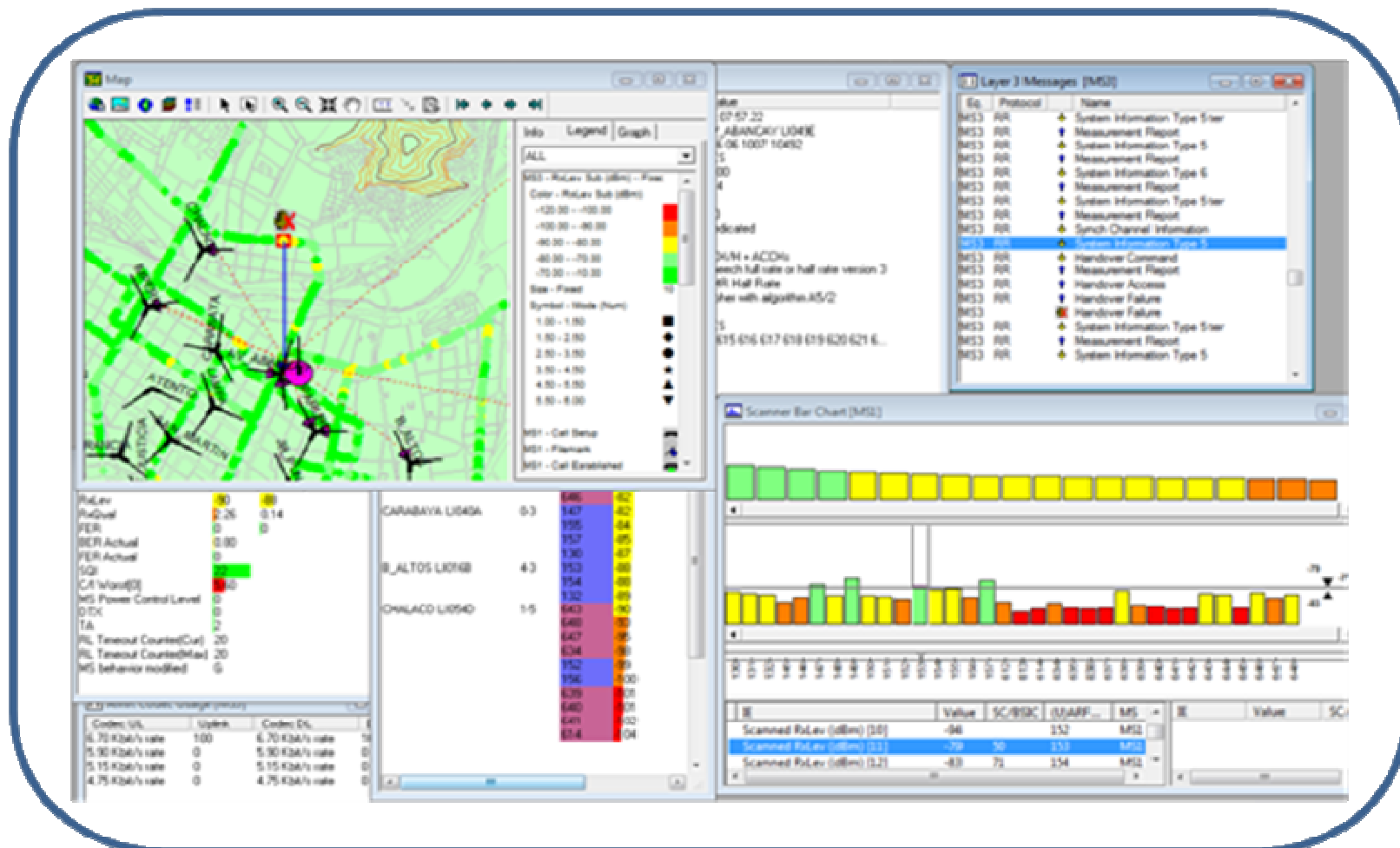


Figura 31: Imagen de captura antes de intentar hacer el handover. Tiene como servidor a AV\_ABANCAY sector 1

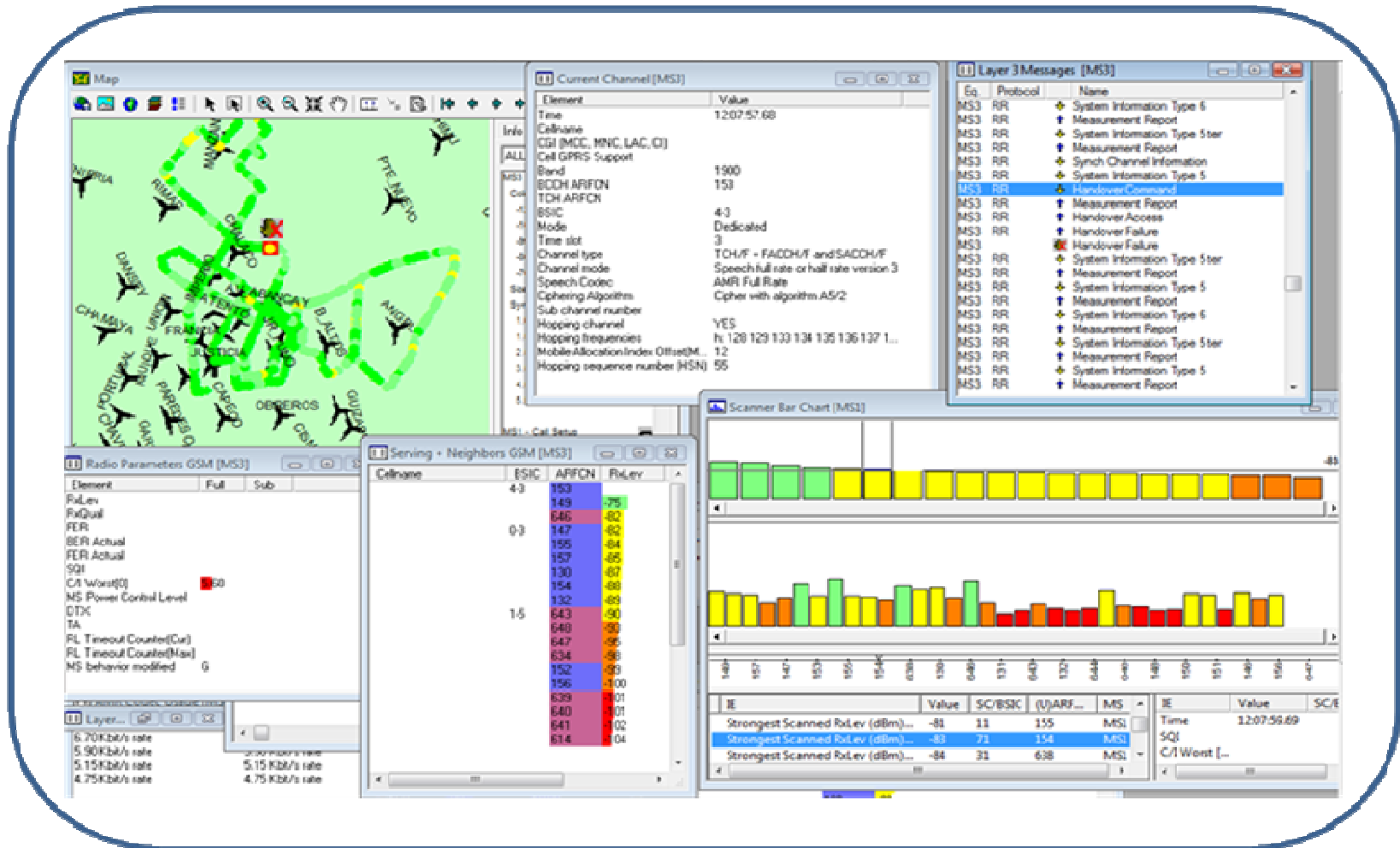


Figura 32: Imagen de captura intentando hacer el handover hacia ANGEL sector 1

### 4.2.3 Segunda parte: desde las 14:51:11 hasta las 17:35:15

Con el móvil MS2 (llamadas largas):

Vista general:

