

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**DIMENSIONAMIENTO Y PLANIFICACIÓN DE UNA RED GSM
EXISTENTE EN UN ÁREA URBANA METROPOLITANA**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE TELECOMUNICACIONES

PRESENTADO POR:

TONY RICARDO PAUCAR CHAUPIS

PROMOCIÓN

2005 - I

**LIMA – PERÚ
2010**

**DIMENSIONAMIENTO Y PLANIFICACION DE UNA RED GSM EXISTENTE EN UN
AREA URBANA METROPOLITANA**

SUMARIO

El presente informe expone el planeamiento y acciones que se llevan a cabo en una red GSM en operación comercial debido a la ampliación de su capacidad y/o cobertura mediante la implementación de estaciones radio base. El aumento del número de suscriptores a la red y una mayor demanda de servicios por parte de estos, además de los objetivos del operador de la red de ofrecer servicios con estándares de calidad tienen como respuesta la optimización de la infraestructura en operación de la red. Sin embargo la demanda de tráfico y de mayor cobertura se incrementa de manera constante que hace necesario la implementación de nuevas estaciones base para ofrecer una mayor capacidad de tráfico y una mayor y mejor cobertura. Es a partir de esta conclusión que se lleva a cabo un análisis del performance de la red en cuanto a tráfico y cobertura para detectar zonas que muestran alta congestión o presentan problemas de cobertura para a continuación realizar una visita y pruebas de campo en la zona con el propósito de recoger datos actuales los que junto con el empleo de herramientas de predicción de cobertura nos permitan definir posibles ubicaciones para el sitio que albergara a la nueva celda y definir las características de la cobertura y capacidad de la nueva estación base. Definida las características de la estación base (de su sistema radiante y de las funcionalidades y capacidades de radio del equipo mismo, se procede con la instalación de la misma según los requerimientos de diseño. Prosigue la puesta en funcionamiento en modo de prueba previo a su puesta en operación comercial. Una vez en operación, la nueva celda se procede al monitoreo de su desempeño dentro de la red y se realizan los ajustes convenientes para optimizar su desempeño.

INDICE

Introducción	1
CAPÍTULO I	
MARCO TEÓRICO	3
1.1 Red celular GSM.....	3
1.1.1 Red con tecnología celular GSM. El concepto celular.....	3
1.1.2 Arquitectura de la red GSM. Subsistemas que componen la red.....	7
1.1.3 Estructura de la Red GSM.....	9
1.2 Red GSM de TEM Perú en Lima.....	12
1.3 Subsistema de estaciones base (Base station subsystem: BSS).....	14
1.3.1 Estación base (Base transceiver station: BTS).....	16
1.3.2 Controlador de estaciones base (Base station controller: BSC).....	16
1.3.3 Unidad de adaptación de velocidad de transferencia de datos y transcodificación (Transcoder and rate adaptation Unit: TRAU).....	18
1.4 Interfases en la red GSM.....	19
1.5 Análisis de la interfase aire del subsistema de estaciones base.....	26
1.5.1 Canal físico en GSM.....	27
1.5.2 Canales lógicos en GSM.....	32
1.6 Análisis de la interfase Abis del subsistema de estaciones base.....	38
CAPÍTULO II	
ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE UNA RED GSM. DIMENSIONAMIENTO Y PLANIFICACIÓN DE LA EXTENSIÓN DE LA RED DE RADIO GSM	41
2.1 Análisis del desempeño de la red de acceso radio GSM.....	41
2.1.1 Análisis del desempeño de la red de acceso radio GSM para evaluar su cobertura.....	41
2.1.2 Análisis del desempeño de la red de acceso radio GSM para evaluar condiciones extremas de congestión en áreas de alto tráfico de la red.....	44
2.2 Dimensionamiento y planificación de la cobertura y capacidad de la red de acceso radio GSM sobre áreas de la red con problemas de cobertura ó alto tráfico.....	48
2.2.1 Búsqueda del punto cero en un área con bajos niveles de calidad de servicio por problemas de cobertura.....	48
2.2.2 Búsqueda del punto cero en un área con bajos niveles de calidad de servicio por problemas de alto tráfico.....	55

2.2.3 Diseño de una estación base por cobertura.....	61
2.2. 4 Diseño de una estación base por tráfico.....	80
CAPÍTULO III	
IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN RADIO BASE.....	101
3.1 Definición del plazo de implementación de la estación base.....	101
3.2 Etapas de la implementación de la estación base.....	102
3.2.1 Inspección del sitio. Verificar si el sitio se encuentra listo para la instalación.....	102
3.2.2 Instalación y supervisión de la estación base.....	110
3.2.3 Configuración de la estación base y su puesta en operación en modo de prueba.	136
3.2.4 Puesta en servicio comercial de la estación base.....	142
3.3 Monitoreo de las estaciones bases de Golf La Planicie y Plaza Sur.....	143
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	149
BIBLIOGRAFIA.....	152

INTRODUCCION

El presente informe tiene por propósito describir los procesos de planeamiento, dimensionamiento e implementación necesarios de realizar con el objetivo de ampliar las capacidades de cobertura o de recursos de radio de una red celular GSM mediante la puesta en servicio de nuevas estaciones radio base. Puesto que es necesario el conocimiento del estándar GSM para una mejor comprensión del presente informe el capítulo uno (Marco Teórico) del mismo explica este tipo de tecnología celular.

El monitoreo diario y el análisis de las estadísticas de tráfico del suscriptor y de señalización correspondiente al suscriptor o que corresponde solo a la red, se constituyen en herramientas valiosas que nos permiten evaluar el desempeño de la red. Así es posible descubrir zonas poblacionales (residenciales, comerciales) en el que la calidad de los servicios de la red no es el óptimo. En muchos de estos casos la solución a este tipo de problemas significa la instalación y puesta en operación de nuevas estaciones base. Determinado que una nueva estación base mitigaría o anularía el problema de baja calidad de servicio se procede a establecer un plan que tiene por objetivo diseñar (dimensionar) una estación base que provea la cobertura deseada y la capacidad requerida por la zona que presenta el problema. Por lo tanto en el capítulo dos del presente informe se analizan estadísticas de tráfico y señalización y los resultados de pruebas de campo realizadas con el propósito de descubrir zonas con calidad de servicio degradada. El capítulo dos del presente informe expone dos zonas con problemas de calidad de servicio, en la primera zona (GOLF LA PLANICIE, distrito de La Molina, en este lugar finalmente se puso en operación la estación base GOLF LA PLANICIE) el problema se debe a la falta de cobertura mientras que la segunda zona (Urb. Matellini, distrito de Chorrillos, en este lugar finalmente se puso en operación la estación base PLAZA SUR) se debe a que esta experimenta alta congestión. Alta congestión de tráfico y falta de cobertura (especialmente en zonas alejadas de la ciudad pero en la que existe una cantidad considerable de suscriptores) son las razones por las que se ponen en servicio nuevas estaciones base. A continuación en el mismo apartado se describe el plan que se lleva a cabo (visitas a la zona, recolección de datos de las características de la zona, el examen de los mapas de la geografía de la misma, análisis de estadísticas de llamadas requeridas pero no establecidas, predicciones de cobertura y de tráfico) para

definir la ubicación de la nueva celda, definir la cobertura sobre la zona y calcular la magnitud de la demanda de servicios de red (en pocas palabras la cantidad de tráfico que generaría dicha zona) para luego determinar las características de la nueva estación base, es decir, determinar la altura de las antenas, sus orientaciones y determinar la capacidad de tráfico de llamadas que cursaría la nueva BTS.

Definida las características de la nueva estación base se procede a la instalación de la misma, es decir a la instalación del equipo y del sistema radiante (antenas y líneas de transmisión coaxiales que conectan el equipo con las antenas), luego prosigue la configuración de las características de la nueva celda (numero de sectores, bandas de operación, numero de radios, etc.) y su puesta en servicio en modo de prueba previo a la puesta en servicio comercial. El capítulo tres del presente informe expone con detalle la implementación (entiéndase por implementación a la instalación, configuración y puesta en servicio) de la nueva estación base y pone de manifiesto la importancia de la supervisión durante la instalación de la nueva estación base con el propósito de poner en servicio una celda que cumpla con los requerimientos de diseño. Por último este apartado finaliza exponiendo el desempeño de las nuevas celdas de GOLF LA PLANICIE y PLAZA SUR posterior a su puesta en servicio comercial.

Si bien el presente informe incluye el análisis de estadísticas de indicadores de desempeño (KPIs: Key Performance Indicators) para evaluar el funcionamiento de la red, solo expone estadísticas de aquellos KPIs que permiten evaluar el nivel de congestión de tráfico en una determinada zona. Los tipos de KPIs definidos para evaluar a la red es muy amplio y variado cada uno creado para evaluar cierta funcionalidad de la red o los elementos que la componen. Así el examen de muchos de ellos no se exponen en este informe pues escapan a sus alcances.

CAPITULO I MARCO TEÓRICO

1.1 Red Celular GSM.

1.1.1 Red con tecnología celular GSM. El concepto celular.

La red de acceso (interfase de radio) en las actuales redes móviles están basadas en una organización celular debido a que las frecuencias deben re-usarse ya que el recurso de radio es limitado y existe un gran número de usuarios que requieren hacer uso de dichos recursos. Con el propósito de que una red móvil sea capaz de servir a cientos de miles o millones de suscriptores considerando la escasez de los recursos de radio, las frecuencias disponibles deben ser “espacialmente reutilizadas”, es decir deben ser usadas repetidamente en toda el área de la red a servir.

El concepto del re-uso espacial de las frecuencias conduce al desarrollo de la tecnología celular el cual permite maximizar el uso de las frecuencias. Las características principales de una red celular son las siguientes:

El área a servir es dividido en celdas. Para una fácil comprensión del concepto celular estas celdas son modeladas en formas hexagonales en cuyo centro se encuentran las estaciones base.

Cada celda hace uso de un subconjunto de frecuencias sf_i del conjunto total de frecuencias asignadas a la red de radio móvil.

Dos celdas vecinas nunca deben usar las mismas frecuencias ya que esto traería una severa interferencia co-canal proveniente de dicha celda vecina.

Una o más celdas pueden utilizar el mismo subconjunto de frecuencias (o parte de él) de la celda i siempre que estas se encuentren a una distancia lo suficientemente grande de la celda i tal que la interferencia co-canal se mantenga lo suficientemente pequeña y por lo tanto no afecte la calidad de una llamada en esta celda i . La mínima distancia que cumpla lo anterior es denominada distancia de re-uso de frecuencia D .

Debido a lo anterior la repetición espacial de las frecuencias se realiza de manera sistemática, es decir, todas las celdas vecinas a la celda i que posean el mismo subconjunto de frecuencias (o parte de él) deben encontrarse separados unos de otros una distancia D . Por lo tanto, se desprende de lo anterior, que existirán exactamente 6

celdas vecinas a la celda i con las mismas frecuencias, independientemente del tamaño o forma de las celdas.

Esta distancia D entre celdas con la misma frecuencia es determinado por la radio propagación de la señal en dicha área. La propagación de la señal depende a su vez de la geografía del entorno (cerros, árboles, edificaciones, etc.) Esta distancia también depende del tipo de antena y su altura con respecto al suelo y lo que existe en el entorno. Estos factores a su vez definen la cobertura de la BTS (en el caso ideal de una celda en forma hexagonal determinara el radio R de la celda). Si la posición de la antena es muy alta, es decir, se encuentra por encima de la altura promedio de las edificaciones existentes en el entorno, la señal de radio se propagara una gran distancia causando interferencia sobre una amplia zona de la red limitando el máximo re-uso de la frecuencia y por ende limitando la capacidad de la red. Por lo tanto el entorno y la configuración de la antena (tipo, altura, orientación e inclinación) determinaran el máximo re-uso de las frecuencias sobre el área de cobertura de la red. Además el máximo re-uso de las frecuencias determinara la máxima capacidad de la red y el mínimo número de estaciones bases requeridas para cubrir el área a servir.

La distancia D y el tamaño de las celdas (suponiendo que todas tienen igual tamaño, es decir tienen forma hexagonal con radio R en el caso ideal) determinan el número de celdas vecinas a la celda i que utilizan un subconjunto de frecuencias diferentes a s_f . El grupo de todas las celdas vecinas que utilizan diferentes frecuencias se denomina cluster. La figura 1.1 muestra clusters de diferentes tamaños y la aplicación del reuso de la frecuencia.

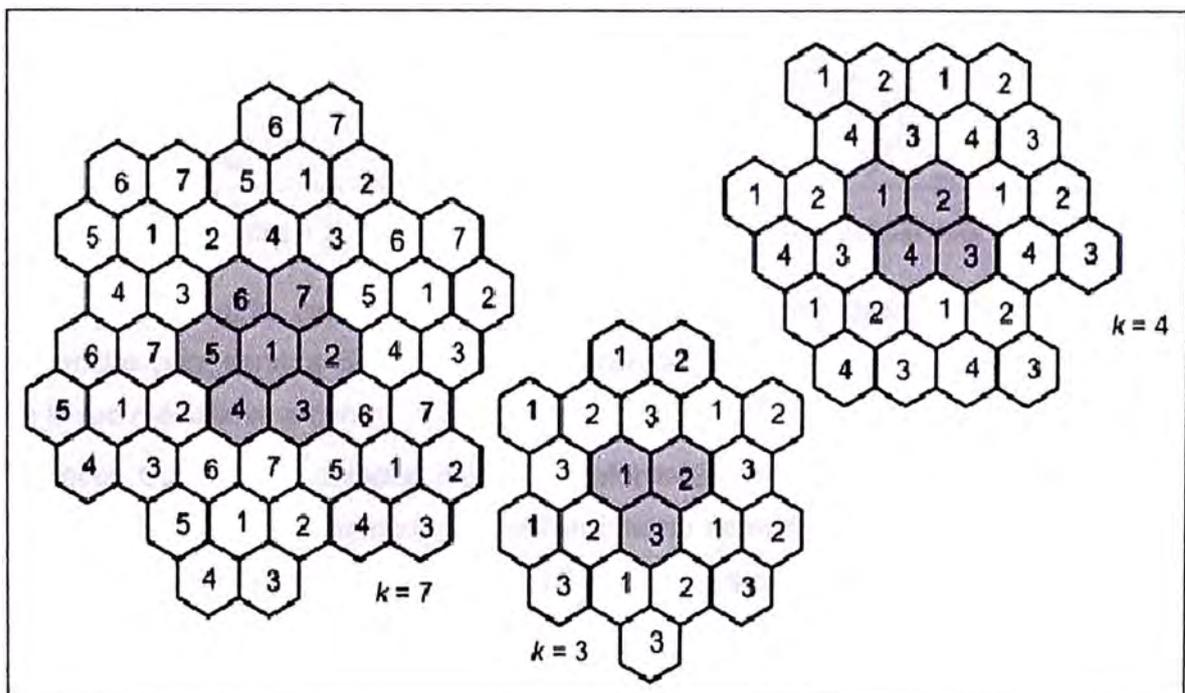


Figura 1.1. Composición de los clusters.

Las celdas se consideran que poseen una forma hexagonal con propósitos de ilustración del concepto celular. En las redes existentes en operación, las celdas no tienen formas hexagonales ni mucho menos adoptan formas circulares, por el contrario estas poseen formas irregulares y tamaños diferentes debido a lo variable de la geografía del entorno alrededor de la ubicación de la estación radio base, y debido también a la configuración de las antenas de las estaciones bases. Un ejemplo de estructura celular de una red real que re-usa frecuencias se muestra en la figura 1.2.

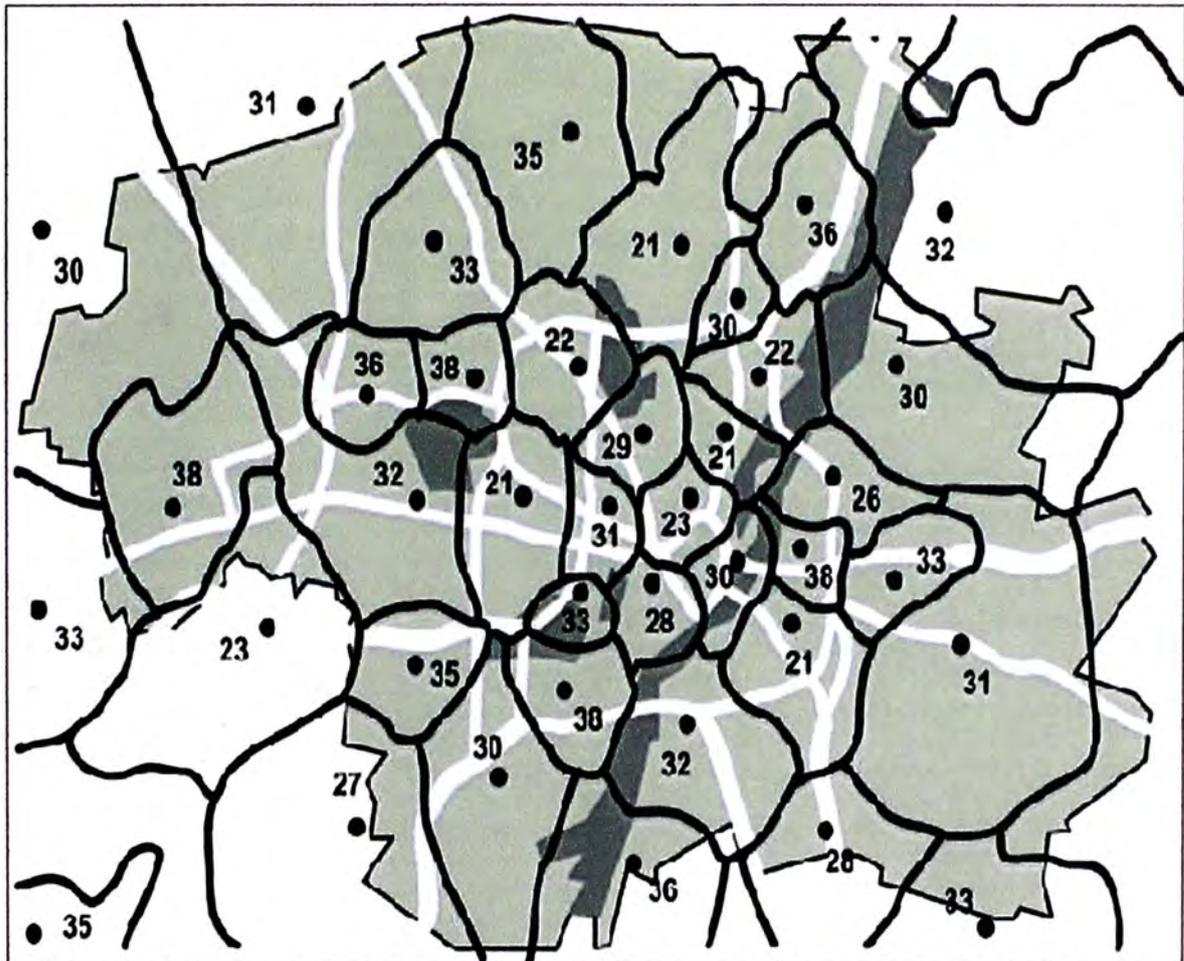


Figura 1.2. Reuso de la frecuencia en una red celular real.

Si bien el concepto celular aplicado a las redes móviles permite el re-uso de las frecuencias para servir a cientos de miles o millones de usuarios, este concepto requiere que la red móvil lleve a cabo:

Handover. Cuando una estación móvil (MS, Mobile Station) se mueve de una celda a otra durante el curso de una llamada, dicha llamada no debe interrumpirse a pesar que esta pasa a ser controlada por una nueva BTS vecina a la primera y por lo tanto la llamada hace uso de una frecuencia distinta. Dicho traspaso (handover) de la llamada de una BTS a otra sin interrupción es una característica en las redes celulares que se precien de llamarse móviles.

Control de Potencia de Transmisión (Power Control):

La característica de Control de Potencia permite minimizar el consumo de energía tanto de la estación base (Base Transceiver Station: BTS) como de la estación móvil (Mobile Station: MS) minimizando la potencia de transmisión y por ende la interferencia que esta señal representa sobre los canales adyacentes, además de mantener la intensidad de la señal recibida constante y en un nivel aceptable tanto en el lado de la BTS como en el lado de la MS pudiendo encontrarse esta última en cualquier ubicación (dentro de la cobertura de la celda) donde probablemente la señal de recepción sería de más alta intensidad o de mucho menos intensidad sin el uso de esta característica.

La influencia de la característica de control de potencia en la interferencia de canal adyacente sobre otros MSs presentes en la red de radio depende principalmente de cómo esta característica funciona. Esta característica permite el aumento o disminución de la potencia de transmisión en pasos de 2dBm ya sea por parte de la MS o de la BTS con el propósito que el nivel de la señal recibida se encuentre dentro de valores límites definidos. Si hubiese una gran diferencia entre estos límites el nivel de la señal de transmisión variaría considerablemente de tal manera que la reducción de la interferencia debido a esta característica sería mínimo y solo picos de interferencia serían reducidos drásticamente. Por el contrario si la diferencia entre los límites es angosta la característica de power control se requeriría se ejecutase a cada momento causando que el BSC (quien es quien ordena ya sea a la BTS o al MS reducir o aumentar su potencia de transmisión) gaste frecuentemente tiempo de procesamiento además del gasto de los recursos de transmisión y señalización en la interfase Abis como en la interfase aire.

El procedimiento de ejecución del control de potencia es el siguiente:

Tanto la estación radio base (BTS) como la estación móvil (MS) miden la intensidad (potencia de entrada) y calidad (tasa de bits erradas, BER y tasa de tramas erradas, FER) de la señal recibida durante una llamada en curso. La estación móvil periódicamente envía dichas mediciones a la BTS en el mensaje MEAS_REP (measurement report) a través del canal SDCCH/SACCH cada 470.8 ms o sobre el canal TCH/SACCH cada 480 ms. La BTS una vez que recibe dichas medidas las incluye en el mensaje MEAS_RES (measurement results) que contiene sus mediciones y lo envía al BSC. Estas mediciones, que reflejan la calidad de la conexión de la llamada, sirven como datos que permiten a el BSC decidir si ordena ejecutar o no el control de potencia o handover (en el caso que no se pueda ejecutar el control de potencia pues la potencia de recepción se encuentra más de 2dBm por debajo del valor mínimo)

Si el BSC decide ejecutar la característica de control de potencia para la BTS, el BSC informara a la BTS por medio del mensaje BS_POWER_CON (base station power

control) del nivel de potencia a la que debe transmitir. De manera similar, si el BSC decide el aumento o reducción de la potencia de transmisión de la MS, el BSC indicara a la BTS a través del mensaje MS_POWER_CON (mobile station power control) que ordene a la MS el ajuste de su potencia de transmisión. La BTS envía dicha orden a la MS haciendo uso del próximo canal SACCH el cual se transmite cada 480 ms.

Téngase en cuenta que el canal de BCCH tiene siempre que transmitirse a la máxima potencia pues este canal contiene información general de la BTS y la RED y sirve además como muestra de medición de las estaciones móviles que se encuentran en las celdas vecinas. Por lo tanto este canal no está afecto al control de potencia.

1.1.2 Arquitectura de la red GSM. Subsistemas que componen la red.

El sistema GSM está constituido por tres subsistemas principales: Subsistema de Conmutación de la Red (Network Switching Subsystem: NSS), Subsistema de Estaciones Base (Base Station Subsystem: BSS) y el Subsistema de Gestión de la Red (Network Management Subsystem: NMS). La figura 1.3 muestra los subsistemas de la red y la interacción entre ellos.

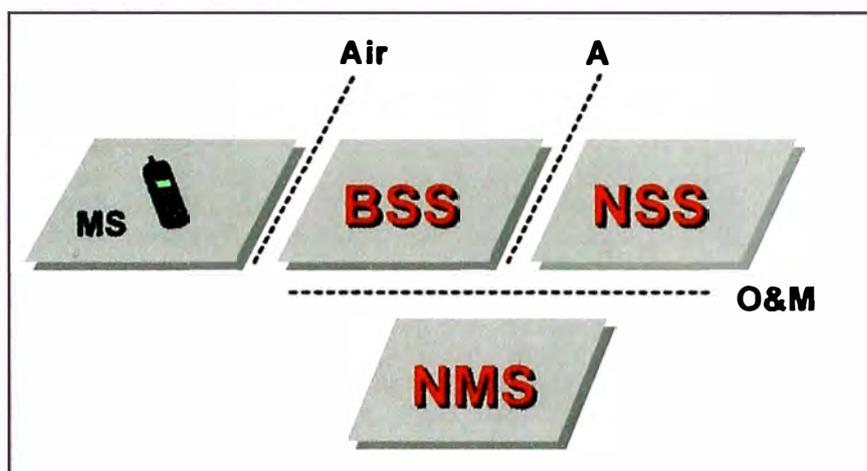


Figura 1.3. Subsistemas de la red GSM.

El Subsistema de Conmutación o NSS incluye el equipamiento y funciones relacionadas al establecimiento de la llamada, gestión de los suscriptores, gestión de la movilidad y funciones relacionadas a la interacción con redes fijas como la PSTN e ISDN. Este consiste de los elementos de red (Network Elements: NEs): Centro de Conmutación Móvil (Mobile Switching Center: MSC), Registro de Ubicación de Visitantes (Visitor Location Register:VLR), Registro de Ubicación de Base (Home Location Register:HLR), Centro de Autenticación (Authentication Register:AuC) y el Registro de Identidad del Equipamiento del suscriptor (Equipment Identity Register:EIR). En general:

El centro de conmutación móvil (MSC) se encarga del establecimiento de la llamada hacia o desde un MS, del encaminamiento de la misma, la gestión del handover entre

BSCs que se encuentran bajo el área de su administración y toma parte en la gestión del handover hacia o desde otro MSC. Cuenta además con una interfase hacia redes fijas (PSTN o ISDN) y realiza tareas relacionadas al cobro del servicio (billing).

El registro de abonados suscritos en la red (HLR) es una base de datos centralizada que almacena el registro de todos los suscriptores de la red GSM PLMN (Public Land Mobile Network), pueden haber más de una HLR en una PLMN pero un suscriptor solo se puede registrar en una de ellas.

El registro de abonados activos en la red (VLR) es una base de datos de todos los suscriptores que actualmente se encuentran en el área bajo la administración del MSC (MSC Area) asociado (conectado) a dicho VLR. Tan pronto como una MS ingresa a una nueva MSC Area el VLR conectado al MSC en cuestión informará al HLR de la actual ubicación de la MS y a la vez requerirá datos del suscriptor al HLR. Así si una MS desea realizar una llamada, el VLR tendrá toda la información necesaria de dicha MS (incluyendo su ubicación actual) para junto con el MSC llevar a cabo el establecimiento de la llamada sin necesidad de interrogar al HLR cada vez que la MS realice una llamada. El centro de autenticación (AuC), conectado al HLR, tiene la función de generar los parámetros de autenticación y cifrado para a continuación entregar dicha información al HLR que se emplearán para propósitos de seguridad de la información transmitida y validación del suscriptor.

El registro de identificación del equipo móvil (EIR), es también una base de datos que almacena los identificadores de todos los Equipos Móviles (Mobile Equipment: ME) o IMEI (International Mobile Equipment Identity).

El Subsistema de Radio o BSS incluye el equipamiento y funciones relacionadas a la gestión de las conexiones en la interfase radio (o interfase aire), incluyendo la gestión de los handovers. Se compone de los elementos de red: Controlador de Estaciones Base (Base Station Controller: BSC), Unidad de Transcodificación y Adaptora de Velocidad de Transferencia (Transcoder and Rate Adapter Unit: TRAU), Estación Base Transreceptora (Base Transceiver Station: BTS) y la Estación Móvil (Mobile Station: MS). En general:

La MS tradicionalmente es considerado como parte del subsistema radio. Siendo uno de los extremos de una llamada, la MS mantiene también comunicación con los elementos de la red para la gestión de su movilidad. Por lo anterior la MS debe incluir tanto capacidades de terminación de red como de terminación de usuario.

El sistema GSM es una red de celdas las cuales en conjunto proveen de una completa cobertura al área a servir. Cada celda tiene una BTS con varias unidades portadoras o transreceptores (Transceivers: TRXs). Un grupo de estaciones bases son controlados por una BSC y las funciones de esta principalmente son gestión del handover entre celdas

controladas por ella, control de la potencia de transmisión tanto de la MS como del BTS (power control), gestión de los recursos de radio entre otros.

El Subsistema de Gestión de la Red o NMS incluye el equipamiento y funcionalidades para realizar la operación y mantenimiento del equipamiento GSM, es decir, de los elementos de red de la NSS y BSS (excepto la MS), para asegurar que el funcionamiento de la red sea normal y sin problemas. Para esto el NMS está conectado a todos los elementos de red a través de su conexión con los MSCs y BSCs de la red. Las funciones del NMS pueden dividirse en cuatro categorías: Gestión de fallas, Gestión de configuración y la Gestión del Performance. Una vez que la red es puesta al aire y en servicio, el NMS comienza a monitorear el desempeño de su red. Si el NMS detecta una falla genera la alarma correspondiente para su revisión y corrección correspondiente. El NMS es también responsable de la recolección de datos del funcionamiento de cada uno de los NEs para el posterior análisis del performance, de esta manera se toman las decisiones correspondientes para optimizar el funcionamiento de la red.

1.1.3 Estructura de la Red GSM.

Cada red telefónica necesita de una estructura bien definida con el objeto de encaminar las llamadas al conmutador adecuado y finalmente al suscriptor llamado. En una red móvil una estructura bien definida que tenga en cuenta la movilidad del suscriptor dentro de toda la cobertura de acceso radio de la red es de suma importancia. Una red GSM presenta la siguiente estructura jerárquica:

Área de Servicio de la Red GSM (GSM Service Área): la cual está compuesta por el conjunto de redes GSM PLMN (PLMN: Public Land Mobile Network o Red Pública Móvil Terrestre) de todos los países en los que una estación móvil compatible puede acceder al servicio.

Área de Servicio de la PLMN (PLMN Service Área): Este es el próximo nivel en la jerarquía. Puede haber varios PLMNs en un mismo país dependiendo del tamaño del país. Un PLMN está constituido por varios o por lo menos un MSC Área. Las conexiones entre una PLMN y otras redes tales como las redes fijas PSTN, ISDN u otras redes PLMNs se hacen a través de conmutadores de tránsito nacional o internacionales. Todas las llamadas entrantes a una PLMN serán encaminadas primero a un MSC específico de la red. Este MSC es denominado Gateway MSC, el cual a continuación encamina la llamada al MSC en cuya área se encuentra el suscriptor destino. Así el Gateway MSC trabaja como un conmutador de tránsito de llamadas y tiene la funcionalidad de "interworking" (Interworking Functionality: IWF) la cual le permite realizar las conexiones de llamadas entre la PLMN y las otras redes mencionadas anteriormente.

Área de Servicio del MSC (MSC Service Área): Es el área bajo el control de un MSC y está compuesto por un conjunto de áreas de ubicación (location areas). Una PLMN esta compuesta por una o varias MSC áreas.

Área de administración del VLR (VLR Área): Es el área bajo el control de un VLR y está compuesto por todas las MSC áreas cuyos MSCs están conectados a dicha VLR. Aunque el estándar permite la asociación de una VLR con varios MSCs (pero un MSC solo puede estar conectado con un VLR), típicamente un VLR está asociado a un solo MSC, es decir ambos conforman una unidad MSC/VLR. Así, el MSC área es igual al VLR área y este es denominado MSC/VLR Área. El conjunto MSC/VLR controla las llamadas dentro de su jurisdicción, es decir, el MSC en cuya MSC área se ubica el suscriptor origen o destino de la llamada participa durante el establecimiento y realización de la misma. La ubicación de la MS puede ser identificado desde que dicho MS es registrado en el VLR asociado al MSC en cuestión.

Área de Ubicación (Location Area: LA): Es el área compuesta por un conjunto de celdas. Un conjunto de áreas de ubicación componen una MSC área. Siempre que una MS se mueve de un LA a otro se llevara a cabo una actualización del área de ubicación (Location Area Update o simplemente Location Update) es decir se actualiza la ubicación de la MS (LA en que se encuentra ahora) en el VLR que controla al actual área de ubicación o se registra si la MS no se encontraba en el área del VLR en mención. Así en el caso de una llamada terminada en dicha MS como parte del establecimiento de la llamada se llevara a cabo el proceso de búsqueda (paging) de la MS teniendo en cuenta el área de ubicación en que se encuentra, es decir un mensaje de busqueda (paging) se enviará en broadcast a todo el conjunto de celdas que conforman el área de ubicación con el objeto de encontrar al suscriptor llamado. Este nivel en la jerarquía en GSM es de importancia pues es usado para ubicar el suscriptor en estado activo cuando una llamada lo tiene como destino final.

Celda: Una celda es el área de cobertura de una BTS. Un conjunto de celdas componen un área de ubicación, pero sin embargo las estaciones bases correspondientes pueden estar conectados a una sola o a diferentes BSCs. Así un área de ubicación por lo menos estará asociado a una BSC pero las celdas de una BSC pueden pertenecer a diferentes áreas de ubicación. La MS distingue una BTS de otra teniendo en cuenta el Código de Identificación de la Estación Base (Base Station Identity Code: BSIC) que la BTS transmite en mensaje broadcast sobre la celda.

Las figuras 1.4, 1.5 y 1.6 muestran la estructura jerárquica de una red GSM considerando que existe una relación de uno a uno entre una VLR y una MSC.

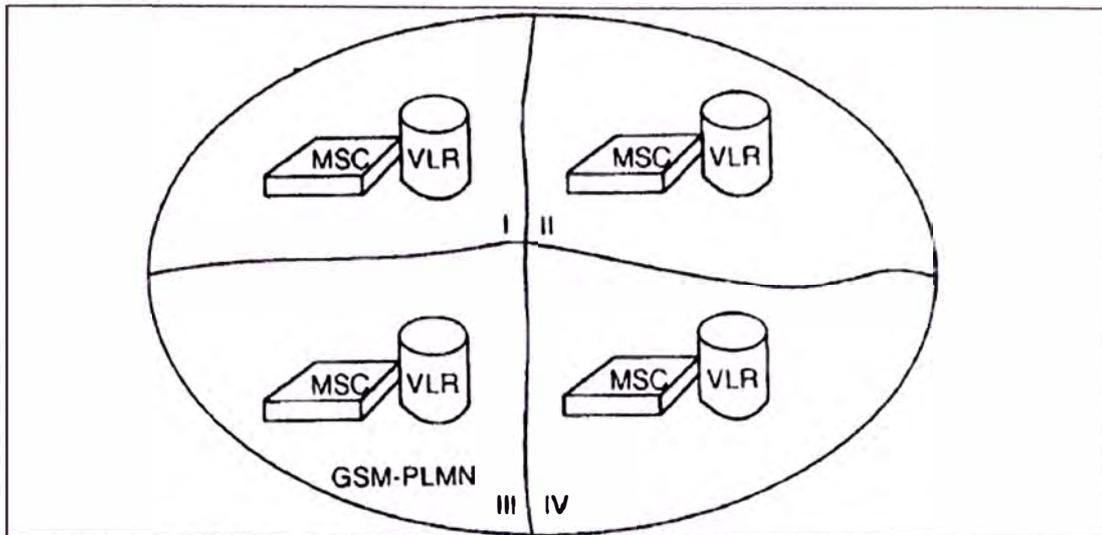


Figura 1.4 Área de servicio de una PLMN.

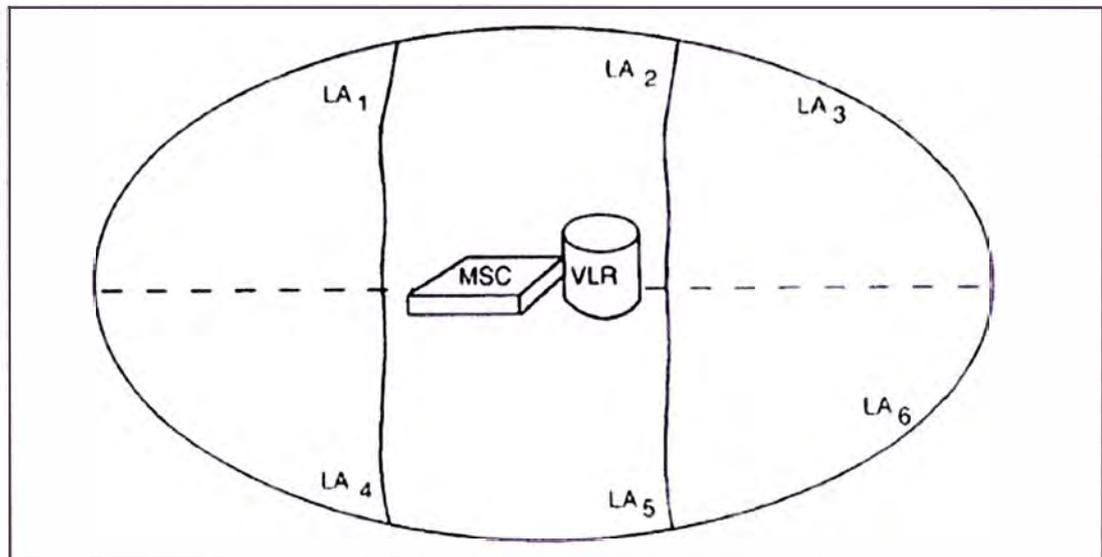


Figura 1.5 Área de servicio de un MSC.

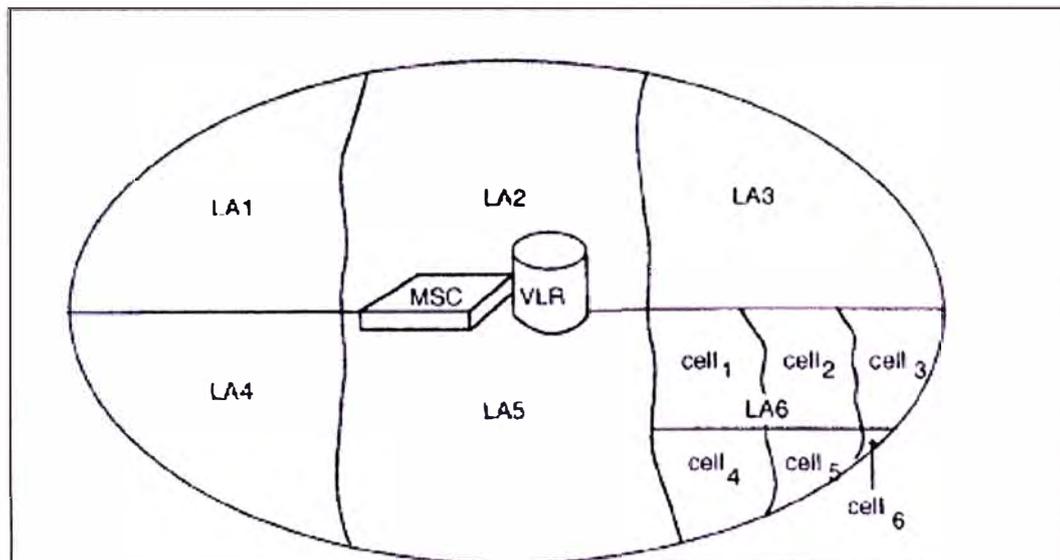


Figura 1.6 Área de Ubicación y su composición.

1.2 Red GSM de TEM Peru en Lima.

El presente informe tiene como marco la red celular móvil con tecnología GSM en el departamento de Lima operado por Telefónica Móviles del Perú (TEM Perú, el Operador de la Red) cuya instalación, puesta en operación comercial en sus inicios, posterior monitoreo, optimización y ampliación de capacidad de tráfico y cobertura estuvieron y están a cargo de manera conjunta y coordinada por Nokia Siemens Networks (NSN) y TEM Perú.

El proyecto Overlay de implementación de la red celular GSM ejecutado por Nokia Siemens Networks (NSN) para Telefónica Móviles del Perú (TEM Perú), en su primera fase (diciembre 2005 – enero 2006) consistió en la implementación y puesta en servicio de la red celular GSM de Telefónica Móviles en Lima Metropolitana. La implementación y puesta en servicio del subsistema de estaciones base (BSS: Base Station Subsystem) y su correspondiente Centro de Operación y Mantenimiento (parte del subsistema de gestión de red, NMS: Network Management Subsystem) estuvo a cargo de Siemens Perú (específicamente el área de Comunicaciones de Siemens, hoy NSN) mientras que la implementación del subsistema de conmutación (NMS: Network Management Subsystem) y su centro de operación y mantenimiento estuvo a cargo de Nokia (específicamente el área de Red y Comunicaciones de Nokia, hoy NSN).

La implementación de una red GSM bajo un proyecto Overlay significa que en su primera fase la implementación de estaciones base (es decir de la red de acceso) hizo uso de la infraestructura de red existente del operador, es decir, la planificación tenía en cuenta los sitios existentes y la red de transmisiones del Operador. Las posteriores fases de ampliación de cobertura de la red de acceso radio GSM consistieron en la construcción de nuevos sitios que albergarían a las nuevas estaciones base que teniendo en cuenta el factor costo beneficio presente en todo proyecto son equipos que requieren de mínimas condiciones de acondicionamiento para su funcionamiento, es decir pueden instalarse a la intemperie, así las características del sitio que lo alberga son mínimos lo cual se traduce en ahorro en gastos de infraestructura, acondicionamiento y mantenimiento del sitio para el operador.

Teniendo el escenario anterior, la red GSM de TEM Perú explota todas las características de configuración que ofrece la tecnología celular, el estándar GSM y funcionalidades de los equipos propios del fabricante. Así esta red GSM presenta estaciones base operando en dos bandas de frecuencia (850/1900) instaladas en configuración estrella, o conectadas en cascada (multidrop), celdas de características macro y micro, sectorizadas u omnidireccionales y celdas en configuración sombrilla (umbrella).

Dicha red GSM desde inicios hasta la actualidad opera en las bandas de 850 y 1900 MHz. Las siguientes fases del proyecto tuvieron como objetivo la ampliación de la cobertura y capacidad de la red GSM en todo el departamento de Lima.

La red GSM de TEM Perú en Lima está compuesta de 22 áreas de ubicación (LAs) y tiene un cluster igual a 15 (es decir el # de celda vecinas que no comparten frecuencias es igual a 15). Cada área de ubicación está administrada por una BSC. Las figuras 1.7 y 1.8 muestran la distribución de las áreas de ubicación en una zona del departamento de Lima donde la red tiene cobertura. Observe que un área de ubicación puede corresponder a dos áreas geográficas separadas como el caso del área de ubicación cuyo código (Location Area Code:LAC) es 1006 y esta administrada por el BSC 10 SLV.

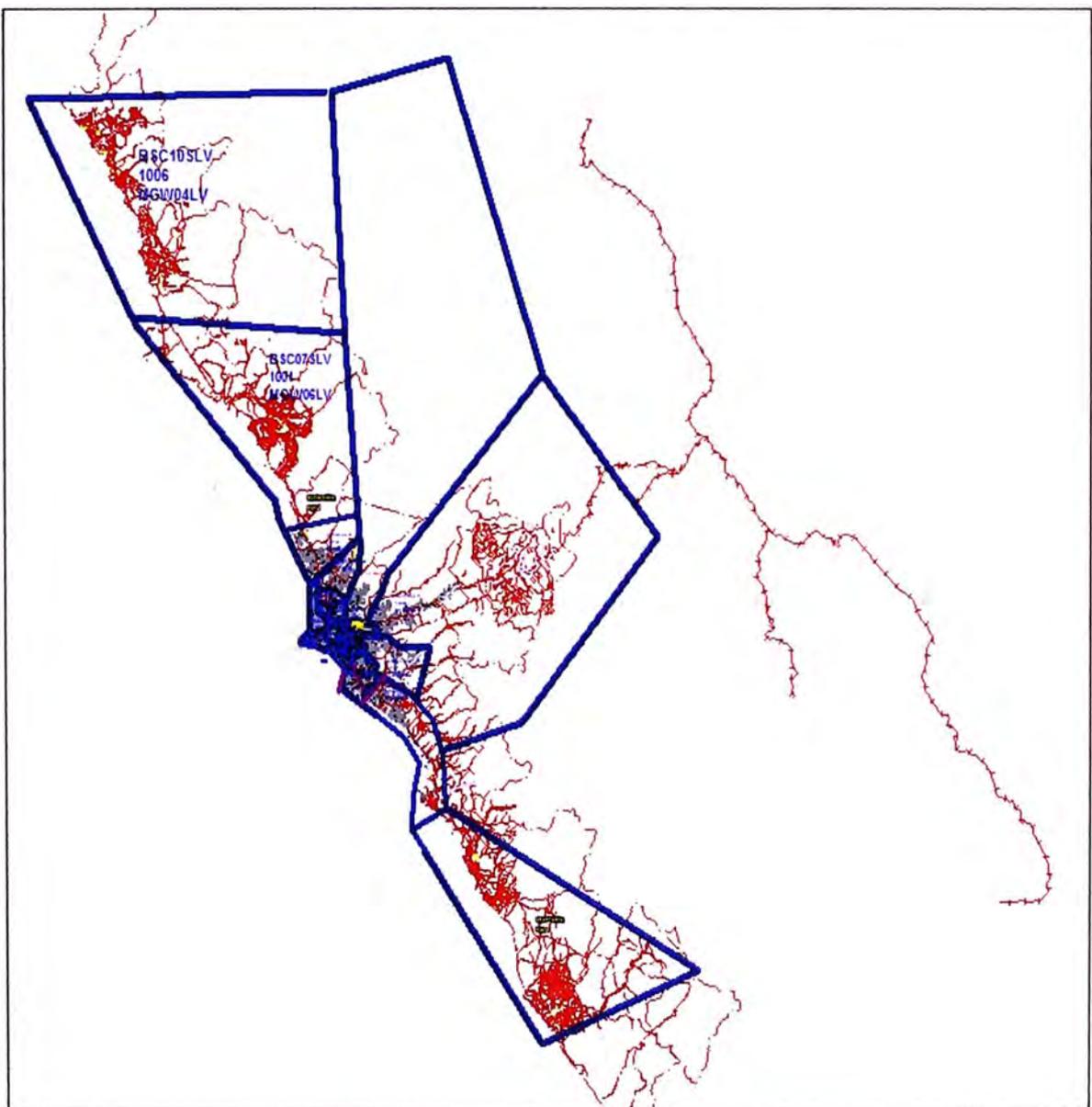


Figura 1.7. Vista general de la distribución en áreas de ubicación de la PLMN GSM de TEM Perú en el departamento de Lima.

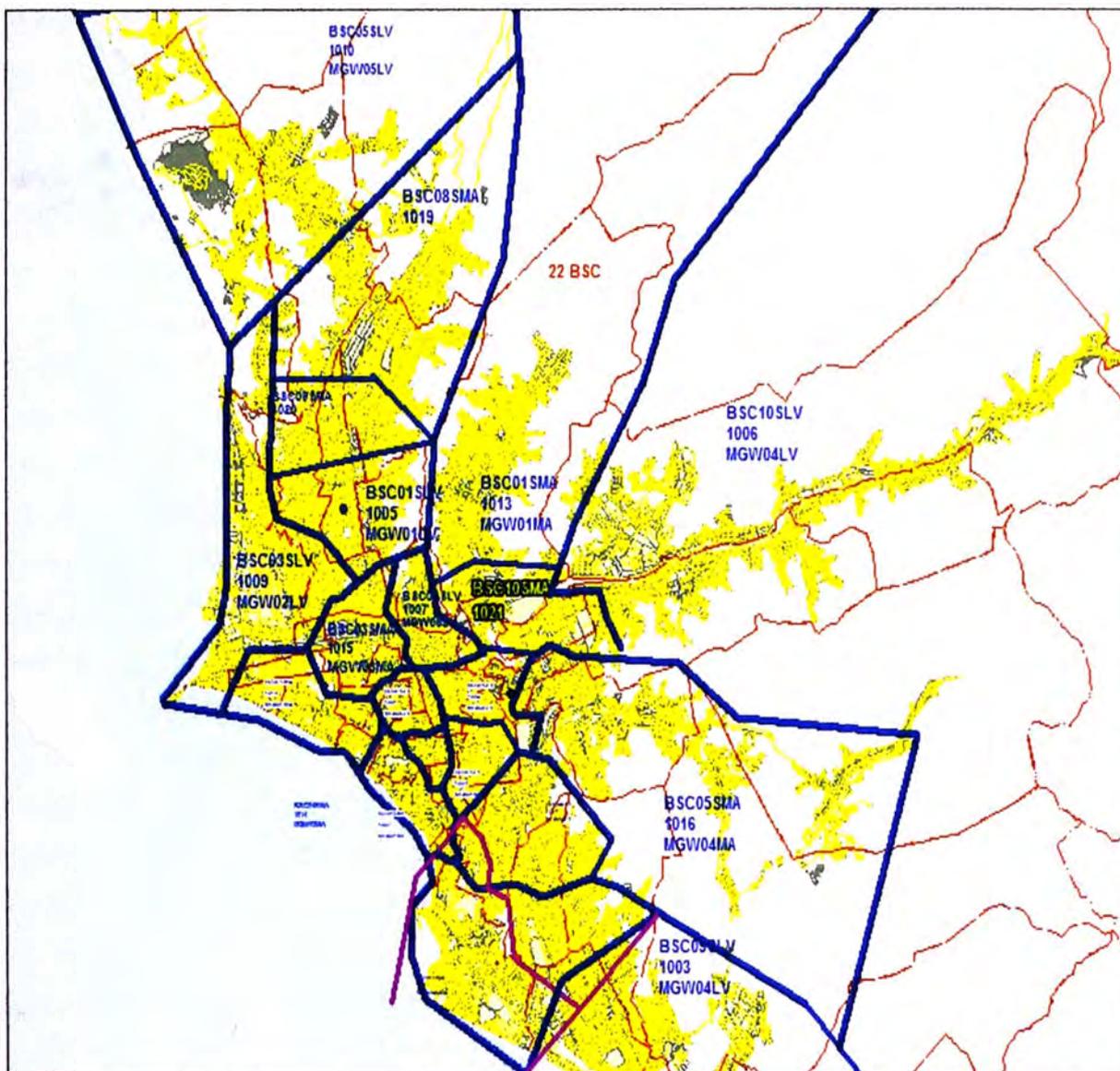


Figura 1.8. Vista de la distribución en áreas de ubicación de la PLMN GSM de TEM Perú en Lima Metropolitana.

Puesto que el presente informe se desarrolla sobre la red de acceso radio, a continuación se explicara con más detalle el subsistema de estaciones base (BSS) y se describirán los elementos de red que la componen y las funciones que cada uno de estos realizan.

1.3 Subsistema de Estaciones Base (Base Station Subsystem: BSS)

El Subsistema de Estación Base (Base Station Subsystem: BSS) es responsable de la gestión y administración de la Red de Acceso Radio de la RED GSM. Algunas de las más importantes funciones del BSS son:

Gestión de los recursos de radio: En la red GSM la BSS es la parte de la red que se encarga de los recursos de radio, esto es, asignación del canal de radio y calidad del enlace radio.

Sincronización: El BSS emplea sincronización jerárquica, lo cual significa que el MSC sincroniza a las BSCs conectadas a esta y estas a continuación sincronizan sus estaciones bases. Dentro del BSS la sincronización es controlada por el BSC. La sincronización es un punto crítico en las redes GSM que requieren que todos los transreceptores de una BTS (TRXs) tengan la misma señal de reloj. Si la cadena de sincronización no trabaja de manera correcta las llamadas pueden ser cortadas o la calidad no es la mejor posible o en el peor caso las llamadas no se pueden establecer.

Señalización en la Interfase Aire, A-bis y la Interfase A: relacionadas y no relacionadas a las llamadas, en este último por ejemplo la señalización llevada a cabo para ordenar y realizar el control de la potencia de transmisión (power control).

Establecimiento de la conexión entre la MS y la NSS.

Transcodificación de la información del usuario: Es realizada específicamente por el Elemento de Red denominado TRAU (el cual se explicara luego) que es parte del BSS y que permite adaptar la tasa de transferencia de la información del usuario del lado del BSS (16Kbps) a la tasa del lado del NSS (MSC, 64 Kbps)

Gestión de la movilidad: El BSS se hace cargo completamente del handover intra-BSC. Otros tipos de Handover tales como los handover Inter-BSC o Inter-MSC requieren la participación del MSC y VLR correspondientes.

La Red de Radio es la parte de la Red GSM que incluye las Estaciones Base (Base Transceiver Station: BTS), las Estaciones Móviles (Mobile Station: MS) y la interfase entre ellas (conocida como Interfase Aire (Air Interfase BTS-MS)). Así es la parte de la red que está directamente conectada con el Usuario Móvil y por ende es de considerable importancia. La BTS establece una conexión radio con la MS y dicha BTS debe ser capaz de comunicarse con la MS dentro de una cierta cobertura (consistente de una o más celdas). La red de acceso radio puede cubrir una considerable área geográfica constituida por la suma de las cobertura de las celdas.