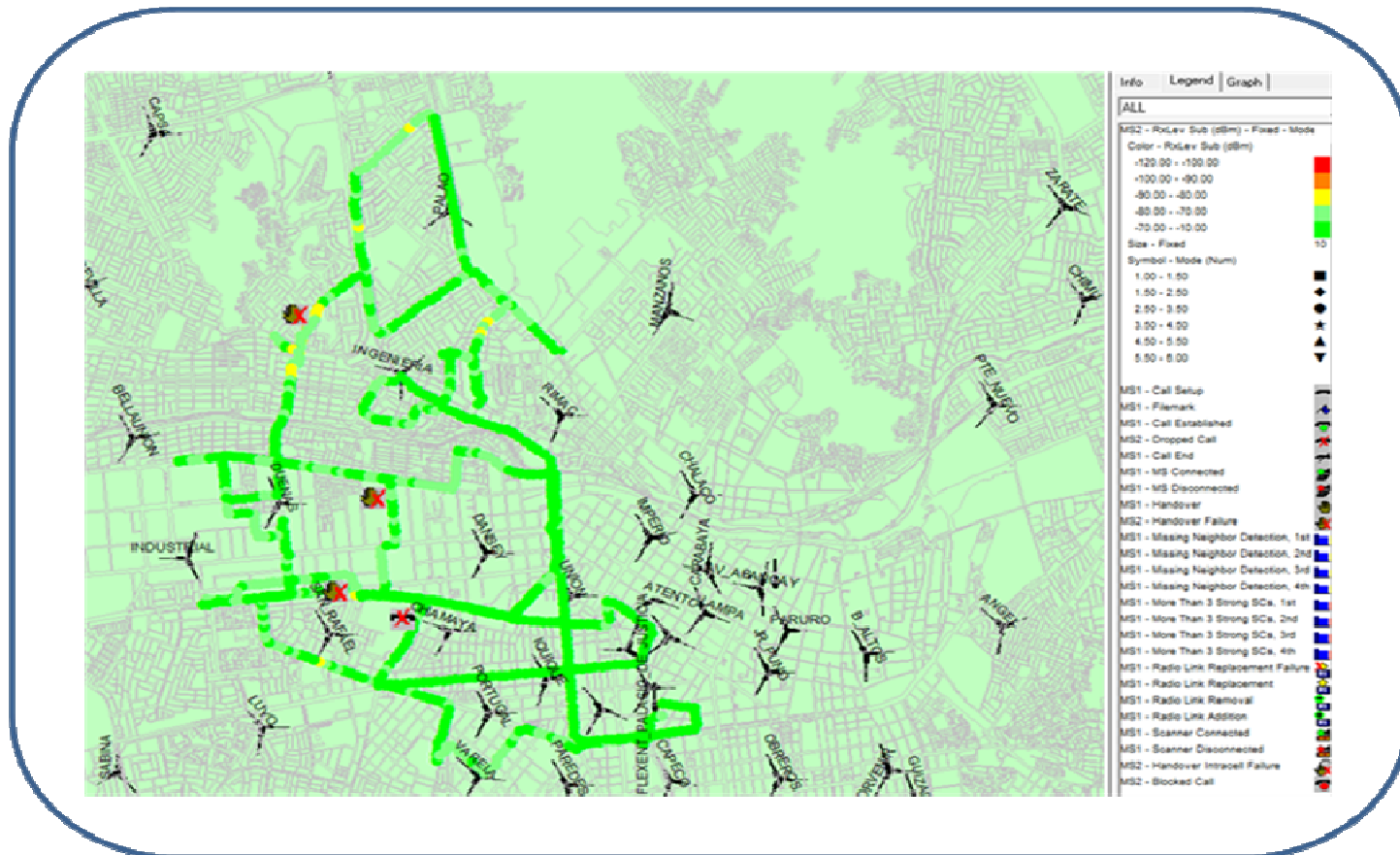


Figura 33: Vista general del recorrido realizado en la segunda parte del drive test hecho con el MS2

## Eventos encontrados:

1. Dropped Call (16:11:33). Con niveles de C/I de 0.60, RxLev de -73dBm y RxQual de 9.05 ocurrió un Handover de CHAMAYA sector 1, BCCH 150, BSIC 67, hacia SAN\_RAFAEL sector 2, con BCCH 155, BSIC 20. Luego del Handover se tenía un C/I de 0.50, un RxQual de 9.05, un RxLev de -76dBm y un FER de 100.

Ha debido hacer nuevamente handover de SAN\_RAFAEL sector 2 a CHAMAYA sector 1, BCCH 150 – 67. El RL Timeout Counter llega a 0. Se observa que el scanner no decodifica el BSIC del BCCH 155. Lo que sucedió es que SAN\_RAFAEL sector 2 no tenía a CHAMAYA sector 1 en su vecindad. Esto se cambió y se solucionó el problema.

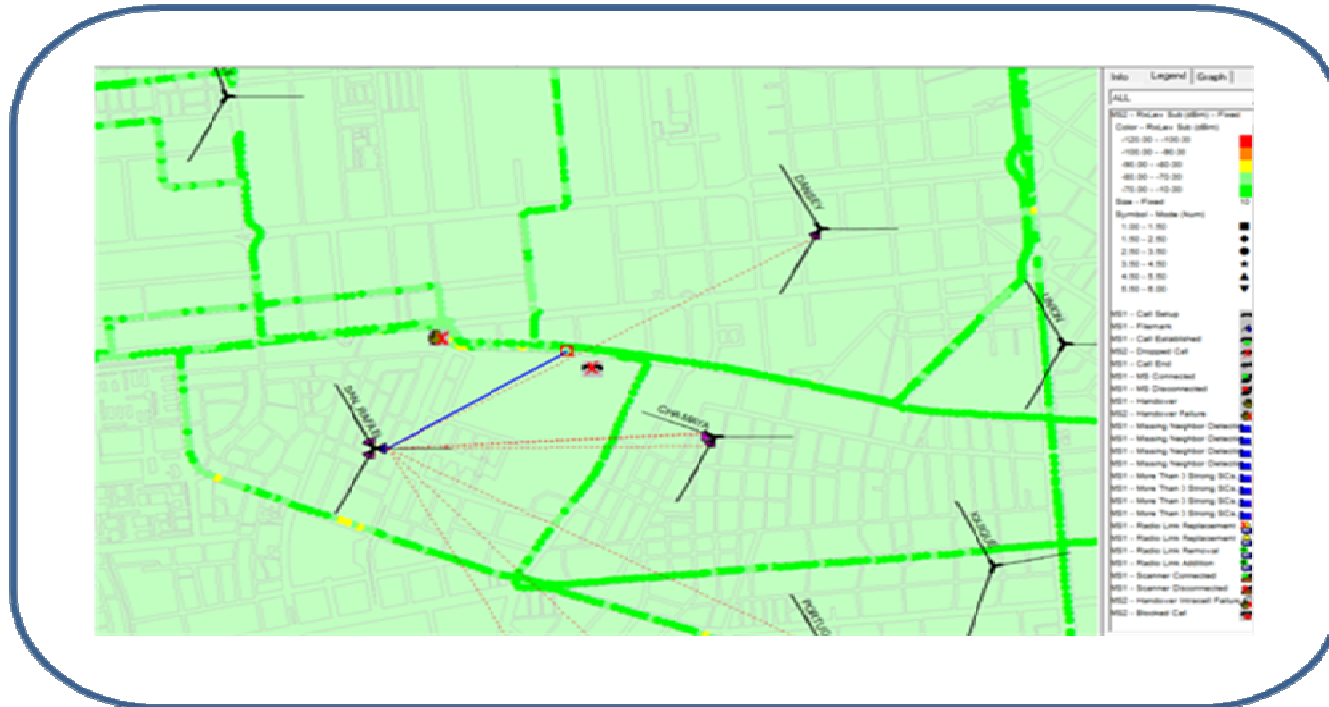


Figura 34: Zoom del evento ocurrido (Dropped Call) - Segunda parte MS2

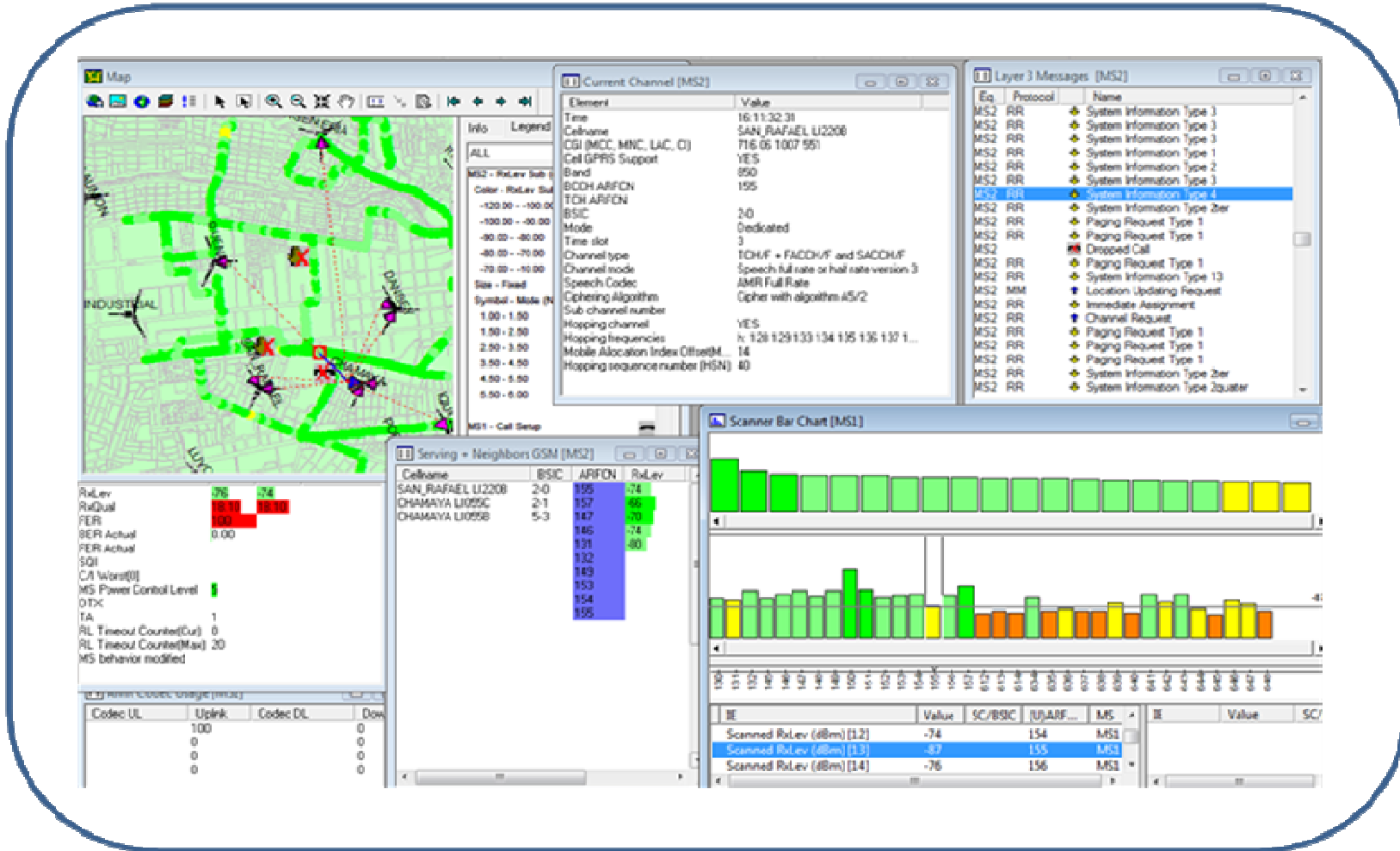


Figura 35: Imagen de captura que muestra que el celular no responde los mensajes y que el FER es muy elevado antes de que se caiga la llamada. Se observa el RL Timeout Counter en 0

Con el móvil MS3 (llamadas cortas):

Vista general:

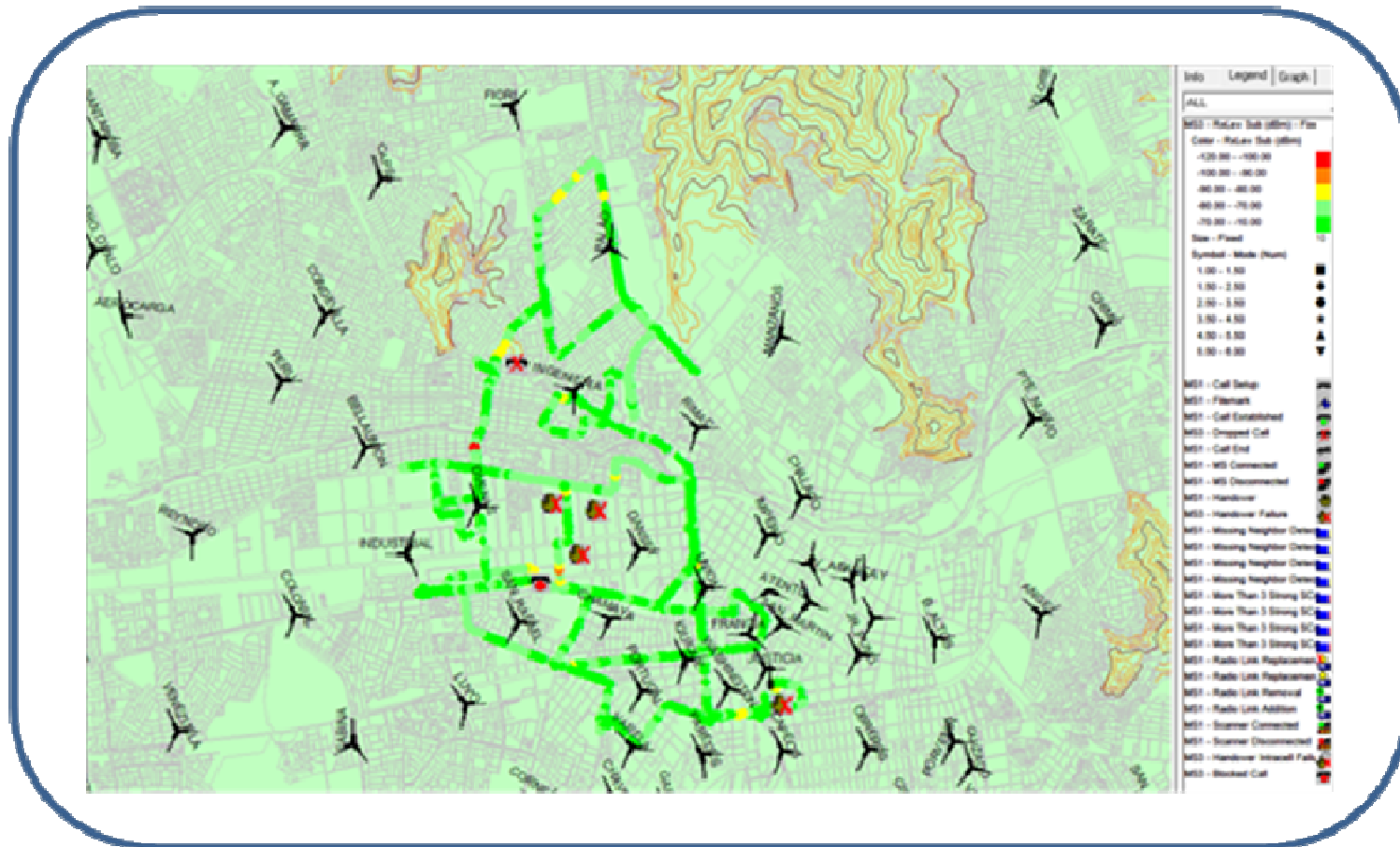


Figura 36: Vista general del recorrido realizado en la segunda parte del drive test hecho con el MS3



## Eventos encontrados:

1. Blocked Call (16:46:23). Va de derecha a izquierda. Se inició la llamada en DANSEY sector 1 BCCH 154 BSIC 30. Con niveles de RxLev desde -89 hasta -95dBm y RxQual de 18.10. El RL Timeout Counter fue disminuyendo hasta llegar a 0. Cuando se acabó y llegó a 0 hizo un "HO" a CHAMAYA sector 1, BCCH 150 BSIC 67. En realidad este caso no sería un Blocked Call, sería un Call Setup Failure porque la BTS no le envió recursos (SDCCH) al teléfono para que se estableciera la llamada.

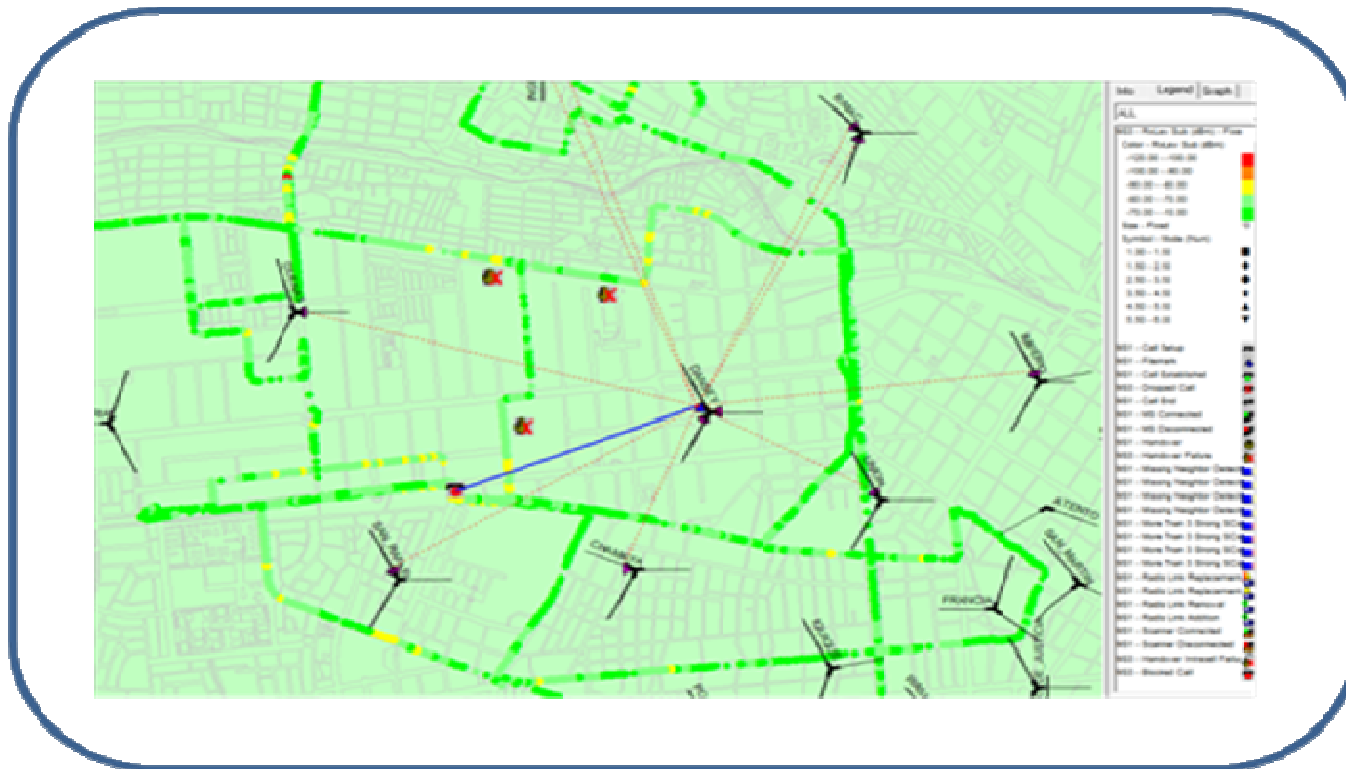


Figura 37: Zoom del evento ocurrido (Blocked Call) - Segunda parte MS3

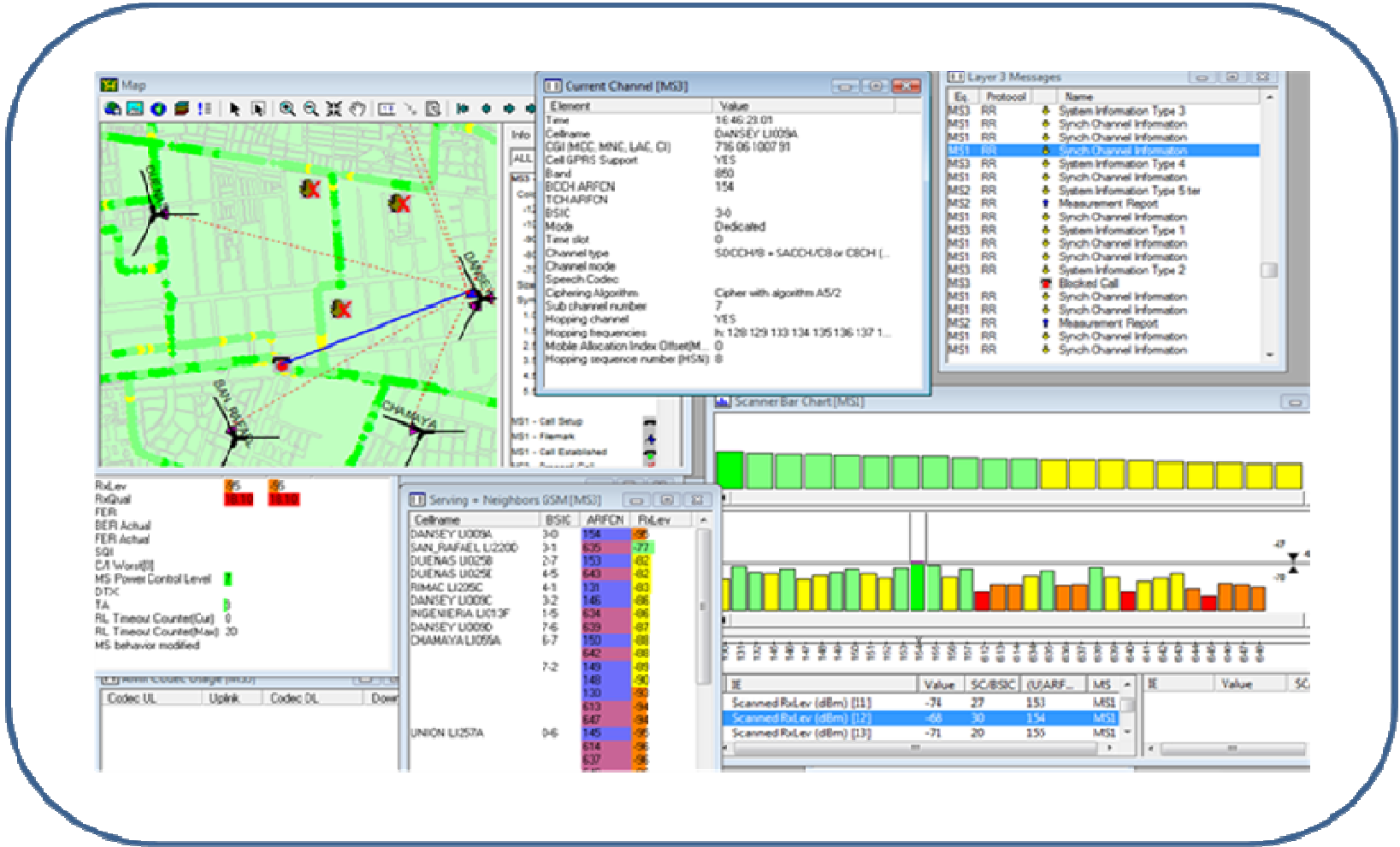


Figura 38: Imagen de captura que muestra que el RxLev y el RxQual son muy bajos (-95dBm y 18.10 respectivamente). Se observa el RL Timeout Counter en 0