El BSS provee a la MS de una conexión vía la Interfaz Aire al Centro de Conmutación Móvil (Mobile Switching Center: MSC) y en general al Subsistema de Conmutación de la Red (Network Switching Subsystem: NSS) para el establecimiento y realización de una llamada. La BSS está constituida de los siguientes Elementos de Red (Network Elements: NE):

Una o más estaciones base (BTSs).

Una o más controladores de estaciones bases (BSCs).

Una o más TRAUs (Transcoder and Rate Adaptation Units)*

**También llamada Transcoder (TC) o Transcoder Sub-multiplexer (TCSM).*

La figura 1.9 muestra los elementos de red que componen una BSS.

fue definida con el propósito de mantener a la BTS con solo la complejidad necesaria. Por lo tanto las entidades que desarrollan la inteligencia (controlar, decidir, dar instrucciones) y el control esencial residen en el BSC y no en las estaciones bases. Por ejemplo el protocolo de handover entre celdas (Inter-cell Handover) es realizado por el BSC.

Por lo anterior el BSC administra el Recurso Radio (Radio Resource Management) para las celdas que se encuentran bajo su control. Esta asigna las frecuencias y canales físicos a todas las estaciones bases (dicha asignación de frecuencia para cada BTS se denomina Cell Allocation) y móviles bajo su dominio. También reasigna frecuencias a las estaciones bases en su área respondiendo de esta manera a la demanda de recursos de radio durante horas pico o eventos especiales. Las funciones más importantes y resaltantes del controlador de estaciones base son:

Decidir y ordenar llevar a cabo el handover entre Celdas para las MSs que se encuentran en la cobertura de las estaciones bases que están bajo su control. Esta toma la decisión de realizar un handover basado, entre otros factores, en los reportes de medición de intensidad de señal y de tasa de tramas erradas enviados por la MS durante una llamada. Controlar la Potencia de Transmisión de las estaciones y de las MSs en su área, así, la información del mínimo nivel de potencia a la que una MS debe transmitir en determinado momento es transmitido a dicha MS sobre el canal SACCH.

Como se menciona anteriormente el BSC genera y distribuye en broadcast a todas sus estaciones bases la señal de referencia para la sincronización de las mismas. El BSC también mide el retraso de las señales de las MSs recibidas por las estaciones bases (BTSs), así, si la señal de la MS recibida no se encuentra centrada en su time slot, el BSC puede indicar a la BTS correspondiente que notifique al MS adelantar su temporizador para llevar a cabo una adecuada sincronización.

Proveer de interfases para las tareas de O&M de los elementos de la BSS (BTS, BSC y TRAU), así, la información de funcionamiento y comportamiento tanto de la BTSs, TRAU y BSC la cual es recolectada por esta última es enviada a través de estas interfases al Subsistema de Gestión de la Red (Network Management Subsystem: NMS), donde dicha información es procesada y convertida en formato estadístico, a partir de la cual el status de la calidad de funcionamiento de la red es obtenido y analizado. Lo anterior incluye también la recolección de alarmas relacionadas a las estaciones bases (BTSs) y unidades transcodificadoras (TRAUs). El BSC también se encarga del control del salto de frecuencia (Frequency Hopping: FH) que se llevan a cabo en todas las BTSs y MSs bajo su dominio. Esta establece la secuencia de salto de frecuencia para cada BTS e indica a la BTSs informar a las estaciones móviles bajo su control de la secuencia asignada.

1.3.3 Unidad de Adaptación de Velocidad de Transferencia de Datos y Transcodificación (Transcoder and Rate Adaptation Unit: TRAU)

En la interfase Aire (entre la MS y la BTS) el medio que transporta el tráfico es una señal de radiofrecuencia. Para un uso eficiente de los recursos de radio durante la transmisión de la información (conversación) del usuario sobre la interfase aire, dicha información es comprimida a 16Kbps previa a su transmisión. Además la MS debe tener la posibilidad de establecer comunicación desde o hacia la red fija donde el formato de compresión de la información del usuario es diferente (el canal es de 64 Kbps), entonces en alguna parte entre la BTS y la red fija debe existir un elemento de red que convierta la información (conversación) del usuario de un formato de compresión al otro. Dicho elemento de red, parte de la red GSM es la TRAU. El estándar GSM permite la instalación de la TRAU entre la BTS y el BSC o entre el BSC y la MSC.

Si bien la compresión de la información del usuario es realizada en la interfase aire con el propósito de ahorrar recursos (cantidad de frecuencias ha asignar), también es posible ahorrar recursos de transmisión en la parte de transmisión terrestre (enlaces de transmisión) cuando la TRAU es ubicada del lado de la MSC, entre esta y el BSC ya que por el lado de el BSC los canales de tráfico a tasa completa (full rate) son de 16kbps y los de tasa media (half rate) son de 8Kbps (así también entre la BTS y el BSC) mientras que del lado de la MSC los canales de tráfico son de 64 Kbps. Así la TRAU es capaz de adaptar (compresión/descompresión) la información del usuario de una tasa de transferencia a otra (de 16 Kbps u 8Kbps a 64 Kbps, función rate adapter). Esto significa que un enlace de 2,048Mbps (E1, o 32 canales de 64 Kbps, 30 de los cuales son para el uso de la red) entre el BSC y la TRAU es capaz de transmitir 120 canales de 16 Kbps los cuales son recibidos por la TRAU y convertidos en 120 canales de 64Kbps distribuidos en 4 enlaces de 2,048 Mbps hacia la MSC.

Nótese que si se ubicase la TRAU del lado de la BTS o el BSC se requerirían de un mayor número de enlaces de transmisión. La figura 1.10 muestra las posibles ubicaciones de la TRAU.

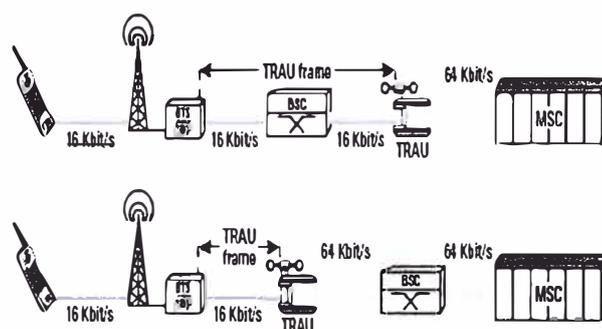


Figura 1.10 .Posibles ubicaciones de la TRAU.

Por lo anterior la opción de ubicar la TRAU del lado de la MSC es usada frecuentemente sacando provecho así de la característica de compresión de la TRAU.

Dado que el formato de la información en el lado de la MSC es diferente del formato del lado del BSC la TRAU debe realizar además la función de transcodificación esto es decodificar la información proveniente del BSC (MSC) para luego codificarla para transmitirla hacia la MSC (BSC).

La TRAU independientemente de donde sea ubicado, por su funcionalidad es considerado como parte de la BSS y la razón para manifestar lo anterior es la siguiente.

Ambos BTS y TRAU tienen una interfase para la información (conversación) del suscriptor (payload) que es transparente para el BSC, dicha información (conversación) del suscriptor es formateada en tramas TRAU las cuales transparentemente son enviadas sobre los enlaces PCM entre la TRAU y la BTS en ciclos de 20 ms. Lo anterior es realizado tanto por la BTS como por la TRAU. Las tramas TRAU previo a su transmisión pasan por una etapa de codificación del canal.

Para las conexiones de datos la funcionalidad de compresión (rate adapter) tiene que ser desactivada en la TRAU. El tipo de conexión (datos o conversación) es comunicado a la TRAU durante la asignación del canal de tráfico en la etapa de establecimiento de la llamada. La BTS empieza a transmitir tramas TRAU en el enlace de subida inmediatamente después de recibir el mensaje de canal asignado.

Las tramas TRAU transportan información de señalización en banda, el cual es intercambiado entre la BTS-TRX y la TRAU para consolidar características de la conexión. Parte de la información del control es data de sincronización, activación/desactivación de la transmisión discontinua (discontinuous transmission: DTX) y tipo de conexión (canales de tráfico en half rate: HF-TCH o full rate: TCH-FR)

La data de señalización entre BSC y TRAU (mensajes LAPD), la comunicación entre el BSC y el NMS (OMC, a través del MSC) y data la señalización entre BSC y MSC se transmiten en timeslots de 64 Kbps sin variación en la velocidad de transmisión en el lado BSC-TRAU, es decir, esta data no está afecta por la característica de compresión realizada por la TRAU, así un canal de 64 Kbps en el enlace PCMS (enlace entre BCS y TRAU) es conmutado a un canal de 64Kbps en el enlace PCMA (enlace entre TRAU y MSC). Por lo tanto tres canales de 64 Kbps quedan vacios en el enlace PCMA.

1.4 Interfases en la red GSM.

Como se ha descrito anteriormente las distintas tareas que se llevan a cabo para el funcionamiento de la red involucran la comunicación entre los diferentes NEs de la red. Algunas de estas tareas como se ha discutido son parte del establecimiento de una

llamada (autenticación, encriptación, asignación de recursos de radio o canal de tráfico), otras se llevan a cabo durante el transcurso de la llamada (procedimientos de power control y handover en algunos casos) mientras que otras son parte de los procedimientos tales como actualización de ubicación que no están asociados a llamadas del usuario de la red. Por lo anterior dichas tareas están orientadas a la comunicación misma del usuario y/o a la realización de señalización en la red.

La señalización en una red GSM PLMN tiene 2 partes fundamentalmente diferentes: señalización específica de la red GSM dentro de la BSS incluyendo la interfase aire y señalización dentro de la NSS y entre PLMNs.

Mientras que esta última utiliza los protocolos del sistema de señalización # 7 o extensiones tales como el protocolo ISUP (ISDN User Part, el cual es usado para el establecimiento de las conexiones para el transporte de los datos del usuario por los distintos elementos de la red involucrados), o el protocolo MAP (Mobile Application Part, usado para señalización entre el MSC, HLR y VLR) o el protocolo BSSAP (BSS Application Part, para la señalización entre el MSC y la BSS), no sucede así con la primera que no utiliza protocolos del sistema # 7 por involucrar tareas específicas de una red móvil.

Así se tiene un gran número de relaciones de comunicación entre los NEs de la red para poder realizar la señalización y el transporte de los datos del usuario. Con el propósito de estandarizar y establecer una estructura simplificada de estas relaciones se establecen interfaces entre los elementos de la red. La figura 1.11 muestra las interfaces en GSM y los elementos de red asociados a cada interfase.

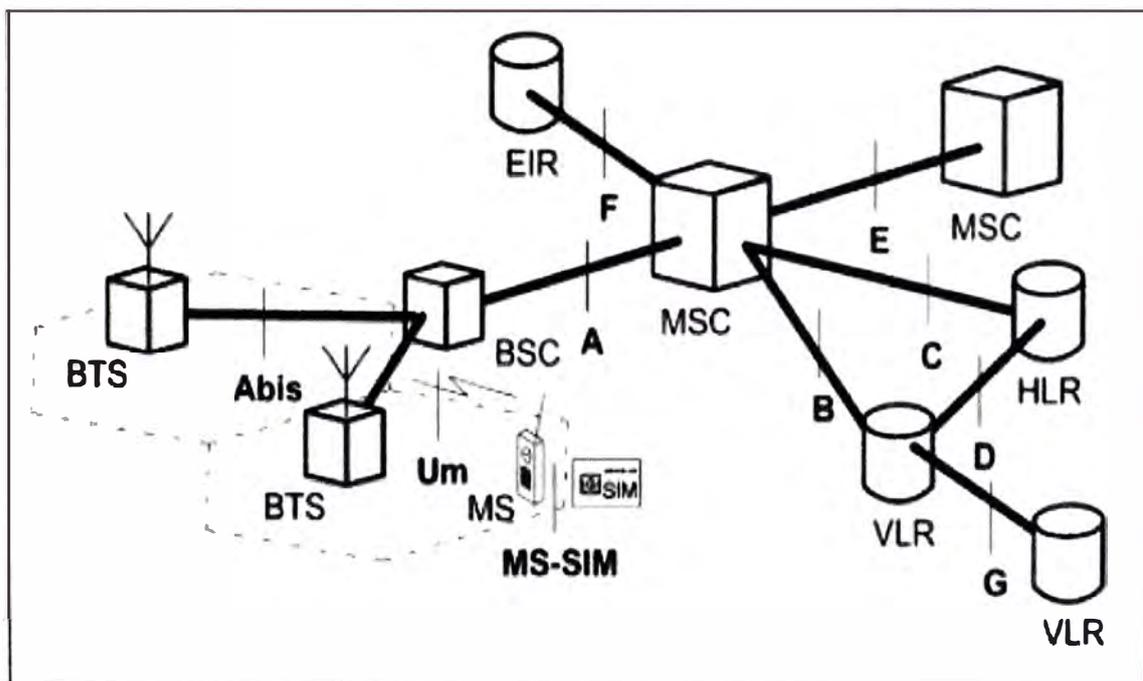


Figura 1.11 Interfaces en la red GSM.

Las interfases en GSM las podemos clasificar en tres categorías: Interfase de radio, interfases internas de la red (esta a su vez se divide en interfases en la BSS, interfases en la NSS e interfases entre la BSS y la NSS) e interfases de la red GSM con otras redes.

Interfase de radio.

Esta es la **interfase aire** (air interfase) entre la MS y la BSS o más específicamente entre la MS y la BTS. Esta interfase fue definida para garantizar la operación de cualquier MS compatible con el estándar GSM en cualquier PLMN compatible con GSM.

Las funciones más importantes implementadas en esta interfase y ejecutadas por la MS son:

Terminación del enlace radio.

Adaptación del canal y de la tasa de datos del usuario.

Gestión del canal.

Control de flujo de datos del usuario y señalización.

Encriptación de los datos del usuario.

Gestión de la movilidad

Protección contra errores.

Las funciones implementadas en esta interfase y ejecutadas por el BSS son:

Funciones de capa de enlace de datos para señalización en el enlace radio.

Funciones de establecimiento de llamada entre la MS y la BSS.

Terminación del enlace de radio.

Adaptación de la tasa de datos del usuario.

Transcodificación de la data del usuario.

Gestión del enlace radio.

Funciones de handover.

Protección contra los errores.

Interfases Internas en el BSS.

Estas son la interfase Abis, Asub y T.

Interfase Abis.

La interfase abis, es la interfase entre el BSC y la BTS a través de la cual se transfieren canales de tráfico y de control. Las funciones más importantes implementadas en esta interfase son:

Submultiplexación de los canales de tráfico, esto es, 4 canales full-rate de 16 Kbps son multiplexados en un canal de 64 Kbps u 8 canales half-rate de 8 Kbps son multiplexados en un canal de 64 Kbps.

Transferencia de tráfico de voz y datos.

Señalización entre el BSC y la BTS.

Transporte de información de sincronización hacia la BTS.

La interfase Abis tiene una capacidad de $n \times 2,048$ Mbps donde n es el número de enlaces entre el BSC y la BTS. El número máximo de n es 4, del lado de la BTS, en el caso de una BTS Siemens.

Interfase Asub.

Es la interfase entre el BSC y la TRAU a través de la cual se transfieren canales de control y tráfico. Esta interfase es denominada de esta manera ya que de este lado la TRAU administra subtimeslots de tráfico de 16 Kbps ó de 8 Kbps multiplexados en timeslots de 64 Kbps, mientras que del otro lado en el cual la TRAU está conectado al MSC (Interfase A) administra timeslots de 64 Kbps.

La señalización entre BSC y MSC, entre BSC y TRAU y la comunicación entre el BSC y la NMS utilizan timeslots de 64 Kbps en uno o ambos lados de la TRAU según corresponda los cuales no son procesados por esta.

La interfase Asub está basada en el estándar de transmisión PCM (ITU-T G.703).

Interfase T.

Es la interfase entre la BSS y el terminal de mantenimiento local (Local Maintenance Terminal: LMT). Por lo anterior cada elemento de la BSS: BTS, BSC y TRAU cuenta con un puerto de acceso local para el control y monitoreo de cada uno de estos por el LMT. Por lo general una computadora portátil con el software de comunicación con los elementos de red instalado suministrado por el fabricante es un LMT. La interfase T es usada entonces para:

La conexión del LMT con la BTS, BSC o TRAU.

El control, Monitoreo y mantenimiento local de la BTS, BSC o TRAU.

Interfase entre la BSS y la NSS

Esta interfase es la **interfase A**. Generalmente esta interfase se encuentra entre la TRAU y el MSC si la TRAU se encuentra entre el BSC y el MSC, caso contrario la interfase A se encontraría entre el BSC y el MSC. La interfase A puede ser terminada en un MSC clásico o en un MSC Server (Release 4 GSM). Por esta interfase se transfieren canales de tráfico y de señalización que usa el protocolo BSSAP del sistema SS#7. Las funciones más importantes implementadas en esta interfase son:

Trafico de voz y datos.

Asignaciones de canal.

Establecimiento de las llamadas.

Gestión de la movilidad (location update).

Servicio de mensajería corta (SMS).

Señalización en multifrecuencia (DTMF).

La interfase A tiene una capacidad de $n \times 2.048$ Mbps (ITU-T G.703)

Interfases internas en el NSS

Estas interfases son:

Interfase B:

Es la interfase entre el MSC y el VLR. Puesto que por lo general el MSC y el VLR están integrados en una unidad física, la interfase B más que una interfase física externa, es una interfase puramente interna que emplea el protocolo MAP (SS#7). Las funciones implementadas en esta interfase son:

Autenticación de los suscriptores.

Asignación de los números de handover (Handover Number: HON).

Actualización de ubicación de los suscriptores, que consiste en la actualización de la ubicación de la MS por parte del MSC al VLR cada vez que la MS cambia de área de ubicación (Location Area: LA).

Interrogación por parte del MSC al VLR de los datos del suscriptor que se encuentra en su área administrativa durante el establecimiento de una llamada.

Interfase C.

Es la interfase entre MSC y HLR. La interfase C, a diferencia de la anterior, es una interfase física externa SS#7 que emplea el protocolo MAP y cuyas funciones son:

Interrogación del GMSC al HLR en el caso de llamada terminada en el móvil (Mobile Termination Call: MTC) para obtener información de enrutamiento (Mobile Station Roaming Number:MSRN) con el propósito de determinar el MSC en cuya área administrativa se encuentra el móvil destino de la llamada para que el GMSC enrute la llamada hacia este.

Transmisión de la información de enrutamiento por parte del HLR al GMSC durante el establecimiento de una llamada terminada en el móvil (Mobile Terminated Call: MTC).

Envío de información de cargo por el uso del servicio por parte del MSC al HLR una vez que la llamada ha finalizado y la conexión se ha liberado.

Interfase D.

Es la interfase entre el HLR y VLR. En general esta interfase es usada para el intercambio de los datos del suscriptor susceptibles a la ubicación de la MS. Al igual que la interfase C es una interfase externa SS#7 que utiliza el protocolo MAP para realizar las funciones de:

Transferencia de los parámetros de autenticación (K_c , K_i , SRES y RAND) del HLR al VLR a solicitud del VLR. El AuC que por lo general se encuentra integrado al HLR genera estos parámetros y a través del HLR envía dicha información al VLR.

Transferencia del MSRN del VLR al HLR que luego es transferido al GMSC a solicitud de este durante una llamada terminada en el móvil (Mobile Terminated Call: MTC) para enrutar la llamada al MSC adecuado.

Transferencia de la actual ubicación de la MS por parte del VLR actual (en cuya área se encuentra ahora la MS) al HLR

Transferencia por parte del HLR al VLR actual (VLR en cuya área se encuentra la MS) de todos los datos del suscriptor que son necesarios para ofrecer al suscriptor el acceso a los servicios por él contratados.

El HLR ordena al antiguo VLR (VLR en cuya área ya no se encuentra la MS) el borrado de los datos del usuario que almacena, luego que el VLR actual le haya indicado al HLR que ha procedido la actualización de ubicación.

Gestión de solicitud de servicios suplementarios por parte de la MS. El VLR actual recibe dicha solicitud y se la transfiere al HLR. Ambos proceden a actualizar los datos de servicios suplementarios.

Interfase E.

Es la interfase entre MSCs. Dicha interfase es usado para establecer una conexión desde una MSC área a otro. Comprende conexiones de canal de tráfico así como conexiones de señalización SS#7. Por lo anterior esta interfase usa tanto el protocolo ISUP (para señalización de tráfico) como el MAP (para señalización relacionada a la movilidad). Las funciones de esta interfase según el protocolo que usa son:

Con respecto a MAP:

Handover Inter MSC.

Recepción/envío de información de control de llamada desde/hacia la MS para la decisión y ejecución del handover.

Con respecto a ISUP. En los casos de una llamada terminada u originada en el móvil las funciones son:

Establecimiento de la llamada de un MSC a otro en el caso que origen y destino se encuentren en diferentes MSCs áreas.

Procedimiento de liberación de la llamada.

Interfase F.

Es la interfase externa SS#7 entre el MSC y el EIR que usa el protocolo de señalización MAP. A través de esta interfase se transmite la interrogación del VLR y posterior respuesta del EIR de la verificación de si un equipo móvil (Mobile Equipment cuyo ID es el International Mobile Identity: IMEI) que quiere acceder a la red y a sus servicios tiene autorización a dicho acceso. El parámetro a utilizar para tal verificación es el identificador del equipo móvil, es decir el IMEI.

Interfase G

Es la interfase entre las bases de datos de registros de suscriptores activos en la red (VLRs). Esta interfase es usada para la transferencia de datos del suscriptor (tal como el IMSI) entre dos VLRs durante el procedimiento de actualización de ubicación (location update). Esta interfase usa también señalización SS#7 (específicamente el protocolo Mobile Application Part: MAP). Algunas de las funciones implementadas en esta interfase son:

Transferencia del número del suscriptor (IMSI) del antiguo VLR al VLR actual requerido por este último.

Transferencia de los parámetros de autenticación del antiguo VLR al VLR actual.

Interfase H

Es la interfase entre el AuC y el HLR. Esta interfase es usada para la transferencia de los parámetros de autenticación y encriptación (denominados triplete de autenticación) por parte del AuC requerido por el VLR a través del HLR, así dichos parámetros son almacenados tanto en el HLR como en el VLR. La interrogación se realiza a través del HLR pues no existe una interfase entre el VLR y el AuC. Si bien esta interfase se menciona en el estándar de GSM, este no provee suficiente detalle para la implementación de esta interfase como independiente y externa, por tal razón los fabricantes decidieron integrar el AuC al HLR en una sola unidad física.

Interfases Externas a la Red.

Las interfases de este último tipo no están denominadas con una letra y se denominan solamente según el tipo de red externa a la cual se conecta la PLMN GSM. Las posibles interfases externas que mencionaremos (no se detallarán pues escapan a los alcances de este informe) son:

Interfase entre GSM PLMN y ISDN.

Interfase entre GSM PLMN y PSTN.

Interfase entre GSM PLMN y CSDN.

Interfase entre GSM PLMN y una red satelital.

A continuación se expondrá en detalle las características de las interfases aire y abis. Lo anterior incluye la definición del canal físico y los canales lógicos, los diferentes tipos de canales lógicos según el tipo de mensaje que contienen y el mapeo de estos canales en los canales físicos según configuraciones definidas. Estas interfases dentro del subsistema de estaciones base tienen un protagonismo importante que nos permitirá comprender de que manera se logra la comunicación entre el móvil, la estación base y el controlador de estaciones base a nivel de capa física.

1.5 Análisis de la interfase aire del subsistema de estaciones base.

Como se menciona en la sección de "Interfases en GSM", la interfase aire, es la interfase entre la estación móvil y el subsistema de estaciones base (Base Station Subsystem: BSS) o más específicamente entre la MS y la BTS. Esta interfase fue definida para garantizar la operación de cualquier MS compatible con el estándar GSM en cualquier PLMN compatible con GSM. Por lo anterior las características físicas de esta interfase son muy importantes para el éxito y la calidad de servicio de un estándar de telefonía móvil.

El sistema GSM en la interfase aire tiene varias bandas de frecuencia en las que puede operar. Así tenemos el sistema GSM 850 (que opera en la banda de 850), y otros más tales como GSM 900, GSM1800 y GSM 1900 los cuales son los sistemas GSM más conocidos. Una banda de frecuencia es un rango de frecuencias la cual a su vez está conformado por dos sub-bandas (dos sub-rangos) de frecuencia de manera que es posible una comunicación bidireccional en simultáneo. Estas sub-bandas tienen una separación de 20 MHz en la mayoría de sistemas GSM, que evita la interferencia mutua entre estas. Esta técnica de comunicación es denominada Duplexión por División de la Frecuencia (Frequency Division Duplex: FDD). Estas dos sub-bandas son denominadas: Sub-banda de Uplink: el cual es el rango de menores frecuencias de la banda. Es utilizado por las estaciones móviles para comunicarse con las estaciones base.

Sub-banda de Downlink: el cual es el rango de mayores frecuencias de la banda. Es usado por las estaciones base para comunicarse con las estaciones móviles.

La anterior designación de uso de frecuencias se fundamenta en la relación directa que existe entre la frecuencia de la señal y su atenuación. Por tanto la MS debe transmitir en una frecuencia baja de la banda de operación disponible para una mayor duración de su batería y para que a su vez la señal enviada por este sea recibida con suficiente intensidad por la BTS y pueda establecerse y mantenerse una conexión.

Cada sub-banda de Uplink y Downlink está dividida en pequeños segmentos de 200 KHz denominados portadoras de frecuencia radio (Radio Frequency Carriers: RFC). Cada portadora de frecuencia de radio en la sub-banda de uplink tiene su par en la sub-banda de downlink y dicho par se denomina Canal de Frecuencia de Radio (Radio Frequency Channel: RFC) y tiene asignado un número de canal único dentro de los sistemas GSM denominado Número de Canal de Frecuencia de Radio Absoluta (Absolute Radio Frequency Channel Number: ARFCN).

Las bandas de frecuencia, las sub-bandas que la componen (subida y bajada), el número de canales físicos y la asignación numérica de dichos canales para cada banda correspondiente a los sistemas mencionados se muestran en la tabla 1.1.

System	Band	Uplink (MHz)	Downlink (MHz)	Channel number ARFCN
GSM 850	850	824.0–849.0	869.0–894.0	128–251
GSM 900	900	890.2–914.8	935.2–959.8	1–124
Extended GSM 900	900	880.0–914.8	925.0–959.8	975–1023, 0-124
GSM 1800 (DCS)	1800	1710.2–1784.8	1805.2–1879.8	512–885
GSM 1900 (PCS)	1900	1850.0–1910.0	1930.0–1990.0	512–810

Tabla 1.1 Los sistemas GSM, sus bandas de operación y número de radio frecuencias.

1.5.1 Canal físico en GSM.

Para la comunicación entre la BTS y la MS estos hacen uso de un RFC, es decir la MS se comunica con la BTS haciendo uso del canal de 200 KHz en la sub-banda de uplink mientras que la BTS hace lo propio haciendo uso del canal de 200 KHz par en la sub-banda de downlink. Sin embargo BTS y MS no hacen uso de un RFC durante todo el tiempo que dura la comunicación, si no que comparten el tiempo de uso de dicho RFC con otras estaciones bases y estaciones móviles que en ese momento también se comunican. Lo anterior es posible ya que un RFC (cada canal de 200 KHz en uplink y downlink) es dividido en el tiempo en ranuras de tiempo de duración de 577 μ s (time slot: TS) donde cada TS de una RFC es denominado un canal físico. Esta cadena de TSs son organizados formando una estructura de grupos repetitivos de 8 TSs consecutivos (TS0, TS1....., TS7) denominados Tramas TDMA. De esta manera una RFC puede ser usada para 8 comunicaciones (BTS-MS) en simultáneo como máximo.

Aun más es posible dividir un TS en dos sub ranuras de tiempo y por tanto la capacidad de más conexiones simultáneas para la transferencia de tráfico de usuario haciendo uso de un RFC se duplica.

Dividir una banda de frecuencias (uplink+downlink) en canales de radio (RFCs) (Acceso Múltiple por División de la Frecuencia, Frequency Division Multiple Access: FDMA) y que además cada uno de estos RFC sea dividido en ranuras de tiempo (Acceso Múltiple por División del Tiempo, Time Division Multiple Access: TDMA) nos da la posibilidad de hacer un uso eficiente de los recursos de radio disponibles para permitir múltiples comunicaciones en el que se hacen uso de las RFCs disponibles en simultaneo y a su vez cada RFC se comparte en el tiempo para permitir mas comunicaciones simultáneas.

La figura 1.12 muestra múltiples comunicaciones haciendo uso de las técnicas de FDMA y TDMA.

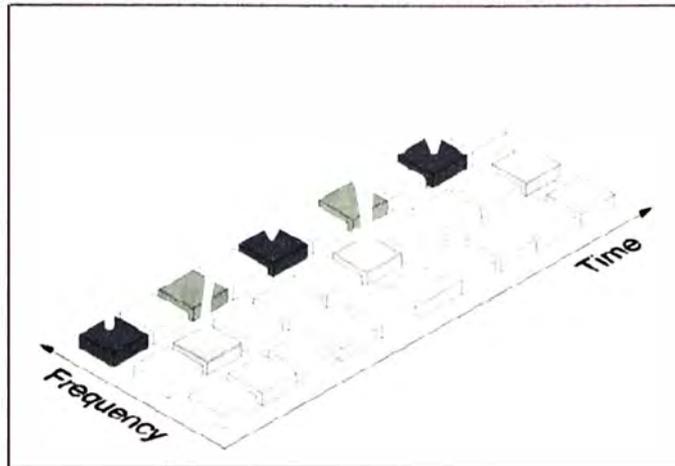


Figura 1.12 Canales TDMA en portadoras de frecuencia múltiple.

Por lo anterior GSM utiliza en la interfase aire un esquema de acceso que es la combinación de los Accesos Múltiples por División de Frecuencia y de Tiempo, es decir, FDMA y TDMA. Así se tiene una estructura de canal bidimensional (en tiempo y frecuencia).

En la interfase aire en GSM la comunicación entre MS y BTS, ya sea para el uso de los servicios de la red por el suscriptor y para la ejecución de tareas para el normal funcionamiento de la red, se realizan por medio de la transmisión/recepción de ráfagas (burst) de bits. Desde un punto de vista físico una ráfaga de bits es un impulso de señal en un canal de frecuencia de radio en una ranura de tiempo, así, una ráfaga de bits tiene una duración de $577 \mu\text{s}$. La figura 1.13 muestra las características de una ráfaga en GSM.

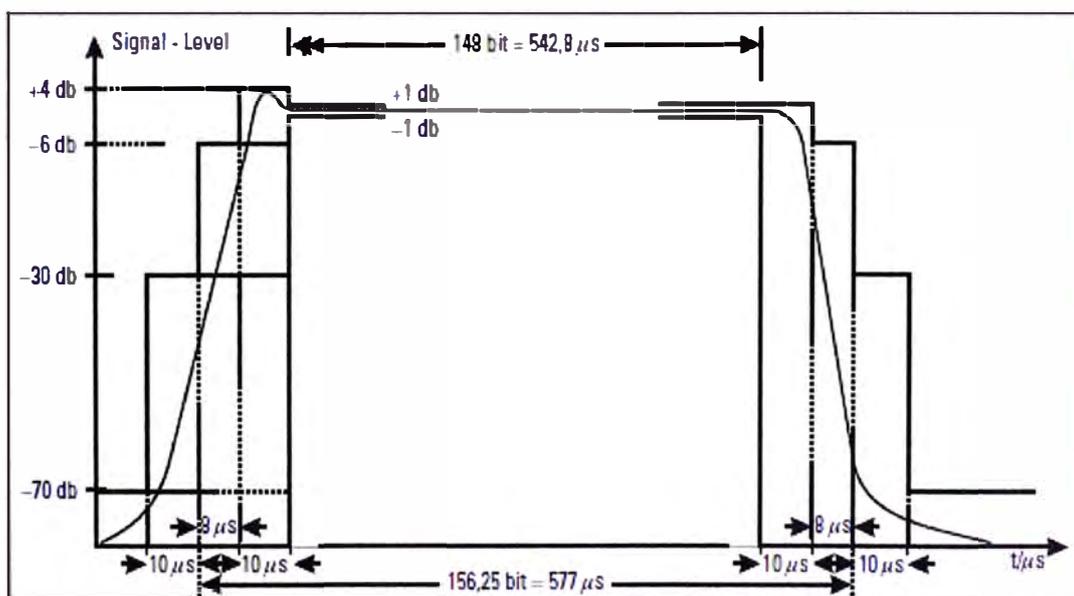


Figura 1.13. Características, duración y niveles de potencia de una ráfaga en GSM.

Diferentes tipos de ráfagas de bits, las cuales tienen la misma longitud pero diferente estructura se han definido para la realización de las varias tareas que se llevan a cabo entre BTS y MS, las cuales son:

Ráfaga Ordinaria (Normal Burst): esta ráfaga es usada para casi todos los tipos de transmisión de datos de todos los tipos de canal con las excepciones de transmisión de solicitud de canal de acceso por la MS (para cuando este inicie el establecimiento de una llamada, requiera la ejecución de una actualización de ubicación o cuando requiera la ejecución de handover, etc.) y transmisión de datos de sincronización, los cuales son enviados por las ráfagas de acceso y sincronización respectivamente. El resto de datos correspondiente a canales de tráfico, de control dedicado y control común tanto en uplink como en downlink son transmitidos mediante ráfagas ordinarias.

Ráfaga de Sincronización (Synchronization Burst): Esta es usada por la BTS para transmitir información del canal de sincronización (Synchronization Channel: SCH) hacia los MSs. Es decir, esta ráfaga contiene información tales como el número de la trama TDMA que se transmite y contiene el TS en el que se transmite esta ráfaga y el código de identificación de la estación base (Base Station Identity Code: BSIC) que permite que la MS se sincronice con la BTS tanto a nivel de bits como a nivel de estructura de tramas TDMA.

Ráfaga de Acceso (Access Burst): Es usada por una MS cuando esta requiera de la asignación de un canal de control (Standalone Dedicated Control Channel: SDCCH) para iniciar el establecimiento de una llamada, requiera la ejecución de una actualización de ubicación o cuando requiera la ejecución de handover. Por lo anterior esta ráfaga es solo usada en el enlace de subida (uplink).

Ráfaga de Corrección de la Frecuencia (Frequency Correction Burst): Esta ráfaga transmitida por la BTS contiene información del canal de corrección de frecuencia (Frequency Correction Channel: FCCH), es decir, los 146 bits de datos son todos ceros y esta secuencia de ceros a la entrada del modulador GMSK produce siempre una señal de frecuencia constante que se encuentra 67.7 KHz por encima de la frecuencia cuya señal transmite el canal BCCH). Por lo tanto esta señal permite que los MSs que la reciben se sintonicen con la frecuencia BCCH y así dichos MSs serán capaces de recibir las próximas ráfagas transmitidas por la BTS tales como las ráfagas de sincronización (que se transmiten también en la frecuencia BCCH)

Ráfaga de Relleno (Dummy Burst): La señal con frecuencia BCCH tiene siempre que transmitirse con nivel de potencia constante, es decir para esta señal no está permitido el uso del control de potencia en ninguna ranura de tiempo. Esto significa que siempre las ranuras de tiempo de la frecuencia BCCH deben estar ocupadas por lo tanto en caso

ninguna ráfaga se transmita en el enlace de bajada (downlink), la BTS transmitirá una ráfaga de relleno. De esta manera es posible que la MS realice la medición de los niveles de las señales con frecuencia BCCH diferentes lo cual resulta útil al momento de elegir la celda mejor servidora (cuando la MS se encuentra en modo libre o desocupado: Idle Mode) o cuando sea necesario ejecutar un handover (cuando la MS este en movimiento y cursando una llamada).

La figura 1.14 muestra los formatos de las ráfagas explicadas.

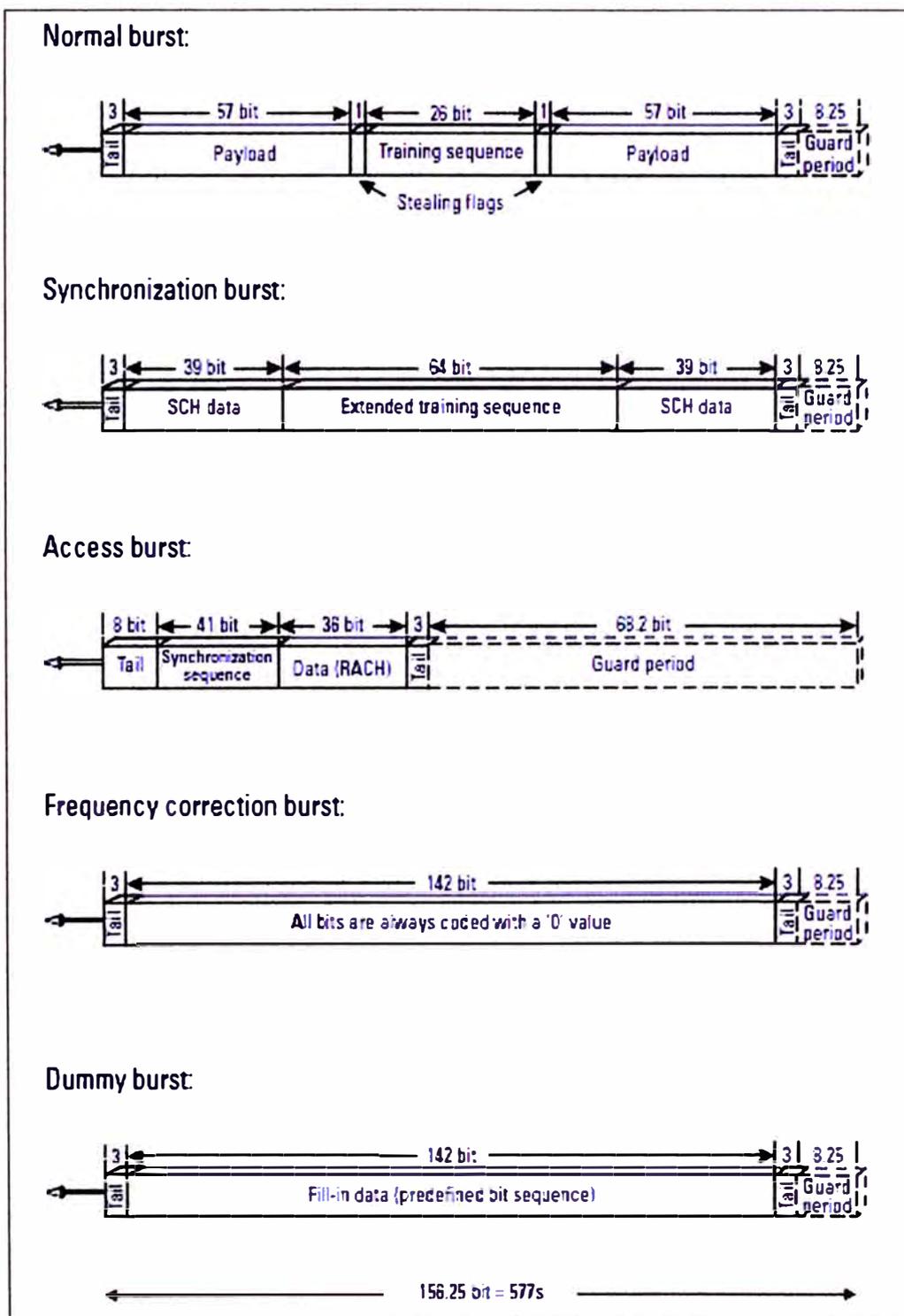


Figura 1.14 Tipos de ráfagas y sus formatos.

Como se menciono líneas arriba las ranuras de tiempo (TSs) en un RFC se encuentran organizadas formando una estructura de tramas de TDMA compuestas de 8 TSs consecutivas. Además se definen multitramas (multitrama-26 y multitrama-51), supertramas e hipertramas que establecen una estructura jerarquizada de la trama TDMA en el que la mínima unidad es la ranura de tiempo o canal físico ya definido.

Una multitrama-26 consiste de 26 tramas TDMA consecutivas, cuyas ranuras de tiempo (canales físicos) transportan en cierta combinación solamente canales lógicos de tráfico (Traffic Channel: TCH) y de control asociado (Slow Associated Control Channel: SACCH). Por lo anterior una multitrama-26 tiene una duración de 120 ms.

Una multitrama-51 consiste de 51 tramas TDMA consecutivas, cuyas ranuras de tiempo (canales físicos) transportan en ciertas combinaciones solamente canales lógicos de señalización. Por lo anterior una multitrama-51 tiene una duración de 235.8 ms.

De las definiciones anteriores se definen una supertrama la cual está compuesta de 51 multitramas-26 o de 26 multitramas-51 y por tanto tiene una duración de 6 seg 120 mseg; y una hipertrama la cual se compone de 2048 supertramas y por lo tanto tiene una duración de 3h 28min 53seg 760 ms.

La estructura jerarquizada de las tramas TDMA es usada para la sincronización entre BTS y MS, el mapeo de los canales lógicos en los canales físicos y para el cifrado. La figura 1.15 muestra los diferentes niveles de la jerarquía de tramas.

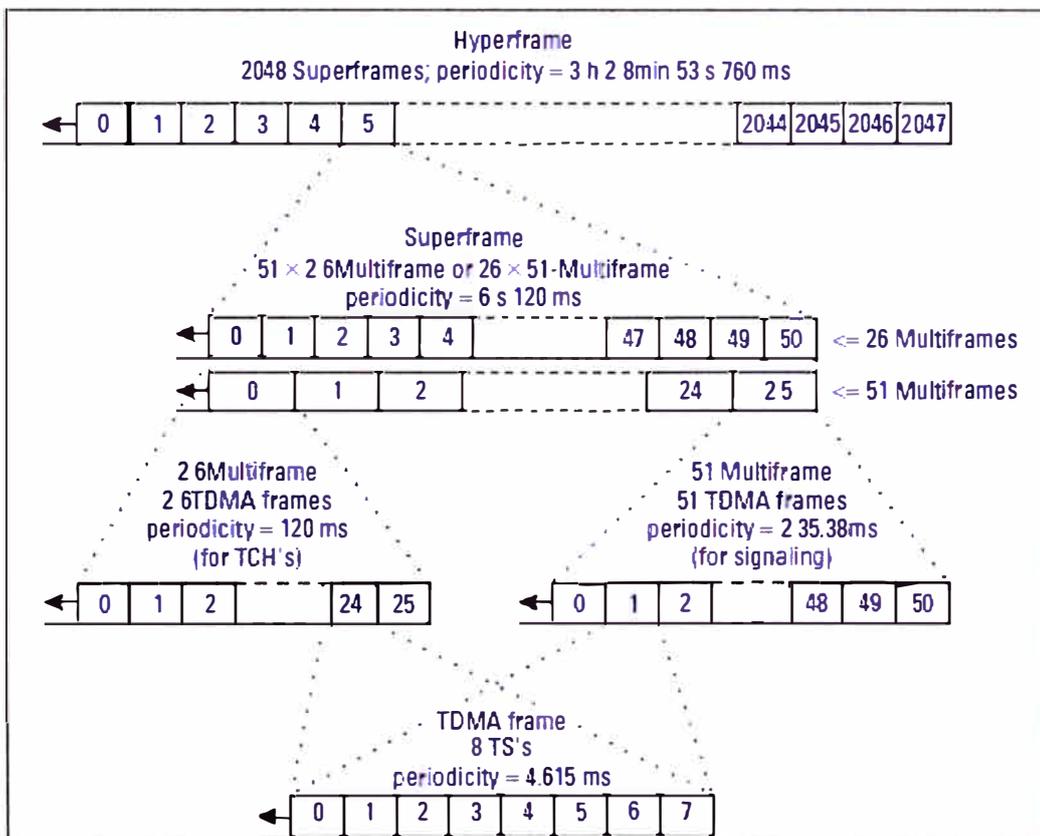


Figura 1.15 Jerarquía de tramas en la interfase aire en GSM.

1.5.2 Canales lógicos en GSM.

Un canal lógico se transporta en un canal físico. Un canal lógico contiene determinada información para realizar una tarea específica ya sea por parte de la MS o de la red durante una comunicación entre ellos. Puesto que numerosas tareas se llevan a cabo entre la MS y la red, se definen y clasifican los canales lógicos de la siguiente manera. Los canales lógicos se clasifican en canales de tráfico y canales de control. Mientras que los canales de tráfico contienen datos de conversación del usuario, los canales de control contienen información de señalización asociada a las tareas antes durante y después de una llamada o contienen información de señalización asociada al funcionamiento de la red. A su vez cada grupo de canales de tráfico y de control se clasifica según se muestra en la figura 1.16.

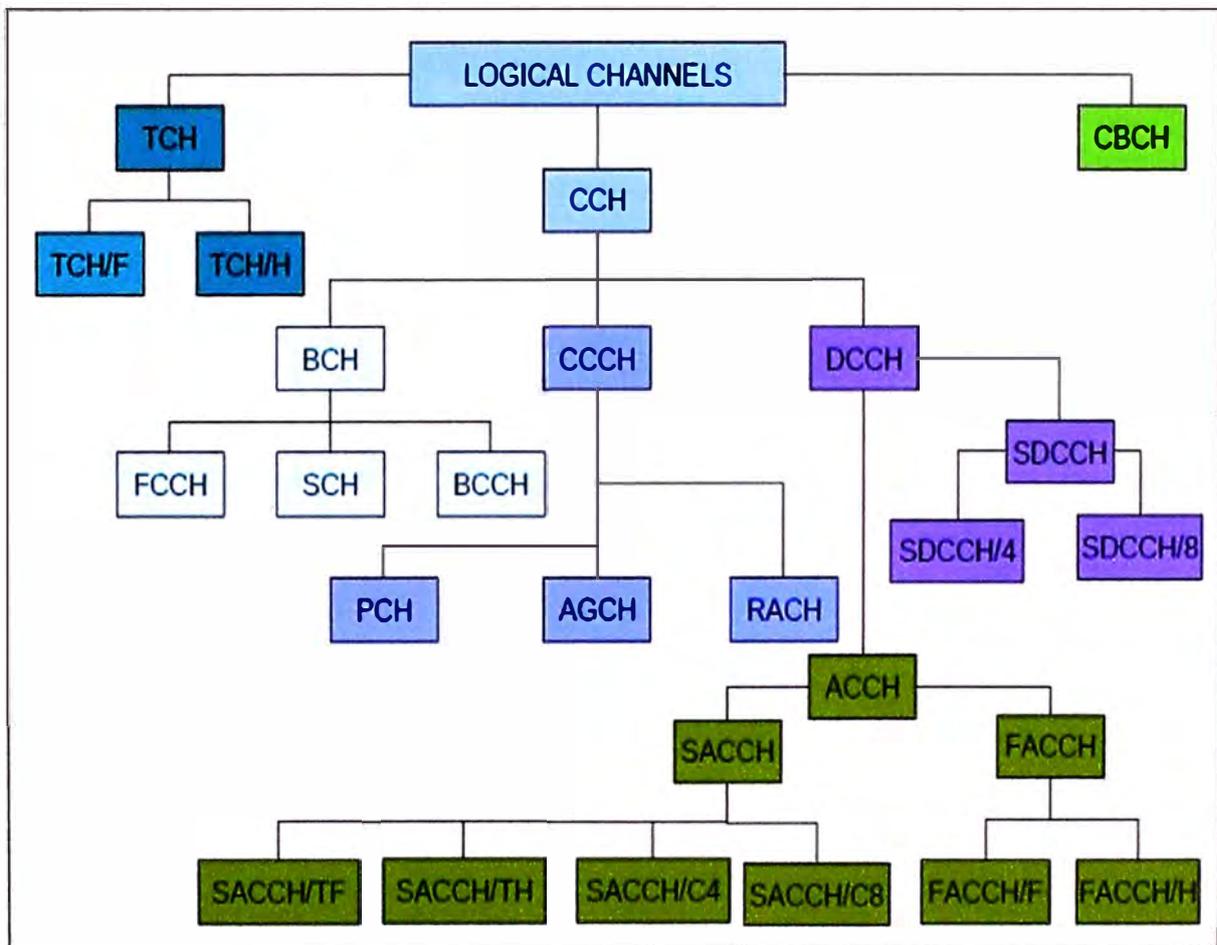


Figura 1.16 Tipos de canales lógicos y su clasificación.

Canales de tráfico (Traffic Channel: TCH).

Canal de Tráfico / Tasa Completa (Traffic Channel Full Rate: TCH/FR). Contiene data de conversación del usuario los cuales se transmiten a una tasa transferencia neta de 13 Kbps siendo la tasa total de 16 Kbps (los 3 Kbps adicionales corresponden a data adicional propia de la codificación de la data previo a su transmisión).

Canal de Tráfico/ Media Tasa (Traffic Channel Half Rate: TCH/HR). Contiene data de conversación del usuario los cuales se transmiten a una tasa transferencia neta de 5.6 Kbps siendo la tasa total de 8 Kbps (los 2.4 Kbps adicionales corresponden a data adicional propia de la codificación de la data previo a su transmisión).

Los canales de control broadcast (Broadcast Control Channel: BCCH) son transmitidos en el enlace de bajada. Es decir son transmitidos por la BTS hacia las estaciones móviles. Los canales que se encuentran dentro de esta categoría son:

Canal de Corrección de Frecuencia (Frequency Correction Channel: FCCH). La información contenida en este canal y transportado en el TS 0 en la frecuencia BCCH permite al MS identificar y sintonizarse a dicha frecuencia, cuya señal es transmitida por la BTS en el sector donde se encuentra la MS. Después del envío del FCCH un SCH debe ser enviado para proceder con la sincronización.

Canal de Sincronización (Synchronization Channel: SCH). Este canal también es transportado en el TS 0 de la frecuencia BCCH en la trama TDMA que sigue a la trama que transmitió el FCCH, la cual contiene el código de identificación de la estación base (BSIC) y el número de trama TDMA que se transmite en ese instante. Con esta información la MS puede sincronizarse a nivel de bit y de tramas con la BTS en cuya área de cobertura se encuentra.

Canal de Broadcast de la Celda (Cell Broadcast Channel: CBCH). Canal que contiene información de interés general transmitidos en broadcast para las estaciones móviles. La transmisión de este canal es opcional y si el operador decide incluirlo este utiliza uno de los TSs asignados para la transmisión del SDCCH en el enlace de bajada.

Canal de Control Broadcast (Broadcast Control Channel: BCCH). Es un canal de control definido para cada sector en una celda, transmitido por la BTS en el sector el cual informa a las MSs que se encuentran en este de varios parámetros del sector y de la celda en general tales como el identificador de área de ubicación (LAI= MCC+MNC+LAC), el identificador del sector (Cell Identifier: CI), los RFCs usados por la BTS en el sector donde está ubicado la MS, en los otros sectores, los RFCs de los sectores vecinos de las celdas adyacentes y el número de secuencia del salto de frecuencia. Además este canal contiene información del orden en que los canales lógicos usan un TS determinado en la tramas TDMA consecutivas. El RFC en cuya ranura de tiempo (por lo general TS0) transporta el BCCH es denominado frecuencia de faro o frecuencia BCCH.

Los canales de control común (Common Control Channel: CCCH) son canales transmitidos en una sola dirección, es decir algunos son transmitidos solo en el enlace de bajada mientras que otros son transmitidos en el enlace de subida. Los canales que se encuentran dentro de esta categoría son:

Canal de Búsqueda (Paging Control Channel: PCH). El cual es transmitido en el enlace de bajada en broadcast en un área de ubicación (LA) específica para ubicar a una MS (que se encuentra en dicho LA) cuando este es el destino de una llamada.

Canal de Acceso Concedido (Access Grant Channel: AGCH). También es transmitido en el enlace de bajada para un MS específico con el propósito de asignarle un SDCCH.

Canal de Acceso Aleatorio (Random Access Channel: RACH). Este canal es transmitido en el enlace de subida, es decir, es usado por la MS cuando este requiere de un canal dedicado ya sea cuando es parte de una llamada (origen o destino) o cuando requiere que la red actualice su área de ubicación.

Los canales de control dedicado (Dedicated Control Channel: DCCH) estos canales son usados tanto por la BTS como por la MS, por tanto son canales de transmisión bidireccional. Este grupo está compuesto por el canal dedicado único no asociado y dos canales de control asociados. Los canales que se encuentran dentro de esta categoría son:

Canal de Control Dedicado Único (Standalone Dedicated Control Channel: SDCCH). Este es un canal de señalización dedicado punto a punto el cual no está asociado a la presencia de un canal de tráfico, por esta razón se denomina "stand-alone". Este canal es usado para llevar a cabo tareas de señalización (tales como actualización de ubicación y establecimiento de una llamada) entre la MS y la red cuando no hay una conexión activa previa. En este escenario este canal es solicitado por la MS haciendo uso del RACH y la red (específicamente el BSC) responde a la petición haciendo uso del AGCH asignando el canal. Después de realizada la señalización que requirió el uso del SDCCH este es liberado y asignado a otro MS que lo requiera.

Canal de Control Asociado Lento (Slow Associated Control Channel: SACCH): Este canal siempre se asocia con un canal de tráfico y/o con un canal SDCCH. Este canal contiene información importante para una óptima operación de la interfase radio, es decir, contiene comandos de sincronización, de control de potencia de transmisión y contiene medidas de niveles de intensidad de señal y calidad de señal recibidas.

Canal de Control Asociado Rápido (Fast Associated Control Channel: FACCH). Este canal está siempre asociado a un TCH y es usado para la transmisión de datos de señalización en el momento en que se requiera (por ejemplo en el caso de información relacionada a la ejecución de handover, lo cual puede ocurrir de manera inesperada cuando la MS se mueve de una celda a otra) después de establecerse una llamada, cuando el SDCCH ya ha sido liberado. Por esta razón este canal es denominado de asociación rápida a diferencia de SACCH el cual es usado periódicamente según la estructura de organización (mapeo) de los canales lógicos en los canales físicos. Lo

anterior es posible ya que el FACCH para transportarse roba el canal físico asignado a un TCH por un corto tiempo (TSs en tramas TDMA consecutivas). La MS o BTS que en ese instante espera recibir un TCH distingue que es un canal FACCH identificando valores que indican lo anterior en los campos banderas de robo en la ráfaga ordinaria (que se usa para transportar TCH, FACCH, SDCCH y SACCH)

Los canales lógicos de control pueden transportarse usando el mismo TS (por lo general el TS 0 y TS 1) de la frecuencia BCCH, es decir, los canales lógicos utilizaran dicho TS presente en las tramas TDMA consecutivas siguiendo una configuración de orden de uso del TS. Lo anterior es posible pues no se requiere que los canales lógicos se estén transmitiendo permanentemente si no de tiempo en tiempo dejando disponible el TS en ciertas tramas TDMA.

Tener en consideración que una configuración de los canales lógicos está relacionado a un TS y no a todos los TSs de la trama. Además no es posible combinar TCHs con SDCCHs, por lo tanto se hace necesario en ciertos casos que un TS sea sacrificado para permitir SDCCHs adicionales. Las figuras 1.17 y 1.18 muestran una configuración de los canales para los 8 TS de la frecuencia BCCH tanto en el enlace de subida como en el enlace de bajada. Note que para las configuraciones (para ambos enlaces de subida y bajada) en los TS 0 y TS 1 se usa una multitrama-51 mientras que para el resto de TSs se usa una multitrama-26 la cual se repite dos veces.

Observe que el TS 0 de la primera trama transmite el FCCH en el enlace de bajada para permitir como primer paso que la MS se sintonice con la frecuencia BCCH. A continuación el TS 0 de la segunda trama transmite el SCH que permitirá al MS sincronizarse con la BTS que transmite las tramas tanto a nivel de bits como a nivel de tramas pues el SCH transmite el numero de trama que se está transmitiendo además de indicar la secuencia de transmisión de los canales de control, esto es, la configuración de los canales sobre un TS (TS 0 o TS 1). Solo a partir de este punto la MS puede comunicarse con la BTS para a continuación poder recibir en el momento preciso la información del BCCH y luego la información de los demás canales según la secuencia que la MS ya conoce. Como puede notarse en la configuración en el enlace de bajada se tiene un solo bloque de 4 tramas TDMA consecutivas en el que el BCCH puede hacer uso del TS 0 y este canal tendrá que esperar la siguiente multitrama-51 para volver a transmitir su información. Recuerde que dicha información le permite saber al MS de todo el detalle necesario acerca de la configuración del canal, la cual incluye el numero de trama en que el canal PCH transmite un mensaje de búsqueda además de los números de las tramas en que se puede transmitir un mensaje RACH de solicitud de canal SDCCH en el enlace de subida.

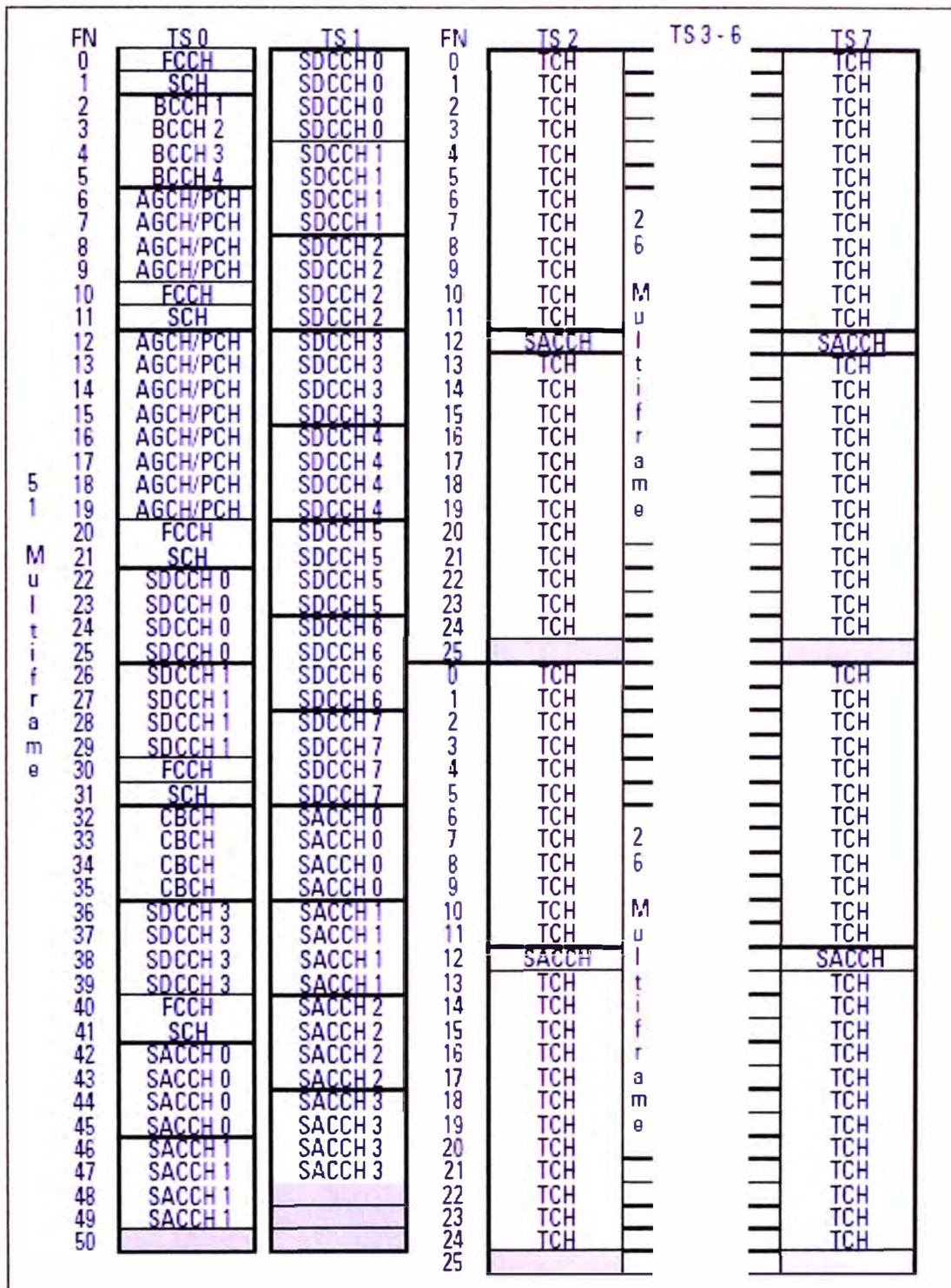


Figura 1.17 Configuración de las tramas TDMA para el enlace de bajada.

La configuración presente en ambos enlaces contiene 11 bloques de canales SDCCH 3 en el TS 0 y 8 en el TS1. Observe también la ausencia del bloque SDCCH 2 cuyo espacio de tiempo es usado en este caso por el canal CBCH. También en ambos enlaces en los TS 2 hasta el TS7 están dispuestos TCH/FR.

Los TSs sombreados en ciertas tramas TDMA no se usan, es decir, no transportan información de canales lógicos.

Es importante comprender que durante una llamada la MS enviara a la BTS los datos de conversaci3n del usuario A peri3dicamente, es decir en las tramas consecutivas en un TS determinado, y la BTS transmitir3 la conversaci3n del otro usuario B hacia la MS del usuario A en el mismo TS en el enlace de bajada.

FN	TS 0	TS 1	FN	TS 2	TS 3 - 6	TS 7
0	SDCCH 3	SACCH 1	0	TCH		TCH
1	SDCCH 3	SACCH 1	1	TCH		TCH
2	SDCCH 3	SACCH 1	2	TCH		TCH
3	SDCCH 3	SACCH 1	3	TCH		TCH
4	RACH	SACCH 2	4	TCH		TCH
5	RACH	SACCH 2	5	TCH		TCH
6	SACCH 2	SACCH 2	6	TCH		TCH
7	SACCH 2	SACCH 2	7	TCH	2	TCH
8	SACCH 2	SACCH 3	8	TCH	6	TCH
9	SACCH 2	SACCH 3	9	TCH		TCH
10	SACCH 3	SACCH 3	10	TCH	M	TCH
11	SACCH 3	SACCH 3	11	TCH	u	TCH
12	SACCH 3		12	SACCH	l	SACCH
13	SACCH 3		13	TCH	t	TCH
14	RACH		14	TCH	i	TCH
15	RACH	SDCCH 0	15	TCH	f	TCH
16	RACH	SDCCH 0	16	TCH	r	TCH
17	RACH	SDCCH 0	17	TCH	a	TCH
18	RACH	SDCCH 0	18	TCH	m	TCH
19	RACH	SDCCH 1	19	TCH	e	TCH
20	RACH	SDCCH 1	20	TCH		TCH
21	RACH	SDCCH 1	21	TCH		TCH
22	RACH	SDCCH 1	22	TCH		TCH
23	RACH	SDCCH 2	23	TCH		TCH
24	RACH	SDCCH 2	24	TCH		TCH
25	RACH	SDCCH 2	25			
26	RACH	SDCCH 2	0	TCH		TCH
27	RACH	SDCCH 3	1	TCH		TCH
28	RACH	SDCCH 3	2	TCH		TCH
29	RACH	SDCCH 3	3	TCH		TCH
30	RACH	SDCCH 3	4	TCH		TCH
31	RACH	SDCCH 4	5	TCH		TCH
32	RACH	SDCCH 4	6	TCH		TCH
33	RACH	SDCCH 4	7	TCH	2	TCH
34	RACH	SDCCH 4	8	TCH	6	TCH
35	RACH	SDCCH 5	9	TCH		TCH
36	RACH	SDCCH 5	10	TCH	M	TCH
37	SDCCH 0	SDCCH 5	11	TCH	u	TCH
38	SDCCH 0	SDCCH 5	12	SACCH	l	SACCH
39	SDCCH 0	SDCCH 6	13	TCH	t	TCH
40	SDCCH 0	SDCCH 6	14	TCH	i	TCH
41	SDCCH 1	SDCCH 6	15	TCH	f	TCH
42	SDCCH 1	SDCCH 6	16	TCH	r	TCH
43	SDCCH 1	SDCCH 7	17	TCH	a	TCH
44	SDCCH 1	SDCCH 7	18	TCH	m	TCH
45	RACH	SDCCH 7	19	TCH	e	TCH
46	RACH	SDCCH 7	20	TCH		TCH
47		SACCH 0	21	TCH		TCH
48		SACCH 0	22	TCH		TCH
49		SACCH 0	23	TCH		TCH
50		SACCH 0	24	TCH		TCH
			25			

Figura 1.18 Configuraci3n a tasa completa de las tramas TDMA en el enlace de subida.

1.6 An3lisis de la interfase abis del subsistema de estaciones base.

Es la interfase entre el BSC y la BTS a trav3s de la cual se transfieren canales de tr3fico y de control. En la capa f3sica esta interfase est3 basada en una l3nea E1 o PCM 30 (con una tasa de 2.048 Mbps, compuesto de 32 canales numerados del 0 al 31 de 64 Kbps cada uno, donde el canal 0 es usado para sincronizaci3n de la l3nea) o est3 basada

en una línea T1 o PCM 24 (con una tasa de 1.544 Mbps, compuesto de 24 canales numerados del 0 al 23 de 64 Kbps cada uno más 1 bit de sincronización de la línea).

La interfase Abis soporta:

Transferencia de tráfico de usuario de voz y datos entre la estación base (BTS) y su controladora (BSC) o más específicamente entre las radios (unidades portadoras o transceivers: TRXs) de la BTS y el BSC, donde un TRX emplea una trama TDMA compuesto por 8 TSs o canales de 16 Kbps cada uno que pueden transportar voz (Half Rate o Full Rate) o datos (tasa de bits variable) . Por lo tanto un TRX ocupa dos canales de 64 Kbps en la interfase Abis.

Señalización (protocolo LAPD) de los canales de tráfico por TRX.

Señalización (protocolo LAPD) de operación y mantenimiento para el control de la BTS por parte del BSC.

Se desprende de lo anterior que, los canales de la línea E1 (PCM 30) o T1 (PCM 24) son asignados para el transporte de:

Tráfico de voz de 16 Kbps (13+3 Kbps, full rate, así 4 canales de tráfico GSM se multiplexan en un canal de 64 Kbps de la línea) o de;

Tráfico de voz de 8 Kbps (5.6 +2.4 Kbps, half rate, así 8 canales de tráfico GSM se multiplexan en un canal de 64 Kbps de la línea), otros canales se usan para el transporte de tráfico de datos (de tasa variable tales como 2.4, 4.8, 9.6, 14.4 Kbps) y;

Señalización, donde la señalización de tráfico emplea un canal de 64 Kbps por TRX de la BTS y la señalización para el control, operación y mantenimiento (O&M) usa otro canal de 64 Kbps.

La siguiente figura 1.19 muestra las asignaciones de los canales de una línea E1 (PCM 30) en la interfase Abis según dos mapeos de canales logicos en canales fisicos. Mientras que la configuración "a" muestra el uso de los canales por los TRXs de una BTS y por las señalizaciones correspondientes (lo cual es característico de una configuración de conexión BTS-BSC de tipo estrella), la configuración "b" muestra el uso de los canales por TRXs que pertenecen a distintas BTSs y por sus señalizaciones (lo cual es característico de una configuración de conexión BTS-BSC de tipo cascada o serie en que una BTS se conecta al BSC a través de una BTS intermedia). La configuración "b" corresponde a la interfase Abis de la BTS conectada directamente al BSC.

Observe que una interfase Abis constituida por una línea E1 puede soportar hasta 10 TRXs como máximo pues 10 TRXs requieren de 20 canales de 64 Kbps, 10 canales adicionales son usados para señalización de dichos TRXs y el último canal disponible se emplea para señalización de O&M.

TS	bit								
	7	6	5	4	3	2	1	0	
0	FAS / NFAS								
1	Air 0	Air 1	Air 2	Air 3					TRX 1
2	Air 4	Air 5	Air 6	Air 7					
3	Air 0	Air 1	Air 2	Air 3					TRX 5
4	Air 4	Air 5	Air 6	Air 7					
5	Air 0	Air 1	Air 2	Air 3					TRX 2
6	Air 4	Air 5	Air 6	Air 7					
7	Air 0	Air 1	Air 2	Air 3					TRX 6
8	Air 4	Air 5	Air 6	Air 7					
9	Air 0	Air 1	Air 2	Air 3					TRX 3
10	Air 4	Air 5	Air 6	Air 7					
11	Air 0	Air 1	Air 2	Air 3					TRX 7
12	Air 4	Air 5	Air 6	Air 7					
13	Air 0	Air 1	Air 2	Air 3					TRX 4
14	Air 4	Air 5	Air 6	Air 7					
15	Air 0	Air 1	Air 2	Air 3					TRX 8
16	Air 4	Air 5	Air 6	Air 7					
17	not used								
18	not used								
19	partial O&M data								
20	not used								
21	O&M signaling								
22	TRX 8 signaling								
23	TRX 7 signaling								
24	TRX 6 signaling								
25	TRX 5 signaling								
26	not used								
27	TRX 4 signaling								
28	TRX 3 signaling								
29	TRX 2 signaling								
30	TRX 1 signaling								
31	not used								

(a)

TS	bit								
	7	6	5	4	3	2	1	0	
0	FAS / NFAS								
1	Air 0	Air 1	Air 2	Air 3					BTS 1 / TRX 1
2	Air 4	Air 5	Air 6	Air 7					
3	Air 0	Air 1	Air 2	Air 3					BTS 3 / TRX 1
4	Air 4	Air 5	Air 6	Air 7					
5	Air 0	Air 1	Air 2	Air 3					BTS 1 / TRX 2
6	Air 4	Air 5	Air 6	Air 7					
7	Air 0	Air 1	Air 2	Air 3					BTS 3 / TRX 2
8	Air 4	Air 5	Air 6	Air 7					
9	Air 0	Air 1	Air 2	Air 3					BTS 2 / TRX 1
10	Air 4	Air 5	Air 6	Air 7					
11	Air 0	Air 1	Air 2	Air 3					BTS 4 / TRX 1
12	Air 4	Air 5	Air 6	Air 7					
13	Air 0	Air 1	Air 2	Air 3					BTS 2 / TRX 2
14	Air 4	Air 5	Air 6	Air 7					
15	Air 0	Air 1	Air 2	Air 3					BTS 4 / TRX 2
16	Air 4	Air 5	Air 6	Air 7					
17	not used								
18	partial O&M data								
19	BTS 4 / TRX 2 signaling								
20	BTS 4 / TRX 1 signaling								
21	BTS 3 / TRX 2 signaling								
22	BTS 3 / TRX 1 signaling								
23	BTS 2 / TRX 2 signaling								
24	BTS 2 / TRX 1 signaling								
25	BTS 1 / TRX 2 signaling								
26	BTS 1 / TRX 1 signaling								
27	BTS 4 / O&M signaling								
28	BTS 3 / O&M signaling								
29	BTS 2 / O&M signaling								
30	BTS 1 / O&M signaling								
31	Transmission control information								

(b)

Figura 1.19 Configuración de los canales de la interfase Abis. (a) BTS en configuración estrella y (b) BTS en configuración en cascada.

CAPITULO II

ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE UNA RED GSM. DIMENSIONAMIENTO Y PLANIFICACIÓN DE LA EXTENSIÓN DE LA RED DE RADIO GSM.

El presente capítulo discute los problemas de falta de cobertura y capacidad de tráfico que se presentan en una red celular móvil sobre la cual se viene realizando un constante monitoreo y optimización del equipamiento existente en la red de acceso para aprovechar al máximo sus capacidades y características, es decir, se busca hacer un uso eficiente del mismo, pero lo anterior resulta insuficiente debido al aumento de suscriptores en áreas sin cobertura, la demanda de una mayor y mejor cobertura que ofrezca un servicio de calidad (sin cortes ni interrupciones) o debido a la demanda de una mayor capacidad de tráfico debido a su vez al desarrollo comercial de una zona con servicio. Por tanto se requiere la instalación y puesta en servicio de nuevas estaciones base para extender o mejorar la cobertura de la red o ampliar su capacidad de tráfico.

Considerar la operación de nuevas estaciones base como solución para resolver problemas de cobertura ó tráfico es la última opción debido a los costos que demanda la construcción del sitio y la instalación de la estación base, tal es así, que esta opción se toma en cuenta cuando la optimización en el área afectada haya agotado todos los recursos y funcionalidades de los equipos existentes y sus sistemas radiantes con el propósito de anular o mitigar el problema pero que debido a la explosión en la demanda de tráfico y a la demanda de una mayor cobertura la mejor solución resulta la operación de una nueva estación base en el área en cuestión.

Se expondrán casos correspondientes a problemas de cobertura y tráfico que requieren como solución la instalación de una nueva BTS, y se discutirán el dimensionamiento y planificación que se lleva a cabo relacionada a la nueva BTS con el propósito de diseñar el equipamiento con una configuración que ofrezca una solución óptima, eficiente (en términos de costo/beneficio) y con proyección a satisfacer demandas mayores de tráfico en el futuro.

Se expondrán los casos de la **BTS GOLF LA PLANICIE (ubicada en la zona de La Planicie, distrito de La Molina)** instalada y puesta en servicio con el propósito de ampliar la cobertura de la red y el caso de la **BTS PLAZA SUR (ubicada en la zona de la Urb. Matellini, distrito de Chorrillos)** instalada y puesta en servicio con el propósito de satisfacer demanda de tráfico en la red.

2.1 Análisis del desempeño de la red de acceso radio GSM.

2.1.1 Análisis del desempeño de la red de acceso radio GSM para evaluar su cobertura.

Herramientas (tales como el TornadoN, propietario de Siemens) que permiten obtener patrones de cobertura y pruebas de campo (drive test) que corroboren dichas predicciones permiten determinar la falta de adecuados niveles de señal de recepción en determinadas áreas de la red y además ofrecen una idea de las dimensiones de dichas áreas y la calidad de cobertura sobre la misma.

El incremento en los porcentajes de Indicadores de desempeño (Key Performance Indicator: KPI) tales como Falla de establecimiento de llamada (Call Setup Failure) o finalización inesperada de llamada (TCH drop) a largo plazo en dichas áreas comprueban el incremento del tráfico a tal punto considerable en estas áreas sin cobertura o con una pobre cobertura.

Sin embargo no se espera que el problema de no ofrecer servicios de red por falta de cobertura se haga evidente y que signifique notables pérdidas económicas para decidir la instalación de una nueva BTS. Se debe tener en cuenta además, que la instalación de la BTS y la construcción del sitio que lo albergara (sin considerar el tiempo que demora ubicar dicho sitio y la adquisición del mismo) demandan un tiempo promedio de 6 a 8 meses. Por lo tanto la decisión de instalar un nuevo equipo para la ampliación o mejora de la cobertura (y por lo tanto de los servicios de la red) se basa principalmente en los resultados ofrecidos por la herramienta TornadoN y el drive test y proyecciones de aumento de suscriptores en áreas que anteriormente no eran consideradas como nicho de mercado (como por ejemplo los conos de lima). Tenga en cuenta además que la provincia de Lima crece demográficamente de manera horizontal principalmente (lima se expande más allá de sus límites haciendo que los conos se conviertan en nuevos puntos de negocio) en lugar de crecer verticalmente (si bien el aumento de edificios de vivienda ha aumentado). Por tanto la ampliación y mejora de la cobertura de la red se convierte en una constante en Lima Metropolitana.

La figura 2.1 muestra el drive test realizado en la zona La Planicie, distrito de La Molina. Observe que la cobertura en la zona encerrada muestra niveles de señal de recepción que oscilan entre -85 y -105 dBm. La señal corresponde a la mejor servidora. Por tanto la señal corresponde en una parte de la trayectoria a una frecuencia en la banda de 1900 mientras que en otra corresponde a una frecuencia en la banda de 850.

Esta área si bien se encuentra rodeada por cerros y se define básicamente por la carretera corresponde a una zona residencial que demandaba tráfico tanto de voz como

de datos y por ende requería de una cobertura con niveles óptimos de recepción de señal, pues mientras la señal es más débil el ancho de banda disponible se utiliza en su mayor parte para garantizar que la data del usuario sea recibida por este, libre de errores.

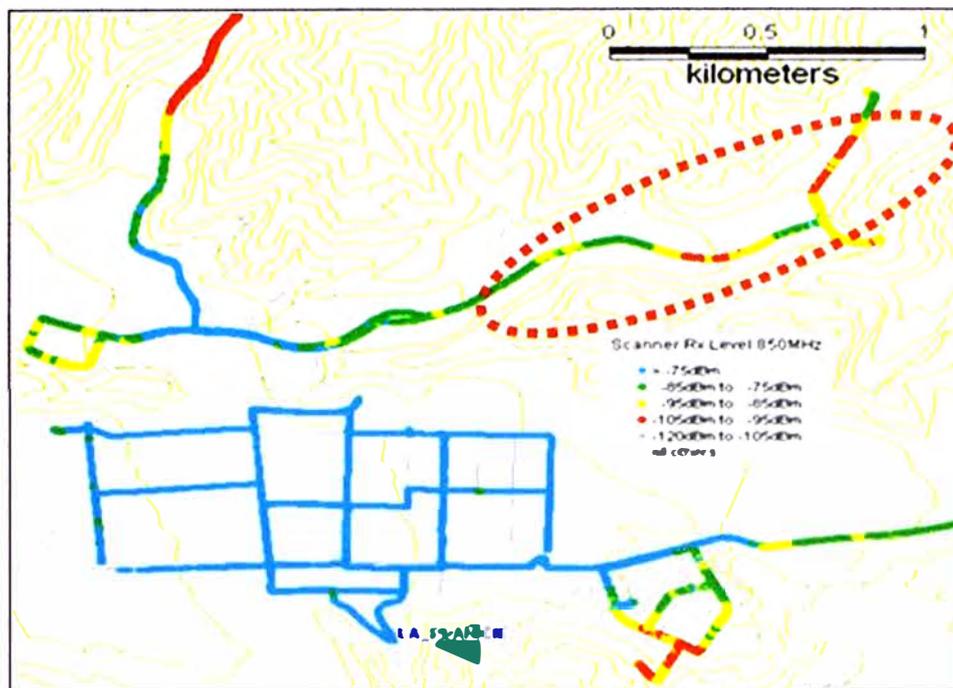


Figura 2.1 Prueba de Campo de Medida de Señal de Recepción. Zona La Planicie.

Las siguientes figuras (figuras 2.2, 2.3 y 2.4) corresponden a una vista satelital obtenida usando la herramienta Google Earth de la zona en cuestión. La vista nos muestra que zona en cuestión no es densamente urbana, no cubre grandes extensiones de área pues está rodeada por cerros y por lo tanto no presenta una alta densidad demográfica pero sin embargo el tráfico demandado por usuario es mayor al promedio.

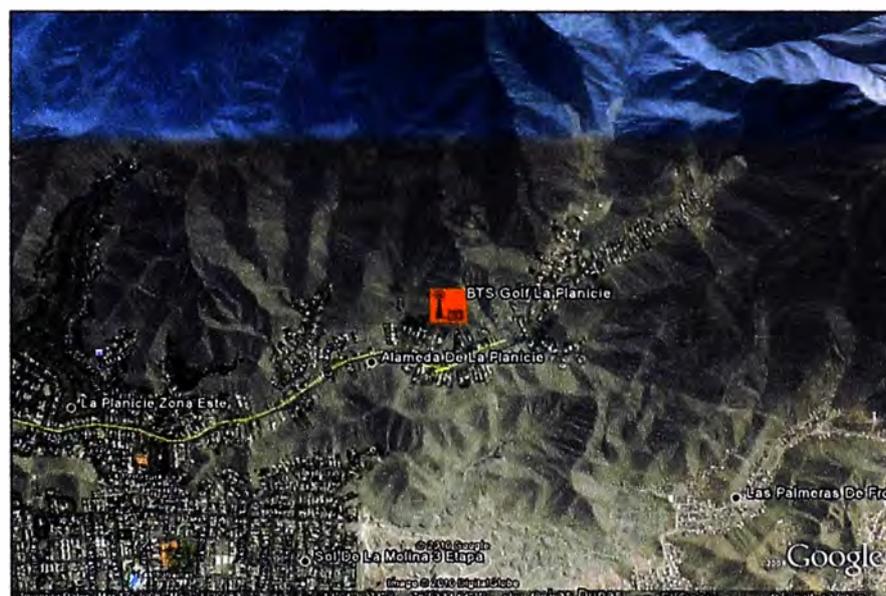


Figura 2.2. Vista satelital panorámica de la zona de La Planicie. Ubicación sitio candidato.



Figura 2.3. Vista satelital de la zona de La Planicie. Vista del área a cubrir por el segundo sector de la celda.

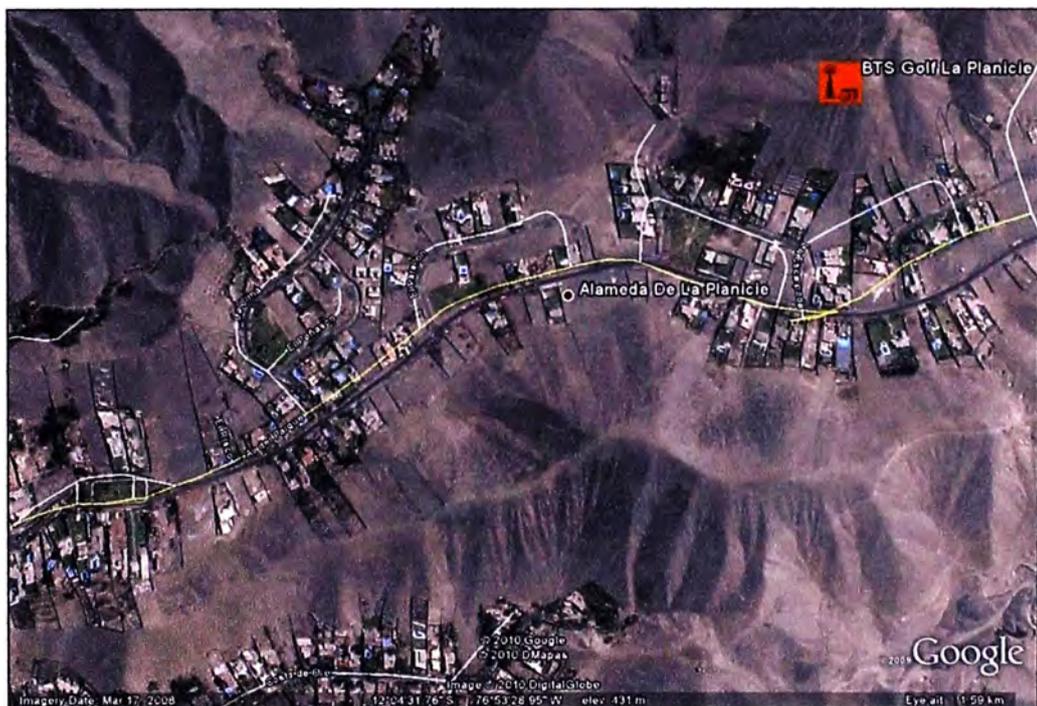


Figura 2.4. Vista satelital de la zona de La Planicie. Vista del área a cubrir por el primer sector de la celda.

Examinada la cobertura de esta zona ubicada en el límite de Lima Metropolitana queda claro que los niveles de señal de recepción no son los adecuados para las características del servicio que la zona demanda. Dada la ubicación geográfica de dicha zona no es posible intentar ofrecer cobertura a la misma por estaciones base que rodean a esta zona

pues como se menciona se encuentra en los límites del área de cobertura y por tanto dicha cobertura esta cargo de la BTS más cercana a la zona.

Se concluye el análisis anterior indicando que se hace necesario la instalación de una nueva estación base la misma que debe diseñarse considerando el comportamiento de los suscriptores de cada zona, su densidad poblacional, la morfología y topología de la misma de manera que la nueva BTS ofrezca una cobertura y capacidad en toda la zona con capacidad disponible de crecimiento de radios para tráfico futuro.

2.1.2 Análisis del desempeño de la red de acceso radio GSM para evaluar condiciones extremas de congestión en áreas de alto tráfico de la red.

Los principales Indicadores de Desempeño (KPIs) que nos permiten evaluar si la red o una determinada área de la misma experimenta congestión, son la cantidad de caída de conexiones SDCCH asociado al establecimiento de llamadas (SDCCH Drop related to Call Setup: SDCCHDropRateCS) y la tasa de bloqueo de canal de tráfico (Traffic Channel Blocking Rate: TCHBlockRate). Son estos KPIs los que nos permiten dimensionar la tasa de falla de establecimiento de llamada.

La definición de estos KPIs son las fórmulas 2.1 y 2.2 siguientes:

$$SDCCHDropCS = (ImmAssSuccCS \div ImmAssSucc) \times SDCCHDrop \quad (2.1)$$

Donde:

ImmAssSucc: Número de Asignaciones Inmediatas Exitosas

ImmAssSuccCS: Número de Asignaciones Inmediatas Exitosas relativo a Establecimiento de Llamadas.

SDCCHDrop: Número de caídas de conexiones SDCCH.

$$TCHBlock Rate = TCHLoss \div AssAtt \quad (2.2)$$

Donde:

AssAtt: Número de Intentos de Asignaciones de canal de tráfico por el MSC.

Examinaremos las estadísticas de tráfico de las celdas ubicadas en la zona de la Urbanización Matellini, distrito de Chorrillos para revisar los niveles de congestión y falla en el establecimiento de las llamadas.

Cabe mencionar que como parte de las diarias tareas de monitoreo y optimización, se examinan las estadísticas de tráfico de usuario y de tráfico de señalización por BSC y es a partir de este punto que el examen puede hacerse más específico (por ejemplo análisis de estadísticas de tráfico por BTS o por sector de la BTS) si se encontrase evidencia que

Las figuras 2.6, 2.7, 2.8 y 2.9 muestran las estadísticas de los KPIs de ratio de bloqueo de canales de tráfico y de cantidad de caídas de conexiones SDCCH de los sectores involucrados durante la hora pico (hora de mayor demanda de servicios de la red y por tanto mayor demanda de recursos de señalización y de canales de tráfico de voz y datos) por día.

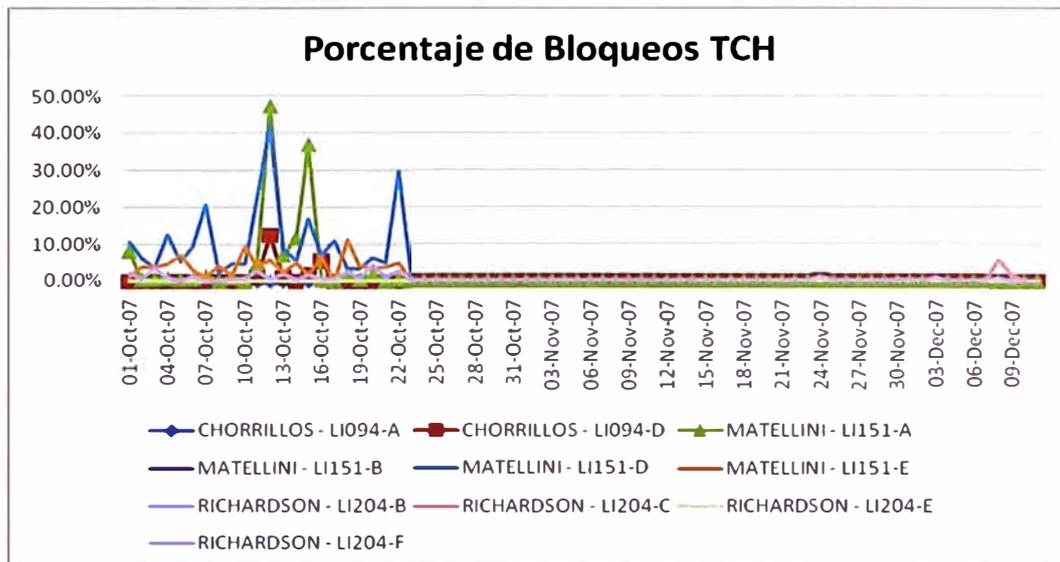


Figura 2.6 Ratio de bloqueos de canales de tráfico durante la hora pico del día.

Puede observarse que el ratio de bloqueos de canales de tráfico de usuario oscila en promedio entre el 10% y 40% llegando a alcanzar picos de bloqueo del 50% en el primer sector de la celda Matellini en la banda de 850. El porcentaje de bloqueo para la red máximo definido es del 10% de todos los intentos de llamadas. La reducción en el bloqueo en todos los sectores bajo examen corresponde a las fechas después de la puesta en comercial de la nueva BTS.

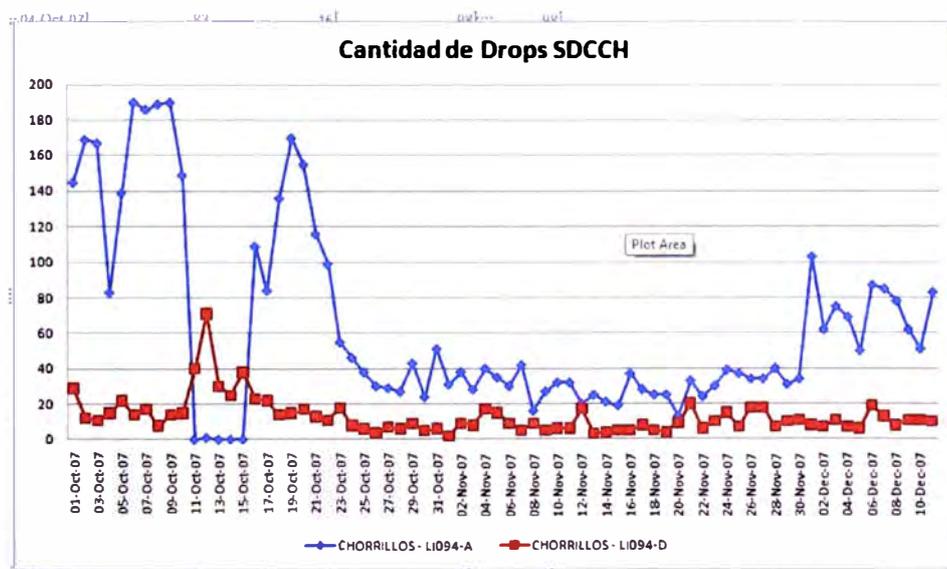


Figura 2.7 Cantidad de caídas de conexiones SDCCH relativas a establecimiento de llamada. Sector 1 Celda Chorrillos durante la hora pico del día.

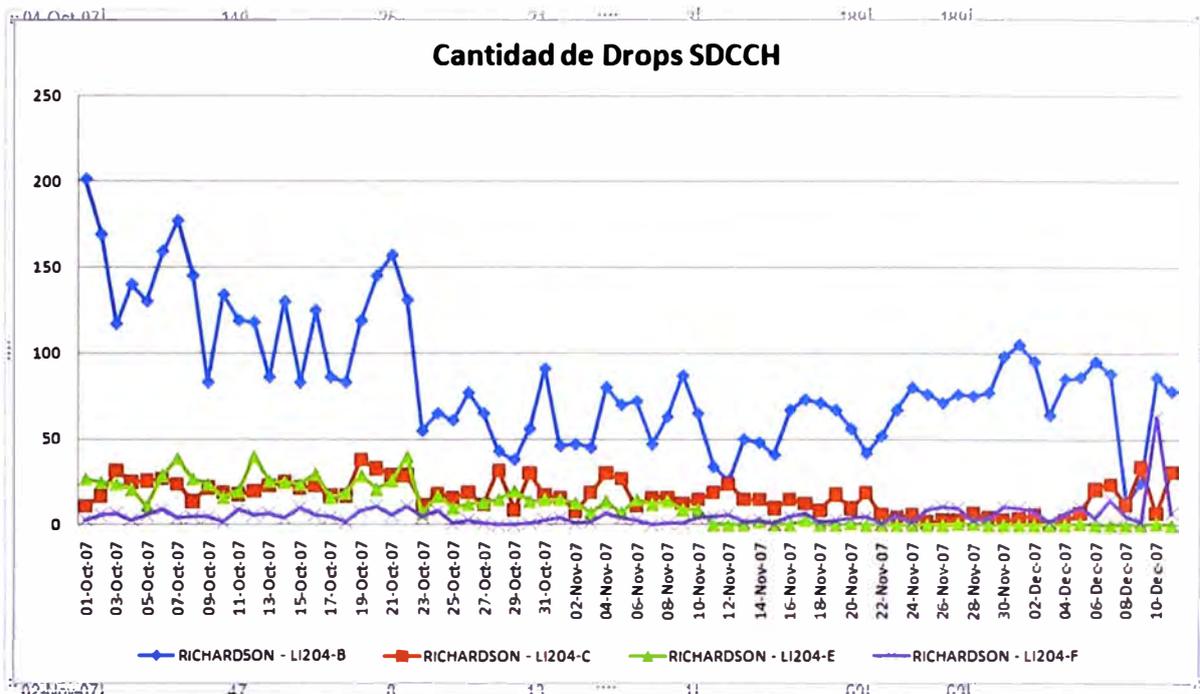


Figura 2.8 Cantidad de caídas de conexiones SDCCH relativas a establecimiento de llamada. Sectores 2 y 3 Celda Richardson durante la hora pico del día.

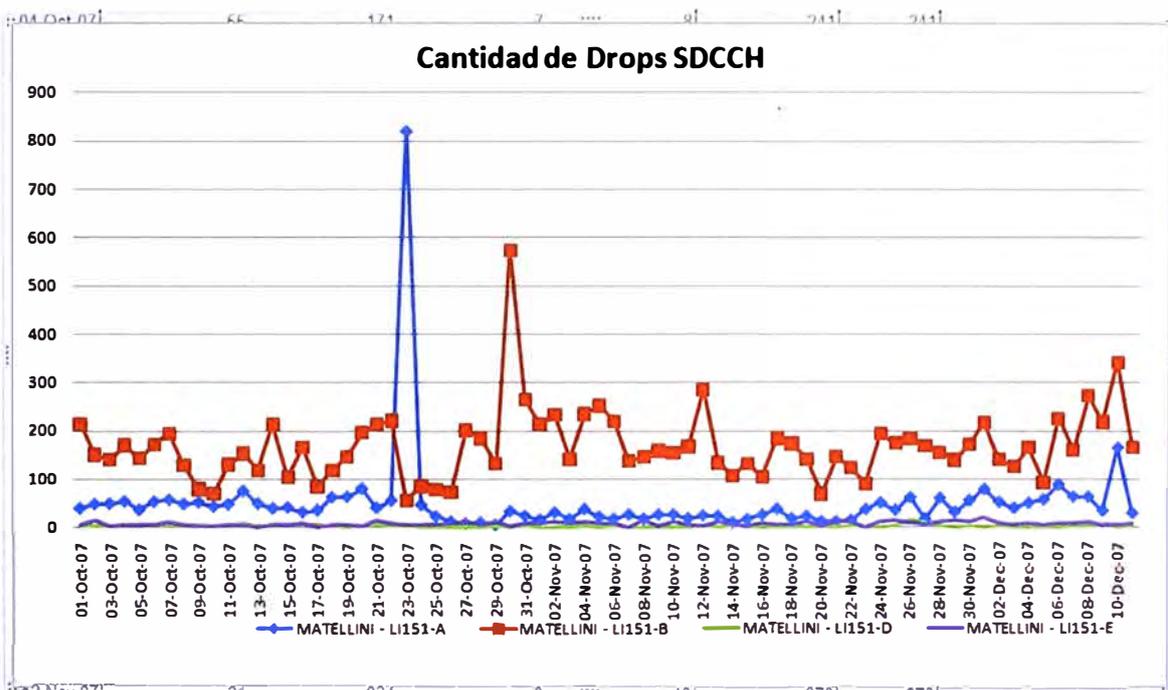


Figura 2.9 Cantidad de caídas de conexiones SDCCH relativas a establecimiento de llamada. Sectores 1 y 2 Celda Matellini durante la hora pico del día.

Observe el número elevado de caídas de conexiones SDCCH en los sectores bajo examen de todas las celdas en la banda de 850. Nuevamente se observa una disminución del KPI a partir de la puesta en servicio de la nueva BTS.

La figura 2.10 muestra el porcentaje de utilización del canal de tráfico durante la hora pico por día. Los valores picos por encima del 100% demuestran que la capacidad de tráfico

ofrecida fue superada con mucho por la capacidad de tráfico demandada por los usuarios obteniendo elevados índices de llamadas no establecidas por falta de canales de tráfico disponibles.

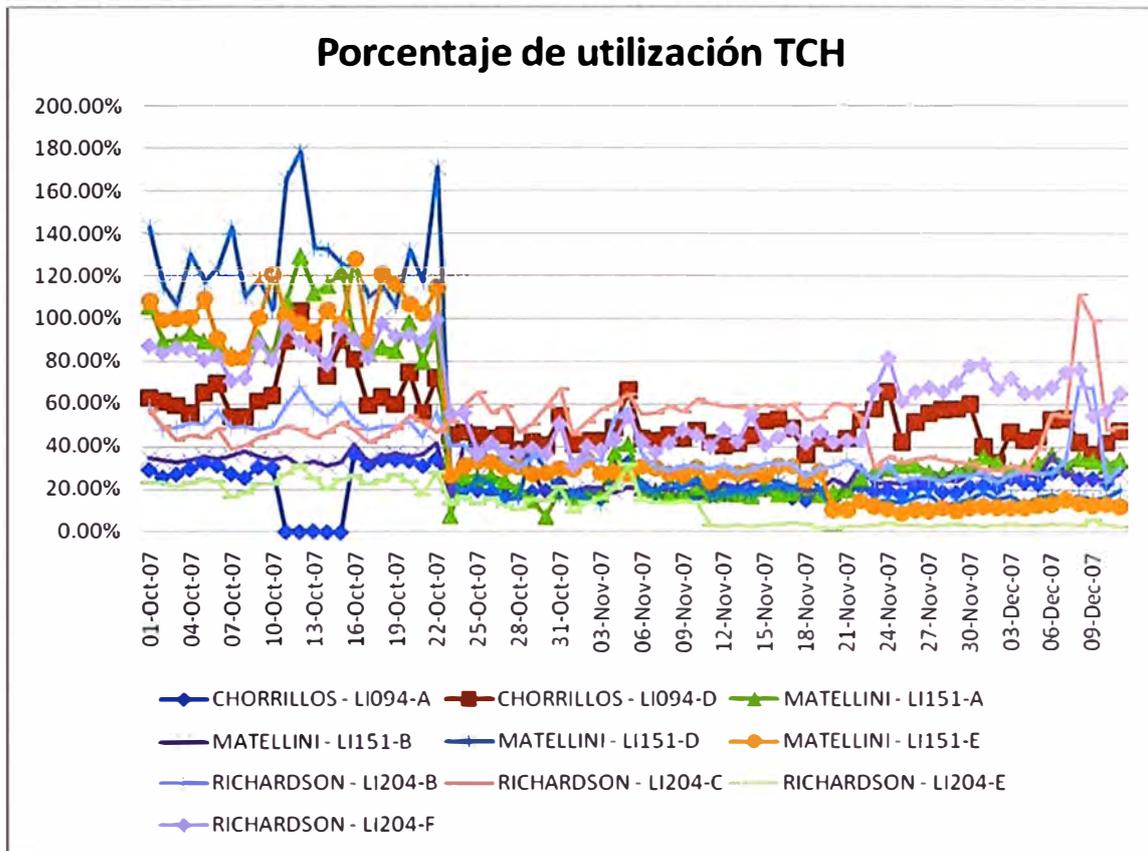


Figura 2.10 Porcentaje de utilización de canales de tráfico de las celdas de la zona que presenta congestión.

Queda demostrado debido a los altos niveles de bloqueo y de caídas de conexiones SDCCH que existía una elevada congestión diaria en la zona correspondiente. Por lo anterior se concluye que se requiere la puesta en servicio de una nueva BTS para aumentar la capacidad ofrecida por la red en esta zona.

2.2 Dimensionamiento y planificación de la cobertura y capacidad de la red de acceso radio GSM sobre áreas de la red con problemas de cobertura ó alto tráfico.

2.2.1 Búsqueda del punto cero en un área con bajos niveles de calidad de servicio por problemas de cobertura.

Examinando los mapas de la morfología y topología de la zona que presenta problemas de cobertura además de vistas satelitales de la misma podemos definir una posible ubicación del nuevo sitio que albergara a la nueva celda, y a partir de ello determinar sus coordenadas, el número de sectores y sugerir las orientaciones

(azimuths) de las antenas en cada uno de los sectores de la nueva celda respecto de dicha posible ubicación. Claro está que estas propuestas se verifican con la herramienta de predicción de cobertura que hace uso además de datos recogidos de la visita a la zona. Las figuras 2.10 y 2.11 muestran la práctica de definir posibles ubicaciones de nuevos sitios basados en la información de la geografía del área y la ubicación de los sitios existentes.



Figura 2,11 Mapa con ubicaciones de nuevos sitios propuestos por tráfico.

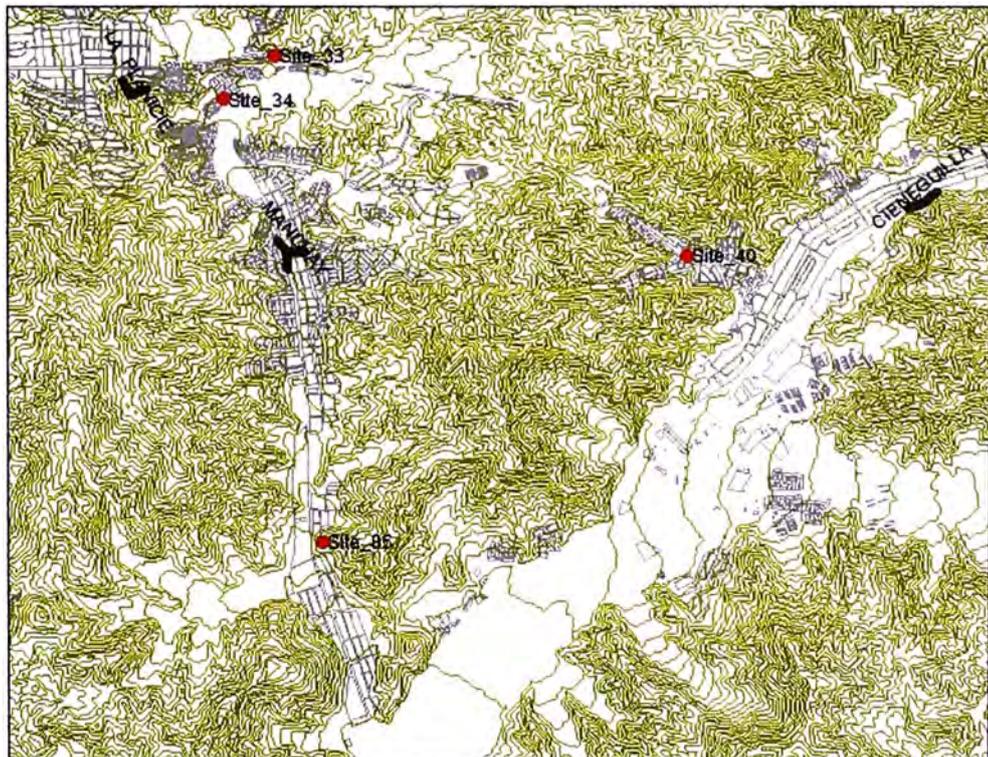


Figura 2.11 Mapa con ubicaciones de nuevos sitios propuestos por cobertura.

La figura 2.12 a continuación muestra el mapa de la zona de La Planicie sin cobertura y una posible ubicación del sitio.

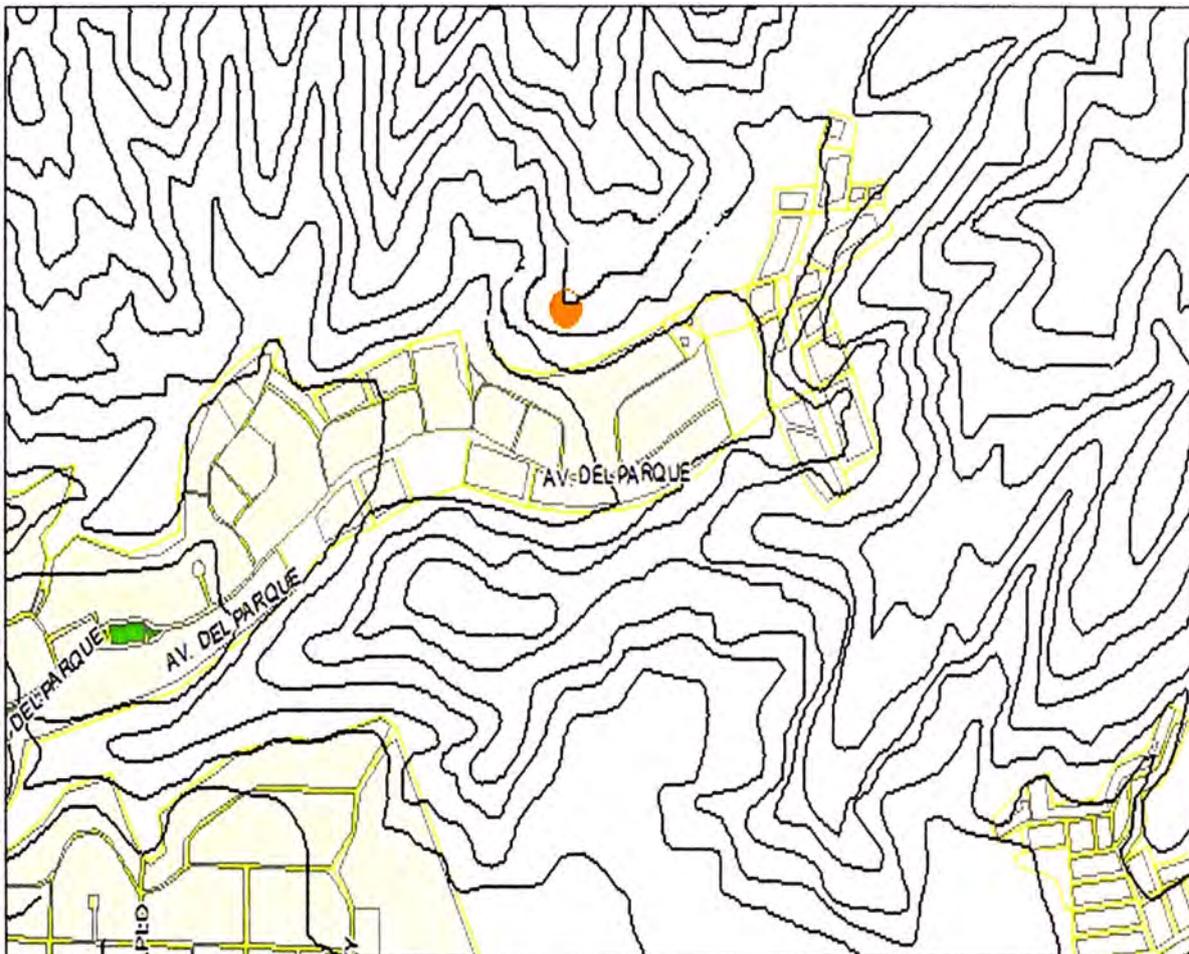


Figura 2.12 Elección de una posible ubicación para el sitio de la nueva celda.