2. Dropped Call (17:05:14). Va subiendo. Estaba en DUENAS sector 4, BCCH 613 BSIC 33, con niveles de RxLev de -93dBm, RxQual de 18.10 y FER de 100. El RL Timeout Counter empezó a disminuir hasta llegar a 0. Finalmente ocurre el Dropped Call. Ha debido hacer HO con INGENIERIA sector 1 BCCH 152 BSIC 70. El nivel de RF del móvil cayó abruptamente por un fast fading o por mal manipulamiento del equipo.

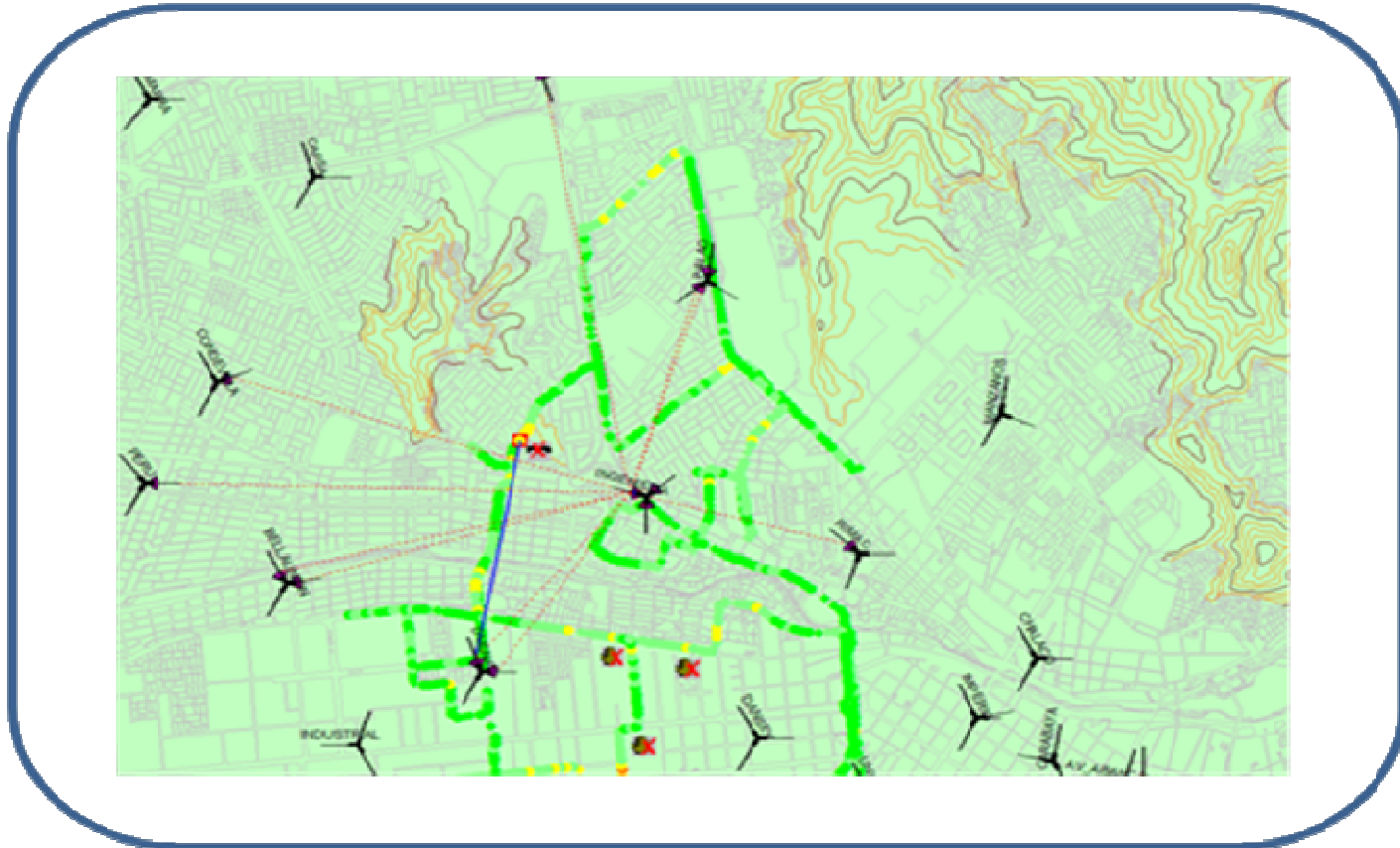


Figura 39: Zoom del evento ocurrido (Dropped Call) - Segunda parte MS3

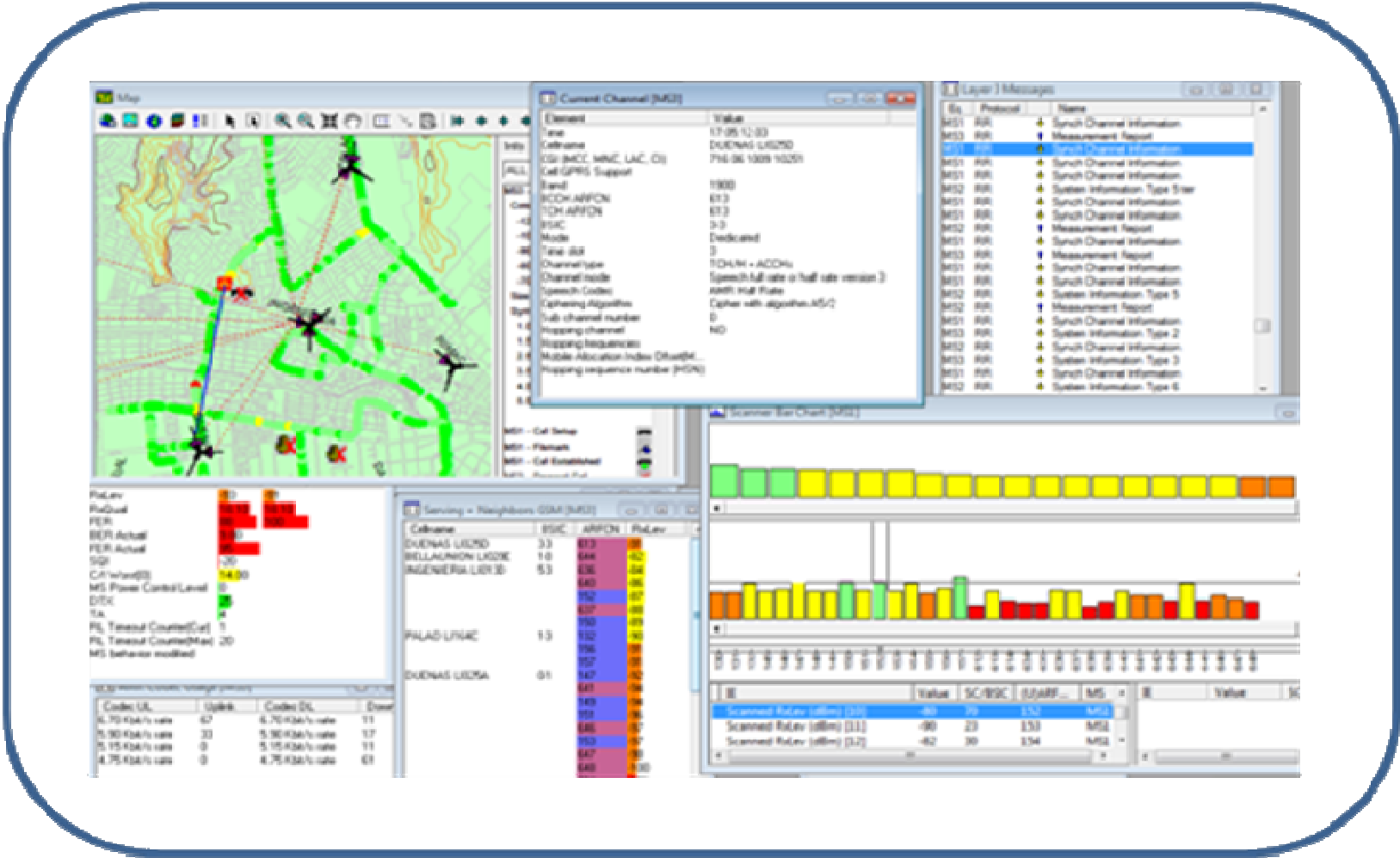


Figura 40: Imagen de captura que muestra que el RxLev y el RxQual son muy bajos (91dBm y 18.10 respectivamente), y un FER de 88%. Se observa el RL Timeout Counter en 1, a punto de llegar a 0

### 4.3 Conclusiones

Luego de haber hecho este análisis se comprueba que una red, a pesar de ya estar totalmente constituida tiene vulnerabilidades. Por esto, las redes siempre deben estar en constante revisión y hacer modificaciones de ser necesario.

Además de los cambios mencionados anteriormente, por fallas encontradas al hacer drive tests, pueden haber cambios que deban hacerse por crecimiento de tráfico, por interferencias como edificios, que hagan que la línea de vista se bloquee, y en general, se deben hacer revisiones continuas para que se brinde un mejor servicio a los clientes que es la base del negocio.

A continuación se mostrará una tabla, con los datos generales de cada sector por celda de la zona trabajada, totalmente actualizados. Se presentan en amarillo los que han sido modificados respecto a la tabla 10. (El nombre de la celda SAN\_MARTIN se cambió por PIEROLA.

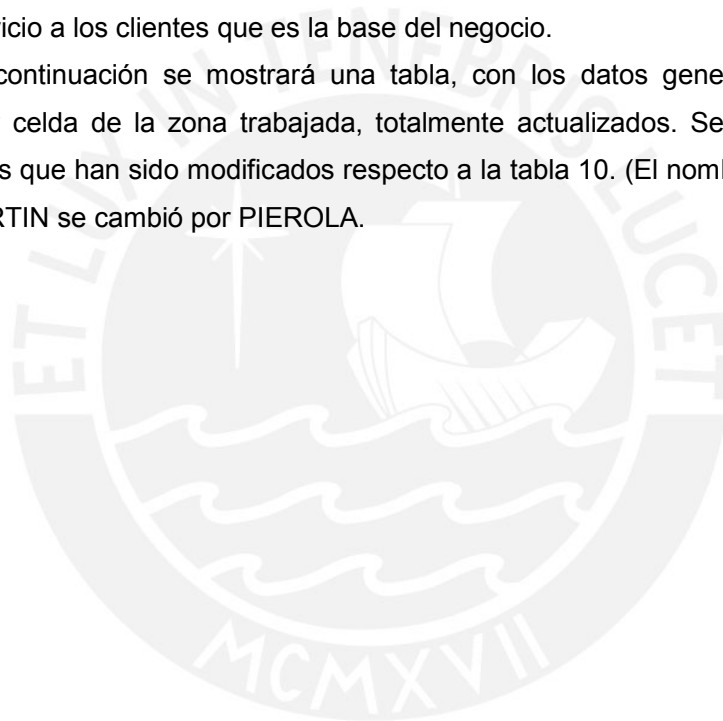


Tabla 11: Datos generales de cada sector por celda en la actualidad

CELDA	SECT	Cell Id	Azimuth	BSIC	BCCH
DANSEY	1	91	330	30	154
	2	92	90	5	152
	3	93	210	32	146
	4	10091	330	76	639
	5	10092	90	37	644
	6	10093	210	67	637
INGENIERIA	1	131	285	70	152
	2	132	50	56	130
	3	133	180	25	156
	4	10131	285	53	636
	5	10132	50	51	614
	6	10133	180	15	634
B_ALTOS	1	161	330	60	147
	2	162	85	43	153
	3	163	180	31	151
	4	10161	330	61	643
	5	10162	85	13	645
	6	10163	180	06	634
DUENAS	1	251	340	01	147
	2	252	90	27	153
	3	253	210	33	151
	4	10251	340	33	613
	5	10252	90	45	643
	6	10253	210	23	647
ATENTO	1	311	110	72	152
	2	312	240	64	149
	4	10311	110	30	646
	5	10312	240	62	612
CARABAYA	1	401	10	03	147
	2	402	150	51	150
	3	403	260	21	154
	4	10401	10	15	612
	5	10402	150	27	635
	6	10403	280	37	641
AV_ABANCAY	1	491	280	50	153
	2	492	20	71	145
	3	493	170	03	132
	4	10491	280	51	648
	5	10492	20	70	644
	6	10493	170	06	640

Tabla 11: Continuación

CELDA	SECT	Cell Id	Azimuth	BSIC	BCCH
CHALACO	1	541	330	71	154
	2	542	90	03	149
	3	543	210	23	151
	4	10541	330	15	643
	5	10542	90	35	646
	6	10543	210	25	639
CHAMAYA	1	551	280	67	150
	2	552	90	53	147
	3	553	210	21	157
	4	10551	290	26	641
	5	10552	90	05	613
	6	10553	210	10	634
FLEXENT_CONGRESO_2	1	641	0	25	150
FRANCIA	1	811	270	01	148
	2	812	20	24	157
	3	813	125	15	131
	4	10811	270	41	648
	5	10812	20	65	640
	6	10813	125	13	644
IMPERIO	1	911	330	12	148
	2	912	80	22	130
	3	913	210	11	132
	4	10911	330	01	613
	5	10912	90	72	634
	6	10913	210	72	636
JUSTICIA	1	1011	330	16	154
	2	1012	90	14	130
	3	1013	210	16	145
	4	11011	330	30	641
	5	11012	90	30	647
	6	11013	210	21	612
LAMPA	1	1121	340	21	156
	2	1122	110	03	148
	3	1123	220	11	145
	4	11121	340	50	638
	5	11122	110	51	645
	6	11123	220	04	642
MANZANOS	1	1311	10	14	151
	2	1312	110	10	131
	3	1313	210	41	153
	4	11311	10	52	637
	5	11312	110	13	640
	6	11313	210	53	635
FLEXENT_PALACIO_DE_JUSTICIA	1	1621	0	02	153
	4	11621	0	04	643

Tabla 11: Continuación

CELDA	SECT	Cell Id	Azimuth	BSIC	BCCH
PALAO	1	1641	10	14	152
	2	1642	120	61	156
	3	1643	220	13	132
	4	11641	10	52	638
	5	11642	120	15	645
	6	11643	220	04	640
JR_PUNO	1	1711	320	62	146
	2	1712	90	03	156
	3	1713	210	74	153
	4	11711	320	42	637
	5	11712	90	23	635
	6	11713	210	53	641
PARURO	1	1721	330	47	154
	2	1722	90	01	157
	3	1723	210	72	150
	4	11721	330	52	614
	5	11722	90	67	639
	6	11723	210	03	612
PIEROLA	1	1801	350	70	147
	2	1802	120	24	155
	3	1803	220	30	151
	4	11801	350	22	637
	5	11802	120	42	613
	6	11803	220	00	634
PORTUGAL	1	1841	330	56	151
	2	1842	90	75	131
	3	1843	210	55	145
	4	11841	330	72	646
	5	11842	90	14	635
	6	11843	210	47	612
ANGEL	1	2021	310	70	155
	2	2022	70	14	145
	3	2023	190	60	131
	4	12021	210	01	647
	5	12022	70	01	637
	6	12023	210	05	612
RIMAC	1	2051	310	26	146
	2	2052	90	03	157
	3	2053	200	41	131
	4	12051	310	63	646
	5	12052	90	31	638
	6	12053	200	01	642



Tabla 11: Continuación

CELDA	SECT	Cell Id	Azimuth	BSIC	BCCH
SAN_RAFAEL	1	2201	330	13	131
	2	2202	90	20	155
	3	2203	210	07	147
	4	12201	330	31	635
	5	12202	90	12	638
	6	12203	210	31	614
WASHINGTON	1	2521	320	22	156
	2	2522	100	41	150
	3	2523	210	43	152
	4	12521	320	63	639
	5	12522	100	57	614
	6	12523	210	17	637
UNION	1	2571	330	06	145
	2	2572	90	21	155
	3	2573	210	04	153
	4	12571	330	74	647
	5	12572	90	32	643
	6	12573	210	71	614
IQUIQUE	1	2821	320	15	132
	2	2822	90	11	146
	3	2823	190	70	130
	4	12821	320	12	642
	5	12822	90	12	638
	6	12823	190	05	644
OBREROS	1	1531	330	40	149
	2	1532	90	70	130
	3	1533	230	34	145
	4	11531	330	30	648
	5	11532	90	72	644
	6	11533	230	14	642
CAPECO	1	1731	330	65	147
	2	1732	100	57	157
	3	1733	200	43	131
	4	11731	330	42	638
	5	11732	100	62	646
	6	11733	200	3	640

**CAPÍTULO V: OPTIMIZACIÓN DE LA RED COLOCANDO UNA  
NUEVA BTS**



En este capítulo, se coloca un caso en el cual se optimiza la red no cambiando parámetros como se ha explicado anteriormente, sino colocando una nueva BTS por falta de capacidad en la zona, más no de cobertura.

### 5.1 Detección de la zona a colocar la nueva BTS

Igual que como se mencionó en el capítulo 3, los estudios para colocar una nueva BTS se hacen de dos maneras: analizando las estadísticas de las BTS's de la zona y haciendo drive test.

La nueva estación a colocar es la BTS TAHUANTINSUYO que ahora se encuentra en el distrito de Independencia. A esta zona le daba cobertura 3 estaciones base: OLIVOS, MENDIOLA y NARANJAL.

A continuación se observa en un mapa de Lima las tres antiguas BTS y donde se encuentra ubicada TAHUANTINSUYO.

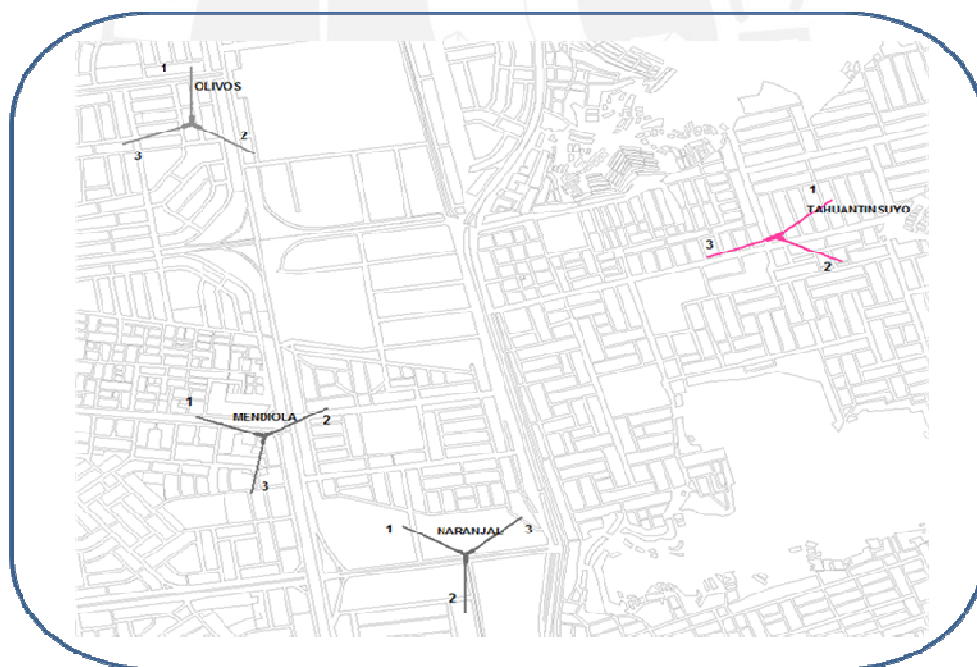


Figura 41: Zona donde se colocó la nueva BTS Tahuantinsuyo

## 5.2 Estadísticas del tráfico en la zona antes y después de colocar la nueva BTS

Se colocarán las estadísticas obtenidas por el sistema del mes de diciembre.