Se determina del examen de los mapas de la zona de La Planicie que la nueva BTS tendrá una configuración de dos sectores y se proponen orientaciones de 75° para el primer sector y 250° para el segundo sector.

Sin embargo, la ubicación de la estación base definida teóricamente sirve como punto de referencia para definir un área de búsqueda (de radio de 200 m) del nuevo sitio en el que se deben ubicar los sitios candidatos a albergar la nueva BTS. Por lo anterior, una inspección a la zona y al área de los candidatos debe realizarse con los objetivos de:

Examinar y definir el tipo de entorno geográfico y urbanístico de la zona. Para el caso de la zona ubicada en La Planicie, La Molina se determinó como suburbano el tipo de entorno.

Definir el tipo de cobertura del área bajo examen. La cobertura corresponde a la cobertura de una MACRO CELDA.

Se localiza la ubicación del sitio definida teóricamente, teniendo en cuenta sus coordenadas y considerando esta ubicación como punto de referencia se define el área

de búsqueda de los candidatos y se examina la arquitectura de dicha área (altura de los edificios y/o cerros, si existiesen, altura de las casas).

A partir del examen anterior se propone un primer valor para las alturas de las antenas, la cual debe estar por encima de la altura de las edificaciones de toda la zona a cubrir. Para la zona de La Planicie en el distrito de La Molina, la cual presenta una forma estrecha y ramificada debido a la cercanía de cerros en esta zona y cuya arquitectura urbanística se compone principalmente de viviendas de 2 niveles como máximo (altura total: 6 m) pero que tiene un área considerable de gran longitud pero angosta, la ubicación y la altura de la antena respecto del nivel del suelo está determinada principalmente por la forma y área de la zona.

Se definen también los sitios candidatos cuyas alturas deben ser del promedio de las alturas de las edificaciones existentes en la zona de manera que se aproveche la altura de estos para reducir los costos de construcción de la torre donde se instalaran las antenas o en el mejor de los casos evitar la construcción de una torre (las antenas se instalarían en mástiles ubicados en la parte más alta de la edificación donde se ubicaría el sitio de la BTS). La definición de los candidatos debe tener en cuenta que no existan obstáculos a la fecha existentes cercanos a estos de altura mayor a la altura de los mismos y se debe verificar que no existan edificaciones en construcción que puedan convertirse en obstáculos en el futuro. De presentarse lo anterior sería un factor que descarte un sitio candidato como sitio definitivo para la ubicación de la nueva BTS.

Definir el tipo de modelo de propagación de la señal a usar basado en el examen de la geografía y arquitectura de la zona. Para este caso el modelo de propagación básico es Okumura-Hata. Este modelo de propagación es contemplado como modelo base por la herramienta propietaria de Siemens a usar para la predicción de cobertura (TornadoN).

Debido a que esta zona resulta típica de las zonas ubicadas en las afueras de Lima Metropolitana se usa un modelo de propagación ya diseñado y afinado para este tipo de zonas. Por tanto no es necesario realizar pruebas de propagación en la zona de La Planicie pues ya se cuenta con el modelo de propagación apropiado.

Para cada sitio candidato se debe realizar la Evaluación Técnica del Sitio (Technical Site Survey: TSS) es decir además de los datos generales de la zona recogidos anteriormente se recolectan datos de coordenadas del sitio mismo, altura de la edificación donde se ubica el sitio candidato y fotografías del panorama de toda la zona respecto de la ubicación del candidato. A partir de estos datos se pueden confirmar las orientaciones de las antenas en cada sector y definir sus inclinaciones.

La figura 2.13 muestra un extracto del TSS de uno de los sitios candidatos que se eligió posteriormente como sitio final para la ubicación de la BTS.

Nokia Siemens Networks		TECHNICAL SITE SURVEY		Telefonica Móviles		
GENERAL SECTION						
Telefonica Site ID	L1303			Date	888888	
Telefonica Site Name	GOLF LA PLANICIE			Site Type	Indoor BTS	
Survey done by:	Tony Paez			Revision		
Phone #						
SITE INFORMATION						
Site Address	Cerro La Ercepada Urb. La Planicie La Molina					
Telefonica Portral				Phone #		
Civil Works Portral				Company		
Degrees (-DD.DDDD)						
WGS-84						
Latitude	12°4'20.35"			Altitude		
Longitude	76°53'15.61"			from GPS		
TSS CELL SITE RF CONFIGURATION						
	850 Mhz	1900 Mhz	850 Mhz	1900 Mhz	850 Mhz	1900 Mhz
Antenna	Sector 1		Sector 2		Sector 3	
Azimuth (Mag North)	75	75	250	250		
Number of Antennas	1	1	1	1		
	AMPHENOL C-BXD- 65806580-	AMPHENOL C-BXD- 65806580-	AMPHENOL C-BXD- 65806580-	AMPHENOL C-BXD- 65806580-		
Antenna type	M	M	M	M		
Building height (m)	6	6	6	6		
Antenna height (m)	18	18	18	18		
Antenna height from ground (m)						
Vertical dist. from CDMA antenna (+/- cm)	n.a	n.a	n.a	n.a		
Mechanical Tilt (degrees)	0	0	0	0		
Electrical Tilt (degrees)	5	2	4	3		
Number of TRX	3	2	3	2		
Feeder length (m)	19	19	19	19		
Cable type (inch)	7/8"	7/8"	7/8"	7/8"		
Jumper length (m)/Tap	3	3	3	3		no the top always 3m
Jumper length (m)/Base	3	3	3	3		no the base always 3m
Antenna support/mount type	tower	tower	tower	tower		tower; monopole; pole; wall mount; etc. as of
Antenna support/mount height (m)	3	3	3	3		existing tower or pole or mast
Antenna Support Status	original	original	original	original		original; modified; new
Type of location	Greenfield		Greenfield			roof top; greenfield
BTS location	Outdoor		Outdoor			indoor shelter; indoor room; Outdoor
COVERAGE OBSTACLES						
Description	Photo number		Direction (Mag North)	Distance (m)	Height (m)	
None						
CHECK LIST						
Panoramic photo	YES					
Obstruction photo/direction/height	YES					
General photo	YES					
Antenna support photo/sketch						
Site/Antenna view photo						
Tower photo	YES					
Magnetic North sketch	YES					
GENERAL COMMENTS						

Figura 2.13 TSS GOLF LA PLANICIE. Hoja de Reporte. Características del sitio.

La figura 2.14 muestra fotografías del panorama de la zona respecto de la ubicación de uno de los sitios candidatos que se eligió posteriormente como sitio final para la ubicación de la BTS.

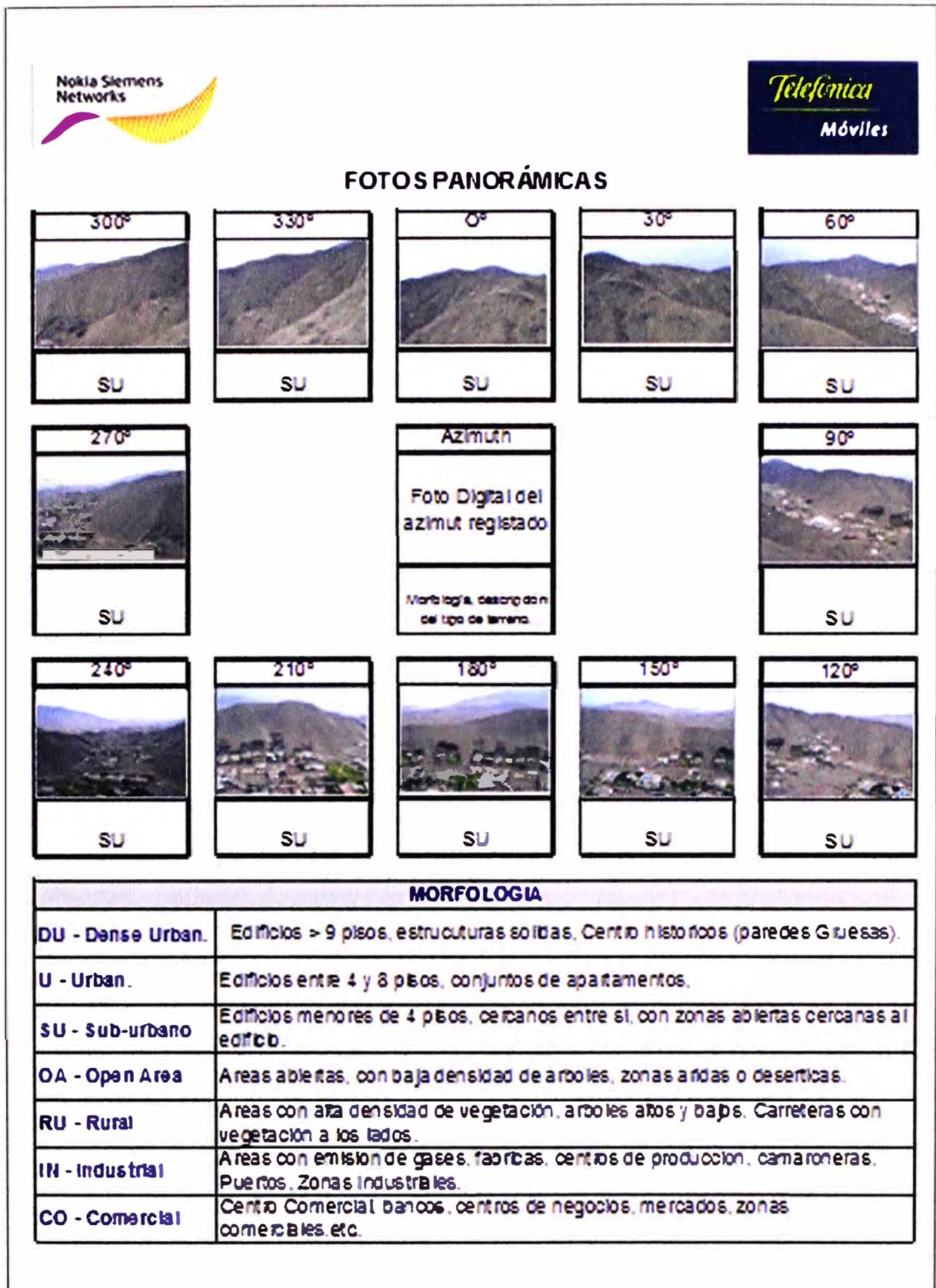


Figura 2.14 TSS Sitio Golf La Planicie. Fotos Panorámicas

La figura 2.15 muestra fotografías tomadas hacia la zona según las orientaciones propuestas de las antenas en cada sector. Es decir, se muestran para cada sector las zonas de radiación del lóbulo principal (áreas de cobertura) de las antenas en cada

sector. Observe que en esta ubicación debido a la geografía de la zona las antenas a estas orientaciones tienen visibilidad, si no de toda, de la mayor parte del área poblacional, es decir, se procura que los cerros hagan sombra en lo mínimo a la zona en cuestión.

Nokia Siemens Networks		Telefónica Móviles	
TECHNICAL SITE SURVEY			
VISTA PANORAMICA DESDE AZIMUTH DE SECTORES			
S1	S2	S3	
		NA	
Comentarios: A nivel del suelo del sitio, parte lateral del cerro obstaculiza parte del sector.	Comentarios: Visibilidad completa.	Comentarios:	

Figura 2.15TSS Sitio Golf La Planicie. Fotos según orientaciones de las antenas

Cabe mencionar que la elección de uno de los sitios candidatos como ubicación final de la nueva BTS toma en cuenta además de los requerimientos de radio planning, requerimientos estructurales: si la edificación es estructuralmente factible para la construcción del sitio que albergara la BTS. Además se debe verificar la accesibilidad del lugar de manera que sea posible acceder al sitio en todo momento para tareas posteriores de operación y mantenimiento.

La ubicación final del sitio aprovechó la geografía del área. Es decir, el nuevo sitio se construirá en el cerro, en una ubicación que reúna los requerimientos anteriormente mencionados. Es decir que sea accesible, que estructuralmente soporte el peso del sitio mismo de la torre y el equipamiento a instalar, que no presente obstáculos cercanos más altos y que permite en lo posible una cobertura sobre toda el área.

La figura 2.16 muestra la ubicación definitiva de la nueva celda.

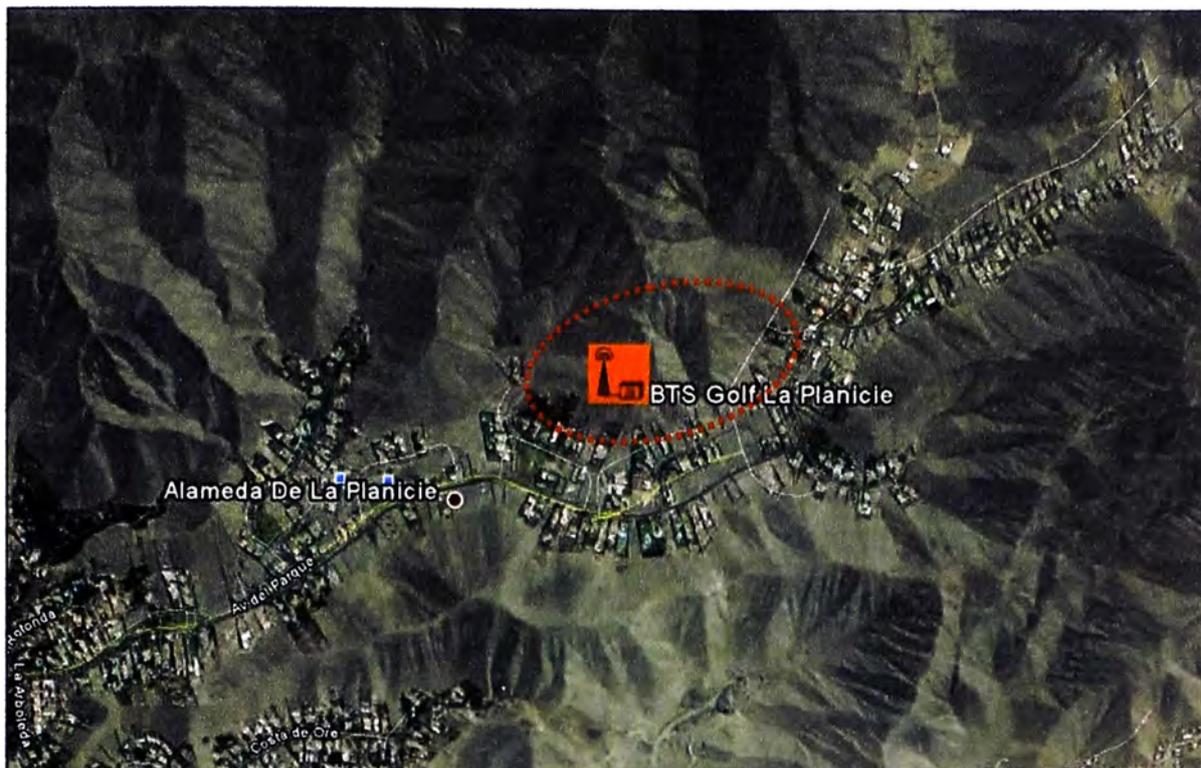


Figura 2.16 Ubicación final de la BTS GOLF LA PLANICIE.

Para este sitio se propuso que las antenas se encuentren a la misma altura y esta sea de 18 m sobre su ubicación final. Este primer valor obtenido del examen de la zona y las fotografías panorámicas se corrobora a modifica según las predicciones de cobertura para la zona usando Tornado N. De manera similar se realiza con la definición de los valores finales de las orientaciones de las antenas. Para la zona de La Planicie en el distrito de La Molina, la BTS o el sitio final que la alberga, indistintamente, se nombro como GOLF LA PLANICIE.

2.2.2 Búsqueda del punto cero en un área con bajos niveles de calidad de servicio por problemas de alto tráfico.

El área que experimenta alto índice de congestión se determina a partir de identificar todos los sectores de celdas vecinas que reportan KPIs de falla de establecimiento de llamadas por falta de canales de tráfico o caída de conexiones SDCCH relacionados que muestran ratios que se incrementan o se mantienen elevados en el tiempo y sobrepasan el valor umbral de porcentaje de bloqueo que degradan la calidad del servicio ofrecido por la red.

Determinada el área en cuestión se procede de manera similar al procedimiento planteado en el caso de cobertura discutido anteriormente, sin embargo el área en el caso de cobertura es de mayores dimensiones que el área en este caso en el que la

cobertura no es un problema pues siempre las BTSs en dicha área se encuentran relativamente cercanas y por lo tanto los niveles de señal de recepción son adecuados pero la degradación de la calidad de servicio se debe a la carencia de capacidad de radios suficientes en las BTSs capaces de satisfacer la demanda de tráfico. La figura 2.17 correspondiente al área de la urbanización Matellini, distrito de Chorrillos muestra un patrón de cobertura óptimo pero como se expuso esta área experimenta congestión. Por tanto el diseño de la BTS tiene como objetivo ofrecer una cobertura limitada con la capacidad de radios necesarias para resolver el problema de congestión.

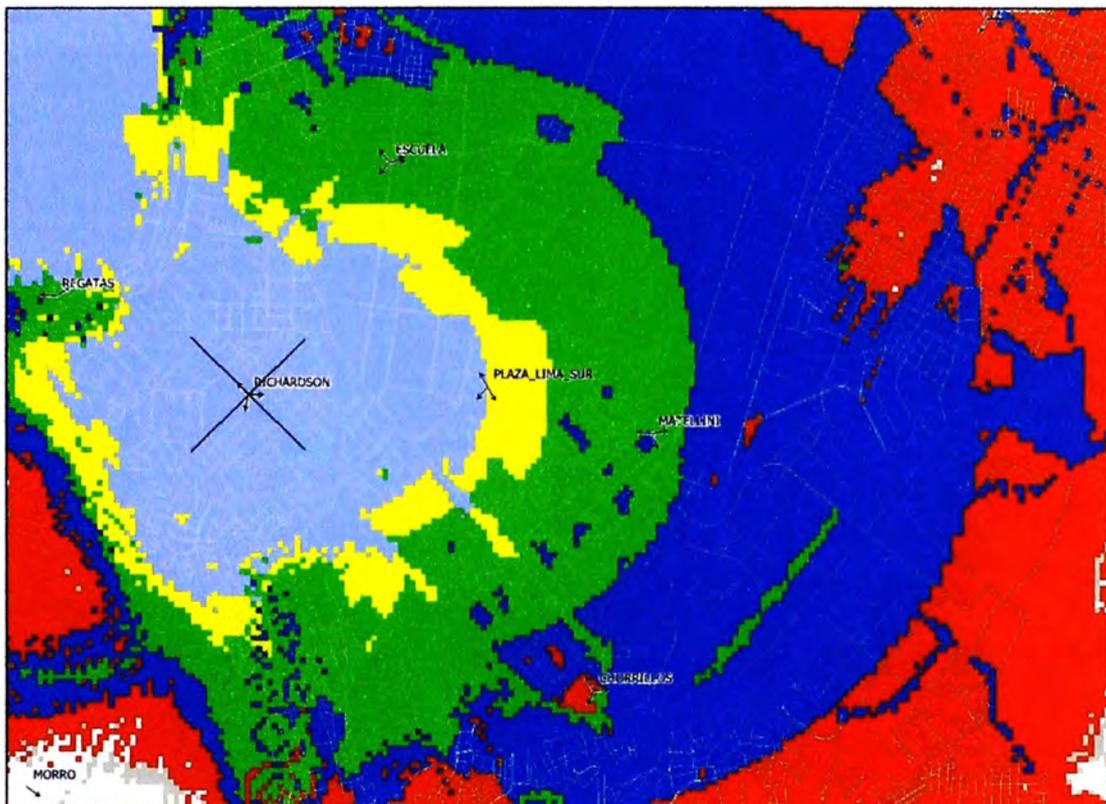


Figura 2.17 Plot de Cobertura de la BTS Richardson vecina con las celdas Chorrillos y Matellini.

Del examen de los mapas de morfología y topología de la zona podemos definir una posible ubicación del nuevo sitio (determinar sus coordenadas, el número de sectores y sugerir las orientaciones (azimuths) de las antenas) la cual sirve como punto de referencia para definir un área de búsqueda que para este caso debe tener un radio reducido de 100 m como máximo (por lo general) del nuevo sitio en el que se deben ubicar los sitios candidatos a albergar la nueva BTS. La ubicación definida del examen de los mapas es la que se muestra en la figura 2.18. Note que esta ubicación es ideal pues se encuentra cerca del centro comercial Plaza Sur ubicada dentro de la zona de congestión y al lado opuesto se encuentra la escuela del ejercito que carece de cobertura porque la celda Escuela no tiene sus antenas orientadas hacia dicha instalación militar.

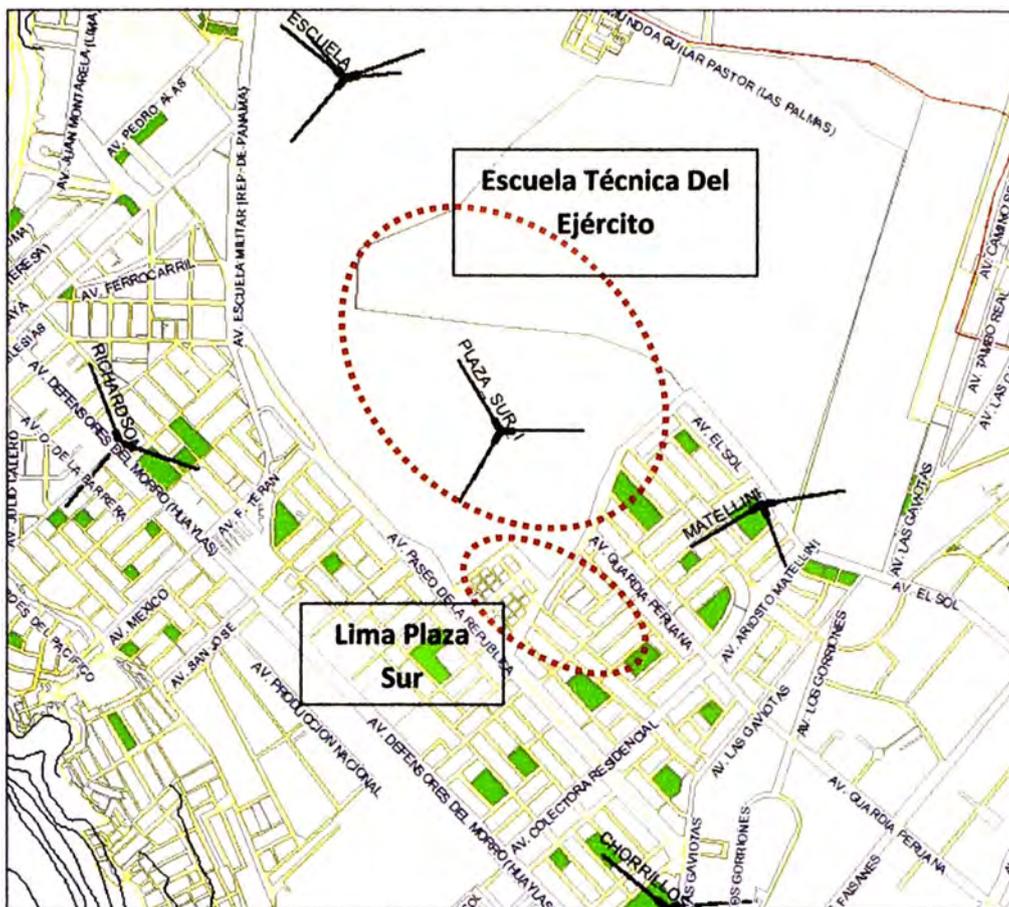


Figura 2.18 Ubicación propuesta de la nueva celda.

Se determina que la nueva BTS de la Urbanización Matellini tendrá una configuración de tres sectores y se proponen azimuths de 330° para el primer sector, 90° para el segundo sector y 210° para el tercer sector. La inspección a la zona se reduce a la inspección del área de búsqueda para:

Definir los requerimientos que deben tener los sitios candidatos y definirlos.

Verificar que posibles construcciones recientes en dicha zona no signifiquen obstáculos importantes que alteren la cobertura de la nueva celda.

Se define las alturas de las antenas. Para el caso de esta zona que se encuentra cercana a un centro comercial que a su vez se encuentra dentro de la zona que experimenta congestión se requiere que la altura de las antenas sea de tal magnitud que el centro comercial no signifique una obstrucción importante de la zona en cuestión. Por lo anterior la altura propuesta para las antenas es de 30 m. Esta altura propuesta se verificara con la herramienta de predicción de cobertura para determinar si permite cubrir la zona de interés.

Se realiza para cada candidato la Evaluación Técnica del Sitio (Technical Site Survey: TSS) es decir se recolectan datos de coordenadas del sitio mismo, altura de la edificación donde se ubica el sitio candidato y fotografías del panorama de toda la zona respecto de la ubicación del candidato. A partir de estos datos se pueden confirmar las orientaciones

de las antenas en cada sector y definir sus inclinaciones, datos del tipo de geografía y arquitectura, el modelo de propagación no se realizan pues se cuentan con ellos debido al planning ya realizado de las celdas vecinas existentes. La cobertura corresponde de esta nueva BTS es una de tipo MACRO CELDA.

La figura 2.19 muestra un extracto del TSS de uno de los sitios candidatos que se eligió posteriormente como sitio final para la ubicación de la BTS.

Radio Sistema Networks		TECHNICAL SITE SURVEY				Telefónica Móviles		
GENERAL SECTION								
Telefonica Site ID	L1929 - L1929			Date	Sep/26/07			
Telefonica Site Name	PLAZA_SBR_1 - PLAZA_SBR_01			Site Type	Outdoor BTS			
Survey done by:	Yony Ponce			Receiver				
Phone #								
SITE INFORMATION								
Site Address	Calle Corte Azul C/ Prunagocina Paro de la Republica 106, URB JOSE OLATA - CHORRILLOS							
Telefonica Porran				Phone #				
Civil Work Porran				Company				
Degree (-DD.DDDD)								
WGS-84								
Latitude	-12.17035555556			Altitude				
Longitude	-77.01241666667			from GPS				
TSS CELL SITE RF CONFIGURATION								
	850 Mhz		1900 Mhz		850 Mhz		1900 Mhz	
Antenna	Sector 1		Sector 2		Sector 3			
Azimuth (Mag North)	330		30		210		210	
Number of Antennas	1		1		1		1	
	AMPHEHOL C-DXD-ES00ES00-M	AMPHEHOL C-DXD-ES00ES00-M	AMPHEHOL C-DXD-ES00ES00-M	AMPHEHOL C-DXD-ES00ES00-M	AMPHEHOL C-DXD-ES00ES00-M	AMPHEHOL C-DXD-ES00ES00-M		
Antenna type	ES00ES00-M		ES00ES00-M		ES00ES00-M		ES00ES00-M	
Building height (m)	2		2		2		2	
Antenna height (m)	30		30		30		30	
Antenna height from ground (m)	30		30		30		30	
cal dir. from CDMA antenna (+/- cm)	0.0		0.0		0.0		0.0	
Mechanical Tilt (degrees)	0		0		0		0	
Electrical Tilt (degrees)	2		3		3		3	
Number of TRX	3		2		4		2	
Feeder length (m)	33		33		33		33	
Coax cable type (inches)	7/8"		7/8"		7/8"		7/8"	
Jumper length (m)/Tap	3		3		3		3	
Jumper length (m)/Base	3		3		3		3	
Antenna support/mount type	tower		tower		tower		tower	
Antenna support/mount height (m)	3		3		3		3	
Antenna Support Status	original		original		original		original	
Type of location	Greenfield		Greenfield		Greenfield		Greenfield	
BTS location	Outdoor		Outdoor		Outdoor		Outdoor	
COVERAGE OBSTACLES								
Description	Photo number			Direction (Mag)	Distance (m)	Height (m)		
Ninguna								
CHECK LIST								
Panoramic photo	YES							
Obstacle photo/direction/height	YES							
General photo	YES							
Antenna support photo/sketch								
Site/Antenna view photo								
Tower photo	YES							
Magnetic North sketch	YES							

Figura 2.19 TSS GOLF LA PLANICIE. Hoja de Reporte. Características del sitio.

La figura 2.20 muestra fotografías del panorama de la zona respecto de la ubicación de uno de los sitios candidatos que se eligió posteriormente como sitio final para la ubicación de la BTS.

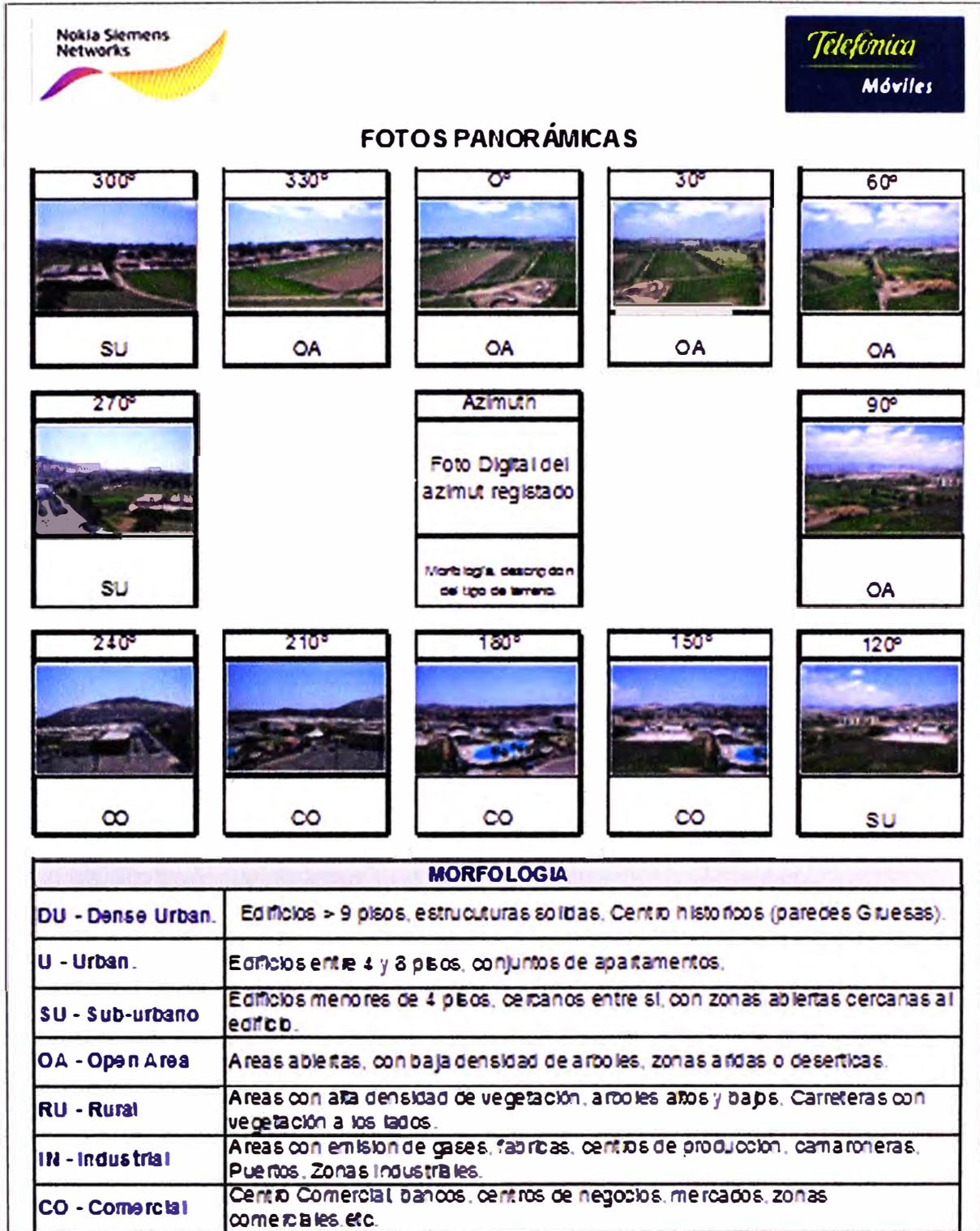


Figura 2.20 TSS Sitio PLAZA SUR. Fotos Panorámicas

La figura 2.21 muestra fotografías tomadas hacia la zona según las orientaciones de las antenas en cada sector. Es decir, se muestran para cada sector las zonas de radiación del lóbulo principal (áreas de cobertura) de las antenas en cada sector.



Figura 2.21 TSS Sitio Golf La Planicie. Fotos según orientaciones de las antenas

La ubicación definitiva del sitio que albergara a la nueva BTS se muestra en la figura 2.22



Figura 2.22 Vista satelital de la ubicación definitiva de la nueva BTS PLAZA SUR.

Para esta zona de la Urbanización Matellini en el Distrito de Chorrillos, la BTS o el sitio final que la alberga, indistintamente, se nombro como PLAZA SUR.

2.2.3 Diseño de una estación base por Cobertura.

Cálculo del Presupuesto de Potencia (Power Budget).

El cálculo del power budget nos permite obtener la pérdida de la intensidad de la señal en su trayecto entre la estación móvil (MS) y la estación base (BTS), así podemos calcular el power budget en el enlace de bajada (downlink: la señal se dirige al MS proveniente de la BTS) y en el enlace de subida (uplink: la señal se dirige a la BTS proveniente del MS).

De la definición anterior interesa calcular la máxima pérdida de intensidad de señal permitida de manera que la señal logre ser procesada por la MS (downlink) o la BTS (uplink) y determinar la distancia máxima permitida entre estos elementos. Por lo tanto en este cálculo la potencia de transmisión, el tipo de antena y la sensibilidad tanto del MS como de la BTS son los parámetros de mayor importancia.

Puesto que la potencia de transmisión del MS es mucho menor es razonable concluir que la pérdida máxima de señal en el enlace de subida será menor que en el enlace de bajada, entonces, la cobertura en el uplink sea menor que la cobertura en el downlink, lo cual a su vez trae como consecuencia problemas en el establecimiento de la comunicación, durante una llamada si el móvil se aleja de la BTS existe la posibilidad de la caída de la misma, problemas de handover, etc., es decir, traerá como consecuencia el mal funcionamiento de la red de acceso radio de la red. Por lo tanto el objetivo es balancear (obtener iguales valores) el power budget del uplink y del downlink.

Con el propósito de lograr dicho objetivo los dispositivos (sensibilidad, unidades portadoras o TRXs, combinadores, amplificadores de bajo ruido o LNA ó amplificadores a la salida de la antena de recepción), elementos (tipo de antena, tipo y longitud del cable) y funcionalidades (reducción de potencia de transmisión, diversidad de recepción) que componen la BTS (y determinan su configuración) y que participan en la transmisión y recepción de la señal juegan un papel importante en el balance de los power budgets.

No así sucede con el MS pues es unidad cuya configuración viene de fábrica y no es posible cambiar sus componentes.

Cálculo del Power Budget en el Downlink

La fórmula 2.3 es:

$$\text{PERDIDA máxima trayecto de bajada} = \frac{\text{Potencia Radiada Isotrópica por la antena de la BTS} - \text{Nivel de Potencia de entrada requerida por la antena del MS}}{\quad} \quad (2.3)$$

Donde:

Potencia Radiada Isotrópica Emitida: Emitted Radiated Isotropic Power o EIRP.

Nivel de Potencia de entrada requerida: Required Input Power Level o RIPL.

Por lo tanto:

$$\text{PERDIDA máxima trayecto de bajada} = \text{EIRP antena de transmisión de la BTS} - \text{RIPL de la antena del MS} \quad (2.4)$$

Donde:

$$\text{EIRP antena de transmisión de la BTS} = \text{Potencia de transmisión del TRX} - \text{Perdida del Combinador} - \text{Perdida de la línea de antena (cable, conectores)} + \text{Ganancia de la Antena} \quad (2.5)$$

$$\text{RIPL de la antena del MS} = \text{Sensitividad del MS} - \text{Ganancia de la Antena del MS} + \text{Perdida de la línea de antena del MS} \quad (2.6)$$

Cálculo del Power Budget en el Uplink

La fórmula 2.7 es:

$$\text{PERDIDA máxima trayecto de subida} = \text{EIRP antena del MS} - \text{RIPL de la antena de Rx de la BTS} \quad (2.7)$$

Donde:

$$\text{EIRP antena del MS} = \text{Potencia de transmisión del MS} - \text{Perdida de la línea de antena} + \text{Ganancia de la Antena} \quad (2.8)$$

$$\text{RIPL de la antena de Rx de la BTS} = \text{Sensitividad de la BTS} + \text{Potencia del LNA o TMA} - \text{Ganancia Diversidad de Rx} - \text{Ganancia de la Antena de Rx} + \text{Perdida de la línea de antena (cables, conectores)} \quad (2.9)$$

Observación: Tanto el tipo de antena como el tipo de cable coaxial, latiguillos (o cables coaxiales de interconexión o jumpers) y conectores que constituirán el sistema radiante de la BTS se definieron en la primera etapa del proyecto de implementación de la red GSM como parte del planeamiento inicial de la red de acceso radio.

Considerando que la BTS a instalar es del fabricante Siemens se tienen las siguientes especificaciones de los elementos que la componen que operan en la banda de 850 y 1900. Tener en cuenta que cada BTS puesta en funcionamiento opera en banda doble (850/1900).

Por tanto de las dos consideraciones anteriores el tipo de antena, los tipos de cables coaxiales y las características del equipo mismo de la BTS (es decir, los módulos que la

componen) no constituyen objetivos de diseño de la BTS si no que se toman en cuenta para el cálculo del power budget y para la determinación de la altura de las antenas (objetivo de diseño).

Potencia de salida del TRX. La tabla 2.1 a continuación muestra las especificaciones de los TRXs por banda y tipo. Para los cálculos se tiene en cuenta las especificaciones de los FCUs (el cual integra dos TRXs en un solo modulo) que operan en banda de 850 y 1900.

	Frequency Band	Carrier Unit Type	Typical RF Output Power				Guaranteed RF Output Power			
			GMSK		8PSK		GMSK		8PSK	
			dBm	Watt	dBm	Watt	dBm	Watt	dBm	Watt
FlexCU	GSM 850	FCU850V1	47.0	50	44.0	25	46.7	47	43.7	23
	GSM 900	FCUGV1	47.0	50	44.0	25	46.7	47	43.7	23
	GSM 1800	FCUDV1	47.0	50	44.0	25	46.7	47	43.7	23
	GSM 1900	FCUPV1	47.0	50	44.0	25	46.7	47	43.7	23

Tabla 2.1 Valores típicos y garantizados de Potencia de Salida de la Unidad Portadora (TRX)

Especificaciones del Combinador. La tabla 2.2 a continuación muestra las especificaciones de los combinadores por banda y tipo. Para los cálculos se tiene en cuenta las especificaciones del modulo FDUAMCO 4:2 (integra dos módulos de Combinación (de 2 TRXs)/ Amplificación (de 4 RXs) que operan en banda de 850 y 1900.

FDUAMCO Type	GSM 850		GSM 900		GSM 1800, GSM 1900	
	Typical	Guar.	Typical	Guar.	Typical	Guar.
in 2:2 mode	1.1 dB	2.4 dB	1.1 dB	2.2 dB	1.2 dB	2.2 dB
in 4:2 mode	4.3 dB	5.6 dB	4.3 dB	5.4 dB	4.4 dB	5.4 dB
in 8:2 mode	7.8 dB	9.4 dB	7.8 dB	9.2 dB	6.0 dB	9.4 dB
(8:2 mode is constructed with FDUAMCO in 4:2 mode +COAMCO8)						

Tabla 2.2 Valores típico y garantizado de perdidas del Combinador (Transmisión) en el FDUAMCO

Sensitividad de la BTS. La recomendación versión 05.05 del estándar GSM indica que la sensibilidad de la BTS debe ser menor o igual a -104 dBm. Además el fabricante debe indicar bajo que entorno de propagación calcula la sensibilidad del equipo y si dicha sensibilidad toma en cuenta la diversidad de recepción. Para el cálculo del Power Budget

se elige el valor correspondiente al peor caso, es decir, se considera una sensibilidad de la BTS de -104 dBm con el objeto de evitar problemas de calidad por degradación de la señal que se interpretan como huecos de cobertura.

Potencia de transmisión de un MS. Para los cálculos se considera una estación móvil de clase 4 en la banda de 850 y de clase 3 en la banda de 1900, la cual son las más populares pues estaciones móviles de otras clases (1, 2, 3 y 5) son raramente usados. La tabla 2.3 a continuación muestra las clases de MS según la potencia máximas de transmisión.

Class	GSM		DCS1800		PCS1900	
	MS (W/dBm)	BTS (W/dBm)	MS (W/dBm)	BTS (W/dBm)	MS (W/dBm)	BTS (W/dBm)
1	-/-	320/55	1/30	20/43	1/30	20/43
2	8/39	160/52	0,25/24	10/40	0,25/24	10/40
3	5/37	80/49	4/36	5/37	2/33	5/37
4	2/33	40/46	-/-	2,5/34	-/-	2,5/34
5	0,8/29	20/43	-/-	-/-	-/-	-/-
6	-/-	10/40	-/-	-/-	-/-	-/-
7	-/-	5/37	-/-	-/-	-/-	-/-
8	-/-	2,5/34	-/-	-/-	-/-	-/-
Micro (M1)	-/-	0,25/24	-/-	1,6/32	-/-	0,5/27
Micro (M2)	-/-	0,08/19	-/-	0,5/27	-/-	0,16/22
Micro (M3)	-/-	0,03/14	-/-	0,16/22	-/-	0,05/17

Tabla 2.3 Clases de MS según su Potencia Máxima de Transmisión, en las bandas de GSM 850/900, DCS 1800 y PCS 1900.

Sensibilidad del MS. De acuerdo a las especificaciones del estándar GSM (recomendación 05.05) la sensibilidad del MS debe ser mejor que -102 dBm en la banda de 850 y 900 (es decir, Sensibilidad del MS \leq -102 dBm), y mejor que -100 dBm en la banda de 1800 y 1900. Para los cálculos y teniendo en cuenta que la variedad de modelos de MSs activos en la red son de clase 4 (en 850) y de clase 3(en 1900) se considera el valor en el peor caso, es decir, -102 dBm (850) y de -100dBm (1900)

La instalación de la BTS en esta fase de ampliación de la red considera la instalación de antenas del fabricante Antel Amphenol modelo C-BXD-65806580-M la cual ofrece una ganancia de 17 dBi en la banda de 850 y de 18 dBi en la banda de 1900. Además esta

antena tiene la característica de ser de banda doble (850/1900) con polarización cruzada entre los puertos (2) de la misma banda, es decir presenta 4 puertos, 2 por banda con polarizaciones de $+45^\circ$ y -45° . Por lo tanto esta antena ofrece además una ganancia por diversidad de recepción debido a la polarización cruzada la cual se considera dentro del cálculo del Power Budget.

La pérdida de intensidad de señal en la línea de antena compuesto por el cable coaxial principal y los cables de interconexión (jumpers) del cable anterior con la BTS y la antena se obtiene de manera exacta realizando la prueba de "cable loss" a la línea una vez instalada esta. Sin embargo para fines de predicción este valor se calcula como la suma de las pérdidas de los cables que componen la línea de antena y de las pérdidas de los conectores ubicados en los extremos del cable coaxial principal. Los valores de atenuación correspondientes son los que se muestran en las tablas 2.4, 2.5 y 2.6 siguientes:

Cable de interconexión de BTS/ Antena: Jumper RFS, modelo LCF12-50J

Banda	Atenuación		
	Atenuación por metro (dB/m)	Longitud del jumper (m)	Atenuación del jumper (dB)
850	0.068	3	0.204
1900	0.099	3	0.297

Tabla 2.4. Especificaciones de atenuación del Jumper RFS LCF12-50J por banda.

Conector para cable coaxial principal: Conector RFS, modelo 716M-LCF78-072.

Conector Fabricante/Modelo	Atenuación (dB)
RFS/716M-LCF78-072	0.08

Tabla 2.5 Especificaciones de atenuación del conector RFS 716M-LCF78-072.

Cable coaxial principal: Cable alimentador RFS, modelo LCF78-50JA

Frecuencia de Operación (Banda)	Atenuación
	Atenuación por 100 metros (dB/100m)
894(850)	3.69
2000 (1900)	5.82

Tabla 2.6 Especificaciones de atenuación del cable coaxial RFS LCF78-50JA

De las consideraciones anteriores se obtiene los Power Budget para las bandas de 850 y 1900 tanto en el enlace de subida como en el enlace de bajada.

Para la BTS del sitio GOLF LA PLANICIE

De los datos del TSS del sitio: Longitud cable coaxial principal = 19 m.

La tabla 2.7 muestra el cálculo del power budget en el enlace de bajada.

Cálculo del Power Budget en el Downlink				
Banda	850		1900	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad
Estación Base				
Potencia de transmisión del radio (Unidad Portadora:TRX)	46.7	dBm	46.7	dBm
Pérdida del Combinador	5.6	dB	5.4	dB
Perdida de la línea de antena:	1.2691	dB	1.8598	dB
*Perdida del cable coaxial principal	0.7011	dB	1.1058	dB
*Perdida de los jumpers (de BTS y de Antena)	0.408	dB	0.594	dB
*Pérdida del conector (2)	0.16	dB	0.16	dB
Ganancia de la antena	17	dBi	18	dBi
EIRP de la Antena de transmisión de la BTS	56.831	dBm	57.44	dBm
Estación Móvil				
Sensitividad del MS	-102	dBm	-100	dBm
Ganancia de la Antena del MS	0	dBi	0	dBi
Perdida de la línea de antena del MS	0	dB	0	dB
RIPL de la antena del MS	-102	dBm	-100	dBm
Pérdida máxima en Downlink				
	158.83	dB	157.44	dB

Tabla 2.7 Cálculo del power budget en el downlink.

La tabla 2.8 que se muestra a continuación el cálculo del power budget en el enlace de subida.

Cálculo del Power Budget en el Uplink				
Banda	850		1900	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad
Estación Móvil				
Potencia de transmisión del MS	33	dBm	33	dBm
Perdida de la línea de antena	0	dB	0	dB
Ganancia de la Antena	0	dBi	0	dBi
EIRP antena del MS	33	dBm	33	dBm
Estación Base				
Sensitividad de la BTS	-104	dBm	-104	dBm
Potencia del LNA o TMA	0	dB	0	dB
Ganancia Diversidad de Rx	6	dB	4.2	dB
Ganancia de la Antena de Rx	17	dBi	18	dBi
Perdida de la línea de antena	1.2691	dB	1.8598	dB
*Perdida del cable coaxial princ.	0.7011	dB	1.1058	dB
*Perdida de los jumpers (de BTS y de Antena)	0.408	dB	0.594	dB
*Pérdida del conector (2)	0.16	dB	0.16	dB
RIPL de la antena de Rx de la BTS	-125.73	dBm	-124.34	dBm
Pérdida máxima en Uplink				
	158.73	dB	157.34	dB

Tabla 2.8 Cálculo del power budget en el uplink.

Los resultados obtenidos son aproximadamente iguales, por lo tanto, se ha balanceado los power budgets de los enlaces de subida y bajada en ambas bandas.

Por lo tanto:

Perdida máxima por trayectoria en la banda de 850 = 158.73 dB.

Perdida máxima por trayectoria en la banda de 1900 = 157.34 dB.

La pérdida máxima por trayectoria de la señal obtenida del cálculo del Power Budget es un valor promedio que no considera el fenómeno de desvanecimiento lento o de largo plazo que sufre la señal debido a la difracción de la misma al incidir sobre los bordes de

obstáculos presentes en el entorno de propagación antes de llegar al MS. La señal que llega es una suma de señales difractadas y reflejadas que varían en el tiempo causando que la intensidad de la señal resultante varíe respecto del valor promedio. Dicha variación puede resultar severa según el entorno de propagación de la señal.

Lo anterior resulta crítico cuando la pérdida por trayectoria es la máxima, es decir el MS receptorá la señal a una intensidad igual al valor de sensibilidad del equipo móvil pero debido al desvanecimiento lento la señal puede alcanzar al móvil a un nivel por debajo de la sensibilidad y por lo tanto la conexión se perdería o no se establecería. El móvil en esta ubicación debido al comportamiento de la señal a causa del desvanecimiento lento (la señal presenta una distribución normal, caracterizada por el valor promedio y la desviación estándar) tendrá el 50% de probabilidad de ser enlazado, es decir, la probabilidad que la señal llegue al móvil con un nivel por encima de la sensibilidad del mismo en esa ubicación es del 50%.

El planeamiento de cobertura para el proyecto GSM definió que el radio R de cobertura teórico de la celda es tal que la MS distanciada este radio de la BTS tenga una probabilidad de ubicación del 75%. Es decir, el 75 del total de veces que el MS se encuentre a una distancia R de la BTS (límite de cobertura de la celda) receptorá la señal con un nivel por encima de su sensibilidad. Lógicamente a esa distancia R (75% probabilidad de ubicación) la pérdida máxima por trayectoria es menor que la pérdida máxima para un 50% de probabilidad de ubicación.

De lo anterior resulta la fórmula 2.10:

$$\text{Pérdida max. por tray. (75\% prob. ubic.)} =$$

$$\text{Pérdida max. por tray. (50\% prob. de ubic.)} - \text{Pérdida por desvanecimiento lento.}$$

Donde:

$$\text{Pérdida max. por tray. (50\% prob. de ubic.)} = \text{Pérdida calculada por el power Budget.}$$

$$\text{Pérdida por desvanecimiento lento} = 0.675 \times 6 \text{ dB} = 4 \text{ dB. Para un entorno sub-urbano como la zona donde se ubica la BTS de GOLF LA PLANICIE.}$$

Por lo tanto para la BTS de GOLF LA PLANICIE:

$$\text{Pérdida max por tray (75\% prob ubic)} = 158.73 \text{ dB} - 4.05 \text{ dB} = 154.68 \text{ dB}$$

$$\text{Pérdida max por tray (75\% prob ubic)} = 157.34 \text{ dB} - 4.05 \text{ dB} = 153.29 \text{ dB}$$

Estos valores se usan para un primer cálculo de la altura de las antenas de la BTS teniendo como dato la ubicación de la BTS y el mapa de la zona en cuestión.

Además la herramienta TornadoN de Siemens usa estos valores y el valor de las alturas de las antenas de la BTS obtenido teóricamente para la predicción de cobertura

de la celda y el cálculo del rango de cobertura en cada banda con el 75% de probabilidad de ubicación en el borde de la misma.

Modelo de radio propagación. Predicción de cobertura de la BTS.

Del examen de la visita a la zona con problemas de cobertura (viviendas de uno o dos pisos, ver las fotografías de la zona obtenidas del TSS respectivo), del examen además de la geografía (su morfología y topología: toda la zona se encuentra en un valle circundado por cerros) se determinó que la zona es de dimensiones macro la cual puede ser cubierta en su totalidad por una sola celda. Se determinó además del examen de las fotos del área (obtenidas del TSS) según las orientaciones para las antenas propuestas (sector 1: 75°, sector 2: 250°) que son necesarios dos sectores. Por lo anterior se requiere el diseño de una BTS que permita cubrir toda la zona en cuestión. Dicho diseño significa confirmar o ajustar la altura de las antenas propuesta para cada sector y confirmar las orientaciones.

Se determinó un modelo de propagación base adecuado para la geografía y arquitectura de la zona. Puesto que la zona es de dimensiones macro y de entorno de tipo sub-urbano el modelo de propagación básico a emplear es el modelo COST 231 Okumura Hata, el cual es un modelo basado en un entorno urbano de la ciudad de Tokyo, Japón. Se utiliza un modelo de propagación definido por Siemens basado en el modelo COST 231 Okumura Hata que elimina las limitaciones de este modelo básico y tiene en cuenta las pérdidas debido a la difracción. Dicho modelo de propagación es usado por la herramienta AnatomN de Siemens para predecir la cobertura de la celda.

Se define el modelo de COST 231 Okumura Hata.

La fórmula 2.11 de Okumura Hata se definió para la frecuencias de 150 MHz a 1500 MHz.

$$L_{pathloss} = 69.55 + 26.16 \log\left(\frac{f}{MHz}\right) - 13.82 \log\left(\frac{h_{BS}}{m}\right) - a\left(\frac{h_{MS}}{m}\right) + s * \log\left(\frac{d}{km}\right) + L(clutter) \quad (2.11)$$

Modificaciones a la fórmula permiten su uso en el rango de frecuencias de 1500 MHz a 2000 Mhz. Resultando la fórmula 2.11 COST 231 Hata.

$$L_{pathloss} = 46.3 + 33.9 \log\left(\frac{f}{MHz}\right) - 13.82 \log\left(\frac{h_{BS}}{m}\right) - a\left(\frac{h_{MS}}{m}\right) + s * \log\left(\frac{d}{km}\right) + L(clutter) \quad (2.12)$$

Donde:

$$S = 44.9 - 6.55 \log(h_{BS}/m)$$

$a(h_{MS}/m) = (1.1 \log 10 f - 0.7)h_{MS} - (1.56 \log 10 f - 0.8) \dots$ Usado para zonas de área pequeña y mediana.

$a(h_{MS}/m) = 3.2(\log_{10}(11.75 \times h_{MS}))^2 - 4.97$ Usado para zonas de gran área.

$L_{pathloss}$: pérdida en dBm de intensidad de la señal entre la BTS y el MS

f : frecuencia de operación

d : distancia en Km. de separación entre la BTS y el MS.

$L_{clutter}$: pérdida según el tipo de entorno.

Limitaciones de la fórmula:

h_{BS} : 30 a 200 m

h_{MS} : 1-10 m

d : 1-20Km.

Se define la fórmula 2.13 del modelo de predicción estadística definida por Siemens.

$$Pathloss \text{ (dB)} = P_{Tx} - P_{Rx} =$$

$$K_1 + K_2 \log(d) + K_3(H_{ms}) + K_4 \log(H_{ms}) + K_5 \log(H_{eff}) + K_6 \log(H_{eff}) \log(d) + K_7 \text{Diffr} + L_{clutter} \quad (2.13)$$

La relación entre la fórmula de este modelo y la fórmula COST 231 Okumura Hata se muestra a continuación.

$$L_{pathloss} = \underbrace{69.55 + 26.16 \log\left(\frac{f}{MHz}\right)}_{K_1} + \underbrace{44.9 \log\left(\frac{d}{km}\right)}_{K_2} - \underbrace{13.82 \log\left(\frac{h_{BS}}{m}\right)}_{K_5} - \underbrace{6.55 \log\left(\frac{h_{BS}}{m}\right) + \log\left(\frac{d}{km}\right) - a\left(\frac{h_{MS}}{m}\right)}_{K_6} + \underbrace{L_{clutter}}_{K_3 + K_{(Clutter)}}$$

Los factores K_4 y K_7 son incluidos en el modelo para mostrar el efecto de la altura del MS y la pérdida por difracción en el cálculo de la pérdida por trayectoria de propagación.

Donde:

P_{Tx} : Potencia isotrópica irradiada por la antena de transmisión de la BTS (dBm).

P_{Rx} : Potencia recibida medida (dBm).

K_i , $i=1,2 \dots 7$, son los factores asociados a los parámetros de altura del MS (H_{ms}), altura efectiva de la antena (H_{eff}), distancia entre el MS y la BTS (d) y a la pérdida por difracción (Diffr).

Son estos factores los que se modifican durante el proceso de afinamiento del modelo de propagación de manera que los valores obtenidos por el modelo de propagación afinado sean aproximadamente igual a los valores medidos en campo. Como se indico en la sección de búsqueda del punto cero, una vez el modelo se haya afinado sobre la base de una área geográfica este tiene validez en áreas de geografía y arquitectura urbanística similares. Además el factor de corrección de pérdida del entorno de propagación ($L_{clutter}$) permite adaptar el modelo de propagación afinado a cualquier tipo de entorno. De esta

manera es posible usar el mismo modelo en cada entorno corrigiendo el factor $L_{clutter}$ al valor adecuado de manera que la fórmula del modelo describa con precisión aceptable el comportamiento de la señal.

Para el área de Lima Metropolitana, basado en el modelo de predicción estadística definida por Siemens se obtuvieron dos fórmulas de propagación (dos conjuntos de factores K) una para cada banda de operación de la red GSM de Movistar. La figura 2.23 que se muestra a continuación presenta los valores de cada uno de los factores K para el cálculo de pérdida de intensidad de la señal por trayectoria, correspondientes al modelo de propagación para Lima en la banda de 850 ingresados en la herramienta TornadoN propietario de Siemens para la predicción de cobertura.

The screenshot shows the 'Propagation Models' window with the following configuration for the 'Lima850' model:

Factor	Value	Near Value
k1	144.00	147.50
k2	44.00	50.00
k3	0.00	-
k4	0.00	-
k5	-13.82	-
k6	-6.55	-
k7	0.60	-

Note: Use 'near' values when $d < 1.00$ km

Equation:

$$\text{Path Loss (dB)} = k1 + k2 \log(d) + k3 H_{ms} + k4 \log(H_{ms}) + k5 \log(H_{eff}) + k6 \log(H_{eff}) \log(d) + k7 (\text{Diffraction Loss}) + \text{Clutter Loss}$$

Figura 2.23 Valores de los factores K para el modelo de propagación Lima 850.

Observe que la herramienta para la predicción de cobertura considera los factores de K_{1near} y K_{2near} y hay valores ingresados para ellos. Estos factores se utilizan en lugar de sus pares $K1$ y $K2$ cuando se quiere utilizar el modelo de propagación definido (ya sea Lima 850 o Lima 1900, claro esta, los valores de son distintos para cada banda de operación) a distancias cercanas (menores a 1Km) a las antenas

La figura 2.24 muestra los valores del factor de corrección de pérdida debido al entorno correspondiente para la banda de 850.

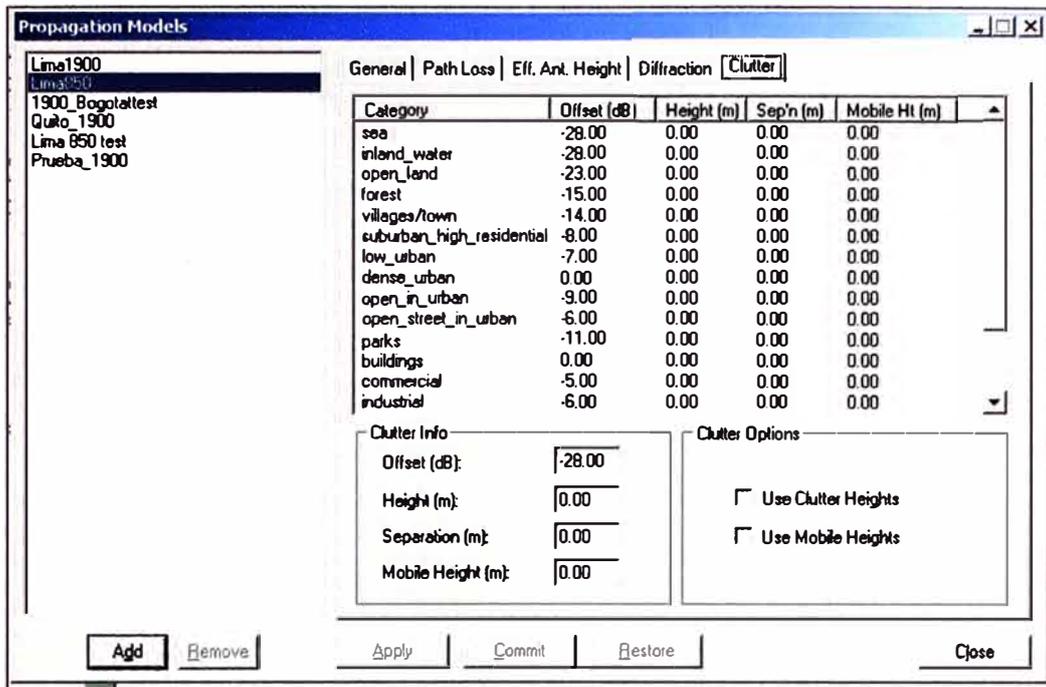


Figura 2.24. Valores de los factores de pérdida Lclutter de pérdida del entorno para el modelo de propagación Lima 850.

La figura 2.25 muestra los valores de los factores K correspondientes al modelo de propagación para Lima banda de 1900 ingresados en la herramienta TomadoN propietario de Siemens para la predicción de cobertura.

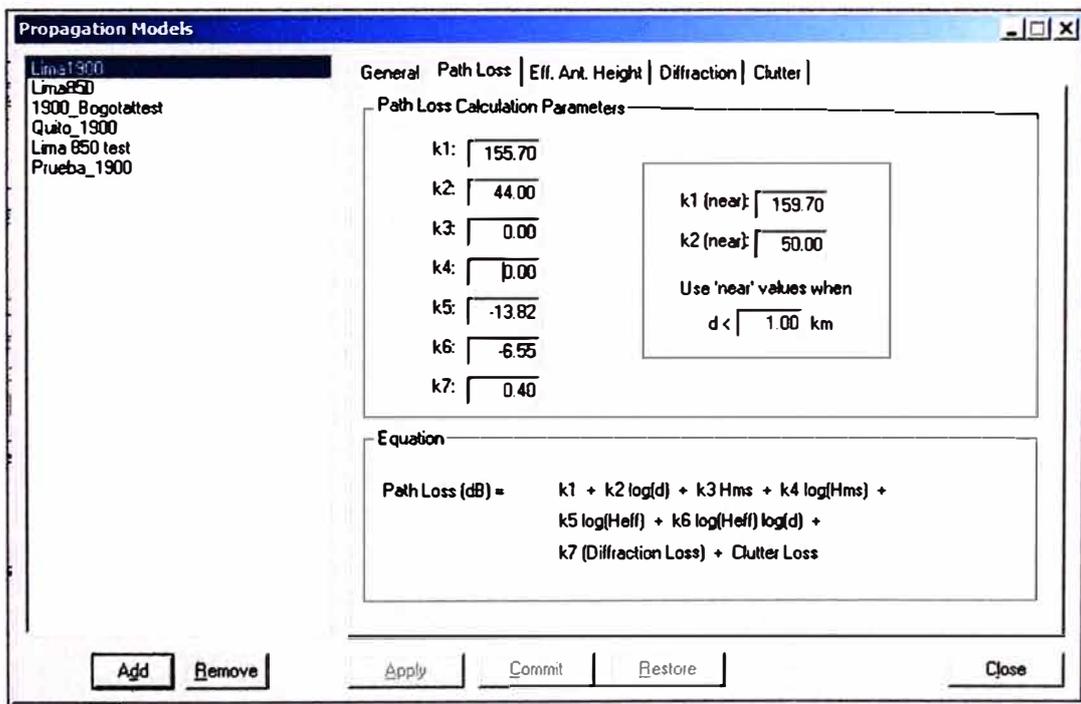


Figura 2.25. Ingreso de valores del factores K para el modelo de propagación Lima 1900.

La figura 2.26 muestra los valores del factor de corrección de pérdida debido al entorno correspondiente para la banda de 1900.

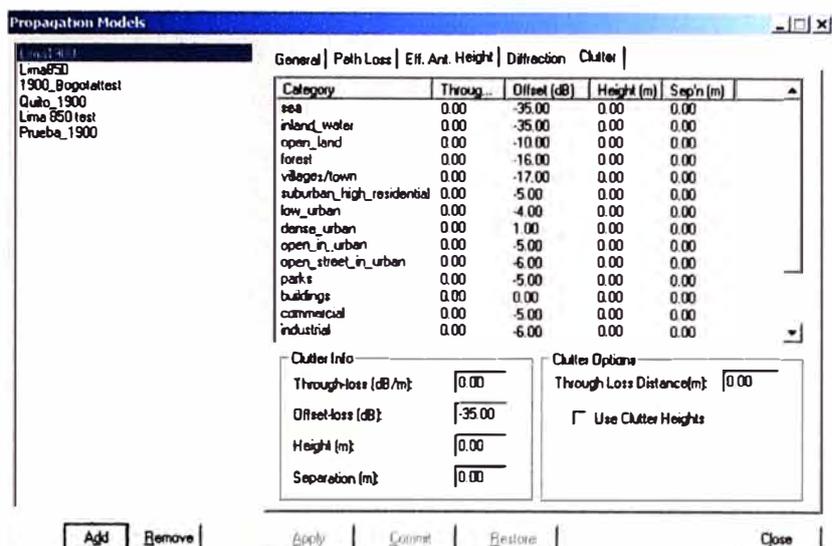


Figura 2.26 Valores de los factores Lclutter de perdida del entorno para el modelo de propagación Lima 850.

Estos modelos junto con los mapas de la morfología y topología de Lima, tipo de antena, la altura propuesta de las antenas, sus orientaciones e inclinaciones propuestas y la ubicación de la BTS nos permiten obtener predicciones de cobertura sobre la zona de interés.

Predicción de Cobertura para la celda de GOLF LA PLANICIE.

La tabla 2.9 muestra los datos para esta nueva celda.

BTS	Golf La Planicie	
Banda de Frecuencia de Operación	850	1900
Ubicación	lat:12°4'20.35"/ long:76°53'15.61"	
Número de Sectores	2	2
Altura de la antena sector 1	18mts	18mts
Altura de la antena sector 2	18mts	18mts
Altura de la antena sector 3	na	na
Orientación antena sector 1	75°	75°
Orientación antena sector 2	250°	250°
Orientación antena sector 3	na	na
Inclinación (eléctrica) antena sector 1	5°	2°
Inclinación (eléctrica) antena sector 2	4°	3°
Inclinación (eléctrica) antena sector 3	na	na

Tabla 2.9 Datos de la celda.

La figura 2.27 a continuación muestra la morfología de la zona de la Planicie, la ubicación de uno de los sitios candidatos de la nueva BTS GOLF LA PLANICIE, las ubicaciones de los sitios existentes y la distribución de calles en la zona.

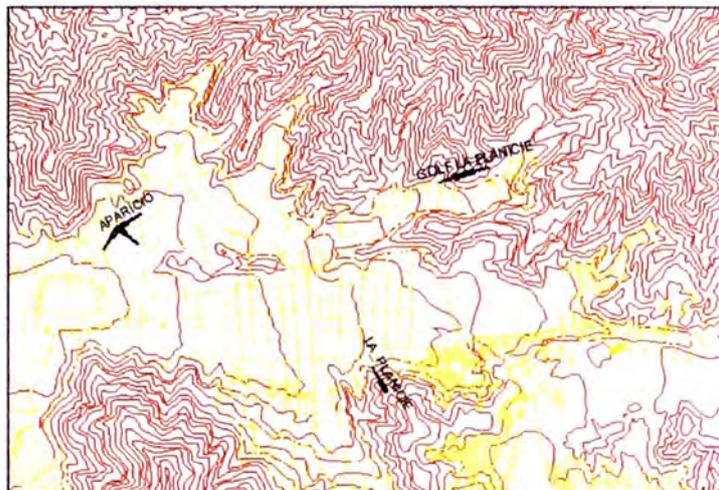


Figura 2.27 Mapa con la ubicación de sitios existentes y de un sitio candidato para la BTS GOLF LA PLANICIE.

Observe el mapa anterior en el que se muestra las calles de la zona de La Planicie. La predicción de cobertura (cuya traza se muestra en la figura 2.28) a los valores indicados en la tabla muestran adecuados niveles de señal de recepción en toda la zona en cuestión. Por tanto los valores de altura de antena, orientaciones e inclinaciones propuestas son los valores finales que se emplearán durante la instalación de la BTS y su Sistema Radiante. Además por lo anterior se definió este sitio candidato como el sitio definitivo para la ubicación de la BTS.

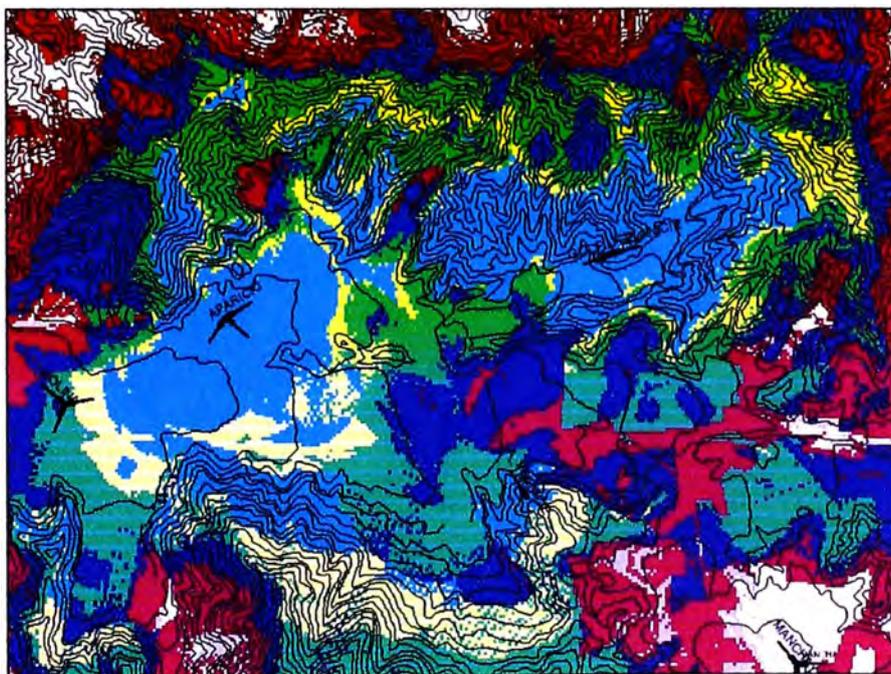


Figura 2.28 Predicción de Cobertura de la mejor servidora de la celda GOLF LA PLANICIE

Planeamiento de la Capacidad. Determinación de la Capacidad de Tráfico de una nueva BTS

Definición del Modelo de Tráfico.

El modelo de tráfico a emplear para el cálculo de la capacidad de la nueva BTS toma en cuenta el comportamiento de los suscriptores de la red, es decir, toma en cuenta el movimiento de los mismos a través del área de cobertura, el tiempo promedio de duración de la llamada, el número de llamadas realizadas por suscriptor, etc.

El modelo de tráfico estándar definido para GSM, obtiene los siguientes resultados:

Tráfico por suscriptor en hora pico = 25 mErl

Duración promedio de una llamada = 115 seg.

Tráfico SDCCH por suscriptor = 4 mErl

Se definió, en el planeamiento de capacidad de la red GSM, el uso de la tabla Erlang B para calcular el número de canales de tráfico de suscriptor y de señalización necesarios para soportar la demanda de tráfico requerida considerando un porcentaje de bloqueo de las mismas típico del 2%. A continuación se muestra la tabla (2.10) de Erlang B.

# de Canales	% de Bloqueo		# de Canales	% de Bloqueo	
	1%	2%		1%	2%
1	0.00977	0.01953	26	16.95856	18.38261
2	0.15234	0.22266	27	17.79744	19.26453
3	0.45483	0.60205	28	18.63989	20.14978
4	0.86914	1.09180	29	19.48681	21.03934
5	1.36047	1.65710	30	20.33661	21.93100
6	1.90869	2.27563	31	21.19046	22.82664
7	2.50024	2.93518	32	22.04761	23.72485
8	3.12695	3.62695	33	22.90805	24.62563
9	3.78204	4.34454	34	23.77188	25.52905
10	4.46106	5.08331	35	24.63768	26.43452
11	5.15961	5.84140	36	25.50641	27.34305
12	5.87549	6.61469	37	26.37836	28.25332
13	6.60712	7.40097	38	27.25220	29.16565
14	7.35120	8.19971	39	28.12825	30.08045
15	8.10768	9.00925	40	29.00696	30.99731
16	8.87451	9.82813	41	29.88791	31.91489
17	9.65096	10.65561	42	30.77069	32.83557
18	10.43619	11.49088	43	31.65588	33.75713
19	11.22993	12.33278	44	32.54262	34.68115
20	12.02972	13.18146	45	33.43157	35.60686
21	12.83693	14.03568	46	34.32189	36.53342
22	13.65114	14.89589	47	35.21432	37.46155
23	14.47011	15.76038	48	36.10858	38.39154
24	15.29480	16.63019	49	37.00384	39.32258
25	16.12434	17.50450	50	37.90092	40.25497

Tabla 2.10 Tabla de Erlang B

# de Canales	% de Bloqueo		# de Canales	% de Bloqueo	
	1%	2%		1%	2%
51	38.79960	41.18848	76	61.65288	64.85617
52	39.70023	42.12344	77	62.57866	65.81352
53	40.60138	43.05967	78	63.50562	66.77090
54	41.50463	43.99695	79	64.43371	67.72910
55	42.40919	44.93570	80	65.36194	68.68805
56	43.31485	45.87512	81	66.29113	69.64676
57	44.22140	46.81565	82	67.22121	70.60701
58	45.12930	47.75712	83	68.15211	71.56686
59	46.03906	48.70003	84	69.08281	72.52812
60	46.94916	49.64355	85	70.01514	73.48980
61	47.86079	50.58823	86	70.94711	74.45182
62	48.77382	51.53391	87	71.88060	75.41412
63	49.68739	52.48045	88	72.81458	76.37813
64	50.60205	53.42773	89	73.74896	77.34180
65	51.51842	54.37561	90	74.68420	78.30557
66	52.43488	55.32470	91	75.61973	79.27040
67	53.35280	56.27490	92	76.55547	80.23521
68	54.27129	57.22533	93	77.49243	81.20099
69	55.19100	58.17664	94	78.42949	82.16663
70	56.11183	59.12872	95	79.36713	83.13315
71	57.03287	60.08149	96	80.30585	84.09998
72	57.95563	61.03482	97	81.24449	85.06760
73	58.87836	61.98946	98	82.18356	86.03487
74	59.80263	62.94449	99	83.12357	87.00341
75	60.72750	63.89980	100	84.06391	87.97150

Tabla 2.10 Tabla de Erlang B (continuación)

Cálculo de la capacidad de radios para la estación base GOLF LA PLANICIE.

Se expondrá a continuación el cálculo del número de radios por sector para la nueva celda de GOLF LA PLANICIE, teniendo en cuenta la configuración de la nueva celda, los resultados del modelo de tráfico estándar de GSM y los resultados del último censo realizado por el INEI. Es decir se tienen los siguientes datos:

Configuración de la nueva celda

Número de sectores = 2

Modelo de tráfico estándar para GSM

Tráfico por suscriptor en hora pico = 25 mErl

Tráfico SDCCH por suscriptor = 4 mErl

Censo 2007 INEI.

Número de habitantes del distrito de La Molina entre las edades de 15 a 64 años = 94.559

Se asume basado en el examen de la zona, que el 2% de la población de La Molina se encuentra en la zona de La Planicie a cubrir por la BTS = 1892 personas.

Del examen de la zona (examinar la fotos satelitales de la zona como referencia), se observa una distribución homogénea del número de viviendas en dicha zona. Por lo tanto se asumió, basado en la ubicación final de la BTS que tanto el sector 1 como el sector 2 de la celda cubrirán cada uno el 50% del total de viviendas y por lo tanto al 50% del número de habitantes de la zona.

Se consideró el número de habitantes entre las edades de 15 a 64 años (como se muestra líneas arriba) para el cálculo del número de suscriptores potenciales. Se asumió que el 80% de estas personas serian suscriptores potenciales.

Por lo tanto:

Número de suscriptores en el sector 1 = $80\% \times 50\% \times 1892 = 757$

Número de suscriptores en el sector 2 = $80\% \times 50\% \times 1892 = 757$

La figura 2.29 a continuación muestra los resultados del último censo del INEI.

Censos Nacionales 2007: XI de Población y VI de Vivienda				
Sistema de Consulta de Datos				
Población por Grupos de Edad y Sexo				
Poblacion en Lima				
15 - 64		20,612	25,324	45,936
65 +		3,884	5,927	9,811
Total		29,806	36,365	66,171
AREA # 150114	Dpto. Lima Prov. Lima Dist. La Molina			
Edad por Grandes Grupos	P: Según Sexo			
		Hombre	Mujer	Total
0 - 14		13,724	13,061	26,785
15 - 64		42,772	51,787	94,559
65 +		4,959	6,195	11,154
Total		61,455	71,043	132,498
AREA # 150115	Dpto. Lima Prov. Lima Dist. La victoria			

Figura 2.29 Censo Poblacional INEI. Número de habitantes distrito de La Molina.

Basados en los datos anteriores se realizó el cálculo del número de radios por sector tanto en las bandas de 850 como de 1900.

La tablas 2.11 y 2.12 que se muestran a continuación describen el cálculo para obtener el número de ranuras de tiempo requeridos para los canales de tráfico y de señalización (SDCCH) para el sector 1 en ambas bandas de operación. Puesto que los datos básicos resultan ser los mismos para ambos sectores el resultado obtenido para el sector 1 es el mismo para el sector 2.

Cálculo del Número de Ranuras de Tiempo TDMA para los Canales de Tráfico por Sector y por Banda de Frecuencia					
Ítem	Valor	Unidad			Descripción
Densidad Poblacional de la Zona (Dens Pobl)	946				
Número de Suscriptores = P% x Dens. Pobl	757				
P%	80%				
Tráfico por Suscriptor en la hora pico	0.025	Erl			
Tráfico total en la zona en la hora pico	18.925	Erl			Es la predicción del tráfico demandado en la hora pico
Tráfico cursado en la banda de 850	11.355	Erl			Se define que el 60% de todo el tráfico sea en banda de 850
Tráfico cursado en la banda de 1900	7.57	Erl			Se define que el 40% de todo el tráfico sea en banda de 850
Banda de operación	850		1900		
Ítem	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Descripción
Tráfico ofrecido = (Tráfico demandado/85%)	13.358824	Erl	8.9058824	Erl	Se define que el tráfico demandado sea el 85% del tráfico ofrecido.
Número de Canales de Tráfico (TCH) requeridos (Obtener de la tabla de Erlang B)	21		15		Es la cantidad de canales de tráfico requerido para transportar el tráfico ofrecido con un porcentaje de bloqueo del 2%
Número de canales de tráfico a tasa media (TCH HR)	15		11		Se define que el 70% del tráfico del usuario se transportara en canales TCH/HR.
Número de canales de tráfico a tasa completa (TCH FR)	7		4		Es igual al 30% de los canales requeridos. Se define que el 30% del tráfico del usuario se transportara en canales TCH/FR
Número de ranuras de tiempo TDMA (#TS) asignados para TCH	15		10		Es igual a la suma de la mitad de TCH/HR y los TCH/FR. Un TS de TDMA transporta dos canales TCH/HR exactos.

Tabla 2.11 Cálculo del número de TSs para TCH requeridos para el 1er sector.

Cálculo del Número de Ranuras de Tiempo TDMA para los Canales de Señalización SDCCH por Sector y por Banda de Frecuencia					
Item	Valor	Unidad			Descripción
Densidad Poblacional de la Zona	946				
Número de Suscriptores = P% x Dens. Pobl	757				
P%	80%				
Tráfico SDCCH por Suscriptor en la hora pico	0.004	Erl			
Tráfico SDCCH en la zona en la hora pico	3.028	Erl			Es la predicción del tráfico SDCCH demandado en la hora pico
Tráfico cursado en la banda de 850	1.8168	Erl			Es el tráfico SDCCH en la banda de 850
Tráfico cursado en la banda de 1900	1.2112	Erl			Es el tráfico SDCCH en la banda de 1900
Banda de operación	850		1900		
Item	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Descripción
Tráfico SDCCH ofrecido = (Tráfico SDCCH demandado/85%)	2.13741	Erl	1.42494	Erl	Se define que el tráfico SDCCH demandado sea el 85% del tráfico SDCCH ofrecido. Es el tráfico de señalización ofrecido para transportar señalización de actualización de ubicación, envío de SMS, handover, etc. con un porcentaje de bloqueo del 2%
Número de Canales de SDCCH requeridos (Obtener de la tabla de Erlang B)	6		5		Es la cantidad de canales SDCCH requerido para transportar el tráfico ofrecido con un porcentaje de bloqueo del 2%
Número de ranuras de tiempo TDMA (#TS) asignados para SDCCH	1		1		
Número de TSs asignados para datos GPRS	1		1		
Número de TSs asignados para datos EDGE	2		2		
Número de TSs asignados para señalización BCCH	1		1		Se considera una configuración de canales de señalización separada (el canal BCCH y el canal SDCCH se transporten por ranuras de tiempo distintas).

Tabla 2.12 Cálculo del número de TSs para SDCCH requeridos para el 1er sector

Por lo tanto, se concluye (ver tablas 2.13 y 2.14):

Sector	1	
Banda	850	1900
Número total de TS de señalización	5	5
Número total de TS de tráfico	15	10
Número total de TS	20	15
Número de radios (TRXs)	3	2

Tabla 2.13 Cálculo del número de radios para el sector 1

Sector	2	
Banda	850	1900
Número total de TS de señalización	5	5
Número total de TS de tráfico	15	10
Número total de TS	20	15
Número de radios (TRXs)	3	2

Tabla 2.14 Cálculo del número de radios para el sector 2

Finalmente la configuración de la celda es igual a 330/220.

2.2. 4 Diseño de una estación base por Tráfico.

Cálculo del Presupuesto de Potencia (Power Budget).

Las fórmulas y las especificaciones de potencia, pérdida de señal y otros de los distintos elementos de radio (transmisión como recepción) que componen el equipo de la BTS y su sistema radiante indicadas anteriormente en la sección de cálculo del power Budget para la BTS de Golf La Planicie son (para este caso) igualmente validas para el cálculo de los Power Budget para las bandas de 850 y 1900 tanto en el enlace de subida como en el enlace de bajada.

Para la BTS del sitio PLAZA SUR.

De los datos del TSS del sitio: Longitud cable coaxial principal = 33 m.

La tabla 2.15 muestra el cálculo del power budget en el enlace de bajada.

Cálculo del Power Budget en el Downlink				
Banda	850		1900	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad
Estación Base				
Potencia de transmisión del radio	46.7	dBm	46.7	dBm
Pérdida del Combinador	5.6	dB	5.4	dB
Perdida de la línea de antena:	1.7857	dB	1.9717	dB
*Perdida del cable coaxial princ.	1.2177	dB	1.2177	dB
*Perdida de los jumpers (de BTS y de Antena)	0.408	dB	0.594	dB
*Pérdida del conector (2)	0.16	dB	0.16	dB
Ganancia de la antena	17	dBi	18	dBi
EIRP de la Antena de transmisión de la BTS	56.314	dBm	57.328	dBm
Estación Móvil				
Sensitividad del MS	-102	dBm	-100	dBm
Ganancia de la Antena del MS	0	dBi	0	dBi
Perdida de la línea de antena del MS	0	dB	0	dB
RIPL de la antena del MS	-102	dBm	-100	dBm
Pérdida máxima en Downlink				
	158.31	dB	157.33	dB

Tabla 2.15 Cálculo del power budget en el downlink.

La tabla 2.16 muestra el cálculo del power budget en el enlace de subida.

Cálculo del Power Budget en el Uplink				
Banda	850		1900	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad
Estación Móvil				
Potencia de transmisión del MS	33	dBm	33	dBm
Perdida de la línea de antena	0	dB	0	dB
Ganancia de la Antena	0	dBi	0	dBi
EIRP antena del MS	33	dBm	33	dBm
Estación Base				
Sensitividad de la BTS	-104	dBm	-104	dBm
Potencia del LNA o TMA	0	dB	0	dB
Ganancia Diversidad de Rx	6	dB	4.2	dB
Ganancia de la Antena de Rx	17	dBi	18	dBi
Perdida de la línea de antena	1.7857	dB	1.9717	dB
*Perdida del cable coaxial princ.	1.2177	dB	1.2177	dB
*Perdida de los jumpers (de BTS y de Antena)	0.408	dB	0.594	dB
*Pérdida del conector (2)	0.16	dB	0.16	dB
RIPL de la antena de Rx de la BTS	-		-	
	125.21	dBm	124.23	dBm
Pérdida máxima en Uplink				
	158.21	dB	157.23	dB

Tabla 2.16 Cálculo del power budget en el uplink.

Los resultados obtenidos son aproximadamente iguales, por lo tanto, se ha balanceado los power budgets de los enlaces de subida y bajada en ambas bandas.

Por lo tanto:

Perdida máxima por trayectoria en la banda de 850 = 158.21 dB.

Perdida máxima por trayectoria en la banda de 1900 = 157.23 dB.

La pérdida máxima por trayectoria de la señal obtenida del cálculo del Power Budget es el valor de atenuación de la señal promedio que no considera el fenómeno de desvanecimiento lento o de largo plazo que sufre la señal debido a la difracción de la misma al incidir sobre los bordes de obstáculos presentes en el entorno de propagación antes de llegar al MS. La señal que llega es una suma de señales difractadas y reflejadas que varían en el tiempo causando que la intensidad de la señal resultante varíe respecto del valor promedio. Dicha variación puede resultar siendo muy perjudicial para las comunicaciones y la severidad de este fenómeno depende del entorno de propagación de la señal.

Lo anterior resulta crítico cuando la pérdida por trayectoria es la máxima, es decir el MS receptorá la señal a una intensidad igual al valor de sensibilidad del equipo móvil pero debido al desvanecimiento lento la señal puede alcanzar al móvil a un nivel por debajo de la sensibilidad y por lo tanto la conexión se perdería o no se establecería. El móvil en esta ubicación debido al comportamiento de la señal a causa del desvanecimiento lento (la señal presenta una distribución normal, caracterizada por el valor promedio y la desviación estándar) tendrá el 50% de probabilidad de ser enlazado, es decir, la probabilidad que la señal llegue al móvil con un nivel por encima de la sensibilidad del mismo en esa ubicación es del 50%.

El planeamiento de cobertura para el proyecto GSM definió que el radio R de cobertura teórico de la celda es tal que la MS distanciada este radio de la BTS tenga un probabilidad de ubicación del 75%. Es decir, el 75% del total de veces que el MS se encuentre a una distancia R de la BTS (límite de cobertura de la celda) receptorá la señal con un nivel por encima de su sensibilidad. Lógicamente a esa distancia R (75% probabilidad de ubicación) la pérdida máxima por trayectoria es menor que la pérdida máxima para un 50% de probabilidad de ubicación.

De lo anterior resulta la siguiente fórmula 2.14:

$$\begin{aligned} & \text{Perdida max. por tray. (75\% prob. ubic.)} = \\ & \text{Perdida max. por tray. (50\% prob. de ubic.)} - \text{Perdida por desvanecimiento lento.} \end{aligned} \quad (2.14)$$

Donde:

Perdida max. por tray. (50% prob. de ubic.) = Pérdida calculada por el power Budget.

Perdida por desvanecimiento lento = 0.675 x 6 dB = 4dB Para un entorno sub-urbano como la zona donde se ubica las BTS de PLAZA SUR.

Por lo tanto para la BTS PLAZA SUR:

$$\text{Pérdida max. por tray. (75\% prob. ubic.)} = 158.21 \text{ dB} - 4.05 \text{ dB} = 154.16 \text{ dB}$$

$$\text{Pérdida max. por tray. (75\% prob. ubic.)} = 157.23 \text{ dB} - 4.05 \text{ dB} = 153.18 \text{ dB}$$

Estos valores se usan para un primer cálculo de la altura de las antenas de la BTS teniendo como dato la ubicación de la BTS y el mapa de la zona en cuestión. El valor así obtenido para las alturas de las antenas es una de los datos requeridos por la herramienta para la predicción de cobertura.

Por lo tanto la herramienta TornadoN de Siemens usa estos valores y el valor de las alturas de las antenas de la BTS obtenido teóricamente para la predicción de cobertura de la celda y el cálculo del rango de cobertura en cada banda con el 75% de probabilidad de ubicación en el borde de la misma.

Modelo de radio propagación. Predicción de cobertura de la BTS.

Del examen de la visita a la zona con problemas de congestión de llamadas (edificaciones de dos o tres pisos, ver las fotografías de la zona obtenidas del TSS respectivo), del examen además de la geografía (su morfología y topología: toda la zona se encuentra en un llano) se determina que la zona es de dimensiones micro la cual puede ser cubierta en su totalidad por una sola celda. Se determina además del examen de las fotos del área (obtenidas del TSS) según las orientaciones para las antenas propuesta (sector 1: 330°, sector 2: 90° y sector 3: 210°) que son necesarios tres sectores.

Nota: observe que el modelo de propagación definido por Siemens define valores de K_{1near} y K_{2near} que hacen que el modelo sea válido en diseños de BTS cuya cobertura es de dimensiones micro como es el caso de la celda PLAZA SUR.

Por lo anterior se requiere el diseño de una BTS que permita cubrir toda la zona en cuestión. Dicho diseño significa confirmar o ajustar la altura de las antenas propuestas en cada sector y confirmar las orientaciones y definir las inclinaciones. Por lo tanto para la predicción de cobertura de esta nueva celda en esta zona que experimenta congestión se usaran los modelos anteriormente mencionados de Lima 850 y lima 1900 (ver sección de diseño de una BTS por cobertura). Estos modelos junto con los mapas de la morfología y topología de Lima, tipo de antena, la altura propuesta de las antenas, sus orientaciones e inclinaciones propuestas y ubicación de la BTS nos permiten obtener predicciones de cobertura sobre la zona de interés.

Predicción de Cobertura para la celda PLAZA SUR.

Se tiene los siguientes datos.

La tabla 2.17 muestra los datos para esta nueva celda.

BTS	Plaza Sur	
Banda de Frecuencia de Operación	850	1900
Ubicación	lat: -12.170355555556°/ long: -77.012416666667°	
Número de Sectores	3	3
Altura de la antena sector 1	30mts	30mts
Altura de la antena sector 2	30mts	30mts
Altura de la antena sector 3	30mts	30mts
Orientación antena sector 1	330°	330°
Orientación antena sector 2	90	90°
Orientación antena sector 3	210°	210°
Inclinación (incl eléctrica) antena sector 1	2°	3°
Inclinación (incl eléctrica) antena sector 2	3°	3°
Inclinación (incl eléctrica) antena sector 3	3°	3°

Tabla 2.17 Datos de la celda.



Figura 2.30. Mapa de la zona de La Urb. Matellini con la ubicación de los sitios existentes y del nuevo sitio PLAZA SUR

La figura 2.30 anterior muestra la morfología de la zona de la Urbanización Matellini en el distrito de Chorrillos, la ubicación de uno de los sitios candidatos de la nueva BTS PLAZA SUR, las ubicaciones de los sitios existentes y la distribución de calles en la zona.

Por tanto los valores obtenidos para las alturas de las antenas, orientaciones e inclinaciones propuestas son los valores finales que se emplearan durante la instalación de la nueva estación base y su sistema radiante.

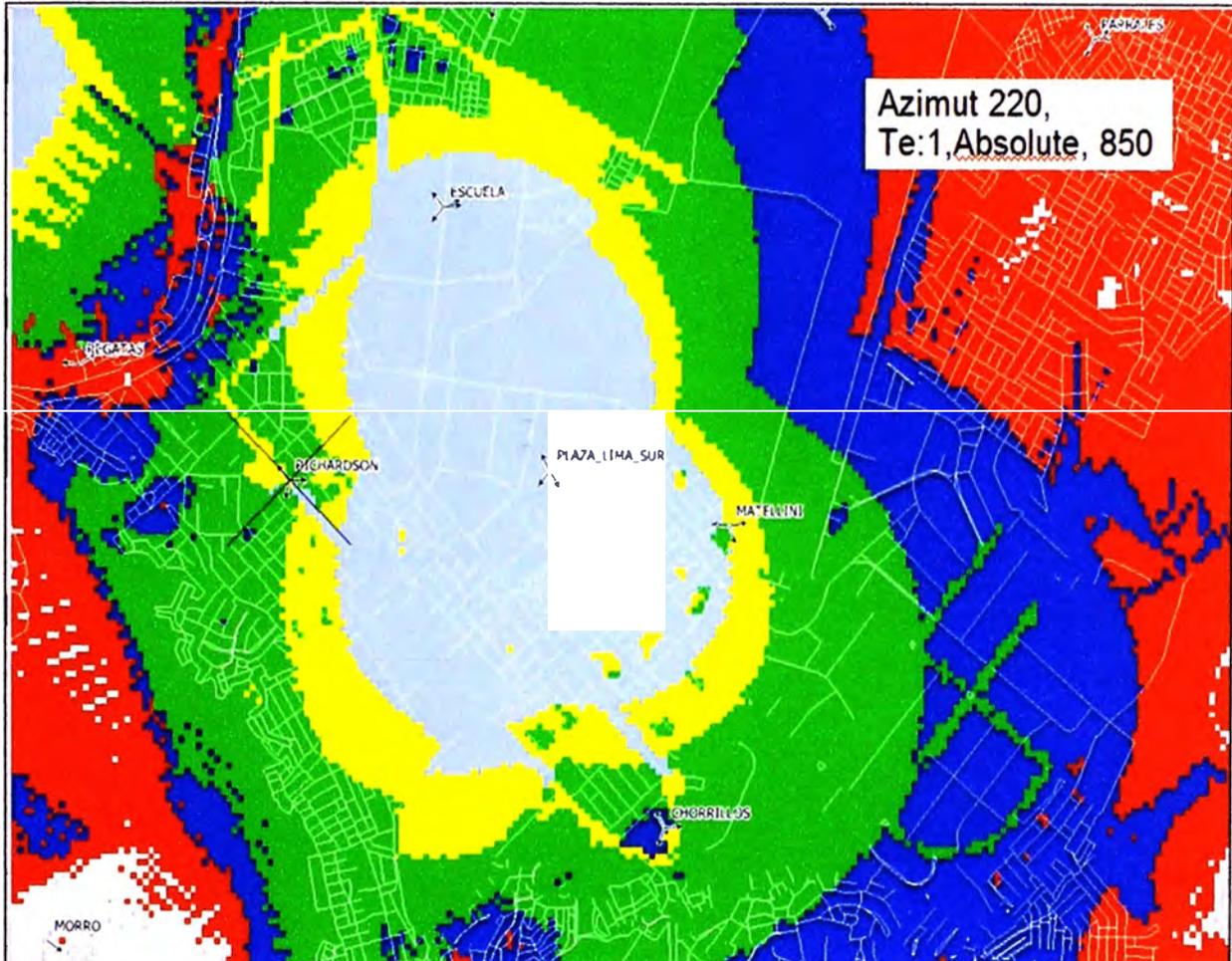


Figura 2.31 Plot de predicción de cobertura de la nueva BTS PLAZA SUR.

Observe el mapa anterior en el que se muestra las calles de la zona de Chorrillos. La predicción de cobertura (cuya traza se muestra en la siguiente figura 2.31) a los valores indicados en la tabla muestra un patrón de radiación con adecuados niveles de señal de recepción en toda la zona en cuestión. Obsérvese que la cobertura de la nueva celda no es de grandes dimensiones si no de uno o dos kilómetros de radio como máximo. Lo anterior es adecuado pues el objetivo de la nueva celda es ofrecer capacidad de tráfico en una zona de pequeñas dimensiones, además, la distancia de separación entre la nueva celda y las celdas vecinas es de unos dos o tres kilómetros. Por tanto los valores propuestos (los que se indicaron en la sección de búsqueda del punto cero) de alturas de las antenas, orientaciones e inclinaciones se eligieron como los valores finales que se

emplearan durante la instalación de la BTS y su Sistema Radiante. Además por lo anterior se definió este sitio candidato como el sitio definitivo para la ubicación de la BTS.

Planeamiento de la capacidad. Determinación de la capacidad de tráfico de la nueva BTS.

Definición del Modelo de Tráfico.

El modelo de tráfico a emplear es el mismo modelo expuesto para el cálculo de configuración de una BTS por cobertura, es decir, se toma en cuenta los valores obtenidos de tráfico por suscriptor en la hora pico (25 mErl) y tráfico SDCCH por suscriptor (4 mErl) . Sin embargo el cálculo de la configuración toma en cuenta otras consideraciones pues la instalación de esta BTS responde a un problema de congestión. Teniendo en cuenta la ubicación final del sitio PLAZA SUR y la revisión de la zona con congestión de tráfico (discutidas en la sección de búsqueda del punto cero) se propusieron las orientaciones para las antenas de 330°, 90° y 210° con el objetivo que los sectores 2 y 3 de la nueva celda minimizaran el problema de congestión de tráfico en la zona en cuestión, es decir, descongestionar los sectores 2 y 3 de la celda Richardson, 1 y 2 de la celda Matellini y sector 1 de la celda Chorrillos. Observe que el sector 3 de la nueva celda PLAZA SUR esta orientado hacia el centro comercial Plaza Lima Sur. Considerando que el nuevo sitio se encuentra en las instalaciones de la Escuela Técnica del Ejército, el sector 1 de la nueva celda tuvo como objetivo dar cobertura a dicha instalación ya que como puede observarse en la figura a continuación ninguno de los sectores de la celda ESCUELA da cobertura directa sobre la zona donde se ubica esta instalación.

Por lo tanto el planeamiento de capacidad para la nueva BTS en su sector 1 se realizó de manera similar al planeamiento de capacidad de una BTS por cobertura mientras que para los sectores 2 y 3 el planeamiento toma en cuenta los porcentajes de bloqueo de canal de tráfico y cantidad de caídas de conexiones SDCCH en la zona en cuestión (esto último se discutió en la sección Análisis del desempeño de la red para evaluar condiciones extremas de congestión en áreas de alto tráfico de la red).

Cálculo de la capacidad de radios para la estación base PLAZA SUR.

Cálculo de la capacidad de radios para el sector 1.

Las tablas 2.18 y 2.19 que se muestran a continuación describen el cálculo que se realiza para obtener el número de ranuras de tiempo requeridos para los canales de tráfico y de señalización (SDCCH) para el sector 1 de la nueva estación base PLAZA SUR.

Cálculo del Número de Ranuras de Tiempo TDMA para los Canales de Tráfico por Sector y por Banda de Frecuencia					
Ítem	Valor	Unidad			Descripción
Densidad Poblacional de la Zona (Dens Pobl)	1000				
Número de Suscriptores = P% x Dens. Pobl	800				
P%	80%				
Tráfico por Suscriptor en la hora pico	0.025	Erl			
Tráfico total en la zona en la hora pico	20	Erl			Es la predicción del tráfico demandado en la hora pico
Tráfico cursado en la banda de 850	12	Erl			Se define que el 60% de todo el tráfico sea en banda de 850
Tráfico cursado en la banda de 1900	8	Erl			Se define que el 40% de todo el tráfico sea en banda de 850
Banda de operación	850		1900		
Ítem	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Descripción
Tráfico ofrecido = (Tráfico demandado/85%)	14.117647	Erl	9.4117647	Erl	Se define que el tráfico demandado sea el 85% del tráfico ofrecido.
Número de Canales de Tráfico (TCH) requeridos (Obtener de la tabla de Erlang B)	22		16		Es la cantidad de canales de tráfico requerido para transportar el tráfico ofrecido con un porcentaje de bloqueo del 2%
Número de canales de tráfico a tasa media (TCH HR)	16		12		Se define que el 70% del tráfico del usuario se transportara en canales TCH/HR.
Número de canales de tráfico a tasa completa (TCH FR)	7		4		Es igual al 30% de los canales requeridos. Se define que el 30% del tráfico del usuario se transportara en canales TCH/FR
Número de ranuras de tiempo TDMA (#TS) asignados para TCH	15		10		Es igual a la suma de la mitad de TCH/HR y los TCH/FR. Un TS de TDMA transporta dos canales TCH/HR exactos.

Tabla 2.18 Cálculo del número de TSs para TCH primer sector BTS PLAZA SUR.

Cálculo del Número de Ranuras de Tiempo TDMA para los Canales de señalización SDCCH por Sector y por Banda de Frecuencia					
Ítem	Valor	Unidad			Descripción
Densidad Poblacional de la Zona	1000				
Número de Suscriptores = P% x Dens. Pobl	800				
P%	80%				
Tráfico SDCCH por Suscriptor en la hora pico	0.004	Erl			
Tráfico SDCCH en la zona en la hora pico	3.2	Erl			Es la predicción del tráfico SDCCH demandado en la hora pico
Tráfico cursado en la banda de 850	1.92	Erl			Es el tráfico SDCCH correspondiente en la banda de 850
Tráfico cursado en la banda de 1900	1.28	Erl			Es el tráfico SDCCH en la banda de 1900
Banda de operación	850		1900		
Ítem	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Descripción
Tráfico SDCCH ofrecido = (Tráfico SDCCH demandado/85%)	2.25882	Erl	1.50588	Erl	Se define que el tráfico SDCCH demandado sea el 85% del tráfico SDCCH ofrecido. Es el tráfico de señalización ofrecido para transportar señalización de actualización de ubicación, envío de SMS, handover, etc. con un porcentaje de bloqueo del 2%
Número de Canales de SDCCH requeridos (Obtener de la tabla de Erlang B)	6		5		Es la cantidad de canales SDCCH requerido para transportar el tráfico ofrecido con un porcentaje de bloqueo del 2%
Número de ranuras de tiempo TDMA (#TS) asignados para SDCCH	1		1		
Número de TSs asignados para datos GPRS	1		1		
Número de TSs asignados para datos EDGE	2		2		
Número de TSs asignados para señalización BCCH	1		1		Se considera una configuración de canales de señalización separada.

Tabla 2.19 Cálculo del número de TSs para SDCCH primer sector BTS PLAZA SUR.

Por lo tanto se concluye (ver tabla 2.20):

Sector	1	
Banda	850	1900
Número total de TS de señalización	5	5
Número total de TS de tráfico	15	10
Número total de TS	20	15
Número de radios (TRXs)	3	2

Tabla 2.20 Cálculo del número de radios para el sector 1

Cálculo de la Capacidad de radios para el sector 2 y 3

La figura 2.32 vuelve a mostrar el ratio de bloqueos de canales de tráfico.

Porcentaje de Bloqueos TCH

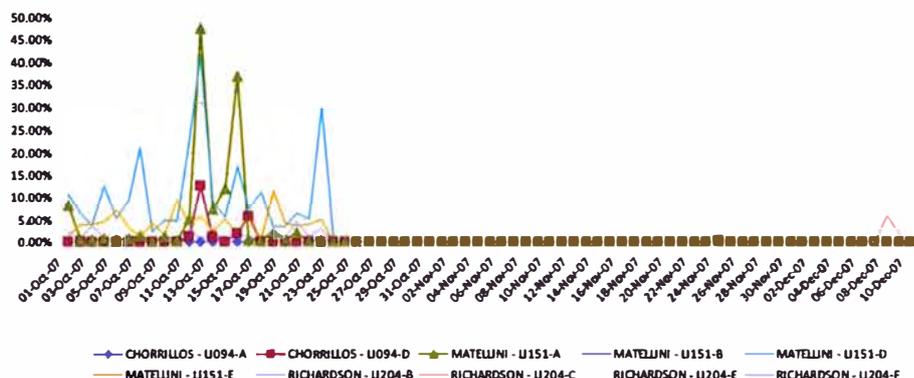


Figura 2.32. Ratio de bloqueos de canal de tráfico durante la hora pico

Un extracto de la tabla (tabla 2.21) correspondiente se muestra a continuación.

SITE_NAME	SITE-SECTOR	Date	Hour	TCH_SEIZ_A TT	TCH_BLOCK_ DR	TCH_Blocking _Rate
MATELLINI	LI151-A	12-Oct-07	20	6467	3052	47.19%
MATELLINI	LI151-D	12-Oct-07	20	2006	831	41.43%
CHORRILLOS	LI094-D	12-Oct-07	20	6121	755.9435	12.35%
MATELLINI	LI151-E	18-Oct-07	22	997	112	11.23%
RICHARDSON	LI204-F	20-Oct-07	19	2644	119	4.50%

Tabla 2.21 Estadísticas de porcentaje de bloqueos de TCH y número de intentos de captura de TCH

Es de nuestro interés los valores del parámetro TCH_BLOCK_DR (número de bloqueos de canal de tráfico en las dos bandas) que corresponden a los picos de tasa de bloqueo. Se consideró para el cálculo de la capacidad de la nueva celda en sus sectores 2 y 3 que el número de suscriptores es igual a la mitad del total de bloqueos de canal de tráfico.

Observe de la tabla que el número total de bloqueos en hora pico del 12 de octubre es con mucho superior a cantidad de intentos fallidos en los otros días. Por tanto se tomara la suma total de bloqueos del 12 de octubre para el cálculo de capacidad.

También se tomo en cuenta para el cálculo de capacidad la nueva celda en sus sectores 2 y 3 que el número de suscriptores es igual a la mitad del total de las conexiones SDCCH

Las figuras 2.33, 2.34 y 2.35 vuelven a mostrar la cantidad de conexiones SDCCH caídas.

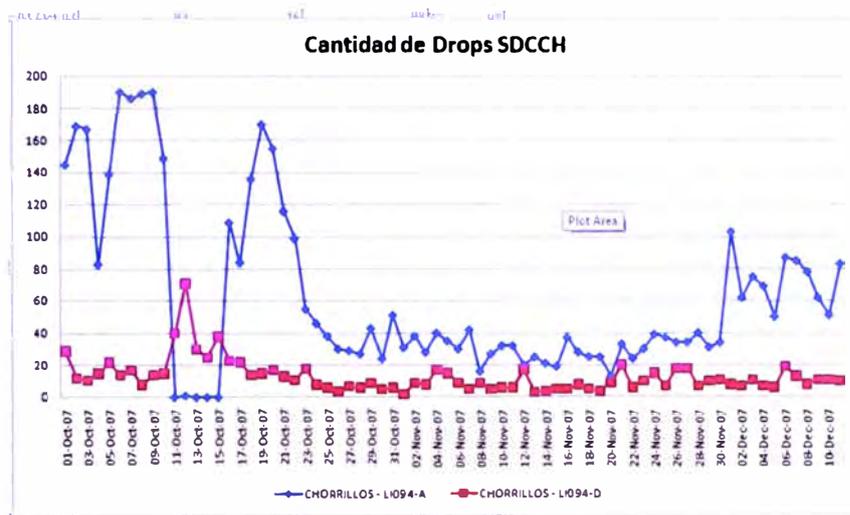


Figura 2.33 Cantidad de caídas de conexiones SDCCH relativas a establecimiento de llamada. Sector 1 Celda Chorrillos durante la hora pico del día.