### 5.2.1 BTS OLIVOS Sector 2

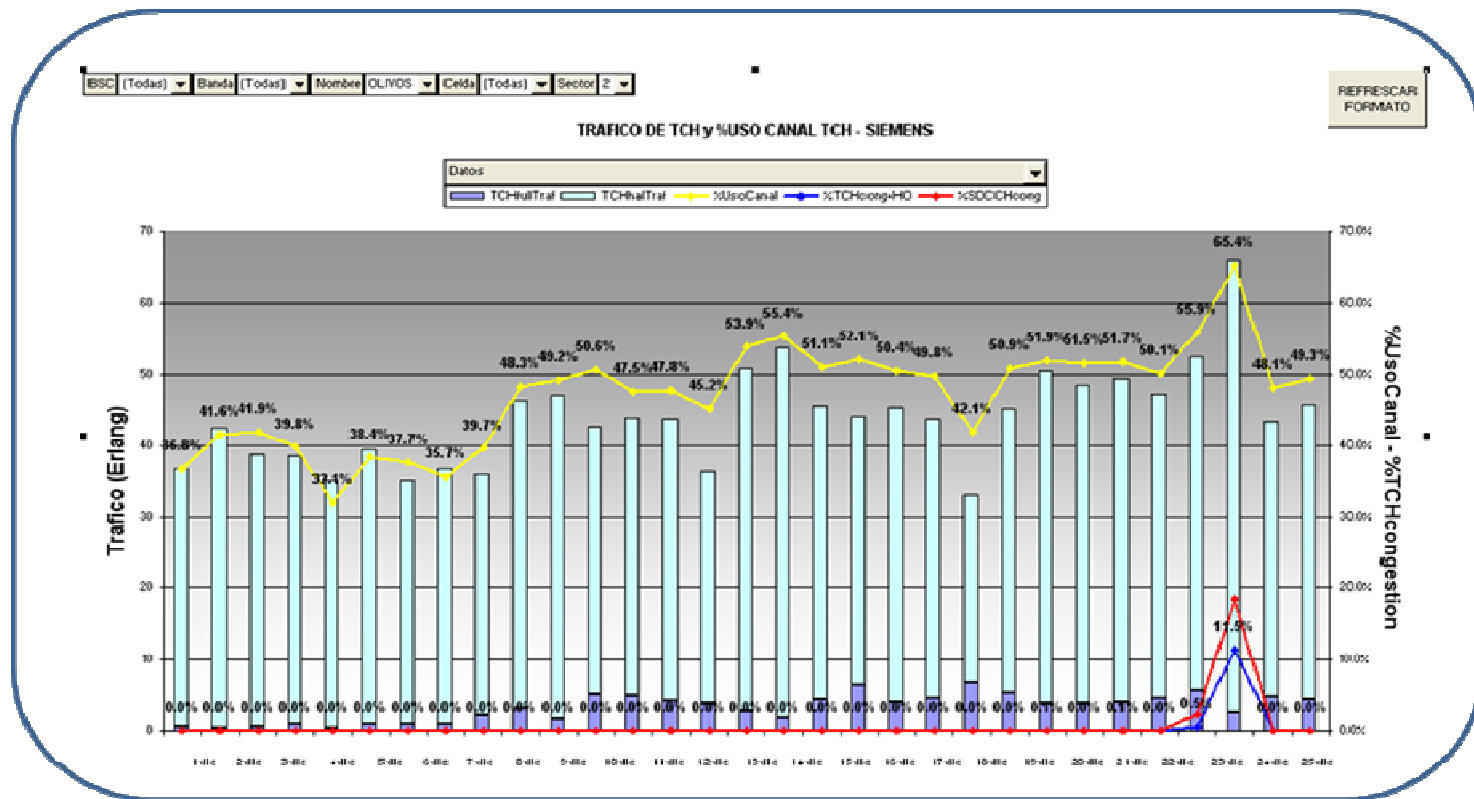


Figura 42: Estadística del tráfico de diciembre de la celda OLIVOS Sector 2

### 5.2.2 BTS MENDIOLA Sector 2

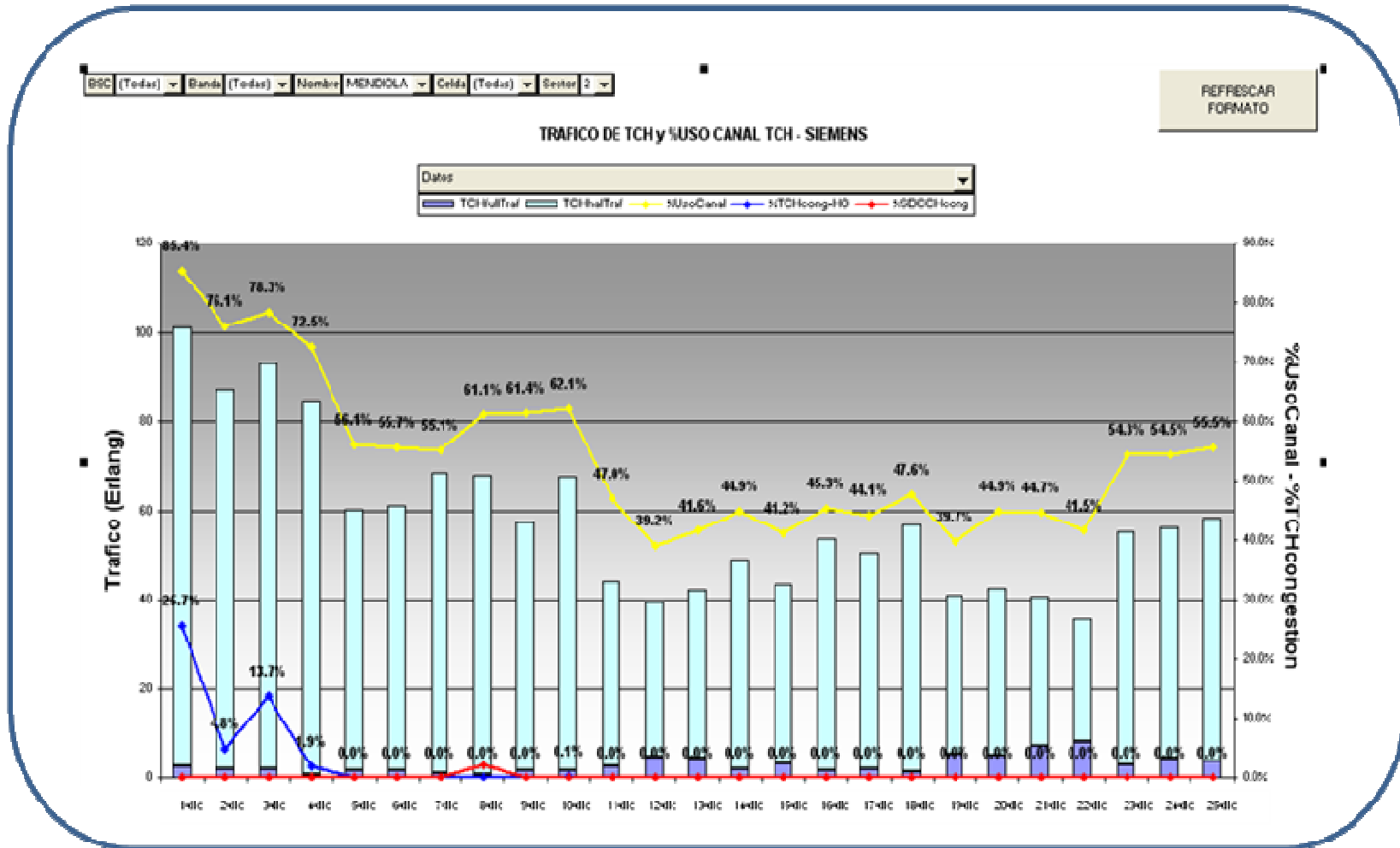


Figura 43: Estadística del tráfico de diciembre de la celda MENDIOLA Sector 2

### 5.2.3 BTS NARANJAL Sector 3

**\*\* Notar la disminución del tráfico a partir del 13 de diciembre**

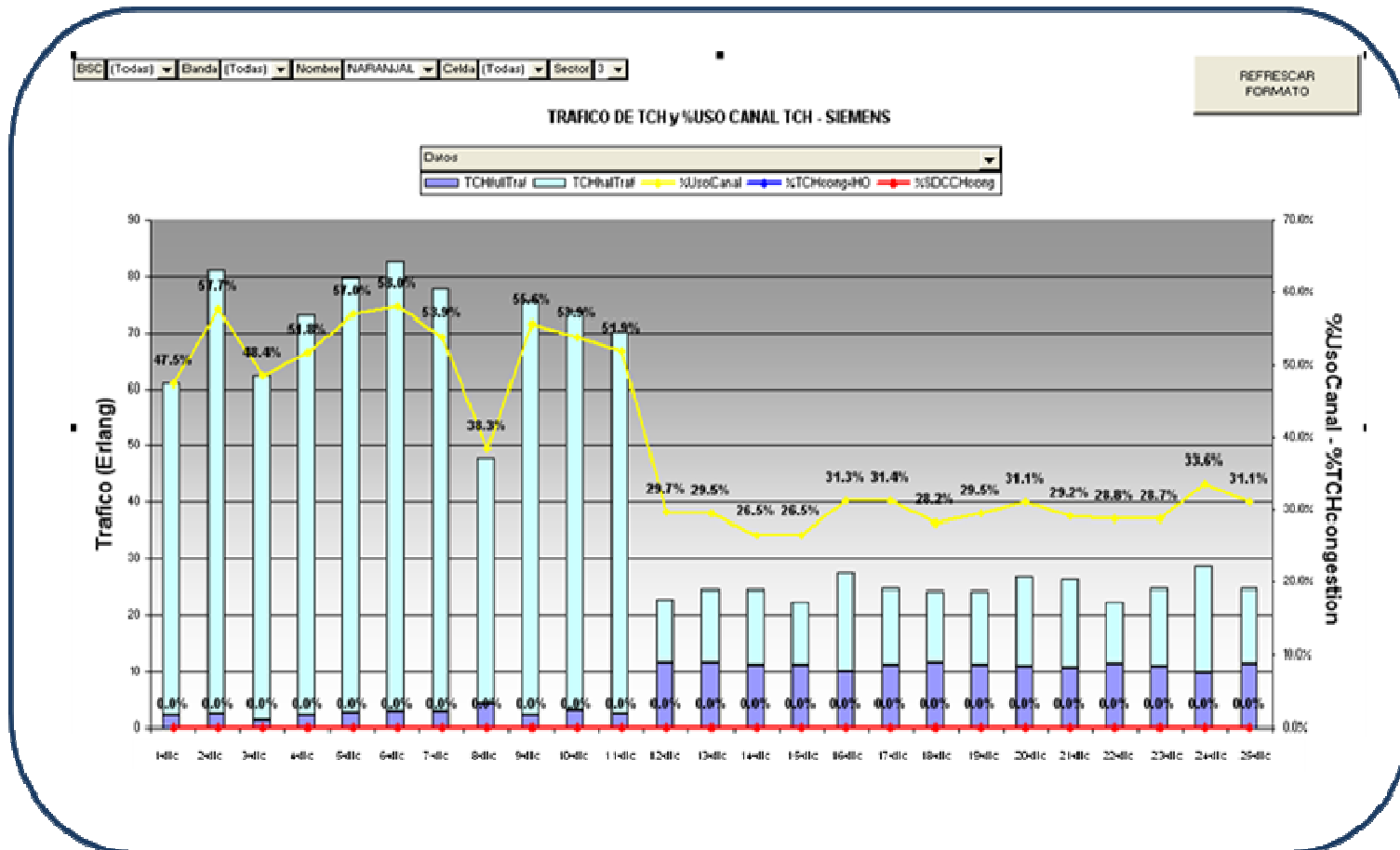


Figura 44: Estadística del tráfico diciembre de la celda NARANJAL Sector 3

## 5.2.4 Nueva BTS TAHUANTINSUYO

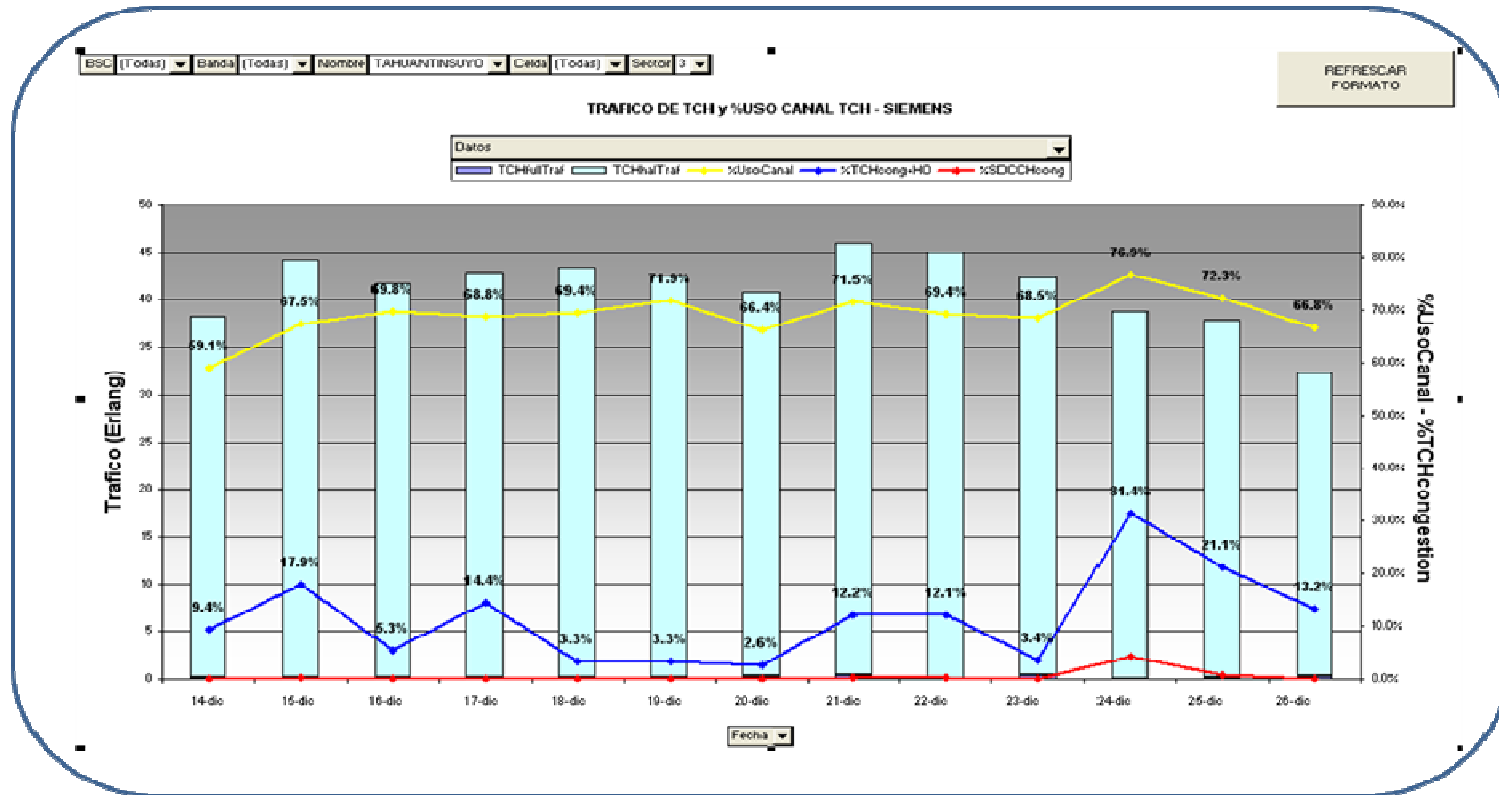


Figura 45: Estadística del tráfico diciembre de la celda TAHUANTINSUYO Sector 3

La nueva BTS se puso en servicio el día 13 de diciembre. Esto se puede ver claramente en las estadísticas mostradas anteriormente, principalmente en NARANJAL que es la que está directamente apuntando al sector 3 de TAHUANTINSUYO. Definitivamente el colocar esta nueva BTS hizo que las demás “respiraran” y se evitó un futuro bloqueo.