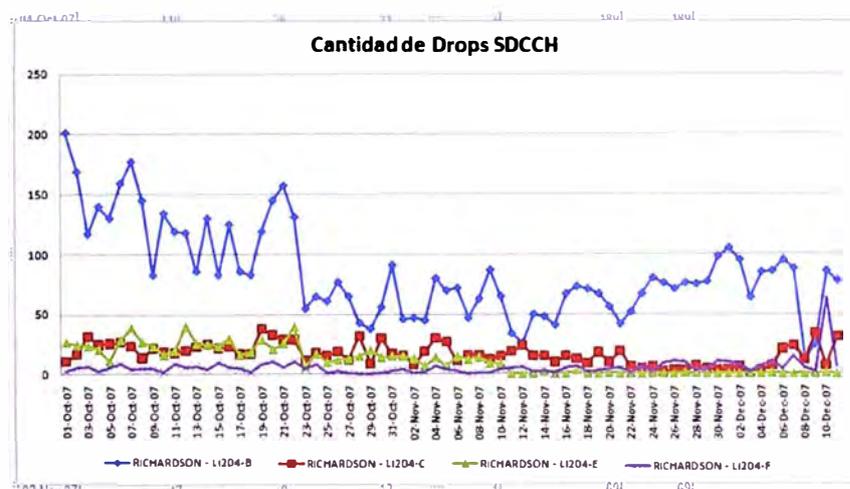


Figura 2.34 Cantidad de caídas de conexiones SDCCH relativas a establecimiento de llamada. Sectores 2 y 3 Celda Richardson durante la hora pico del día.

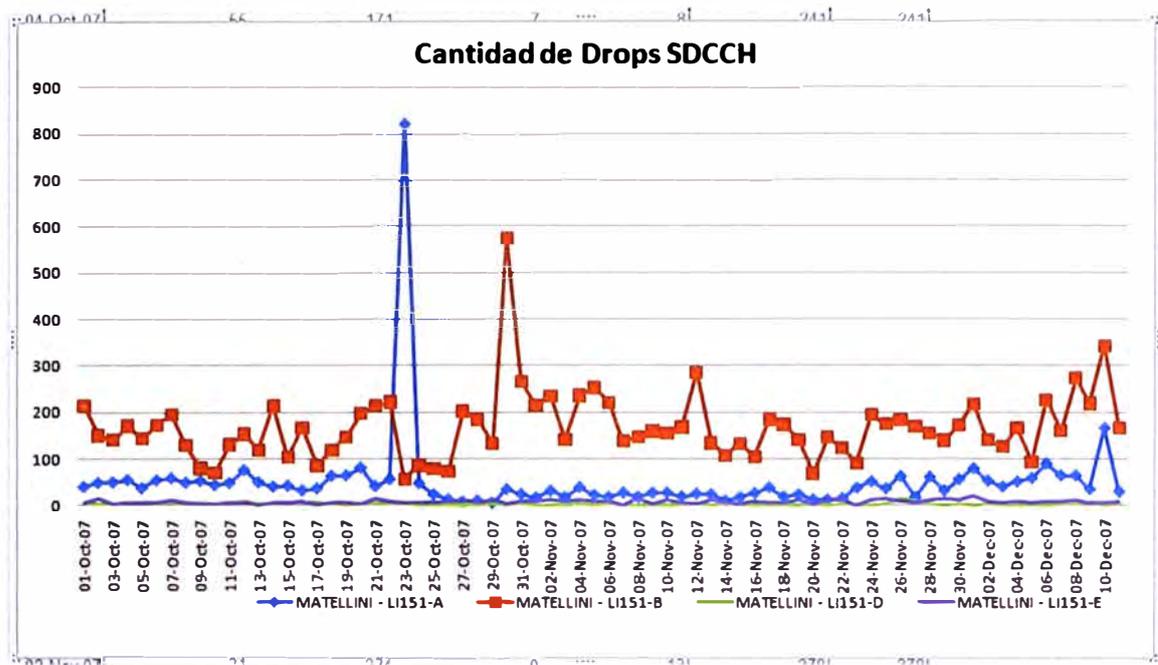


Figura 2.35 Cantidad de caídas de conexiones SDCCH relativas a establecimiento de llamada. Sectores 1 y 2 Celda Matellini durante la hora pico del día.

Un extracto de la tabla (tabla 2.22) correspondiente se muestra a continuación.

SITE_NAME	SITE-SECTOR	Date	Hour	SDCCH_SEI Z_ATT	SDCCH DROP	%_SDCCH_ DROP _RATE
RICHARDSON	LI204-B	01-Oct-07	21	5060	201	4.50%
CHORRILLOS	LI094-A	07-Oct-07	19	10877	186	1.98%
MATELLINI	LI151-A	23-Oct-07	10	4163	821	33.84%
MATELLINI	LI151-A	20-Oct-07	20	7569	81	1.10%

Tabla 2.22 Estadísticas de cantidad de caídas de conexiones SDCCH.

Observe el gran número de caídas SDCCH que ocurren a diario en el sector 1 (850) de Chorrillos, en el sector 2 (850) de Richardson y en menor cantidad pero de manera frecuente en el sector 1 (850) de Matellini. El valor máximo (y los valores correspondientes en la banda de 1900) de estas caídas diarias en cada caso se tomaron en cuenta para el cálculo de la capacidad. El valor pico de 821 no se tomó en cuenta porque el comportamiento de las caídas no tiene esa magnitud realmente pero si se considera para los cálculos el valor pico de 81.

Del examen de la disposición de los sectores de la nueva celdas, se asumió que para el cálculo del número de radios del segundo sector se toma en cuenta los valores de

bloqueo de canales de tráfico (Traffic Channels:TCH) y de caídas de conexiones de señalización dedicados (Stand-alone Dedicated Control Channels: SDCCH) de los sectores involucrados de la celda Matellini, mientras que para el cálculo del número de radios del tercer sector se toma en cuenta los valores de bloqueo de TCH y de caídas SDCCH de los sectores involucrados de las celdas Richardson y Chorrillos. Si bien esta suposición es lógica puede no resultar exacta sin embargo de esta manera se simplifica el cálculo de la cantidad de radios necesarios. El desbalance que puede ocurrir ya cuando la nueva estación base se encuentre en servicio se puede resolver mediante ajuste de orientaciones de las antenas de los sectores involucrados para lograr el balance.

Por lo tanto las consideraciones anteriores se tuvieron en cuenta de la siguiente manera para realizar los cálculos de ranuras de tiempo requeridos tanto para el sector 2 como para el sector 3.

Cálculo de Capacidad Sector 2.

Las tablas 2.23 y 2.24 a continuación muestran el cálculo del número de ranuras de tiempo requeridos para los canales de tráfico y de señalización (SDCCH) para el sector 2.

Cálculo del Número de Ranuras de Tiempo TDMA para los Canales de Tráfico por Sector y por Banda de Frecuencia					
Item	Valor	Unidad			Descripción
Número de Suscriptores = 50% x (Suma de bloqueos de TCH y de caídas SDCCH)	2082				
Tráfico por Suscriptor en la hora pico	0.025	Erl			
Tráfico total en la zona en la hora pico	52.05	Erl			Es la predicción del tráfico demandado en la hora pico
Tráfico cursado en la banda de 850	31.23	Erl			Se define que el 60% de todo el tráfico sea en banda de 850
Tráfico cursado en la banda de 1900	20.82	Erl			Se define que el 40% de todo el tráfico sea en banda de 850

Tabla 2.23 Cálculo del número de ranuras de tiempo para canales de tráfico del segundo sector BTS PLAZA SUR.

Banda de operación	850		1900		Descripción
	Valor	Unidad	Valor	Unidad	
Tráfico ofrecido = (Tráfico demandado/85%)	36.74118	Erl	24.49412	Erl	Se define que el tráfico demandado sea el 85% del tráfico ofrecido.
Número de Canales de Tráfico (TCH) requeridos (Obtener de la tabla de Erlang B)	47		33		Es la cantidad de canales de tráfico requerido para transportar el tráfico ofrecido con un porcentaje de bloqueo del 2%
Número de canales de tráfico a tasa media (TCH HR)	33		24		Se define que el 70% del tráfico del usuario se transportara en canales TCH/HR.
Número de canales de tráfico a tasa completa (TCH FR)	15		9		Es igual al 30% de los canales requeridos. Se define que el 30% del tráfico del usuario se transportara en canales TCH/FR
Número de ranuras de tiempo TDMA (#TS) asignados para TCH	32		21		Es igual a la suma de la mitad de TCH/HR y los TCH/FR. Un TS de TDMA transporta dos canales TCH/HR exactos.

Tabla 2.23 Cálculo del número de TSs para TCH segundo sector BTS PLAZA SUR
(cont).

Cálculo del Número de Ranuras de Tiempo TDMA para los Canales de señalización SDCCH por Sector y por Banda de Frecuencia					
Ítem	Valor	Unidad			Descripción
Número de Suscriptores = 50% x (Suma de bloqueos de TCH y de caídas SDCCH)	2082				
Tráfico SDCCH por Suscriptor en la hora pico	0.004	Erl			
Tráfico SDCCH en la zona en la hora pico	8.328	Erl			Es la predicción del tráfico SDCCH demandado en la hora pico
Tráfico cursado en la banda de 850	4.9968	Erl			Es el tráfico SDCCH correspondiente en la banda de 850
Tráfico cursado en la banda de 1900	3.3312	Erl			Es el tráfico SDCCH correspondiente en la banda de 1900

Tabla 2.24 Cálculo del número de TSs para SDCCH segundo sector BTS PLAZA SUR.

Banda de operación	850		1900		Descripción
	Valor	Unidad	Valor	Unidad	
Tráfico SDCCH ofrecido = (Tráfico SDCCH demandado/85%)	5.87859	Erl	3.91906	Erl	Se define que el tráfico SDCCH demandado sea el 85% del tráfico SDCCH ofrecido. Es el tráfico de señalización ofrecido para transportar señalización de actualización de ubicación, envío de SMS, handover, etc. con un porcentaje de bloqueo del 2%
Número de Canales de SDCCH requeridos (Obtener de la tabla de Erlang B)	12		9		Es la cantidad de canales SDCCH requerido para transportar el tráfico ofrecido con un porcentaje de bloqueo del 2%
Número de ranuras de tiempo TDMA (#TS) asignados para SDCCH	2		2		
Número de TSs asignados para datos GPRS	1		1		
Número de TSs asignados para datos EDGE	2		2		
Número de TSs asignados para señalización BCCH	1		1		Se considera una configuración de canales de señalización separada. Es decir, el canal BCCH (y los otros canales FCCH, SCH, AGCH, SACCH) y el canal SDCCH se transporten por ranuras de tiempo distintas

Tabla 2.24 Cálculo del número de TSs para SDCCH segundo sector BTS PLAZA SUR
(cont)

Por lo tanto la tabla 2.25 muestra el número de radios para el sector 2:

Sector	2	
	850	1900
Número total de TS de señalización	6	6
Número total de TS de tráfico	32	21
Número total de TS	38	27
Número de radios (TRXs)	5	4

Tabla 2.25 Cálculo del número de radios para el sector 2.

Cálculo de Capacidad Sector 3.

Las tablas 2.26 y 2.27 que se muestran a continuación describen el cálculo que se realiza para obtener el número de ranuras de tiempo requeridos para los canales de tráfico y de señalización (SDCCH) para el sector 3.

Cálculo del Número de Ranuras de Tiempo TDMA para los Canales de Tráfico por Sector y por Banda de Frecuencia					
Item	Valor	Unidad			Descripción
Número de Suscriptores = 50% X (Suma de bloqueos de TCH y de caídas SDCCH)	581.5				
Tráfico por Suscriptor en la hora pico	0.025	Erl			
Tráfico total en la zona en la hora pico	14.5375	Erl			Es la predicción del tráfico demandado en la hora pico
Tráfico cursado en la banda de 850	8.7225	Erl			Se define que el 60% de todo el tráfico sea en banda de 850
Tráfico cursado en la banda de 1900	5.815	Erl			Se define que el 40% de todo el tráfico sea en banda de 850
Banda de operación			850	1900	
Item	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Descripción
Tráfico ofrecido = (Tráfico demandado/85%)	10.261765	Erl	6.8411765	Erl	Se define que el tráfico demandado sea el 85% del tráfico ofrecido.
Número de Canales de Tráfico (TCH) requeridos (Obtener de la tabla de Erlang B)	17		13		Es la cantidad de canales de tráfico requerido para transportar el tráfico ofrecido con un porcentaje de bloqueo del 2%
Número de canales de tráfico a tasa media (TCH HR)	12		10		Se define que el 70% del tráfico del usuario se transportara en canales TCH/HR.
Número de canales de tráfico a tasa completa (TCH FR)	6		3		Es igual al 30% de los canales requeridos. Se define que el 30% del tráfico del usuario se transportara en canales TCH/FR
Número de ranuras de tiempo TDMA (#TS) asignados para TCH	12		8		Es igual a la suma de la mitad de TCH/HR y los TCH/FR. Un TS de TDMA transporta dos canales TCH/HR exactos.

Tabla 2.26 Cálculo del número de TSs para TCH tercer sector BTS PLAZA SUR.

Cálculo del Número de Ranuras de Tiempo TDMA para los Canales de señalización SDCCH por Sector y por Banda de Frecuencia					
Item	Valor	Unidad			Descripción
Número de Suscriptores = 50% x (Suma de bloqueos de TCH y de caldas SDCCH)	581.5				
Tráfico SDCCH por Suscriptor en la hora pico	0.004	Erl			
Tráfico SDCCH en la zona en la hora pico	2.326	Erl			Es la predicción del tráfico SDCCH demandado en la hora pico
Tráfico cursado en la banda de 850	1.3956	Erl			Es el tráfico SDCCH correspondiente en la banda de 850
Tráfico cursado en la banda de 1900	0.9304	Erl			Es el tráfico SDCCH correspondiente en la banda de 1900
Banda	850		1900		
Item	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Descripción
Tráfico SDCCH ofrecido = (Tráfico SDCCH demandado/85%)	1.6418824	Erl	1.0945882	Erl	Se define que el tráfico SDCCH demandado sea el 85% del tráfico SDCCH ofrecido. Es el tráfico de señalización ofrecido para transportar señalización de actualización de ubicación, envío de SMS, handover, etc. con un porcentaje de bloqueo del 2%
Número de Canales de SDCCH requeridos (Obtener de la tabla de Erlang B)	5		5		Es la cantidad de canales SDCCH requerido para transportar el tráfico ofrecido con un porcentaje de bloqueo del 2%
Número de ranuras de tiempo TDMA (#TS) asignados para SDCCH	1		1		
Número de TSs asignados para datos GPRS	1		1		
Número de TSs asignados para datos EDGE	2		2		
Número de TSs asignados para señalización BCCH	1		1		Se considera una configuración de canales de señalización separada

Tabla 2.27 Cálculo del número de TSs para SDCCH tercer sector BTS PLAZA SUR.

Por lo tanto la tabla 2.28 muestra el número de radios para el sector 3:

Sector	3	
Banda	850	1900
Número total de TS de señalización	5	5
Número total de TS de tráfico	12	8
Número total de TS	17	13
Número de radios (TRXs)	3	2

Tabla 2.28 Cálculo del número de radios para el sector 3.

La configuración para la nueva celda de PLAZA SUR resulto: 353/242.

De esta manera basándose en el modelo de tráfico estándar para GSM, en las estadísticas de los KPIs relacionados a la congestión y en algunas asunciones se determina el número de radios para la nueva BTS de PLAZA SUR.

CAPITULO III

Implementación de una Estación Radio Base

Realizado el planeamiento y dimensionamiento de la cobertura y capacidad (el cual se expuso en detalle en el capítulo dos del presente informe) para las nuevas estaciones base de Golf La Planicie y Plaza Sur y por lo tanto habiendo definido el diseño (configuración del equipo y su sistema radiante) de las mismas, el próximo paso es proceder a la implementación de estas nuevas estaciones base.

Dentro del marco de esta fase del proyecto, que es la fase de ampliación de la red GSM, por razones de costo y los beneficios que ofrece la estandarización, se definió la implementación de un mismo tipo de equipo para las estaciones base. Dicho equipo fabricado por Siemens es del modelo BTS Outdoor BS241-II el cual tiene la capacidad de operar con dos sistemas simultáneamente esto es la estación base opera en doble banda (dual band). De la misma manera ocurre con el sistema radiante de la estación base. Por lo tanto la descripción de la implementación de una estación base que se realiza a continuación aplica para la implementación de las estaciones base de Golf La Planicie o de Plaza Sur o de cualquier otra estación base a implementar. De esta manera en esta sección no se hará mención explícita de alguna estación base a menos que se requiera como caso particular.

Nota: En el presente informe de manera frecuente emplearemos el termino "Implementación". El significado de este termino es mas amplio que el termino Instalación. Dado que implementación es la acción y efecto de implementar, la real academia de la lengua española da el siguiente significado a esta palabra. Implementar: poner en funcionamiento, aplicar métodos, medidas, etc., para llevar a cabo algo.

Basado en la definición del término, Implementación de una Estación Base significa la instalación, configuración y ejecución de pruebas rutinarias correspondientes para la puesta en servicio de una estación base.

La descripción de la implementación de una Estación Radio Base (BTS) en el presente informe tiene como marco el Proyecto Overlay GSM ejecutado por Nokia Siemens Networks (NSN) para Telefónica Móviles del Perú (TEM Perú), proyecto que en su primera fase (octubre 2005 – enero 2006) consistió en la implementación y puesta en servicio de la red celular GSM de Telefónica Móviles en Lima Metropolitana. Dicha red

GSM desde inicios hasta la actualidad opera en las bandas de 850 y 1900 MHz. Las siguientes fases del proyecto tuvieron como objetivo la ampliación de la cobertura y capacidad de la red GSM en todo el departamento de Lima.

Actualmente la red GSM, se encuentra en una etapa de mayor crecimiento tanto en cobertura como en capacidad lo cual significa que NSN (encargado por Telefónica Móviles) se encuentra ejecutando ampliaciones de capacidad en cada uno de las estaciones base existentes y/o se están ejecutando las implementaciones de nuevas estaciones base en respuesta al crecimiento del número de abonados, a la demanda de mayor disponibilidad de servicios de la red (incremento del tráfico de voz y datos) y a la demanda de disponibilidad de servicio en zonas alejadas del departamento de Lima que cuentan con un número considerable de abonados y con un número importante de potenciales suscriptores en el futuro inmediato. Dichas ampliaciones en la parte de acceso a la red, implican además la ampliación de las capacidades o la implementación de nuevos Controladores de Estaciones Base (BSCs) y Transcoders (TRAUs).

Estas ampliaciones de capacidad y nuevas instalaciones son la respuesta de la optimización de la red realizado tanto por TEM como por NSN de manera conjunta y coordinada, las cuales como se mencionó anteriormente tienen por objetivo ofrecer una mejor calidad de servicio y una mayor y mejor cobertura de la red GSM existente en Lima Metropolitana.

Cabe mencionar que los objetivos de una mejora del servicio y de la cobertura de la red GSM por parte de TEM no se restringen al departamento de Lima, es decir la red GSM se encuentra en crecimiento en todo el país. Sin embargo el proyecto que ejecuta NSN para TEM se circunscribe al departamento de Lima. TEM ha estado llevando a cabo simultáneamente proyecto similar en el resto del país.

El crecimiento de la red significa también, como es lógico, la ampliación de las capacidades del subsistema de conmutación de la red (Network Switching Subsystem: NMS) y del subsistema de gestión de la red (Network Management Subsystem: NMS). Respecto de las ampliaciones del NMS, Nokia Siemens Networks se encarga también de la implementación y puesta en servicio de los elementos de red propios del NMS tales como los Centros de Conmutación Móvil (MSCs) y las bases de datos VLR y HLR necesarios para soportar el tráfico de voz y datos a nivel nacional.

Por lo anterior la descripción de la implementación de una BTS en el presente informe tiene en cuenta las características, funcionalidades y requerimientos de instalación de estaciones base SIEMENS, los estándares de instalación de Nokia Siemens Networks y documentación correspondiente elaborado por NSN y revisado y aprobado por TEM Perú.

3.1 Definición del plazo de implementación de la estación base.

La implementación de la BTS comprende distintas etapas, desde la inspección del sitio para constatar que los varios requerimientos de instalación de la BTS hayan sido realizados, pasando por la etapa de instalación del sistema radiante y equipo los que componen la BTS, su configuración e integración a la RED GSM existente, hasta la etapa de su puesta en servicio comercial luego de realizadas pruebas previas para verificar que todas las funcionalidades exigidas por el estándar GSM y propias de la BTS (características propias del equipo definidas por el fabricante) se ejecutan correctamente. La verificación de la calidad de instalación del sistema radiante es también parte fundamental previo a la puesta en servicio de la BTS para asegurar una transmisión sin fluctuaciones de señal en la etapa de la línea de antena.

Puesto que la puesta en servicio de una nueva BTS en ciertas situaciones es la solución para un mejor performance de la red en determinadas áreas de la misma que muestran un alto índice de bloqueo de llamadas (llamadas que no pueden realizarse, es decir, problemas de alto tráfico) o la calidad de las llamadas en curso no es la óptima (llamadas entrecortadas, llamadas que se interrumpen, es decir, problemas de cobertura), entonces su implementación debe realizarse en un plazo corto de tiempo ya que las etapas previas de búsqueda del sitio, el proceso de adquisición del área o propiedad (donde la BTS se ubicara) y la construcción del sitio que albergara a la BTS requieren por lo general de una considerable cantidad de tiempo para sus ejecuciones. Así la etapa de implementación de la BTS debe considerar en todas sus etapas una eficiente supervisión y dirección que se traduzca en aprovechar al máximo el plazo definido de implementación, evitando se presenten problemas que alarguen el plazo de implementación o en el caso de que estas se presenten plantear y ejecutar las correcciones en cortos plazos de tiempo.

Cabe mencionar que la construcción del sitio (es decir el cuarto de equipos, la torre, las bandejas y o escalerillas sobre los cuales se instalaran las líneas de antena, las instalaciones del sistema eléctrico y de aterramiento) mismo no se contempla en el presente informe pues sus alcances escapan a los objetivos de este informe. Sin embargo, ciertas especificaciones y características del sitio y sus sistemas de alimentación eléctrica y de tierra se indicaran en caso se consideren necesarias.

Así la implementación de la BTS requiere del Ingeniero a cargo de la supervisión y dirección de la Implementación aplicar el conocimiento del equipo y de la física correspondiente, para realizar una gestión efectiva comprometida con el plazo de instalación establecido, gestión que consiste en entregar una instalación con estándares de calidad, proveer soluciones efectivas y rápidas de implementar y maximizar el uso del tiempo disponible.

En una situación típica el plazo promedio de implementación de una BTS desde la inspección del sitio hasta la puesta en servicio comercial de la BTS es de 5 días. A continuación se describirán y detallarán cada una de las etapas de implementación de una BTS.

3.2 Etapas de la Implementación de la Estación Radio Base.

3.2.1 Inspección del Sitio. Verificar si el sitio se encuentra listo para la instalación.

***Nota:** las siglas BTS se usan para referirse al equipo de la BTS y a su sistema radiante. Sin embargo, por practicidad en algunas partes del informe indicaremos BTS y dentro del contexto en que se menciona se referirá al equipo propiamente dicho.*

Una vez construido el site (es decir el cuarto de equipos, la torre, las bandejas y o escalerillas sobre los cuales se instalarán las líneas de antena) y realizadas las instalaciones del sistema eléctrico y de aterramiento según diseño previamente definido, se procede a realizar la inspección del sitio para verificar que los requerimientos necesarios para realizar una correcta instalación de la BTS (equipo y sistema radiante) se hayan ejecutado. La inspección en detalle de cada uno de los requerimientos realizados es de suma importancia pues se debe asegurar que la obra civil, instalaciones eléctricas y de sistema de aterramiento se hayan implementado según las especificaciones indicadas en el diseño del sitio con el objeto de garantizar una estructura de instalación confiable que permita tener una BTS estable que soporte cargas de viento y movimientos telúricos tales como temblores y terremotos; que posea una alimentación eléctrica estable sin fluctuaciones ni tiempos de corte considerables que permita un funcionamiento estable de la BTS contribuyendo además a una larga vida útil de la misma; y que cuente con un sistema de aterramiento que proteja a la BTS frente a descargas eléctricas que puedan provenir de distintas fuentes (rayos, la fuente de alimentación eléctrica, etc.)

La inspección del sitio implica la verificación de los siguientes puntos los cuales son requisitos para una adecuada instalación y el correcto funcionamiento de la nueva estación base:

Requerimientos de energía:

Potencia entregada por el sistema eléctrico a la BTS debe ser mayor o igual a la potencia que esta requiere. Se recomienda y por lo general se implementa un sistema de alimentación eléctrica que sea capaz de ofrecer una potencia mayor a la requerida inicialmente por la BTS. Dicha reserva significa la posibilidad de ampliar la capacidad de radios y por ende de tráfico de llamadas de la BTS en el futuro.

La potencia requerida por una BTS Outdoor Siemens modelo BS 241-II dual band (que tiene el hardware y software para operar en las bandas de 805 y 1900) con una configuración de radios típica de 6 TRXs por sector en la banda de 850 y 4 TRXs por sector en la banda de 1900 (es decir 666/444) que alberga 5 bancos de baterías (que le otorgan autonomía durante periodos de corte del suministro principal de energía) y un equipo de microondas para el enlace BSC- BTS es de 7.821 KWatts.

La figura 3.1 muestra la herramienta de cálculo de potencia requerida por la BTS para el caso de una configuración 666/444. Note que el equipo esta conformado por 5 gabinetes (racks) 3 de los cuales albergaran a los módulos de radio y unidad de procesamiento central mientras que los 2 gabinetes restantes albergarán al sistema de alimentación eléctrica (unidades rectificadoras y baterías).

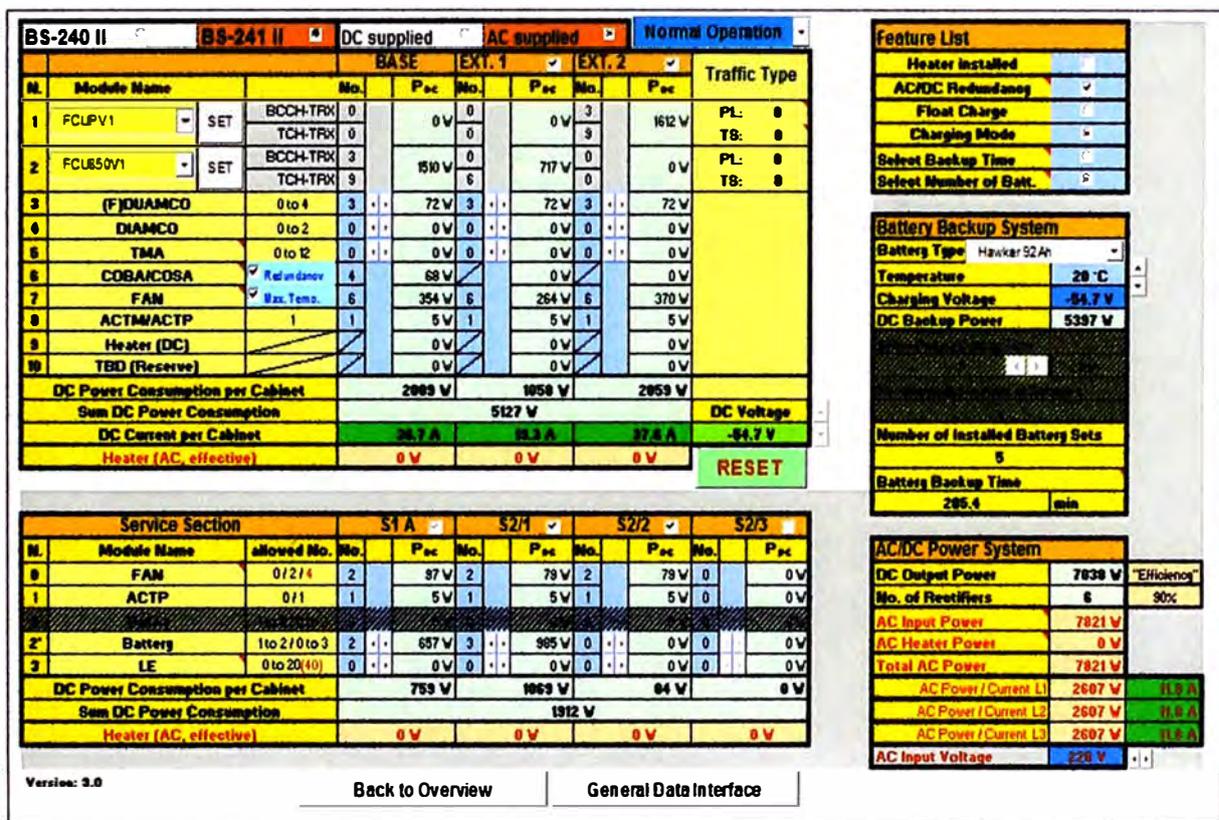


Figura 3.1 Cálculo de la potencia requerida para una BTS en configuración 666/444.

En el caso de una BTS Outdoor Siemens BS 241-II con una configuración de radios de 444/666 que alberga 5 bancos de baterías y un equipo de microondas para el enlace BSC- BTS es de 7.878 KWatts.

La figura 3.2 mostrada a continuación muestra la herramienta de cálculo de potencia requerida por la BTS para el caso de una configuración 444/666. Note que el equipo esta conformado por 5 gabinetes (racks) 3 de los cuales albergaran a los módulos de radio y unidad de procesamiento central mientras que los 2 gabinetes restantes albergarán al sistema de alimentación eléctrica (unidades rectificadoras y baterías).

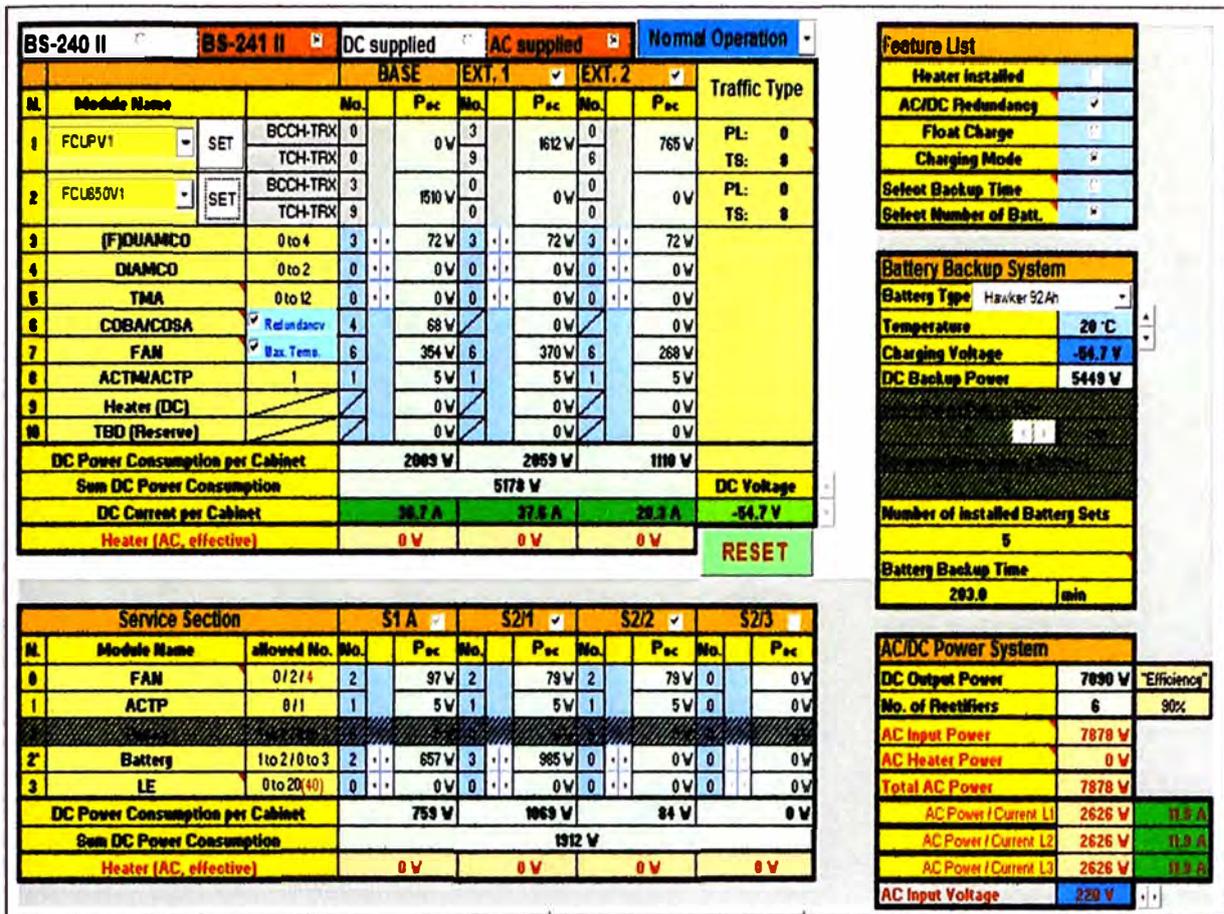


Figura 3.2 Cálculo de la potencia requerida para una BTS en configuración 444/666.

Dimensionamiento de la instalación eléctrica, esto es; que la llave eléctrica (breaker termo magnético) correspondiente soporte el amperaje máximo requerido por el equipo BTS, que los cables que componen la instalación eléctrica sean de los calibres adecuados, que la configuración eléctrica en la instalación sea la requerida por la BTS (monofásica); y que el voltaje entregado por el tablero eléctrico a la BTS se encuentre dentro del rango de valores de voltaje requerido por el equipo para su correcto funcionamiento (el rango de voltaje de operación en el caso de una BTS Outdoor Siemens BS 241-II es: 208VAC-233VAC).

Requerimientos del sistema de tierra.

Aterramiento del equipo de la BTS y su estructura de apoyo: Inspección de barras de aterramiento instaladas y aterradas (conectadas al pozo de tierra del sitio). Debe existir una barra de tierra para el aterramiento de los gabinetes (racks) que componen el equipo (dichos gabinetes se instalan en fila, uno al costado del otro y los puntos principales de aterramiento de cada uno de ellos se interconectan formando una conexión en cascada, así solo se requiere de un punto de tierra en la barra correspondiente para el aterramiento de todo el equipo) y una barra de tierra para el aterramiento de la estructura de base sobre la cual se instalan los gabinetes.

Aterramiento del sistema de alimentación eléctrica del equipo. Inspección de barra de tierra instalada y aterrada. Debe existir una barra de tierra ubicada en el tablero de energía correspondiente para la conexión de la línea de tierra del cable de alimentación del equipo BTS.

Aterramiento de las líneas de antena o sistema radiante. Las líneas de antena o cables coaxiales o cables alimentadores (feeder coaxial cables) que conectan el equipo BTS con sus antenas deben aterrarse a lo largo de su recorrido desde la BTS hacia las antenas. Así en puntos definidos del recorrido de los cables deben instalarse barras de tierra las cuales deben estar aterradas (típicamente estas se encuentran conectadas en cascada) es decir, deben estar conectadas a un pozo de tierra del sitio.

Por lo general se instalan tres barras de tierra para el aterramiento de los cables alimentadores. Una ubicada cerca de la BTS para aterrizar los cables alimentadores previo a su conexión con el equipo, una segunda barra ubicada dos metros por encima del punto en que los cables llegan a la torre y suben por ella hacia las antenas y una tercera barra de tierra ubicada dos metros por debajo de la parte inferior de las antenas (en el caso típico las antenas se encuentran instaladas a la misma altura).

Si el recorrido del cable supera los 50 m entonces una cuarta barra de tierra debe instalarse en un punto del recorrido de tal manera que la distribución de las barras sea equidistante. Así si la torre donde se instalaran los cables alimentadores y las antenas tienen una altura de 50 m o mas la cuarta barra de tierra debe instalarse aproximadamente a mitad de altura de la torre. Si no ocurriese lo anterior pero la BTS se encuentra muy distanciada de la torre entonces la cuarta barra de tierra debe instalarse aproximadamente en el punto medio del recorrido de los cables en este tramo. Con el requerimiento anterior se consigue un sistema de aterramiento en cascada que proteja de manera efectiva a la BTS.

Dimensionamiento de los cables y las barras de tierra del sistema de aterramiento. Cada una de las barras de tierra (1 barra para el equipo, 1 para su estructura metálica de base y 3 (por lo general) para las líneas de antena) a utilizar deben contar con un cantidad suficiente de punto de conexión de tal manera que un solo punto de conexión debe usarse para aterrizar ya sea un cable coaxial ó el equipo ó la estructura de base del equipo ó la línea de tierra del cable de alimentación AC del equipo BTS, es decir, no se permite el uso de un punto de tierra de la barra como punto de descarga común.

Las barras de tierra de cobre deben protegerse de las inclemencias del clima y contaminación del medio ambiente con el objeto de garantizar un sistema de aterramiento que sufra una degradación mínima en el tiempo, es decir, que tenga una larga vida útil. Dicha protección consiste en la aplicación de una sustancia a base de grafito que

contribuye a aumentar la conductividad eléctrica en cada punto de conexión y a su vez protege a la barra de la oxidación debido a la humedad presente en el medio ambiente.

La instalación del sistema de tierra debe considerar futuras ampliaciones en la capacidad de radios del equipo lo cual puede significar la instalación de gabinetes y/o cables adicionales. Así las barras de tierra deben tener puntos de tierra disponibles una vez aterrada toda la BTS.

Los cables de tierra usados para aterrizar cada uno de los cables coaxiales, el equipo, la estructura de base y la línea de tierra deben tener un calibre de 16mm². Por lo anterior se requiere que los cables que conectan las barras de tierra a los pozos de tierra del site tengan un calibre mayor a 16mm², así estos cables tienen un calibre estándar típico de 50mm².

El valor de la resistividad del sistema de tierra es un punto importante a inspeccionar y es condición para realizar el encendido eléctrico (power up) del equipo una vez instalado. La puesta en servicio de una BTS puede retrasarse si el sistema de aterramiento no garantiza proveer una adecuada protección contra descargas eléctricas. Teniendo en cuenta la importancia del sistema de aterramiento, durante la etapa de construcción del site, se realiza el tratamiento del suelo para que este posea una resistividad menor al valor límite definido de 5.00 ohmios. Valores típicos de resistividad del sistema de tierra son de 1,00 ohmios a 3,00 ohmios.

Requerimientos del enlace de comunicación BTS-BSC

Como se ha indicado, teniendo como marco el proyecto Overlay GSM ejecutado por NSN para TEM Perú el enlace de comunicación entre la nueva BTS y su BSC correspondiente en casi todos los casos consiste en un enlace de microondas en el primer tramo del enlace cercano a la BTS. Los tramos restantes del enlace hacen uso de la red de transmisiones de Telefónica del Perú (TdP). Así la implementación de este enlace se encuentra a cargo del área de transmisiones de TdP y TEM Perú. Por lo general dicho enlace no se encuentra disponible cuando se realiza la visita de inspección al sitio, pero el diseño del sitio contempla la instalación de la infraestructura necesaria para la instalación del hardware del enlace, es decir, la antena y equipo de transmisiones (IDU+ODU, en el caso de un enlace microondas).

Por lo anterior la visita de inspección se realiza de manera conjunta, es decir, personal de radio planning e implementación de NSN, personal del área de transmisiones a cargo y personal a cargo de la obra civil, inspeccionan la infraestructura construida e instalada. Respecto del enlace la inspección consiste principalmente en verificar si la altura a la cual se instalara la antena de microondas en la torre permite tener línea de vista con la

antena en el otro extremo del enlace. En situaciones en que el sitio no contempla la instalación de una torre, es decir, la BTS, sus antenas y la antena de microondas se instalan al mismo nivel, se debe verificar que la futura instalación de la BTS y sus antenas no signifiquen un obstáculo a la línea de vista de la antena de microondas. Por lo anterior tener conocimiento de la ubicación de la antena en el otro lado del enlace, o en otras palabras saber el azimut de la antena y su ubicación en el sitio es de mucha importancia. Este tipo de situación se presenta cuando el sitio se ubica en la azotea de un edificio o vivienda.

La BTS en casi todos los casos contempla un espacio en uno de sus gabinetes para la instalación del hardware de transmisiones así como también considera el suministro de energía y un punto de aterramiento para dicho equipo. Lo anterior significa ahorro en costos de instalación de espacio e infraestructura e instalación eléctrica adicional. Por lo tanto la instalación de una infraestructura adicional para el equipo de transmisiones en el sitio no es obligatorio, aunque finalmente es el operador de la red quien define que infraestructura albergara a dicho equipo.

Requerimientos de obra civil.

La inspección de la obra civil consiste en verificar que la infraestructura necesaria para la instalación de la BTS, su sistema radiante y cables de energía y tierra se encuentren disponibles y permitan una instalación de la estación base rápida, segura y estable en el tiempo. Así se inspecciona lo siguiente:

La plataforma, ya sea una plataforma metálica o de concreto armado pulido, sobre la cual se instalara el equipo se encuentre estable, constituya una superficie plana (esto es, que se encuentra nivelada) en toda el área que ocupara el equipo. Que dicha plataforma tenga un ligero grado de inclinación que evite, en caso de lluvia, la acumulación de agua en la plataforma.

La infraestructura sobre la cual se instalaran los cables de alimentación del sistema radiante, es decir las escalerillas (cable racks) o bandejas metálicas sean estables (sólidas), se encuentren fijadas en todo su recorrido desde la BTS hasta las antenas. Que dicho conjunto de escalerillas permita y/o facilite la instalación de los cables coaxiales en todo su recorrido sin someterlos a curvas cerradas o torsiones innecesarias que puedan fracturar los cables o introducir perdidas en la señal. Que dicha infraestructura tenga el ancho necesario que permita instalar todos los cables para la configuración de radios deseada de la BTS además de considerar un espacio disponible que permita la instalación de cables adicionales en el caso de futuras ampliaciones de capacidad de la BTS que requieran la instalación de estos.

Se requiere tomar medida de la longitud del recorrido de las líneas de antena o cables coaxiales para definir el tipo de cable coaxial a utilizar. Así, si la longitud del recorrido de la línea de antena desde la ubicación del equipo hasta las antenas es menor a 50 m el cable definido a utilizar es un cable coaxial de 7/8". Si la longitud del recorrido es mayor a 50 m entonces el cable definido a instalar es un cable coaxial de 1 5/8". Lo anterior se sustenta en la relación inversa que existe entre la dimensión del cable coaxial (diámetros del cable coaxial exterior e interior) y la pérdida de intensidad de la señal y la relación directa de esta última con la distancia. Así para largos recorridos del cable es preferible utilizar un cable de mayor diámetro (1 5/8") pues la pérdida de intensidad de señal por unidad de longitud es menor en comparación a uno de menores dimensiones (7/8").

Verificar que el espacio disponible del sitio, teniendo en cuenta la cantidad de gabinetes que componen la BTS ha instalar, tenga las dimensiones adecuadas que permita que se pueda acceder tanto a la parte frontal como posterior de los gabinetes. Lo anterior significa que la puerta pueda abrirse completamente, que la distancia del frente del equipo al obstáculo delante más próximo sea de 1.0 m como mínimo y que la distancia de la parte posterior del equipo al obstáculo más próximo sea de 0.60 m como mínimo. Inspeccionar además que la altura por encima de la ubicación donde se instalará la BTS sea igual a la altura del equipo más 0.30 m.

Verificar que el acceso a cada uno de los gabinetes que componen la BTS debe ser tal que permita que el desplazamiento de un gabinete a otro no sea "de costado", sea sin interrupciones y con comodidad, esto es, los espacios alrededor de los gabinetes no deben ser angostos. Se debe tener acceso libre y rápido por lo menos por una de las partes laterales de la BTS.

En el caso que se tenga que determinar la ubicación de la BTS si es que no se considero la ubicación exacta de esta en el diseño del nuevo sitio o si es que se aprovechan espacios existentes (tales como instalaciones del operador o áreas disponibles dentro de una edificación de un tercero) se debe tener en cuenta, además de los puntos anteriores, si existen adecuaciones (escaleras, barras de tierra, etc.) anteriores en buen estado que puedan reutilizarse.

Es recomendable que la ubicación de la BTS, sea tal que existan adecuaciones existentes cercanas a dicha ubicación (de escalera, bandejas, tubos y/o canaletas) y estén dirigidas hacia puntos de aterramiento, de energía, de transmisión y hacia el pasamuros (en caso la BTS sea Indoor) o que la ubicación de la BTS permita nuevos recorridos lo más directos posibles y de fácil instalación de los cables correspondientes desde la BTS hacia dichos puntos.

Que la infraestructura (soportes) de las antenas se encuentre estable y fijas a la torre. Dichos soportes deben cumplir con el diámetro estándar definido (2.5") cuyo valor se encuentra en el rango de valores de diámetro de soportes en que se puede instalar los varios tipos de antenas que se consideran en el proyecto Overlay GSM.

Verificar que las orientaciones de los soportes sean iguales o se aproximen a las orientaciones de las antenas a instalar sobre estas. Se permite una diferencia máxima de $\pm 5^\circ$. Se verifica también que la inclinación (tilt) de dichos soportes sean de 0° , esto es, que los soportes se encuentren verticales. La separación entre los soportes de un mismo sector (tener en cuenta que por lo general el área de cobertura de la BTS se divide en tres sectores y en cada sector se instalan 1, 2 o 3 antenas dependiendo del tipo de antena, capacidad de radios por sector de la BTS, consideraciones de diversidad de recepción y/o de espacio) es también un punto importante a verificar pues la instalación de antenas cercanas en un mismo sector resulta en una mutua interferencia en el caso que ambas antenas sean a la vez de transmisión/recepción además de no sacar ventaja de los beneficios de la diversidad de espacio para reducir el fading y/o la interferencia. La separación mínima definida entre soportes es de 1.30 m para tener una diferencia entre antenas de 1.00 m mínima.

Se requiere verificar la altura a la que se encuentran los soportes que finalmente será la altura a la que se encontraran las antenas. Este punto es muy importante pues la altura de las antenas, el cual es un parámetro importante en el diseño de la BTS, determina la cobertura y capacidad de la celda. Antenas instaladas a una mayor altura que la indicada en el diseño de la BTS traerá como consecuencia una sobre cobertura que producirá interferencia en otra celdas vecinas mientras que si se encuentran instaladas a menor altura implicara problemas de handover con posible pérdida de la llamada, menor capacidad de trafico de la celda y problemas de calidad de servicio.

Requerimientos logísticos.

Teniendo en cuenta que la mayoría de las BTSs puestas en operación recientemente, se instalan en zonas urbanas o suburbanas, los nuevos sitios se construyen en edificaciones existentes aprovechando las infraestructura de estos para instalar torres para el sistema radiante de la estación base de poca o mediana altura o evitar la instalación de esta, es decir las antenas se instalan adosadas a las partes altas de las paredes de la edificación o en la azotea de la misma previa instalación de los mástiles correspondientes. Sin embargo la instalación de la BTS en una edificación existente puede traer consigo ciertos problemas logísticos. Así durante la visita de inspección se debe realizar:

La verificación de las vías de acceso por donde ingresarán los equipos, cerciorarse de las dimensiones de dichos accesos para el transporte de los equipos hasta la ubicación del sitio dentro de la edificación. Por tanto la inspección determina si el transporte de los equipos se realiza por las vías de acceso público del edificio o si se requiere del uso de una grúa. Obviar esta inspección ó no definir de que manera ingresarán los equipos significa en muchos casos la postergación del inicio de la implementación y el gasto de los recursos logísticos sin beneficio alguno, pues se han presentado casos en que una vez los equipos se encuentran en la propiedad listos para su ingreso al site, no es posible pues la dimensiones del equipo es mayor a las de las vías de acceso.

Las coordinaciones con el propietario de la edificación. Explicar al mismo la forma y el proceso del ingreso del equipo al sitio y el tiempo que toma las acciones correspondiente es de suma importancia pues de esta manera el propietario colabora autorizando los accesos y en muchos casos este indica recomendaciones y/o sugerencias que facilitan y agilizan las acciones sin causar daños a la propiedad. Nuevamente obviar esta coordinación significa la negativa del propietario de autorizar los accesos pues lógicamente argumentan falta de información de las acciones a realizar y de los responsables de estas además de indicar la posibilidad de causar daños a la propiedad. Las coordinaciones con el propietario contempla también la explicación por parte del Ingeniero Supervisor a cargo de la implementación de la BTS de manera general de la forma cómo procederá la instalación de la BTS, el plazo de instalación, la cantidad de personal técnico a cargo de la instalación y el responsable de los trabajos de implementación (es decir, el ingeniero supervisor de la implementación de la BTS) con el fin de establecer días y horas de trabajo diario. Esta coordinación significa evitar demoras en la implementación de la BTS.

La seguridad es como siempre un punto importante a verificar durante la inspección del sitio. Ya sea si el sitio se encuentra en una propiedad de terceros o en la edificación propiedad del operador se debe definir los riesgos de robo del equipo y/o sus materiales (bancos de baterías, cables de eléctricos y coaxiales) y definir medidas de seguridad correspondientes.

3.2.2 Instalación y Supervisión de la Estación Base.

Previo a la explicación de la instalación y supervisión de una estación radio base (BTS), se describirá las partes que la componen teniendo como referencia la BTS Siemens modelo BS 241-II. Una estación radio base esta constituida por el equipo mismo que denominaremos Equipo de la BTS (BTS Equipment), las líneas de antena o cables coaxiales transmisores de la señal de radio (proveniente de los radios previa etapa de

combinación de las señales para transmitir las por una misma línea de antena) y las antenas. Estos dos últimos, los cables alimentadores y las antenas constituyen el sistema radiante de la BTS.

El equipo de la BTS.

El modelo de una BTS hace referencia a las características del equipo y no del sistema radiante pues el empleo de tal o cual antena o cable coaxial no depende del modelo de equipo a instalar si no de las características del área a servir.

El equipo de la BTS Siemens modelo BS 241-II es una BTS con características outdoor, es decir, no requiere de un shelter o cuarto de equipos acondicionado para su funcionamiento y vida útil. Es un equipo que puede instalarse en intemperie pues cada uno de los gabinetes que componen el equipo están diseñados para aislar al equipamiento que albergan de las inclemencias del clima y radiación externa. El equipo de la BTS está compuesto por un conjunto de gabinetes en el que cada uno alberga cierto equipamiento que lo caracteriza y diferencia de los otros gabinetes. Así el modelo BS 241-II puede estar compuesto hasta por 4 distintos tipos de gabinete.

Base Rack: es el gabinete principal de la BTS pues es el único que contiene a la unidad central (CPU) o cerebro de la BTS (Siemens denomina a este módulo COBA: COre BAsic). Alberga además al módulo denominado por Siemens FCU (Flexi Carrier Unit, el cual integra dos unidades portadoras, es decir, dos módulos de transmisión/ recepción o TRXs), a la tarjeta de transmisión (denominada por Siemens AbisCon, y es el que otorga a la BTS de puntos de transmisión con la BSC y/u otras BTSs). El Base rack alberga también al módulo que realiza la duplexión (TX/RX), acoplamiento (combinación de TX) y amplificación (RX) de la señal denominado FDUAMCO (Flexible DUplexer Amplifier MultiCOupler). Por lo anterior, el FDUAMCO es también un módulo de transmisión recepción que se conecta como máximo a 2 FCUs y que se conecta como máximo a dos cables coaxiales para transmitir/recibir la señal hacia/desde la antena. El Base Rack Siemens BS 241-II puede albergar hasta 8 FCUs (16 TRXs) y 4 FDUAMCOs.

Service 1 Rack: es el gabinete de servicio de tipo 1 de la BTS, el cual suministra energía eléctrica rectificadora al equipo de la BTS en su totalidad. Así el service 1 rack gracias a las unidades rectificadoras AC/DC que alberga recibe el suministro eléctrico de 220 VAC del site y entrega a la BTS -48 VDC necesarios para el funcionamiento de los módulos y unidades de enlace (la instalación de esta unidad es opcional), y carga de los bancos de baterías (la instalación es opcional) que alberga la BTS. Este gabinete además cuenta con espacio disponible para la instalación de un banco de batería y/o una unidad de enlace ó 2 bancos de baterías.

Por lo anterior hasta este punto una BTS en una configuración mínima está compuesta de un Service 1 rack y un Base Rack.