### 5.3 Drive test en la zona antes y después de colocar la nueva BTS

Se mostrará el drive test realizado antes y después de la puesta en servicio de TAHUANTINSUYO para comparar y observar la mejoría de señal respecto al nivel de señal (RXlev).

#### 5.3.1 Para la banda de 850MHz

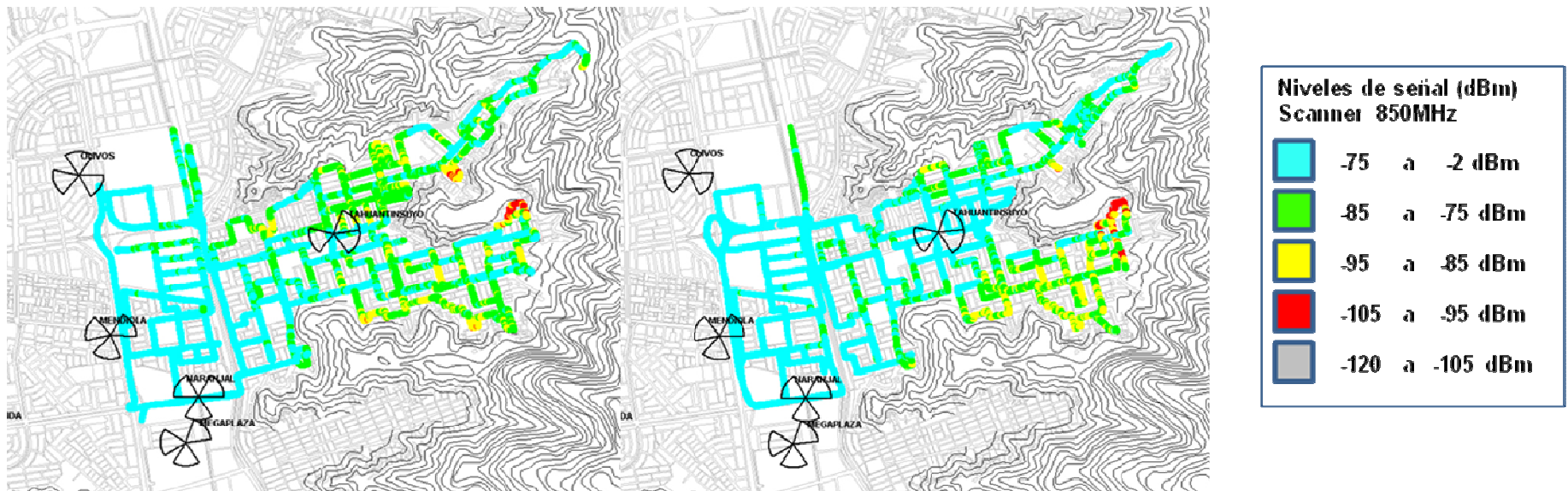


Figura 46: Drive test antes y después de entrar en servicio la BTS Tahuantinsuyo en la banda de 850MHz

Como muestra la leyenda, en color celeste hay mejor nivel de señal. Se observa que luego de colocar la BTS TAHUANTINSUYO estos niveles aumentaron en la zona



### 5.3.2 Para la banda de 1900MHz



Figura 47: Drive test antes y después de entrar en servicio la BTS Tahuantinsuyo en la banda de 1900MHz

Como muestra la leyenda, en color rojo son las zonas que tienen muy bajo nivel de señal. Se observa claramente cómo mejoran los niveles luego de colocar la BTS TAHUANTINSUYO

Como podemos ver en la banda de 1900MHz es más notorio el cambio. Esto se debe a que dicha frecuencia tiene menor alcance por su longitud de onda. Así, la zona que se encuentra hacia la derecha se beneficia enormemente con la puesta en servicio de dicha BTS.