Extension 1 rack: como su nombre lo indica este gabinete es el rack de ampliación del base rack, es decir, permite aumentar la capacidad de radios de la BTS en su configuración mínima al doble pues tiene la misma capacidad de radios que el Base Rack. Por lo anterior este gabinete es igual al base rack con la excepción que no cuenta con la unidad central COBA. Cualquier llamada que está siendo realizada en un radio del extensión 1 rack es siempre procesada por la COBA ubicada en el base rack. Así existe una interconexión entre dichos gabinetes que permite el control y monitoreo por la COBA de cualquier modulo ubicado en el extensión 1 rack.

Service 2 rack: es el gabinete de servicio tipo 2, que a diferencia del service 1 rack puede albergar hasta 4 de bancos de baterías o 3 bancos y un equipo de enlace de comunicaciones. Este gabinete no cuenta con el sistema de rectificación AC/DC y esto es lo que diferencia al service 1 rack del service 2 rack.

Por lo anterior las configuraciones de una BTS se muestran en la tabla 3.1:

Configuración BTS	Service 2 Rack	Service 1 Rack	Base Rack	Ext 1 Rack	Beneficio
1	0	1	1	0	Configuración mínima
2	1	1	1	0	Mayor autonomía en energía
3	0	1	1	1	Mayor capacidad de radios (doble de la config. mínima)
4	1	1	1	2*	Máxima capacidad de radios (triple de la config. mínima)
5	2	1	1	2*	Máxima capacidad de radios con mayor autonomía
6	3	1	1	2*	Máxima capacidad de radios y en autonomía de energía.

Tabla 3.1 Posibles configuraciones de la BTS en términos de numero de gabinetes.

*Al segundo extensión 1 rack presente en una BTS con configuración 4, 5 ó 6 se le denomina el Extension 2 Rack para diferenciarlo del primer Extensión 1 rack. La denominación caracteriza a la posición del gabinete y a los tipos de módulos que en él se instalan (módulos de radio en la banda de 1900).

Por ejemplo mientras que tanto el base rack como el extensión 1 rack albergan radios (FCUs y FDUAMCOs) que operan en la banda de 850, el extensión 2 rack alberga radios (FCUs y FDUAMCOs) que operan en la banda de 1900. Por lo anterior la configuración de radios en 850 era mayor que en 1900. Así se tienen configuraciones de 666/444 y 888/444 en estaciones base que se encuentran operando en la red.

Implementaciones recientes consideran la implementación de una BTS en configuración 4 tal que solo el base rack alberga radios que operan en la banda de 850 y los gabinete de extensión 1 y 2 albergan radios en la banda de 1900. Así se tienen BTS implementadas recientemente con configuraciones de 444/666. Lo anterior responde a la entrega de parte de las frecuencias disponibles en 850 para GSM a la red 3G de TEM Perú para su operación en la banda de 850.

De las posibles configuraciones de la BTS, las configuraciones 1, 3 y 4 son las que se implementaron y se implementan en el proyecto overlay GSM, siendo la más popular la configuración #4 pues permite tener una BTS con una gran capacidad de radio o la posibilidad de ampliar la capacidad al máximo contando con una adecuada autonomía en energía. Luego la configuración #3 es adecuada en situaciones en que el sitio es de dimensiones mínimas (por ejemplo 2.6 m x 2,30 m) pues permite contar con una BTS con el doble de la capacidad mínima (32 radios, aproximadamente 10 radios por sector), como es lógico, en dichas situaciones, se daba preferencia a la capacidad de la BTS para cursar alto tráfico que al tiempo de autonomía de la BTS en caso de ausencia del suministro principal de energía. Por último en situaciones en que el site era de dimensiones muy reducidas (por ejemplo 2.0 m x 2,30 m) pero su implementación era muy necesaria se elegía la configuración #1 que es la configuración mínima.

Configuración y capacidad de la BTS Siemens.

En esta sección del informe se explicará la configuración correspondiente de módulos de radio (FCUs, FDUAMCOs) y del sistema radiante según las diferentes configuraciones de radios que se implementaron.

Es adecuado indicar previamente que las antenas utilizadas para la implementación del sistema radiante de las BTS en el proyecto son de características dual band (bandas de 850 y 1900) y polarización cruzada. Por lo tanto una antena típica constaba de 4 puertos de antena, dos de los cuales operan en banda de 850, uno con una polarización de +45° y el segundo con una polarización de -45° y los otros dos puertos que presentaban también polarización cruzada entre ellos (+45° y -45°) que operan en la banda de 1900. En conclusión dicha antena multipuerto integra 4 antenas con características distintas entre ellos.

Como se indico anteriormente una FCUs integra dos TRXs (cada TRX se compone de un puerto de transmisión y 2 puertos de recepción: principal y diversidad) o radios y se conecta al modulo FDUAMCO el que en una configuración 4:2 permite conectar 4 TRXs o 2 FCUs y consta de 2 salidas de antena (conexiones denominadas por Siemens antenna connectors, los cuales son puertos de transmisión recepción a la vez) a los que se conectan dos líneas de antena. Por lo tanto el FDUAMCO cuenta con 4 puertos de transmisión y 8 de recepción distribuidos (y asociados) por igual a cada salida de antena. Dada la funcionalidad del FDUAMCO 4:2, se concluye que por una salida de antena se transmiten las señales de 2 TRXs y sus recepciones principales se reciben por la misma mientras que sus recepciones de diversidad se reciben por la segunda salida de antena. Así por una línea de antena (cable mas puerto de antena) se transportan dos señales de transmisión (TX1 y TX2) y cuatro de recepción (RX1princ, RX2princ, RX3div y RX4div) y por la segunda línea de antena se transportan las otras dos señales de transmisión (TX3 y TX4) y cuatro de recepción (RX3princ, RX4princ, RX1div y RX2div).

La tabla 3.2 muestra las configuraciones típicas implementadas y los requerimientos de hardware y líneas de antena.

Configuración	FCU 850/sector (/celda)	FDUAMCO 850/sector (/celda)	FCU 1900/sector (/celda)	FDUAMCO 1900/sector (/celda)	Líneas de antena 850 / sector (/celda)	Líneas de antena 1900 / sector (/celda)	Puertos de antena 850 (/celda)	Puertos de antena 1900 (/celda)	Antena/sector (/celda)
444/ 444	2 (6)	1 (3)	2 (6)	1 (3)	2 (6)	2 (6)	2 (6)	2 (6)	1 (3)
666/ 444	3 (9)	2 (6)	2 (6)	1 (3)	4 (12)	2 (6)	4 (12)	2 (6)	2 (6)*
888/ 444	4 (12)	2 (6)	2 (6)	1 (3)	4 (12)	2 (6)	4 (12)	2 (6)	2 (6)*
444/ 666	2 (6)	1 (3)	3 (9)	2 (6)	2 (6)	4 (12)	2 (6)	4 (12)	2 (6)**

Tabla 3.2 Requerimientos de hardware y líneas de antena según configuración de la BTS.

*la primera antena del sector se utiliza completamente mientras que la segunda antena del mismo sector se utiliza solo los 2 puertos de 850 (quedan disponibles los 2 puertos de 1900).

**la primera antena del sector se utiliza completamente mientras que la segunda antena del mismo sector se utiliza solo los 2 puertos de 1900 (quedan disponibles los 2 puertos de 850).

La instalación de la BTS se puede dividir en dos partes: La instalación del sistema radiante y la instalación del equipo.

Instalación y Supervisión del Sistema Radiante:

La instalación del sistema radiante consiste en la instalación de los cables coaxiales alimentadores o líneas de antena que conectan el equipo con las antenas y la instalación de las antenas.

Supervisión e instalación de las líneas de antena.

Específicamente una línea de antena está compuesta por tres tramos de cables coaxiales: un tramo principal de mayor longitud y diámetro (sección transversal circular) y otros dos tramos de cable menor longitud y diámetro que permiten conectar por un extremo (extremo inferior) el cable coaxial principal con el equipo (con el FDUAMCO) y por el otro extremo (o extremo superior) con la antena correspondiente. Estos dos últimos cables coaxiales son denominados jumper inferior (o de BTS) y jumper superior (o de antena).

Como se indico en la sección de visita de inspección al sitio (apartado requerimientos de obra civil) el tipo de cable coaxial principal a instalar depende de la longitud del recorrido desde el equipo hasta las antenas. Así para longitudes menores a 50 m se instalara el cable coaxial 7/8" y el cable coaxial 1 5/8" para longitudes mayores a 50 m. Las especificaciones técnicas mecánicas y eléctricas a considerar durante la instalación del cable coaxial principal varían dependiendo de si el cable es de 7/8" ó 1 5/8". Así un cable de 7/8" es más flexible que el cable 1 5/8" y por lo tanto puede presentar radios de curvatura menores y grados de torsión mayores una vez instalado. No sucede así con el cable 1 5/8" que requiere de mayor espacio libre alrededor y a lo largo de su recorrido y dicho recorrido debe evitar en lo posible torsiones del cable.

Por lo anterior se puede inferir que el cable coaxial es un cable frágil que se puede deformar si se golpea con cierta intensidad. Una deformación producto de un golpe o una curva muy cerrada en un punto del cable representa un punto en el cual la intensidad de la señal disminuye considerablemente pues dicha deformación del conductor externo

es un punto de reflexión y distorsión de la señal. Lo anterior se traduce en una disminución en la cobertura del sector correspondiente y una considerable señal reflejada que regresa al equipo y que reduce la vida útil del modulo (que contiene entre otras etapas la etapa de amplificación de la señal) directamente conectado a la línea de antena correspondiente. Además se debe evitar la introducción de material extraño en el interior del conductor interior hueco pues esto también representa puntos de reflexión y absorción de la señal

La instalación de los conectores en cada uno de los extremos de los cables coaxiales para hacer posible las conexiones entre el cable principal y los jumpers, entre el jumper de BTS y el modulo FDUAMCO de la BTS, y entre el jumper de antena y la antena y la correcta conexión entre ellos es otro punto importante de instalación y supervisión pues la inadecuada instalación de los conectores y/o conexiones resultan ser también puntos de reflexión y distorsión de la señal.

De igual manera que las deformaciones en los cables estas inadecuadas conexiones y falta de protección del interior del cable contra intrusiones de cuerpos extraños contribuyen a la disminución de la cobertura del sector correspondiente y una considerable señal reflejada que regresa al equipo y que reduce la vida útil del modulo.

Los problemas anteriormente mencionados como es lógico también afectan a la recepción de la señal resultando que la "cobertura de uplink" se reduzca y obligando a que el móvil se encuentre cerca a la estación base para poder cursar una llamada más clara o que aumente la potencia de transmisión del MS agotando la batería rápidamente. Así es importante que el grupo técnico a cargo de la instalación tenga siempre en consideración la importancia de un adecuado tratamiento y protección de los cables durante la instalación de los conectores en sus extremos y durante su instalación en su recorrido desde el equipo BTS hacia la antena.

Es responsabilidad del ingeniero a cargo de la supervisión verificar que todos y cada uno de los cables una vez instalados no presenten golpes ni violen las especificaciones físicas de instalación. Además otra de las tareas importantes de supervisión es la inspección física mediante manipulación de los conectores y las interconexiones.

Cuando la configuración de radios de la BTS que es implementada es alta tales como configuraciones 444/444, 666/444 la cantidad de cables y conectores a instalar y conexiones a realizar es también en cantidad considerable (12 cables principales, 72 conectores y 48 conexiones en el primer caso y 18 cables principales, 108 conectores y 72 conexiones en el segundo caso) la inspección física puede pasar por alto ciertas deficiencias de instalación. Así dicha inspección se complementa con el uso de un equipo de medición (denominado por lo general Antenna Line Tester) que mediante la

realización de determinadas pruebas (tales como VSWR Test, Cable Loss Test, Distance to Fault Test) permite detectar puntos de pérdida de intensidad señal (ya sea por deformación del cable por golpe, conexiones inadecuadas y/o presencia de curvas en el cable fuera de la tolerancia permitida) a lo largo de la línea de antena y verificar el performance del cable, la antena y de ambos en conjunto. Así la correcta comprensión de los resultados de las pruebas realizadas con este equipo de medición a cargo del personal responsable permite ejecutar medidas correctivas efectivas para obtener medios de transmisión de la señal de radio con baja pérdida de señal y puntos de reflexión mínima.

Se puede pensar que el empleo del equipo de medición para verificar la calidad de fabricación e instalación de las líneas de antenas (cables coaxiales principales y jumpers) y antenas y la calidad de instalación hace innecesario la inspección ocular y física del supervisor, sin embargo, lo anterior es equivocado pues la inspección física contempla además la verificación de cables instalados de manera ordenada uniforme y estable, que el aislamiento de los cables no presente cortes ni rajaduras que signifiquen puntos de oxidación del conductor externo y la correcta instalación de los aterramientos de estos cables.

Supervisión e instalación de las antenas.

La instalación de las antenas debe considerar las especificaciones del fabricante respecto del ensamble de los accesorios (estructuras metálicas) que permiten la correcta instalación y adecuada fijación de la antena a su soporte. Una vez colocada la antena se debe proceder a su orientación e inclinación (azimut y tilt) según los valores de azimut y tilt requeridos que aparecen en el documento de evaluación técnica del sitio (Technical Site Survey: TSS). Documento que en todo momento debe encontrarse disponible en el sitio. El empleo de una brújula profesional con una precisión de $\pm 2'$ o mayor son requeridos.

En el caso de la fijación de la antena a la inclinación requerida la antena cuenta con un accesorio (estructura metálica) que permite inclinar la antena mecánicamente (así a dicha inclinación se le denomina tilt mecánico) y cuenta también con una característica denominada tilt eléctrico que permite inclinar el haz de radiación de la antena controlando las fases de las corrientes radiantes de cada elemento radiante del arreglo que constituye la antena. Teniendo en cuenta estas dos opciones se prefiere el uso del tilt eléctrico pues el patrón de radiación de la antena mantiene su forma pero se reduce ligeramente cuando el tilt aumenta. No sucede lo anterior con el patrón de radiación si se aplicase el tilt mecánico ya que al aumentar este el patrón se ensancha y se acorta ("se achata", esto es, se produciría el mismo efecto que se presenta cuando se presiona un globo contra

una superficie horizontal). Otro punto por el cual se prefiere el tilt eléctrico es que la antena no significaría un punto de obstrucción ni contrastaría considerablemente con el entorno urbanístico al aumentar su inclinación. Si se requiriese que la antena tenga una inclinación tal que el máximo valor del tilt eléctrico es menor, la diferencia para lograr la inclinación requerida se obtiene empleando el tilt mecánico, así la suma de ambos es la inclinación requerida, pero aun en estos casos el tilt eléctrico tiene preferencia.

Como se menciono anteriormente en el caso de implementar una BTS con una configuración 666/444 o 888/444 se requerirían de dos antenas (con las características ya indicadas: dual band y cross polarization) por sector debido a que el número de radios por sector es mayor a 4 en la banda de 850. El requerimiento sería el mismo si se tuviesen BTS con configuraciones de 444/666 ó 444/888 pero considerando la banda de 1900. Así la instalación de las antenas debe contemplar la separación entre antenas del mismo sector definida de 1.00 m para evitar una posible interferencia mutua.

En implementaciones de estaciones base de este tipo en el que se requiere una cantidad considerable de antenas y que son parte de un proyecto de implementación con plazos definidos, se adquieren y emplean antenas de iguales características genéricas (dual band 850/1900 y cross polarization $\pm 45^\circ$) pero de diferentes fabricantes. Por lo anterior se debe considerar instalar en un sector antenas del mismo fabricante si es que llegasen al site antenas de diferentes fabricantes. Lo anterior es de suma importancia pues con esto se asegura que la cobertura de un sector no cambia sustancialmente entre una antena y su par, así se evitan posibles problemas de caídas de llamadas o del cambio de cobertura del BCCH cuando su transmisión pasa de una antena a otra del mismo sector.

Debido a que la antena a instalar tiene 4 puertos en estos casos los 2 puertos de las antenas pares no utilizados en cada sector (puertos de 1900 si la configuración es 666/444 o 888/444 ó puertos de 850 si la configuración es 444/666 o 444/888) deben protegerse con el objeto de aislarlos evitando así el deterioro del conector debido a la humedad y contaminación del ambiente. Lo anterior permite la utilización futura de estos puertos cuando se requieran ampliaciones de capacidad en la banda correspondiente.

Aterramiento de las líneas de antena.

Una vez instaladas las líneas de antenas requeridas se procede a continuación con el aterramiento de cada una de ellas en distintos puntos a lo largo de su recorrido. El aterramiento del cable coaxial principal significa la conexión por contacto superficial lateral de su conductor externo al sistema de aterramiento del sitio. Las antenas empleadas tienen la característica de aterramiento DC lo cual significa que sus puertos, accesorios y otras partes metálicas se encuentran conectadas (son comunes eléctricamente) y por lo tanto solo basta el aterramiento de los cables correspondientes,

esto es, dichas antenas no presentan un punto de aterramiento externo. Como se indico anteriormente cada línea de antena se aterra en tres puntos: cerca del equipo, cerca de la antena y en un punto intermedio en el recorrido que en caso de haber una torre suele estar 2 m por encima de la base de la torre garantizando de esta manera la protección del sistema radiante y el equipo.

Una característica propia del equipo permite el aterramiento de cada uno de los jumpers de BTS luego de la entrada de estos al equipo y previo a su conexión al FDUAMCO ya que el equipo presenta un punto de aterramiento en forma de banda en cada uno de los gabinete de radio (base, extensión 1 y extensión 2).

El aterramiento del cable coaxial principal en uno de los tres puntos indicados consiste en la conexión de su conductor externo (previo corte del aislante en dicho punto) con la barra de tierra instalada para tal propósito cercana a dicho punto mediante un cable de cobre que tiene las adecuaciones necesarias (denominado grounding kit) para asegurar un adecuado contacto en cada uno de sus extremos (tanto en el cable como en la barra de tierra). Una vez instalados los grounding kits en todos los puntos y en todos los cables se debe proceder a la protección de cada uno de los puntos de aterramiento de los cables de manera que dicha protección ofrezca el mismo aislamiento e impermeabilización que el aislamiento propio de los cables. Así un punto importante de supervisión es la correcta instalación de los aterramientos y su posterior impermeabilización. Una vez instaladas las líneas de antena (cable coaxial principal, jumper de BTS y jumper de antena) previa realización de los conectores, realizados los aterramientos de estas líneas e instaladas las antenas, se procede a realizar la inspección de la instalación del sistema radiante y proceder con la realización de las pruebas que verifican una transmisión de la señal de radio en las líneas de antena con perdidas y reflexiones mínimas (o por lo menos por debajo de los valores limites definidos).

La inspección de la instalación del sistema radiante consiste en la verificación de la correcta instalación y protección (si aplica) de cada elemento que compone el sistema radiante en su totalidad, esto es, jumpers de BTS y jumpers de antena, cables coaxiales principales, conexiones, aterramientos de la líneas de antena, protección de las conexiones y de los puntos de aterramientos, antenas y orientación e inclinación de la mismas.

Pruebas de verificación de la calidad de transmisión del sistema radiante.

El sistema radiante compuesto por la antena y la línea de antena (o línea de transmisión) correspondiente cumplen un rol crucial en el performance general de la BTS. Degradaciones y fallas producto de defectos de fabricación y daños ocasionados durante

la instalación del sistema radiante son una de las causas de una pobre calidad de voz en las llamadas y la posible caída de las mismas. Lo anterior desde el punto de vista del operador significa poseer una red que no le brinda ganancias además del impacto negativo en los suscriptores actuales y en los potenciales suscriptores que se decidirían por elegir los servicios de otra red.

Las deficiencias en el performance de una BTS pueden deberse a defectos de hardware del equipo mismo o a defectos del sistema radiante. Mientras que es más rápido el reemplazo de un hardware defectuoso (considerando que el equipo BTS tiene una arquitectura modular), el reemplazo de un cable principal o su antena por lo general no lo es, es mas resulta complicado en la mayoría de los casos pues en la actualidad la cantidad de cables instalados es considerable lo que obliga a la instalación de los mismos en bloques uno sobre el otro. Los defectos de fabricación y/o daños físicos causados a la línea de antena significan la reflexión y pérdida de intensidad excesiva de la señal sobrepasando los valores límites permitidos. Recordemos que una señal reflejada ocurre en un punto del cable en el que se produce una discontinuidad en su impedancia debido a un golpe o quiebre en el cable o excesiva curvatura del mismo, o a un cambio en la impedancia debido a conexiones o instalaciones de los conectores mal realizados. Por otro lado, la pérdida de intensidad de la señal es causada por la disipación de la misma a lo largo del cable y conexiones, así el tipo de cable y conectores (es decir sus procesos de fabricación y materiales que los componen) utilizados influyen en la atenuación de la señal

Es también tarea del supervisor de la implementación estar a cargo de las pruebas asegurarse que el performance del sistema radiante cumple con los requerimientos generales de diseño. Para verificar el desempeño del sistema radiante se realizan tres tipos de pruebas.

Prueba de pérdida de señal en el cable coaxial principal (Cable Loss).

Esta prueba mide la energía absorbida o perdida por la línea de transmisión en dB/meter. Diferentes líneas de transmisión tienen diferentes pérdidas y esta es proporcional a la frecuencia y distancia. Para realizar esta prueba se coloca un terminal en corto en un extremo de la línea de transmisión. De esta manera es posible calcular la pérdida de la señal a través de la línea de transmisión pues una señal de prueba es transmitida la cual es reflejada en el extremo donde se ubica el corto y sensada por el equipo a su retorno.

Esta prueba se realiza en cada cable coaxial principal y el valor absoluto máximo obtenido debe ser menor al valor de pérdida límite indicado por el fabricante para el tipo de cable a determinada longitud del cable y a determinado rango de frecuencias. Así para

una longitud típica de cable 7/8 modelo LCF 78-50JA de 33 m el valor permitido de pérdidas en el cable en la banda de 850 (824-894 MHz) es de 1.61 dB mientras que en la banda de 1900 (1850-1990 MHz) es de 2,36 dB.

Cabe mencionar que para saber la longitud exacta del cable se hace uso de la herramienta disponible en el equipo de medición denominada Distancia a la Falla (Distant to Fault: DTF) el cual permite saber con exactitud la longitud efectiva del cable de extremo a extremo.

Las tablas 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6 son usadas durante la realización de las pruebas.

Fabricante	REFERENCIA CABLE ALIMENTADOR	Atenuación 7/8" por 100 metros a 894 MHz	Conector para cable alimentador.
RFS	LCF78- 50JA/JFNA	3.69 dB/100m	0.08 dB

Tabla 3.3. Atenuación a 894 MHz máxima esperada para cable nuevo

Fabricante	REFERENCIA CABLE ALIMENTADOR	Atenuación 7/8" por 100 metros a 2000 MHz	Conector para cable alimentador.
RFS	LCF78- 50JA/JFNA	5.82 dB/100m	0.08 dB

Tabla 3.4. Atenuación a 2 GHz máxima esperada para cable nuevo.

Longitud	Atenuación	Longitud	Atenuación
Cable 7/8		Cable 7/8	
0-5 metros	0,50	75,1-80 metros	3,27
5,1-10 metros	0,69	80,1-85 metros	3,46
10,1-15 metros	0,87	85,1-90 metros	3,64
15,1-20 metros	1,06	90,1-95 metros	3,83
21-25 metros	1,24	95,1-100 metros	4,01
25,1-30 metros	1,43	100,1-105 metros	4,19

Tabla 3.5 Atenuación cable alimentador 7/8" a 894 MHz. Cable de Referencia
LCF78-50JA/JFNA

Longitud	Atenuación	Longitud	Atenuación
Cable 7/8		Cable 7/8	
30,1-35 metros	1,61	105,1-110 metros	4,38
35,1-40 metros	1,80	110,1-115 metros	4,56
40,1-45 metros	1,98	115,1-120 metros	4,75
45,1-50 metros	2,17	120,1-125 metros	4,93
50,1-55 metros	2,35	125,1-130 metros	5,12
55,1-60 metros	2,53	130,1-135 metros	5,30
60,1-65 metros	2,72	135,1-140 metros	5,49
65,1-70 metros	2,90	140,1-145 metros	5,67
70,1-75 metros	3,09	145,1-150 metros	5,86

Tabla 3.5 Atenuación cable alimentador 7/8" a 894 MHz. Cable de Referencia LCF78-50JA/JFNA (cont).

Longitud	Atenuación	Longitud	Atenuación
Cable 7/8		Cable 7/8	
0-5 metros	0,61	75,1-80 metros	4,98
5,1-10 metros	0,90	80,1-85 metros	5,27
10,1-15 metros	1,19	85,1-90 metros	5,56
15,1-20 metros	1,48	90,1-95 metros	5,85
21-25 metros	1,78	95,1-100 metros	6,14
25,1-30 metros	2,07	100,1-105 metros	6,43
30,1-35 metros	2,36	105,1-110 metros	6,72
35,1-40 metros	2,65	110,1-115 metros	7,01
40,1-45 metros	2,94	115,1-120 metros	7,30
45,1-50 metros	3,23	120,1-125 metros	7,60
50,1-55 metros	3,52	125,1-130 metros	7,89
55,1-60 metros	3,81	130,1-135 metros	8,18
60,1-65 metros	4,10	135,1-140 metros	8,47
65,1-70 metros	4,39	140,1-145 metros	8,76
70,1-75 metros	4,69	145,1-150 metros	9,05

Tabla 3.6 Atenuación cable alimentador 7/8" a 2000 MHz. Cable de Referencia LCF78-50JA/JFNA

A continuación se muestran (ver figuras 3.3 y 3.4) graficas de la prueba de cable loss tanto en la banda de 850 como en la banda de 1900 realizada en un sitio GSM. Nótese que se presenta una mayor pérdida de señal en la banda de 1900 que en la de 850.

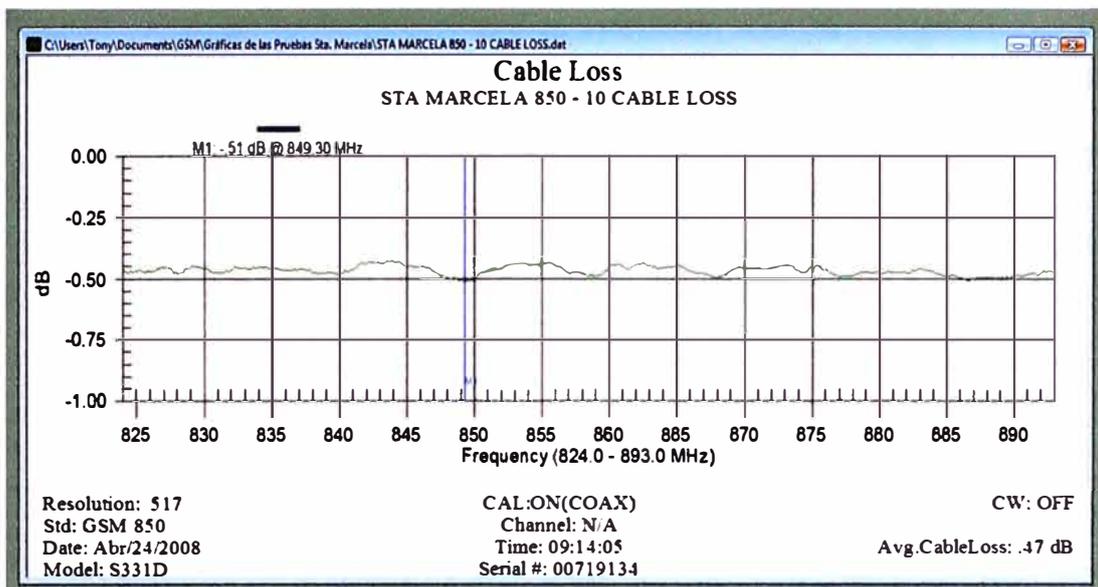


Figura 3.3 Prueba de Cables loss a una línea de antena en la banda de 850.

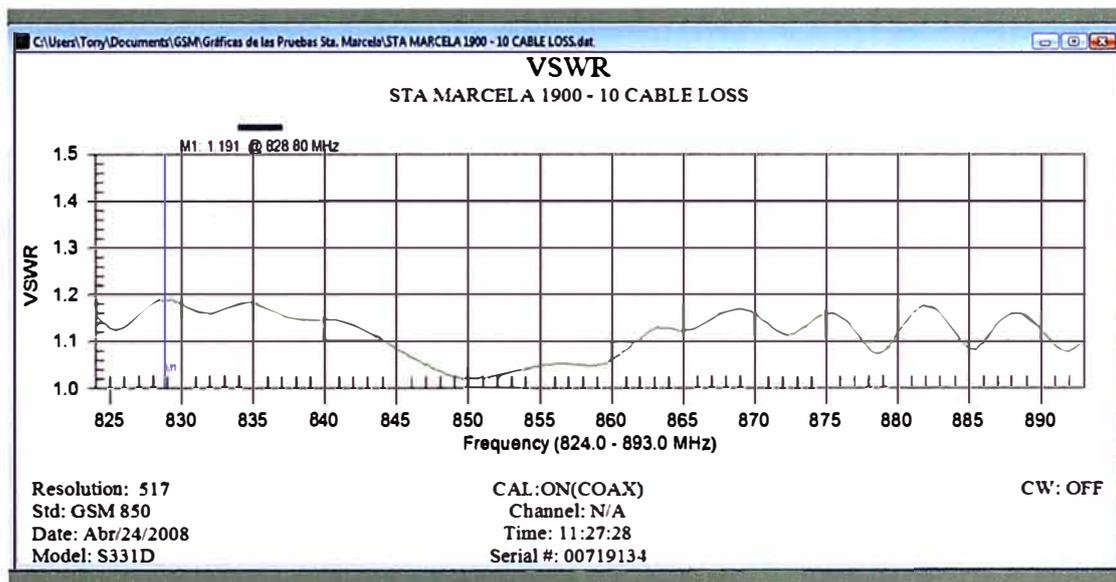


Figura 3.4 Prueba de Cables loss a una línea de antena en la banda de 1900.

Prueba de VSWR al Sistema Radiante.

La prueba de VSWR es un indicador de la magnitud de la potencia reflejada en relación con la potencia transmitida a la línea de antena. Cada punto de discontinuidad o desacople de impedancias causado por el quiebre, perforación, excesiva curvatura del cable, puntos de interconexión de los elementos que componen el sistema radiante, una incorrecta interconexión o mal realización de los conectores significan puntos notables de

reflexión de la señal en su recorrido hacia la antena lo cual se manifiesta en la prueba con valores altos de VSWR en varios puntos de frecuencia. Un sistema radiante que presente una o varias de estas características reflejara la señal en gran medida, es decir solo una fracción de la señal transmitida, será irradiada por la antena (tener en cuenta también la eficiencia de la antena que no irradia toda la señal recibida) obteniendo así una área de cobertura reducida mientras que el resto de la señal retornará al transmisor afectando su eficiencia y reduciendo su vida útil.

La prueba de VSWR al sistema radiante consiste en conectar el extremo del jumper de BTS que se conecta al transmisor (FDUAMCO) al equipo de medición quien enviara una señal de prueba para medir la capacidad de la línea y la antena de transmitir el máximo la señal con reflexión mínima. Como se ha indicado el propósito de esta prueba es verificar el acople de los elementos que componen el sistema radiante y el adecuado trato durante su instalación. El valor de VSWR limite definido (según especificación del planeamiento de cobertura) para esta prueba es de 1.50 lo cual significa una potencia reflejada del 4% de la potencia transmitida o una perdida en el retorno de 14 dB. Valores típicos de VSWR del sistema radiante obtenidos durante la implementación de las BTS se encuentran en el rango de 1.26 a 1.36 (se tendrían potencias reflejadas en el rango de 1.34% a 2.33% de la potencia transmitida).

A continuación se muestran (ver figuras 3.5 y 3.6) gráficas de la prueba de VSWR realizada al sistema radiante en un sitio GSM tanto en la banda de 850 como en la banda de 1900.

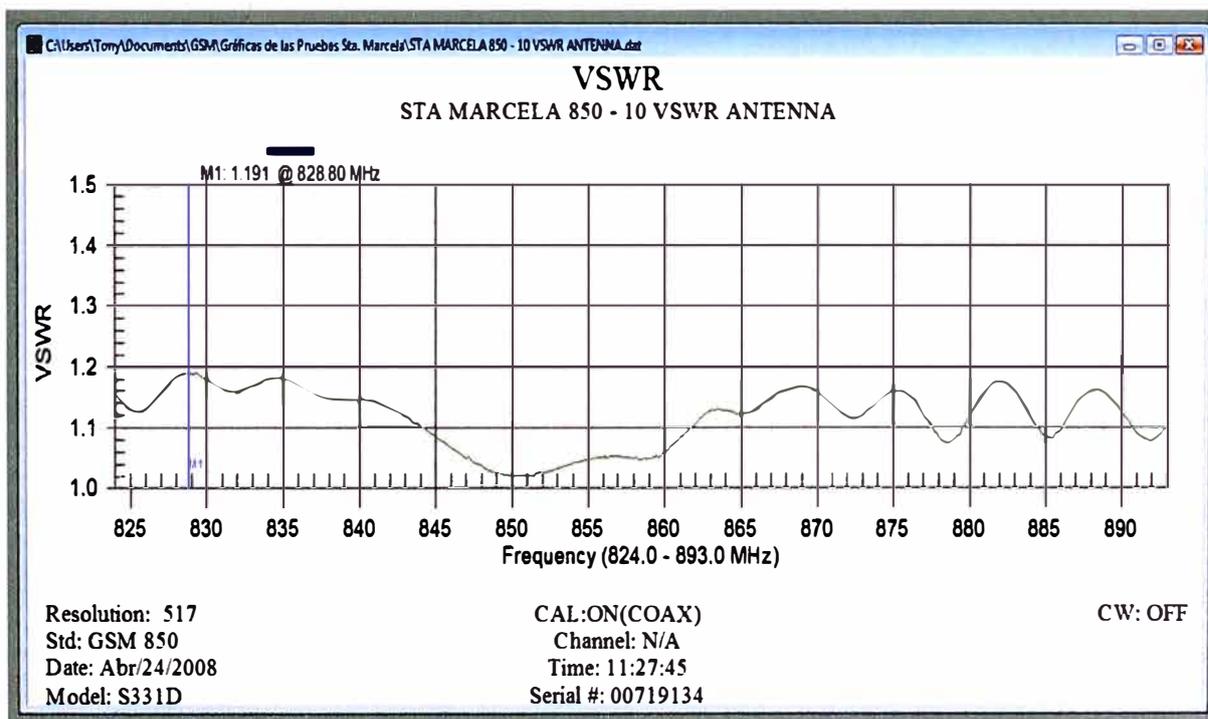


Figura 3.5 Prueba de VSWR a una línea de antena + antena en la banda de 850.

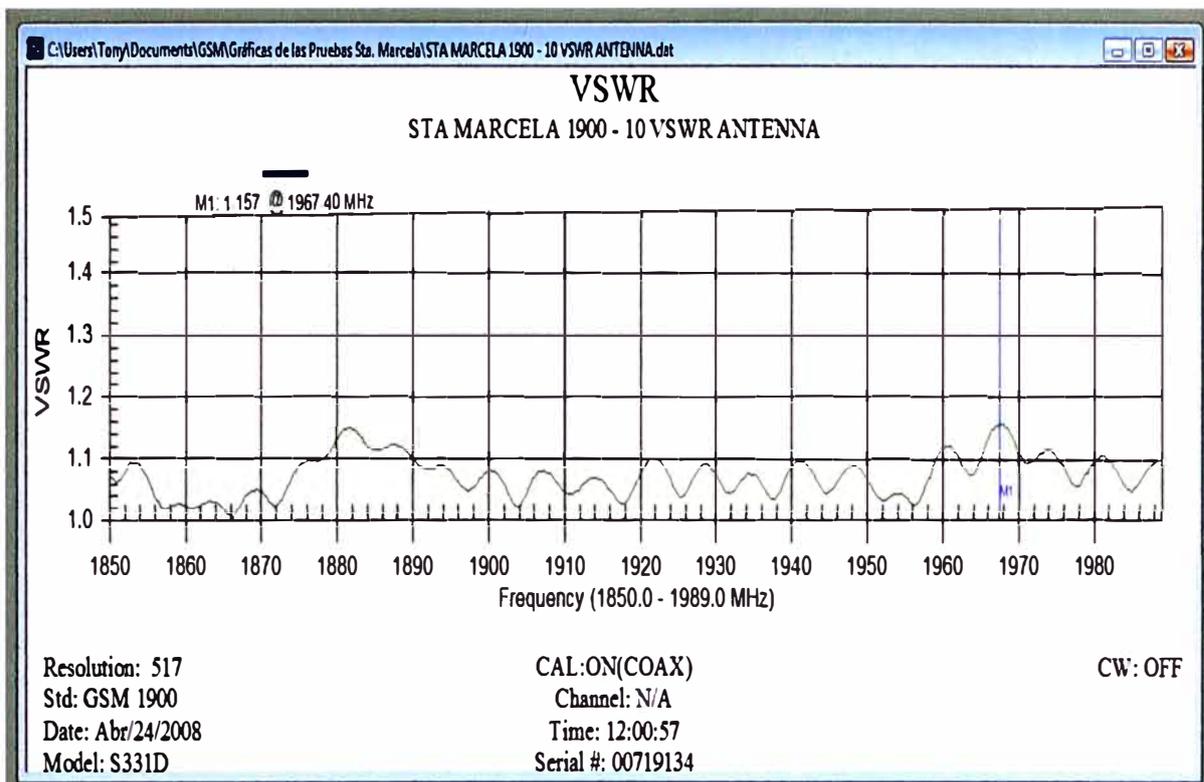


Figura 3.6 Prueba de VSWR a una línea de antena + antena en la banda de 1900.

Prueba de VSWR en el cable coaxial principal.

Aunque por lo general la medida de VSWR se realiza al sistema radiante "completo", el propósito de realizar la prueba de VSWR solamente al cable coaxial principal es verificar rápidamente que los conectores instalados en los extremos del cable y la instalación misma se hayan realizado correctamente. También permite verificar en general (la prueba de DTF que se explicara a continuación permite tener más detalle de los puntos de reflexión en el cable, si existiesen) que el cable no presente deformaciones, es decir, que su instalación se haya realizado correctamente y con el debido cuidado.

Para realizar esta prueba a solo el cable coaxial se coloca en un extremo una carga con una impedancia igual a la impedancia del cable coaxial (50 Ω) mientras que en el otro extremo del cable se conecta el equipo de medición que transmite una señal de prueba.

El valor de VSWR obtenido para cada cable coaxial no debe sobrepasar el valor máximo definido de 1.13 lo cual significa una potencia reflejada del 0.375% de la potencia transmitida o una pérdida en el retorno de 24,3 dB. Valores típicos de VSWR obtenidos para los cables coaxiales son de 1.09 y ,1.10 los cuales representan potencias reflejadas de 0.184% y 0.228% de la potencia transmitida.

A continuación se muestran (ver figuras 3.7 y 3.8) graficas de la prueba de VSWR realizada al cable coaxial principal en un sitio GSM tanto en la banda de 850 como en la banda de 1900.

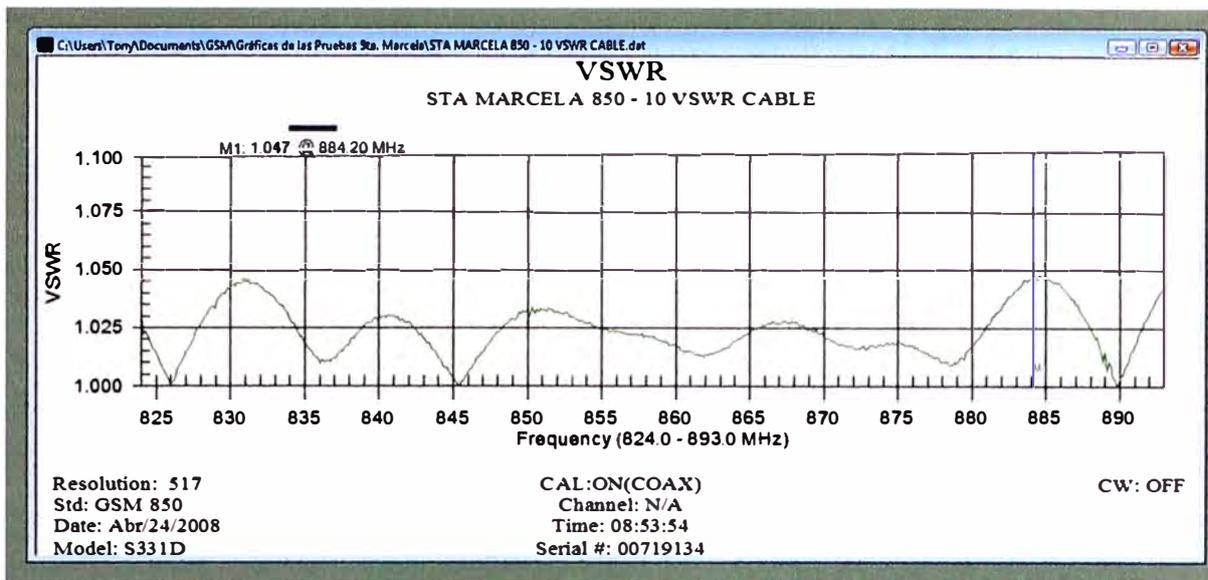


Figura 3.7 Prueba de VSWR a un cable coaxial principal en la banda de 850.

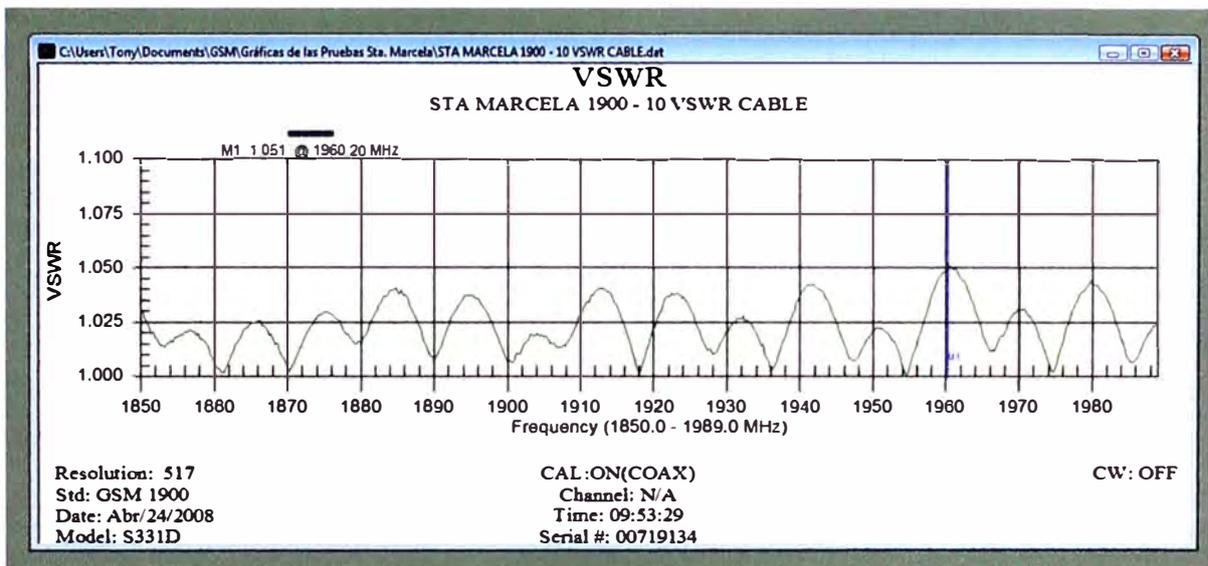


Figura 3.8 Prueba de VSWR a un cable coaxial principal en la banda de 1900.

Similar prueba se realiza para los jumpers de BTS y antena previo a sus instalaciones, se prueban en especial los jumpers de antena que por facilidad de instalación se conectan a las antenas previo a la instalación de estas en la torre de esta manera resulta sencilla la interconexión de todo el sistema radiante una vez instalados todos sus elementos. En caso se requiera, la prueba de DTF permite verificar en caso sea necesario (por ejemplo, la prueba de VSWR del Sistema Radiante muestra fallas mientras que la prueba de VSWR del cable principal resulta exitosa) si existen defectos de fabricación en los jumpers.

Una prueba adicional que se realiza con propósitos de troubleshooting o con la finalidad de conocer la longitud de un cable coaxial es la prueba de distancia a la falla que a continuación se describe.

Prueba de Distancia a la Falla (Distant To Fault: DTF).

Como se menciona anteriormente si algunas de las pruebas de VSWR falla ya sea aplicado a solo el cable principal o al sistema radiante completo, la prueba de distancia a la falla (DTF) se constituye en una herramienta util para llevar a cabo la resolución del problema (troubleshooting) y poder determinar la exacta ubicación de la falla, falla que puede deberse a quiebre en el cable, excesiva curvatura, intrusion de humedad o cuerpo extraño en el cable, incorrecta interconexion, o conectores mal instalados, etc. La prueba de DTF puede realizarse con propositos de troubleshooting al sistema radiante completo (jumper de BTS + cable principal + jumper de antena), a la linea de antena (jumper de BTS + cable principal + jumper de antena) o al cable coaxial principal.

La prueba de DTF tambien se puede usar para obtener la longitud exacta del cable coaxial o de la linea de antena (jumper de BTS + cable principal + jumper de antena). En este caso se requiere de una carga de 50Ω de impedancia igual a la impedancia del cable coaxial la cual debe conectarse en uno de los extremos del cable mientras que en el otro extremo se conectara el equipo de pruebas. A continuación se presentan graficas (ver figuras 3.9 y 3.10) que muestran el uso de esta herramienta para propósitos de troubleshooting y obtención de la longitud del cable coaxial principal.

Del examen de las graficas se determina que la longitud del cable 10 – 850 es de 12.5 m y la longitud del cable 10 – 1900 es de 14m. Lo anterior se debe a que estos cables se conectan a FDUAMCOs ubicados en distintos gabinetes y por tanto sus longitudes no son iguales.

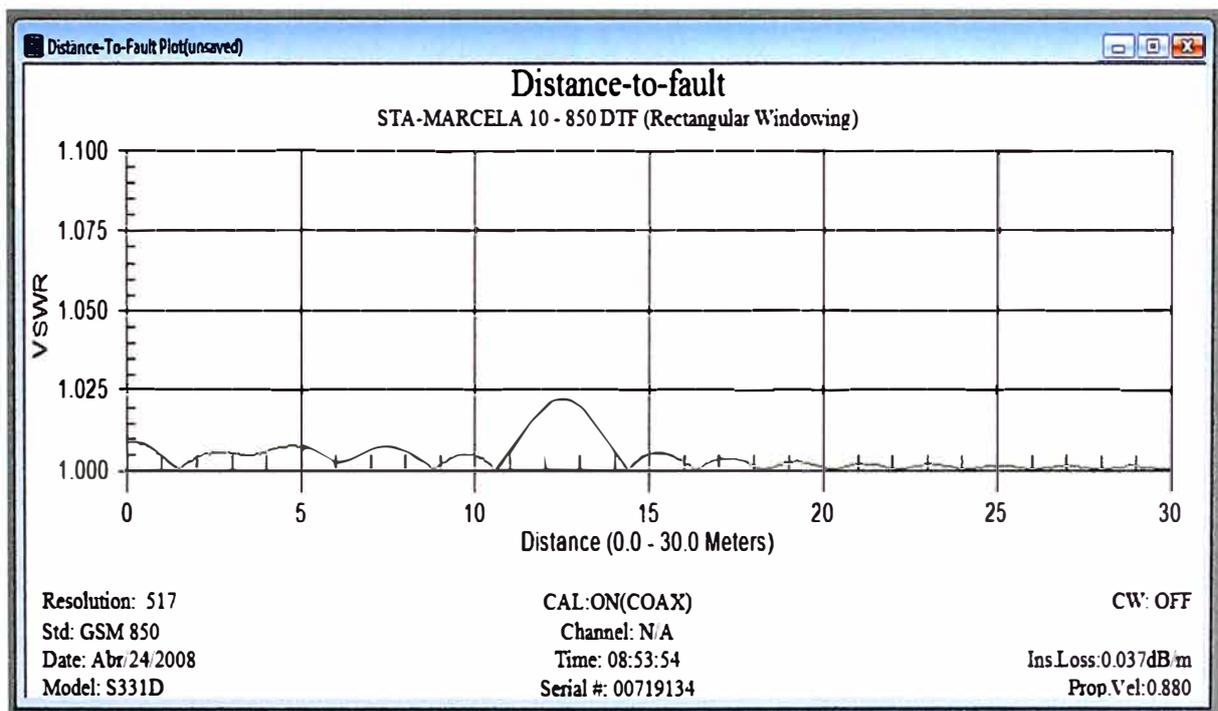


Figura 3.9 Prueba de DTF del cable 10 banda 850.

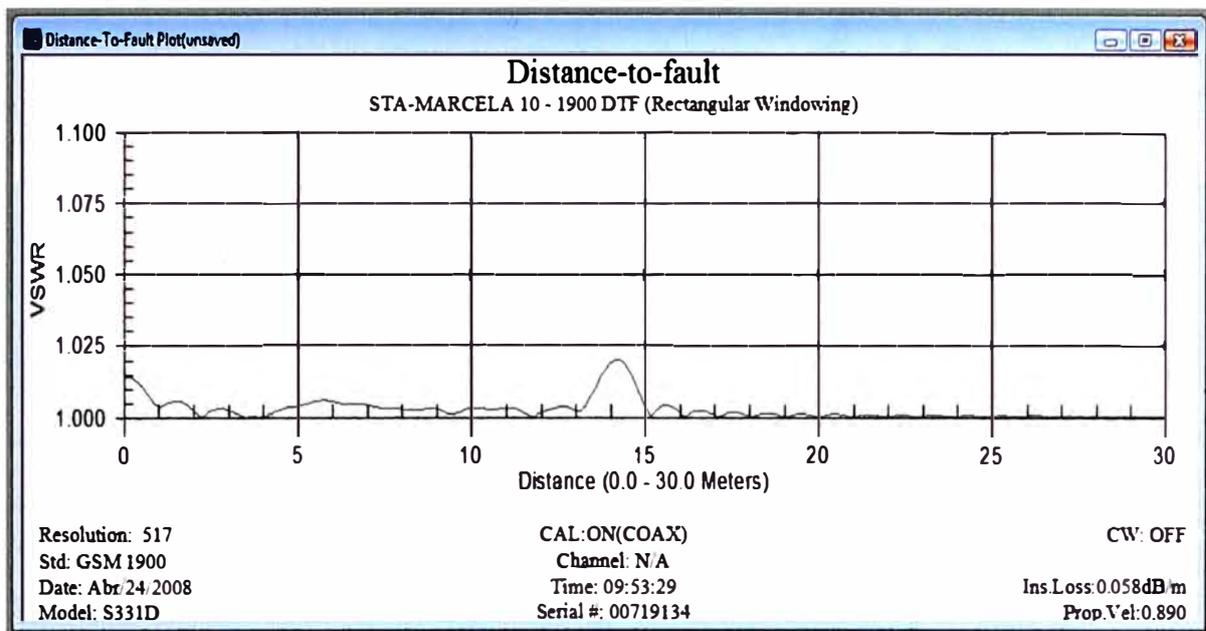


Figura 3.10 Prueba de DTF del cable 10 banda 1900.

Considerando la implementación de una BTS con una configuración de radios de 666/444, significaría realizar la prueba a 18 cables coaxiales principales (VSWR y Cable Loss) y a los 18 sistemas radiantes correspondientes (VSWR), es decir, se realizarían en total 54 pruebas, 18 de cada tipo. La realización de estas pruebas exige el uso de un equipo de medición y accesorios que calibración vigente realizada por el fabricante u otra entidad autorizada (por lo general la fecha de vigencia de la calibración es de un año), además de la calibración previo a las pruebas que se realizan en sitio.

La prueba al sistema radiante completo se considera finalizada hasta que todas y cada una de las pruebas resulten exitosas, es decir si las pruebas indican fallas en una de las líneas de antenas o antenas se procede a realizar el troubleshooting correspondiente para ejecutar la corrección más apropiada en términos de tiempo, costos y calidad del sistema con el fin de obtener un sistema radiante con un performance que cumpla las especificaciones de diseño.

Por todo lo anterior mencionado la realización de estas pruebas es uno de los puntos más importantes dentro de la tarea de supervisión e implementación de la BTS y como tal se incluye su ejecución dentro del cronograma de actividades relacionadas a la implementación de la BTS. Cabe mencionar que cada una de la pruebas realizadas son registradas y guardadas como prueba del performance del sistema radiante completo de la BTS previo a su puesta en servicio. Esta información posteriormente forma parte de la documentación del site que finalmente es entregado al operador de la red para el inventario del sitio y de la red.