Los valores generales en la zona los podemos observar a continuación:

**Tabla 12: Mejoras en los niveles de RxLev al poner en servicio a TAHUANTINSUYO**

RANGO DE RXLEV	850 MHz		1900 MHz	
	ANTES	DESPUES	ANTES	DESPUES
>-75	57.95%	65.36%	25.09%	31.95%
-85 to -75	34.11%	25.61%	38.00%	38.81%
-95 to -85	7.39%	8.05%	26.70%	22.64%
-105 to -95	0.55%	0.97%	9.51%	5.95%
-120 to -105	0.00%	0.01%	0.70%	0.64%



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



1. El procedimiento de planificación de tráfico de acuerdo al modelo utilizado, debe ser tal que responda a cada tipo de zonificación, el cual deberá, como una de sus fuentes de entrada, provenir de un minucioso estudio de mercado para realizar un adecuado dimensionamiento. Ya con la red en servicio, constantemente es necesaria una retroalimentación de la demanda por parte de las áreas de la empresa encargadas de gestionar cualquier tipo de evento que pueda modificar los cálculos iniciales realizados. Esto es de suma importancia para tener cada uno de los recursos de la red con un porcentaje de carga que responda a los diseñados por los fabricantes.
2. Teniendo el modelo de tráfico distribuido por zonas y la demanda en las mismas, se deben hacer simulaciones y predicciones de señal con softwares diseñados exclusivamente para esta tarea, todo con el fin de encontrar las mejores ubicaciones para las futuras estaciones base, las cuales brindarán finalmente la cobertura que se ofrecerá a los usuarios. El llamado “link budget” es en este punto de vital importancia ya que se debe asegurar calidad tanto en OUTDOOR como en INDOOR. En ciertos entornos, dependiendo de cuan densa sea la zonificación, el uso de dispositivos amplificadores de señal debe ser considerado. El equipamiento en sí de TRX’s y su configuración responderán a la demanda explicada en el punto anterior.
3. El manejo del espectro asignado por medio de la planificación de frecuencias tiene que ser realizado de tal manera que responda, como en el punto anterior, a cada uno de los escenarios posibles en donde la empresa asegure cobertura. Esta tarea debe ser realizada con mucho cuidado ya que los principales indicadores del desempeño y calidad de la red son referidos a la interfaz de aire en donde la interferencia influye directamente. Actualmente, existen diversas herramientas de software que permiten hacer múltiples iteraciones con distinto datos de entrada (como por ejemplo las mediciones o reportes de todos los móviles de un determinado sector), que nos permitirán escoger la mejor matriz de interferencia para la carga de radio frecuencia que nuestra red cursa en las horas de mayor tráfico. Con esto se escogerá, por ejemplo, la cantidad mínima de BCCH’s que se necesitan para asegurar una aceptable calidad en la red, así como las distintas combinaciones de canales HOPPING y reusos de los mismos. Ahora mismo, en la banda A (850MHz), se tiene una lista de hopping

de 30 canales con 16 BCCH's. Este manejo del plan de frecuencias está dentro exclusivamente del área de optimización de RF.

4. Por todo lo descrito anteriormente, el proceso de optimización de una red celular tiene que ser constante por el simple hecho de que se trata de una red viva con constante cambios y comportamientos de tráfico, demandas de cobertura, nuevos emplazamientos que involucran cambios en la topología actual, etc. En este proceso de optimización se necesita que el ingeniero a cargo tenga altos conocimientos en radio frecuencia así como un perfecto dominio del estándar en que se basa la tecnología inalámbrica usada, que para nuestro caso, es GSM. Esto último es importantísimo en este proceso ya que la gran parte de cambios realizados en la red para su mejora son en los distintos parámetros propios de la tecnología.
5. Como principal fuente de información para el análisis del desempeño de la red se tienen los KPI's. Estos KPI's son coleccionados por dicha red e involucran distintas mediciones, porcentajes o simplemente contadores de todos los elementos y recursos usados los cuales deberán ser entendidos a plenitud para proponer y tomar decisiones de cambios que, de acuerdo a su jerarquía, afecten determinadas coberturas.
6. La realización de recorridos (DRIVE TEST) en la ciudad a optimizar con equipos de medición propios de la tecnología son parte también del proceso de optimización. Estos "drive test", en primer lugar nos ayudarán a verificar la cobertura de cada estación base, que en un principio, se basó en una predicción. Es importante mencionar el uso de un SCANNER, además de los móviles, por su exactitud y sensibilidad, así como su independencia para la medición de las señales de distintas celdas (no se basa en la vecindad o topología definida en la red para las mediciones). Estas mediciones son usadas, para corregir el modelo de predicción usado para la planificación de celdas y coberturas dando como resultado un modelo más exacto.
7. Por otro lado, estos recorridos o drive test pueden ser específicos en determinadas zonas en las que se sospecha de algún comportamiento extraño de acuerdo a las estadísticas o KPI's analizadas. Para este análisis, es importante tener la mayor cantidad de parámetros de red que el software sea

capaz de recuperar del móvil para luego procesarlo. En este punto, nuevamente se hace hincapié en la capacidad de análisis del ingeniero. Recorridos mucho más específicos con equipos también pueden ser realizados en interiores de construcciones (WALK TEST).

8. Al realizar el drive test del cluster 04 de la red GSM de TM, para su posterior optimización, se lograron reproducir los siguientes eventos: bloqueos de llamadas, llamadas caídas y handover fallidos. Para esta muestra, estos eventos se solucionaron con reasignaciones de frecuencia para evitar interferencia, y creando vecindades o nuevas topologías entre sectores que no estaban declaradas. Es importante mencionar en este punto que para poder reproducir distintos eventos es necesario realizar varios escenarios y posibilidades de recorridos ya que puede ocurrir que en un determinado sentido, las fallas, a nivel de drive test, no logren ser descubiertas.
9. Por otro lado, cuando entra en servicio una nueva estación base ya sea por cobertura o capacidad dentro de una zona que contiene a otras BTS's, es necesario optimizar las coberturas de todas que celdas vecinas haciendo una reorientación de sus sistemas radiantes así como de las frecuencias y parámetros, de tal manera que cubran lo necesario. Con esto, se asegura que la carga de tráfico de la zona sea compartida entre todas las celdas que la conforman, previniendo así un bloqueo en alguna de ellas, lo que ocasionaría pérdidas significativas para cualquier operador.

Para finalizar, es muy importante entender que del correcto análisis que se tenga de las estadísticas, drive test, walk test y otras herramientas que ayuden a descubrir eventos que perjudiquen la calidad y desempeño de la red, se encuentra la efectividad de los distintos cambios físicos y de parámetros a modificar. Por lo tanto, es necesario seguir un orden y mantener en todo momento registro de todos los cambios hechos por cluster para zonificar las coberturas y posibles problemas, y así no llevar o trasladar los errores.

## REFERENCIAS

1. GORRICO MORENO, Mónica. GORRICO MORENO, Juan Luis. Comunicaciones Móviles. UPC. Ediciones UPC, 2002.
2. MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, Plan Nacional de Atribución de Frecuencias. Abril 2005.
3. Manejo del Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias. Disponible en World Wide Web: [http://www.telcor.gob.ni/Desplegar.asp?PAG\\_ID=19](http://www.telcor.gob.ni/Desplegar.asp?PAG_ID=19)
4. VELARDE, Edgar. Principios de la telefonía celular – Curso de Comunicaciones Móviles de Ingeniería de las Telecomunicaciones (PUCP) Capítulo 1 (Décimo semestre). 2007.
5. 3G Americas – Unificando las Américas por Tecnologías Inalámbricas. Disponible en World Wide Web: <http://www.3gamericas.org/spanish/>
6. SIEMENS S.A. Documento de Planeación GSM. Siemens AG Septiembre 2000.
7. SIEMENS, Channel Configuration and allocation strategy. Siemens ICM, Agosto 2004. Siemens ICM, Agosto 2003. (Documento Interno Confidencial del Operador Móvil utilizado en la presente tesis).
8. SIEMENS, Parámetros Básicos para Optimización. Siemens ICM, Agosto 2003. (Documento Interno Confidencial del Operador Móvil utilizado en la presente tesis).
9. Optimisation: Parameter Planning and Network Optimisation. (Documento Interno Confidencial del Operador Móvil utilizado en la presente tesis). Agosto 2006.
10. LUCENT TECHNOLOGIES, Network Wireless Systems: Methods and Procedures for GSM RF Optimisation. RFEC Global Platform Group, Abril 2001. (Documento Interno Confidencial del Operador Móvil utilizado en la presente tesis).
11. TEMS Investigation 1.6.5 User Manual
12. TEMS, Descripción del uso de la herramienta TEMS Pocket 5.1
13. LUCENT TECHNOLOGIES, Principios de Tecnología Celular. 2003. (Documento Interno Confidencial del Operador Móvil utilizado en la presente tesis).
14. WILEY, John and Sons. GSM, GPRS and EDGE Evolution Towards 3G UMTS. Second Edition, 2003.

15. LEMPIAINEN, Jukka. MANINNEN Matti. Radio Interface System Planning for GSM/GPRS/UMTS. 2002 Kluwer Academic Publishers.
16. SIEMENS, SBS Key Performance Indicators. Octubre 2005. BR8.0 (Documento Interno Confidencial del Operador Móvil utilizado en la presente tesis).
17. TEMS Optimization Solutions Brochure
18. GSM Standard. Disponible en World Wide Web:  
<http://www.gsmworld.com/index.shtml>