A lo largo de esta sección del informe en que se ha descrito la instalación del sistema radiante de la BTS se indicado también que para cada parte de la instalación se realiza la

supervisión correspondiente. La supervisión del sistema radiante instalado se compone de un conjunto de puntos de verificación los cuales se encuentran definidos en el documento denominado Checklist de Instalación del Sistema Radiante. Documento que ha sido elaborado por el equipo de implementación de Nokia Siemens Networks para el proyecto Overlay GSM (teniendo en cuenta proyectos de implementación de red celular GSM de NSN anteriores en otros países) y posteriormente revisado y aprobado por el operador de la red.

Supervisión e Instalación del Equipo BTS.

La instalación del equipo BTS sigue las indicaciones y recomendaciones del fabricante, en este caso Siemens. Como se indico anteriormente se toma como referencia la BTS Outdoor modelo BS241-II (la cual se implementa en la red GSM de TEM Perú en la actualidad) para la explicación de la instalación de una BTS. Independientemente del tipo de BTS a instalar, la instalación del equipo comprende la instalación de los gabinetes que lo componen según su configuración, la instalación del cableado eléctrico externo (AC) e interno (DC), del cableado de aterramiento, la instalación del hardware de radio (FCUs y FDUAMCOs) y CPU, y la instalación del equipo de enlace de transmisión BSC-BTS.

Instalación de los gabinetes de la BTS.

Dependiendo de la configuración de radios y de la autonomía en energía (cantidad de bancos de baterías) que tendrá la BTS se requiere la instalación de una cantidad de gabinetes de radio y una cantidad de gabinetes de servicio. Como se menciono anteriormente se definieron tres tipos de BTS según su configuración de radios y requerimiento de autonomía de energía. Así una BTS con una configuración de radios de 666/444 está compuesta de 5 gabinetes: dos gabinetes de servicio (Service Rack 1 y Service Rack 2) y 3 gabinetes de radio (Base Rack, Extension Rack 1 y Extension Rack 2).

Los gabinetes en el sitio se disponen en fila uno al lado del otro, según lo estipula el fabricante, la ubicación de cada gabinete en dicha disposición es específica. Esta disposición permite la implementación de una BTS a partir de su mínima expresión (Service Rack 1 y Base Rack) permitiendo su posterior ampliación ya sea en radios (instalación de Extension Rack adicionales: 2 como máximo) o en autonomía de energía (instalación de Service 2 Rack: 3 como máximo).

Si bien la disposición recomendable de los gabinetes es en fila, también es posible la instalación de los equipos en una disposición espalda a espalda o "back to back" que

permita la instalación de la BTS en sitios con cuarto de equipos de área cuadrada. Así la BTS otorga flexibilidad en su instalación para adecuarse a diferentes tipos de sitios. Independientemente de la disposición de los gabinetes del equipo BTS estos se instalan sobre una estructura metálica la cual se instala previamente sobre la plataforma del cuarto de equipos. Con esto se previene la intrusión de líquido al equipo en caso de inundación del sitio por diferentes factores (lluvias, etc.).

La supervisión de esta parte de la instalación consiste en la verificación del correcto ensamble de la estructura base de los gabinetes y la correcta fijación de la misma a la plataforma con los elementos de sujeción adecuados dependiendo si la plataforma es de concreto o es una superficie metálica. Por lo tanto este punto de verificación se realiza durante la instalación misma de la mencionada estructura.

Otros puntos de supervisión en esta parte son verificar la correcta posición de los gabinetes ya sea estén dispuestos en fila o espalda a espalda (back to back), verificar la fijación de los gabinetes a la estructura de base y la fijación entre los gabinetes adyacentes de tal manera que permita la estabilidad de los gabinetes como conjunto y no como unidad individual y verificar que los conductos laterales de interconexión de los gabinetes estén habilitados y protegidos adecuadamente evitando la intrusión de líquido entre ellos.

Aterramiento de la BTS.

Sigue a la instalación de los gabinetes y su estructura de base, la instalación de los cables de aterramiento de ambos, es decir tanto de la estructura metálica como del equipo BTS.

El aterramiento de los gabinetes de la BTS dispuestos en fila consiste en la instalación de un solo cable de tierra conectado al punto principal de aterramiento de uno de los gabinetes de la BTS (por lo general el Service 1 Rack y que denominaremos el punto de aterramiento de la BTS) y la instalación de placas o mallas metálicas que interconectan los puntos de aterramiento de un gabinete y el siguiente (cada gabinete presenta dos puntos de aterramiento externos ubicados en la parte frontal y a cada lado). Así el aterramiento de los gabinetes es en cascada y no se requiere la instalación de un cable de aterramiento por gabinete. Para el aterramiento de la estructura metálica base se elige un punto de conexión de la misma como punto de aterramiento y se procede a la instalación del cable de aterramiento y la conexión del cable a dicho punto y a un punto en la barra dispuesta correspondiente. En el caso de instalar una BTS compuesta por un número de gabinetes (5,6, ó 7) que requiera la instalación de más de un cuerpo de estructura base, se debe instalar cables de tierra puentes interconectando dichos cuerpos en cascada procurando así el aterramiento de toda la estructura base.

La especificación que siempre se debe cumplir es que el punto de aterramiento a usar como punto de descarga eléctrica del equipo de la BTS debe estar lo más cerca posible a la barra de tierra dispuesta correspondiente y que el cable de aterramiento que conecta dicho punto con la barra de tierra se instala siguiendo el recorrido más directo posible. De esta manera se contribuye a que la resistividad de la trayectoria de descarga sea lo mínimo posible.

En el caso de una BTS cuyos gabinetes están dispuestos back to back, en el que se tiene (observe la grafica de la disposición back to back) dos filas de gabinetes y por lo tanto dos cuerpos de estructuras base, el aterramiento de la BTS consiste en aterrizar cada fila de gabinetes (los gabinetes que componen la fila se conectan en cascada). Cada estructura de base se aterriza independientemente. Por lo anterior se requerirán de dos puntos en la Barra de tierra de equipos para aterrizar el equipo y dos en la barra de tierra de estructuras para aterrizar las estructuras de base.

Instalación de las conexiones eléctricas y bancos de baterías

Realizada la instalación del aterramiento de la BTS se procede con la instalación del cableado eléctrico externo para el suministro de los 220 VAC monofásico al equipo. El cable a utilizar para tal fin consta de tres conductores multifilares de 6 AWG de calibre (de colores rojo negro y verde). Dos de los conductores suministran los 220 VAC monofásicos y por lo tanto del lado del tablero eléctrico secundario del sitio se conectan al breaker dispuesto para el suministro eléctrico de la BTS y del lado de la BTS se conectan a los puertos denominados L y N de ingreso de suministro de energía. El tercer conductor es el cable de aterramiento del sistema eléctrico y del lado del tablero secundario se conecta a la barra de tierra en dicho tablero instalado (barra para protección de toda la instalación eléctrica del sitio) mientras que del lado de la BTS se conecta al puerto denominado PE.

Las instalaciones eléctricas internas de la BTS se realizan con el propósito de suministrar -48 VDC provenientes de las unidades rectificadoras alojadas en el gabinete de servicio de tipo 1 a cada uno de los gabinetes de radio y gabinete de servicio de tipo 2. Para el suministro de energía de cada gabinete de radio se emplea un cable compuesto de dos conductores (par azul negro, de acuerdo al estándar de colores de cable eléctricos) de 4 AWG de calibre mientras que para el gabinete de servicio de tipo 2 el calibre es de 12 AWG.

La instalación de los bancos de baterías en los gabinetes de servicio (2 bancos en el Service 1 rack y 03 en el service 2 rack, en el caso se instalen el Service 1 rack y el Service 2 rack) permite una operación continua de la BTS durante un periodo de tiempo en caso el suministro eléctrico principal no esté disponible.

La instalación de los bancos de baterías se realizan teniendo en cuenta la reserva de un espacio libre disponible en el gabinete de servicio tipo 2 (si este se instala además del gabinete de servicio tipo 1) ó en el gabinete de servicio tipo 1 (si no se instala el gabinete de servicio tipo 2) para la posibilidad de albergar el equipo de enlace de comunicaciones BSC-BTS, que por lo general es un IDU Microondas.

Finalizada la instalación de los bancos de baterías, y definido que el equipo de transmisión, parte del enlace BTS-BSC, se instalará en el espacio libre en el gabinete de servicio tipo 2 o en el gabinete de servicio tipo 1, a continuación se debe realizar las coordinaciones necesarias con el área de transmisiones del operador (en previo acuerdo se estableció la responsabilidad de esta área del operador, de la ejecución de la instalación y puesta en servicio del enlace de comunicación BSC-BTS) con el propósito que estos ejecuten la instalación de dicho enlace, y sus posteriores pruebas y puesta en servicio.

Coordinación entre las áreas de implementación y Planeamiento.

En este punto de la instalación de la BTS cercano al fin de la instalación también se realizan coordinaciones con el área de planeamiento del operador y de NSN para definir las frecuencias para la nueva BTS lo cual implica un posible cambio de frecuencias y la reconfiguración de las vecindades (adyacencias) en los sectores de las celdas vecinas a la nueva BTS.

La elaboración de archivos (denominados scripts) los cuales contienen una serie de comandos que configuran parámetros que permiten que la BTS pueda realizar sus funciones, que la BSC pueda tener control sobre dicha BTS y que el MSC realice sus funciones de establecimiento de llamada, handover y otros son elaborados por el área de planning de NSN y ejecutados por el área de planning del operador.

Estos importantes scripts son:

Script para habilitar el establecimiento de las llamadas en el MSC.

Este pequeño script se ejecuta en el MSC en cuya área administrativa se encuentra la nueva estación base próxima a la puesta en servicio comercial. Este script contiene una serie de líneas que identifican cada sector en cada banda de la nueva estación base (Cell Global Identity: CGI). No es posible la realización de llamada alguna ya sea de prueba o real o la ejecución del handover que involucre a esta nueva estación base como origen o destino de la llamada si este script no es ejecutado en el MSC correspondiente. La figura 3.13 que se presenta a continuación muestra un script de este tipo para una BTS que operará en banda doble.

BSC04SLV	←	Nombre del BSC que controla a la BTS
BTS NAME_850		
LI42901	716-06-1011-04291	(MCC-MNC-LAC-CI)
LI42902	716-06-1011-04292	(MCC-MNC-LAC-CI)
LI42903	716-06-1011-04293	(MCC-MNC-LAC-CI)
BTS NAME_1900		
LI42911	716-06-1011-14291	(MCC-MNC-LAC-CI)
LI42912	716-06-1011-14292	(MCC-MNC-LAC-CI)
LI42913	716-06-1011-14293	(MCC-MNC-LAC-CI)

Esquema 3.1 Script de creación de la celda en el MSC.

Script para la puesta en funcionamiento en modo de prueba (Cell Barred) de la BTS:

Este script se ejecuta en el controlador de estaciones base al cual estará conectada la nueva BTS. Este script contiene una serie de comandos que registra a la nueva BTS en la BSC y configuran parámetros de transmisión y señalización en la interfase Abis, parámetros asociados a gestión de recursos de radio (asignación de frecuencias, tipo de canales de tráfico full o half, salto de frecuencias, etc), de gestión de la movilidad (handover) y otros. Gracias a este script, luego de instaladas la BTS y el enlace BSC-BTS, la BSC establece comunicación con la BTS y le transfiere las frecuencias asignadas y ejecuta los comandos de configuración de los radios en la BTS, configuración que no es posible realizar localmente. Este script habilita el funcionamiento en modo de prueba de la BTS, es decir, se pueden realizar llamadas de prueba, llevar a cabo handover entre sectores de la celda con el propósito de verificar estas funcionalidades. Sin embargo la nueva BTS en este modo no es considerada para cursar tráfico real de los abonados (tráfico comercial) y por lo tanto las BTS existentes en operación no la consideran como destino final de una llamada ni como celda vecina para la ejecución del handover.

Script para la puesta en servicio comercial de la BTS.

Este script una vez ejecutado en la BSC, cambia el estatus de la BTS de modo de prueba a modo de operación comercial. Es decir este script contiene comandos que configuran el cambio de estatus de la BTS y además configuran parámetros de

adyacencias en la nueva BTS y en las BTSs vecinas. Si la nueva BTS se encuentra en la frontera del área de dominio de una BSC este script incluirá otros scripts que se deben ejecutar en las BSCs que controlan a las BTS vecinas para reconfigurar las adyacencias con el propósito de que estas BTS puedan ejecutar handover entre ellas considerando a la nueva BTS. Una vez la BTS se encuentre en operación comercial esta puede cursar tráfico real de los abonados ubicados en su cobertura.

Las coordinaciones en este punto de la instalación tienen como propósito la finalización en simultáneo (en una fecha acordada) de la instalación de toda la BTS y el enlace de comunicación BTS-BSC, además de tener listos los scripts mencionados que deben ejecutarse en la BSC y el MSC para proceder con la integración de la nueva BTS a la red (inicio de comunicaciones entre la BSC y BTS, previo ejecución del script en el MSC y del script en Cell Barred en la BSC), su puesta en funcionamiento (en modo de prueba o cell barred) de la BTS, la ejecución de pruebas a la misma y su posterior puesta en servicio comercial (ejecución del script en comercial). Sin embargo si no se cuenta con el enlace, las frecuencias y/o los scripts en la fecha acordada traerían como resultado el retraso de la puesta en servicio de la BTS. A partir de este punto, la instalación de la BTS se realiza en simultáneo con la implementación de todo el enlace BSC-BTS, el planeamiento de asignación de frecuencias y elaboración de los scripts para la nueva BTS.

Por último se procede con la instalación de las unidades rectificadoras en el contenedor (shelf de rectificadores) ubicado en el gabinete de servicio tipo 1. La cantidad de rectificadores a instalar inicialmente es igual a la cantidad necesaria para suministrar la energía requerida por la cantidad de hardware de radio, bancos de baterías y ventiladores instalados en la BTS mas uno. Así el sistema de rectificación tiene una redundancia de $n+1$ (n : numero de rectificadores requeridos) y estos $n+1$ rectificadores trabajan compartiendo la carga total (load sharing). Para una configuración de 666/444 con 5 bancos de baterías se requieren 5 rectificadores, entonces por lo anterior, se instalan 6 rectificadores ocupando completamente el shelf de rectificadores.

La supervisión correspondiente a las instalaciones eléctricas externas e internas realizadas consiste en la verificación de las conexiones, estas deben encontrarse fijas, sin las polaridades invertidas donde cada línea de energía (cada conductor) se encuentre aislado, es decir se verifica que estas instalaciones sean seguras en el tiempo.

Instalación de las interconexiones entre los gabinetes.

Los gabinetes instalados, para su funcionamiento como un sistema completo (BTS) que realice sus tareas con un desempeño eficiente requiere de la interconexión de estos con el base rack o gabinete principal, gabinete que como se indico anteriormente alberga

al CPU (CoBa) y a la unidad de transmisión (AbisCon, que permite enlazar a la BTS con el BSC) entre otros. Estas interconexiones permiten el monitoreo, control y mantenimiento de unidades funcionales tales como FCUs, FDUAMCOs, rectificadores, baterías, ventiladores albergadas en los otros gabinetes y permiten la transmisión del tráfico procesado por los FCUs (TRXs) ubicados en los gabinetes de ampliación de radio (extensión racks) hacia la COBA (quien procesa dicho tráfico para luego enviarla a la tarjeta de transmisión).

Instalación de los módulos de la BTS.

Realizadas las instalaciones de aterramiento, eléctricas y las interconexiones entre gabinetes continua la instalación del hardware de radio, esto es la instalación de los FCUs, FDUAMCOs y la instalación de las tarjetas COBA, COSA y la tarjeta de transmisión. Mientras que el par COBA COSA principal y el par COBA COSA redundante y la tarjeta de transmisiones tienen ubicaciones únicas en el rack base, la ubicación de los FCUs y FDUAMCOs en los slots correspondientes disponibles en los gabinetes base y extensiones debe tener en cuenta que cada slot (de FCU o FDUAMCO) ha sido previamente asignado a un sector (1er, 2do o 3er) dentro de una banda (850 o 1900). Dicha asignación se definió con el propósito de facilitar la instalación y las conexiones FCUs-FDUAMCO de un mismo sector y banda, el troubleshooting de estos módulos, su mantenimiento y posibles ampliaciones. La figura a continuación muestra dicha asignación. En términos simples una unidad de FDUAMCO (el FDUAMCO integra dos unidades idénticas que tienen muchas más funcionalidades) se compone de una etapa de combinación de las señales enviadas por los TRXs (etapa de TX) previo a su transmisión a la línea de antena y una etapa de amplificación de las señales proveniente de las líneas de antena (etapa de RX) previo a su envío a los TRXs.

Por lo anterior se requiere la interconexión de los TRXs de los FCUs de un mismo sector y banda con el(los) FDUAMCO(s) del mismo sector y banda. Realizadas estas interconexiones el camino de transmisión de la señal (proveniente del FCU) hacia la antena se ha establecido. Nuevamente con el propósito de facilitar la instalación y el troubleshooting se definió la conexión de los TRXs de una FCU con los puertos de TX/RX del FDUAMCO dependiendo de la ubicación del FCU. La figura a continuación muestra la interconexión FCU- FDUAMCO.

Supervisión del equipo BTS instalado.

Con la instalación de los módulos de la BTS (hardware de radio y tarjetas) y la interconexión del hardware de radio se finaliza la instalación del equipo BTS y prosigue la supervisión de cada parte instalada que componen este sistema. Se ha indicado a lo

largo de esta sección del informe los puntos principales de verificación en cada parte de la instalación, sin embargo la supervisión de la instalación del equipo BTS contempla puntos adicionales de verificación (que en conjunto constituyen el Checklist de Instalación del Equipo BTS) que permiten garantizar una instalación bajo estándares de calidad, estándares definidos por el equipo de implementación de NSN para el proyecto Overlay GSM y revisado y aprobado por el operador de la red

Como se indico anteriormente a partir del fin de instalación de los bancos de baterías, el resto de la instalación del equipo BTS se ejecutaría en simultáneo con la implementación del enlace de comunicación BSC-BTS. Se espera que el fin de la implementación del enlace sea antes o coincida con el fin de la instalación del equipo BTS así la puesta en servicio de la BTS se realizaría dentro del plazo establecido.

3.2.3 Configuración de la Estación Base y su puesta en operación en modo de prueba.

Una vez verificado que el equipo BTS se ha instalado de manera correcta y estable, que las conexiones tanto externas (eléctricas, de aterramiento, de las líneas de antena a los puertos de antena de los FDUAMCO instalados) como internas (eléctricas, alarmas, transmisión de tráfico, monitoreo y control) son seguras y se encuentran fijadas, que se ha instalado la cantidad de hardware (radios, rectificadores, tarjetas de transmisión y bancos de baterías) según la configuración definida en el diseño de la estación base y que la interconexión del hardware de radio (conexión FCU-FDUAMCO) se ha realizado correctamente, evitando conexiones cruzadas (los cables en un extremo están conectados a puertos que no corresponden) se procede a continuación con la energización del equipo BTS para luego realizar la configuración (también denominado comisionamiento) de la misma. Esto significa que cada modulo y baterías instalados en la BTS es energizado.

Una vez realizado el encendido (power up) de la BTS a través de un conjunto de pasos los cuales se encuentran impresos en el panel de breakers del gabinete de servicio tipo 1 (también se describe el procedimiento para desenergizar el mismo) se establece una conexión local con el equipo BTS a través del puerto LMT (puerto ubicado en el gabinete base donde se ubica la COBA o CPU) haciendo uso de una PC (portátil) con el software adecuado instalado. Así la PC es una terminal para el mantenimiento local de la BTS (LMT: Local Maintenance Terminal) que puede realizar tareas de configuración, monitoreo y control de la BTS. El terminal local interactúa con el CPU de la BTS, es decir con la COBA para realizar las tareas mencionadas. Puesto que la BTS alberga dos COBAs, principal y redundante, la configuración realizada en la COBA principal se realiza también (de manera idéntica) en la COBA redundante.

La configuración de la BTS consiste en una serie de pasos que se muestran en la figura 3.13.

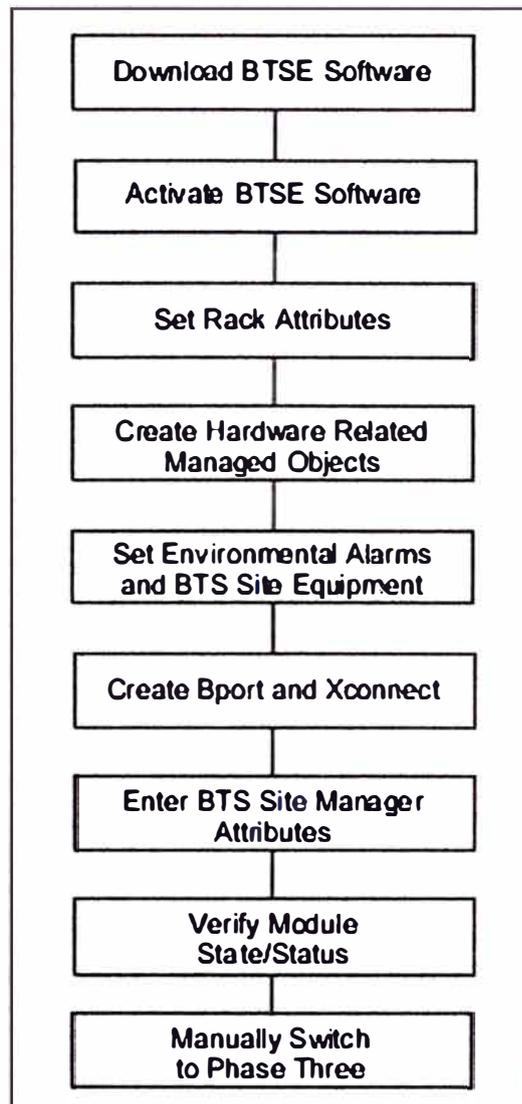


Figura 3.14 Procedimiento de comisionamiento (configuración) de la BTS.

El proceso de configuración de la BTS después del encendido del equipo hasta su puesta en modo de prueba se divide en tres fases.

FASE 1: Descarga del software de la BTS.

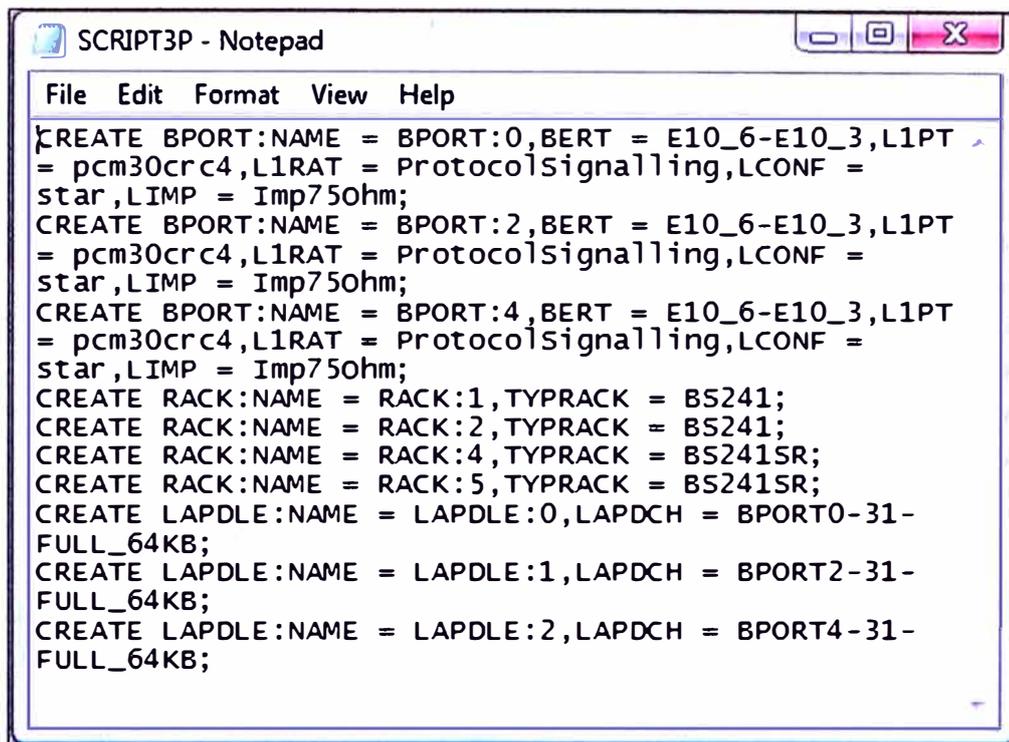
El primer paso consiste en la descarga del software de la BTS, que permitirá a la BTS funcionar como tal. El software descargado se almacena en la memoria EEPROM de la COBA la cual tiene la capacidad de almacenar hasta 3 versiones diferentes del software de la BTS. Lo anterior permite la descarga de una versión reciente liberada por el fabricante para la BTS la cual puede ser activada para su prueba sin borrar de la memoria la versión en funcionamiento y por tanto antes inesperadas fallas de la nueva versión se procede a activar la versión que estuvo en funcionamiento (ejecución del procedimiento denominado Roll Back).

Realizada la descarga y almacenamiento del software deseado para el funcionamiento de la BTS se procede a la activación del mismo, esto significa, la carga de este software a la memoria RAM de la COBA. Se desprende de lo anterior que en un primer momento la activación del software se realiza de forma manual ejecutando el comando correspondiente a través del LMT. Sin embargo, luego que la BTS se encuentre en servicio comercial, la activación de uno de las versiones del software almacenados (en las dos COBAs) para el funcionamiento de la BTS con este se realiza de manera automática luego del reinicio de la BTS causado por diversas razones o eventualidades ya sea al retorno del suministro de energía eléctrica, falla en el funcionamiento de la coba principal, pérdida del enlace comunicación con el BSC o ejecución del comando de conmutación de coba en operación (comando Switch). Las razones anteriores causan que la COBA redundante (y la tarjeta COSA correspondiente) se active y la BTS reinicie sus operaciones con esta CPU redundante. Por lo anterior es importante que la COBA redundante tenga una configuración idéntica y las mismas versiones de software que la COBA principal. La activación automática del software durante el reinicio de la BTS requiere la configuración del parámetro SWLDSAF durante la etapa de configuración de la BTS. Omitir la configuración de este parámetro implica que la BTS no podrá reiniciar operaciones de manera automática luego de una interrupción de sus operaciones, así, el enlace de comunicación BSC-BTS no se re-establecerá y por lo tanto la conexión remota para monitoreo y control de la BTS por parte del centro de operación y mantenimiento de la red (OMC) no se habilitará y por lo tanto el acceso local resulta ser la única solución para la activación del software que en algunos casos, debido a la lejanía del sitio, no es posible si no después de horas de fuera de servicio de la BTS.

FASE 2: Configuración de la BTS.

Activado el software se procede a la configuración propiamente dicha de la BTS la cual consiste en la creación de objetos que permitirán el control, monitoreo y mantenimiento de los elementos (físicos) instalados en la BTS, de los elementos de señalización (lógicos) y de comunicación y permitirán la definición de alarmas. Otros objetos que monitorean y controlan por ejemplo la sincronización, las frecuencias, los canales de tráfico se crean automáticamente (no se pueden crear manualmente) previo a la puesta en funcionamiento de la BTS

Note de la figura 3.15 que la cantidad de objetos de señalización (LAPDLE) y de comunicación (BPORT) a crear dependen de la cantidad de radios de la BTS que se pondrán en servicio. Tener en cuenta que por cada enlace E1 cursa el tráfico de 14 TRXs y por cada E1 implementado hacia la BSC existe un elemento de comunicación denominado BPORT X ($X=0,2, 4$) y un elemento de señalización LAPDLE X ($X=0, 1,2$).



```

File Edit Format View Help
CREATE BPORT:NAME = BPORT:0,BERT = E10_6-E10_3,L1PT
= pcm30crc4,L1RAT = ProtocolSignalling,LCONF =
star,LIMP = Imp750hm;
CREATE BPORT:NAME = BPORT:2,BERT = E10_6-E10_3,L1PT
= pcm30crc4,L1RAT = ProtocolSignalling,LCONF =
star,LIMP = Imp750hm;
CREATE BPORT:NAME = BPORT:4,BERT = E10_6-E10_3,L1PT
= pcm30crc4,L1RAT = ProtocolSignalling,LCONF =
star,LIMP = Imp750hm;
CREATE RACK:NAME = RACK:1,TYPRACK = BS241;
CREATE RACK:NAME = RACK:2,TYPRACK = BS241;
CREATE RACK:NAME = RACK:4,TYPRACK = BS241SR;
CREATE RACK:NAME = RACK:5,TYPRACK = BS241SR;
CREATE LAPDLE:NAME = LAPDLE:0,LAPDCH = BPORT0-31-
FULL_64KB;
CREATE LAPDLE:NAME = LAPDLE:1,LAPDCH = BPORT2-31-
FULL_64KB;
CREATE LAPDLE:NAME = LAPDLE:2,LAPDCH = BPORT4-31-
FULL_64KB;

```

Figura 3.15 Creación de objetos que controlan los gabinetes, los enlaces de transmisión y señalización.

La creación de los objetos BPORT X (X=1,3, 5) ocurren cuando una BTS está conectándose a la BSC vía la BTS que se está configurando. Este tipo de conexión en el que una BTS “se cuelga” de otra BTS conectada a la BSC se denomina conexión en cascada o multidrop. Lo anterior no suele ocurrir, es decir, una BTS al conectarse a la BSC, lo hace directamente a la BSC o a través de una BTS ya en servicio con capacidad disponible en sus enlaces hacia la BSC y no a una BTS en implementación.

Note de la figura anterior, la creación de objetos para la identificación de toda la BTS y para cada gabinete instalado.

Los objetos creados para los módulos instalados se muestran (ver figura 3.16) en el siguiente extracto de script de configuración de la BTS. Note que para cada módulo instalado que puede ser controlado existe un objeto que lo controla creado en la COBA. Para el caso del FDUAMCO existen cuatro objetos asociados a él: dos que controlan la transmisión (uno por puerto de antena) y dos que controlan la recepción (uno por puerto de antena). Ocurre algo similar para el FCU que tiene 3 objetos asociados a él: uno que controla al FCU en general (que controla a la tarjeta madre) y otros dos objetos que controlan a los 2 TRXs que componen la FCU.

El objeto que controla a la COBA con la cual el LMT tiene conexión se crea automáticamente no así el objeto asociado a la segunda COBA. Este y los demás objetos asociados a los ventiladores, tarjetas COSAs, FCUs, FDUAMCOs que se deben crear y configurar sus parámetros por medio de comandos.

Finalizada la configuración se debe verificar por medio del LMT, previo al inicio de la comunicación de la BSC y la BTS, que la BTS en general no presente alarmas, es decir que todos los módulos se encuentren funcionando correctamente, que los E1s instalados desde la tarjeta de transmisión de la BTS al equipo de comunicaciones no estén cruzados, en corto circuito o circuito abierto, que las baterías estén en funcionamiento, etc.

A continuación se debe realizar una simulación de la ocurrencia de eventos que activen las alarmas con el propósito de verificar que los módulos sean capaces de activar sus alarmas, mostrarla a través de sus leds de estatus, transmitir las a la COBA en funcionamiento y que está a su vez la transmita al centro de operación y mantenimiento de la red a través de su BSC y al puerto de conexión local. Así se tiene la certeza que estas se presentaran cuando la BTS una vez en operación muestre fallas reales que las activen.

FASE 3: Integración de la BTS a la red. Inicio de comunicación entre la BTS y la BSC. BTS en funcionamiento en modo de prueba (Cell Barred).

La integración de la BTS y funcionamiento en modo de prueba solo es posible si el enlace BSC-BTS esta implementado, el script para el MSC y el script en cell barred para la BSC están ejecutados y la BTS se encuentra configurada (fase 1 y fase 2 realizadas). Es a través de la ejecución local de un comando que la BTS establece comunicación con la BSC. Dicha comunicación se inicia con la transferencia de parte de la BSC de las frecuencias asignadas y la transferencia de los comandos de configuración de radio para la BTS y la ejecución de estos por la BTS. A partir de este momento la BTS se encuentra en modo de Cell Barred, los TRXs están funcionando y solo aquellos TRXs cuyas frecuencias de operación contienen el canal BCCH (1 por sector y por banda) transmitirán la señal BCCH de sus sectores a sus sistemas de antena. Prosigue la verificación de los niveles de recepción de señal BCCH en cada sector (con un MS de prueba que tiene instalado el software de monitoreo de red), la verificación del cambio de sector mejor servidor cuando el MS de prueba pasa de un sector a otro de la celda, la realización de llamadas de prueba y la ejecución de handover entre sectores (intra cell). Se verifica también la funcionalidad de diversidad de recepción.

Verificación de la BTS implementada y realización de pruebas con el Operador de la Red.

Las verificaciones y pruebas realizadas anteriormente por parte de NSN son nuevamente ejecutadas esta vez con presencia del personal del operador de la red (área de O&M) previo a la entrega de la BTS operativa al operador. Dicho evento denominado

Aceptación de la BTS que reúne al implementador y operador de la red en el sitio, se lleva a cabo para confirmar la correcta instalación y funcionamiento de la BTS y realizar formalmente la entrega de la nueva estación base. Los puntos de verificación y las pruebas a realizar con el operador se dividen en aquellos que corresponden al sistema radiante y a aquellos que corresponden al equipo BTS solamente y se denominan Documento de Aceptación del Sistema Radiante y Documento de Aceptación del Equipo BTS respectivamente. Dichos documentos firmados por ambas partes representa la conformidad con el funcionamiento de la BTS y la aceptación formal de la misma por parte del operador.

3.2.4 Puesta en Servicio Comercial de la Estación Base.

Dada la conformidad del correcto funcionamiento e implementación de la BTS por parte del operador se procede a realizar la puesta en servicio comercial que como se explico, consiste solamente en la ejecución del script correspondiente en la BSC que controla a la BTS en mención. Puesto que lo anterior en la mayoría de casos significa la asignación de nuevas frecuencias y la reconfiguración de las vecindades de las estaciones bases vecinas, la ejecución del script se realizan en horas de bajo tráfico con autorización del operador (por lo general en las primeras horas del día) pues dichas reconfiguraciones significan el corte del servicio de estas BTSs durante el tiempo de ejecución del script.

3.3 Monitoreo de las estaciones bases de Golf La Planicie y Plaza Sur.

Según el procedimiento que se ha detallado, se realizaron las implementaciones de las nuevas estaciones bases de GOLF LA PLANICIE y PLAZA SUR, cuyos planeamientos de cobertura y capacidad se expusieron en el capítulo 2 del presente informe.

Inmediatamente después de la puesta en servicio comercial de estas nuevas estaciones bases se llevan a cabo pruebas de campo (drive test) con el equipamiento adecuado (MS de prueba y PC portátil con software de monitoreo) para examinar la cobertura de las nuevas celdas (nivel de recepción de señal), la calidad de las llamadas (verificación del BER, SNR), la realización de handover, confirmar la transmisión de la señal correspondiente a un sector en el área de ese sector (no hay presencia de sectores cruzados), etc. Adicionalmente, los días siguientes a la puesta en servicio de la BTS, se realiza el análisis de los KPIs correspondiente a la celda misma o al área de cobertura de esta BTS y las BTSs vecinas.

A continuación se presenta los resultados de la prueba de campo para medir la señal de recepción de la nueva celda de GOLF LA PLANICIE.

Prueba de Campo para la BTS GOLF LA PLANICIE. Ver figura 3.18.

Después de entrar en servicio comercial.

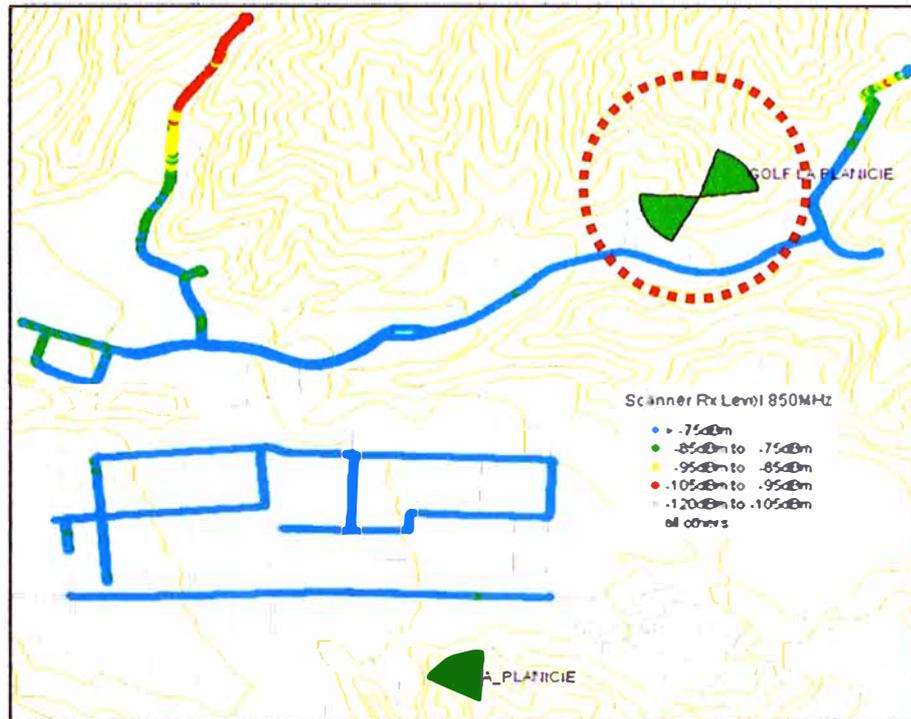


Figura 3.18 Drive Test GOLF LA PLANICIE después de entrar en servicio.

Antes de entrar en servicio comercial. Ver figura 3.19.

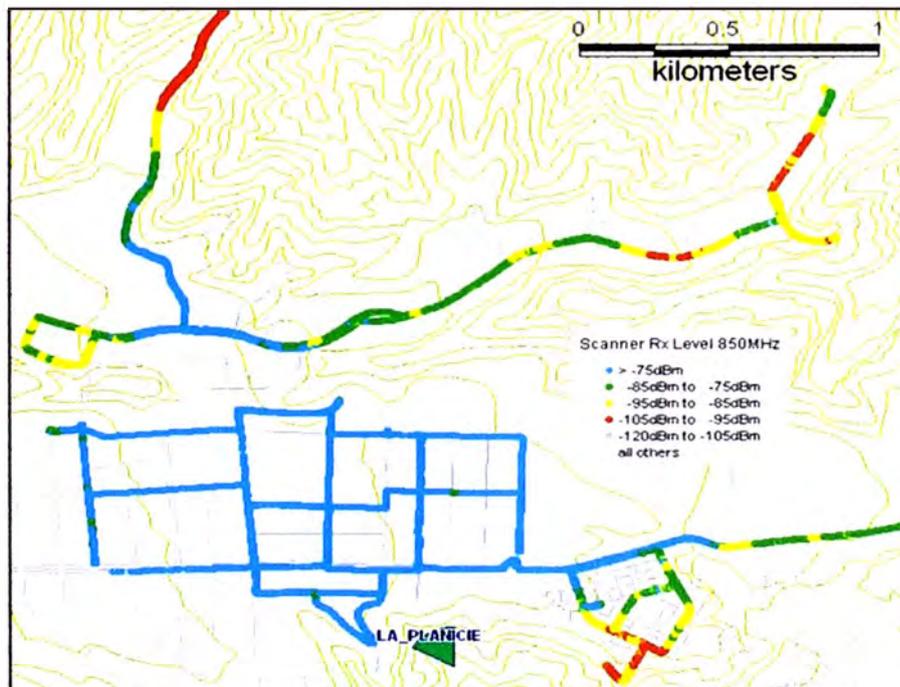


Figura 3.19 Drive Test GOLF LA PLANICIE antes de entrar en servicio.

La tabla 3.7 muestra una comparativa de los niveles de señal antes y después de la puesta en comercial de la nueva celda.

RANGO	ANTES	DESPUES	Delta
>-75	47.56%	72%	Mejoro en 24.44%
-85 to -75	20.61%	21%	Mejoro en 0.39%
-95 to -85	20.89%	3%	Mejoro en 17.89%
-105 to -95	10.90%	4%	6.9%
-120 to -105	0.04%	0.00%	0.00%

Tabla 3.7 Comparativa de niveles de señal en la zona de la planicie antes y después de la puesta en comercial de la BTS GOLF LA PLANICIE.

Puede observarse que claramente la cobertura en la zona de Planicie mejoro sustancialmente, teniendo ahora niveles mayores a -75dBm en el 72% de toda la zona.

Examen de los indicadores de tráfico para la BTS PLAZA SUR.

Las graficas (3.20, 3.21, 3,22) a continuación muestran el tráfico cursado de la celda PLAZA SUR. Después de su puesta en servicio comercial. Cabe mencionar que la celda PLAZA SUR por razones del Operador se decidió estuviese compuesta por dos equipos uno operando en la banda de 850 (LI309, denominado PLAZA _SUR_I) y el segundo operando en la banda de 1900 (LI324, denominado PLAZA _SUR_II).

Trafico cursado en la banda de 850

Sector 1

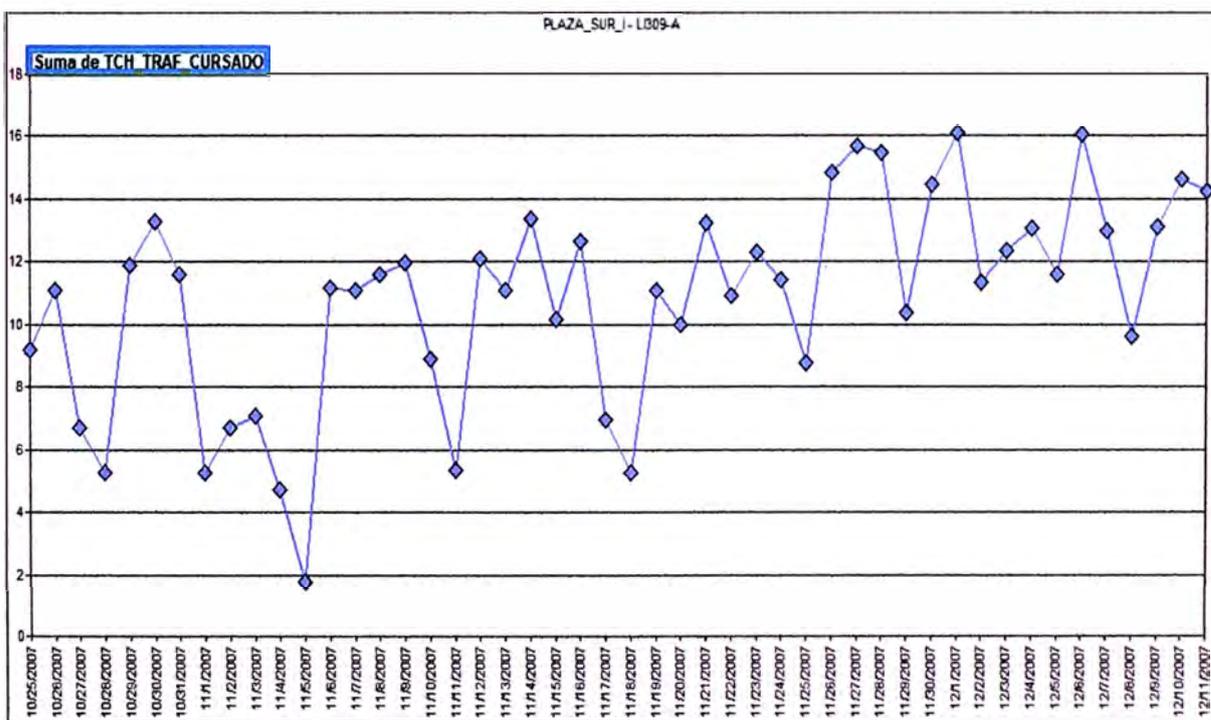


Figura 3.20 Trafico cursado sector 1 850 celda Plaza Sur.

Sector 2

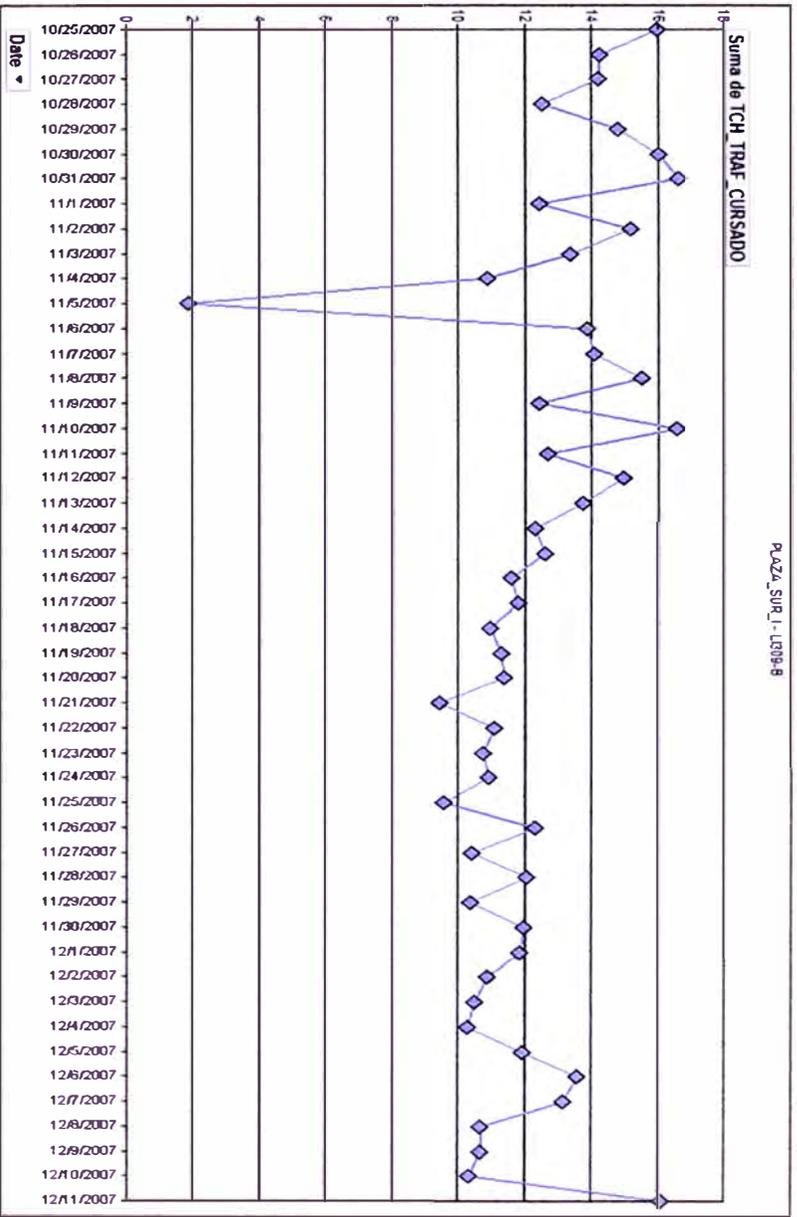


Figura 3.21 Trafico cursado sector 2 850 celda Plaza Sur.

Sector 3

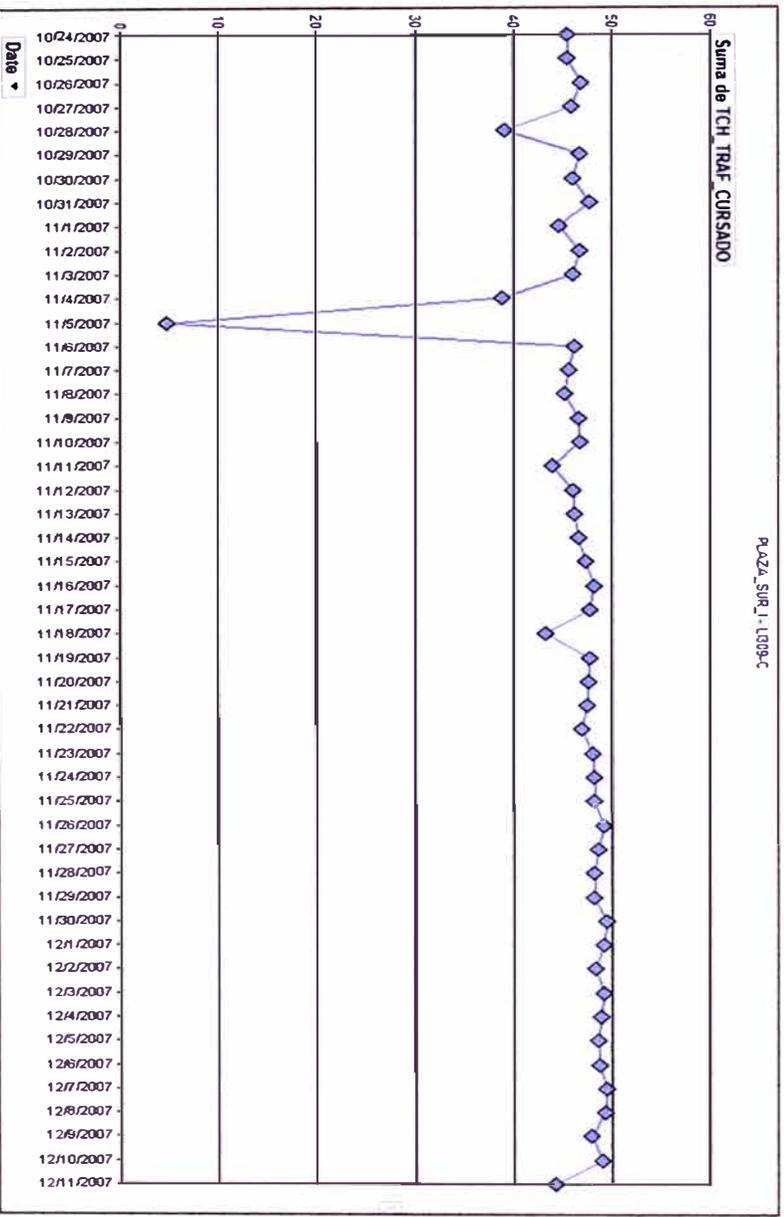


Figura 3.22 Trafico cursado sector 3 850 celda Plaza Sur.

Trafico cursado en la banda de 1900

Sector 1

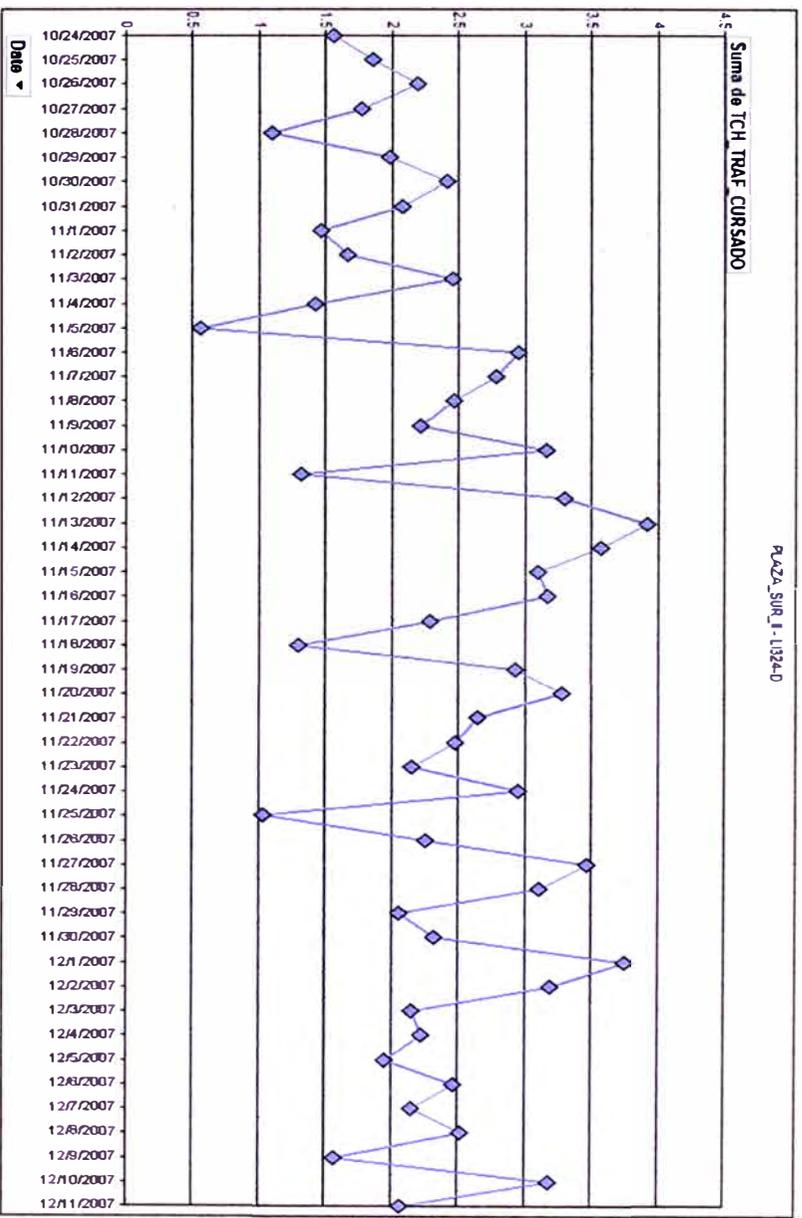


Figura 3.23 Trafico cursado sector 1 1900 celda Plaza Sur.

Sector 2

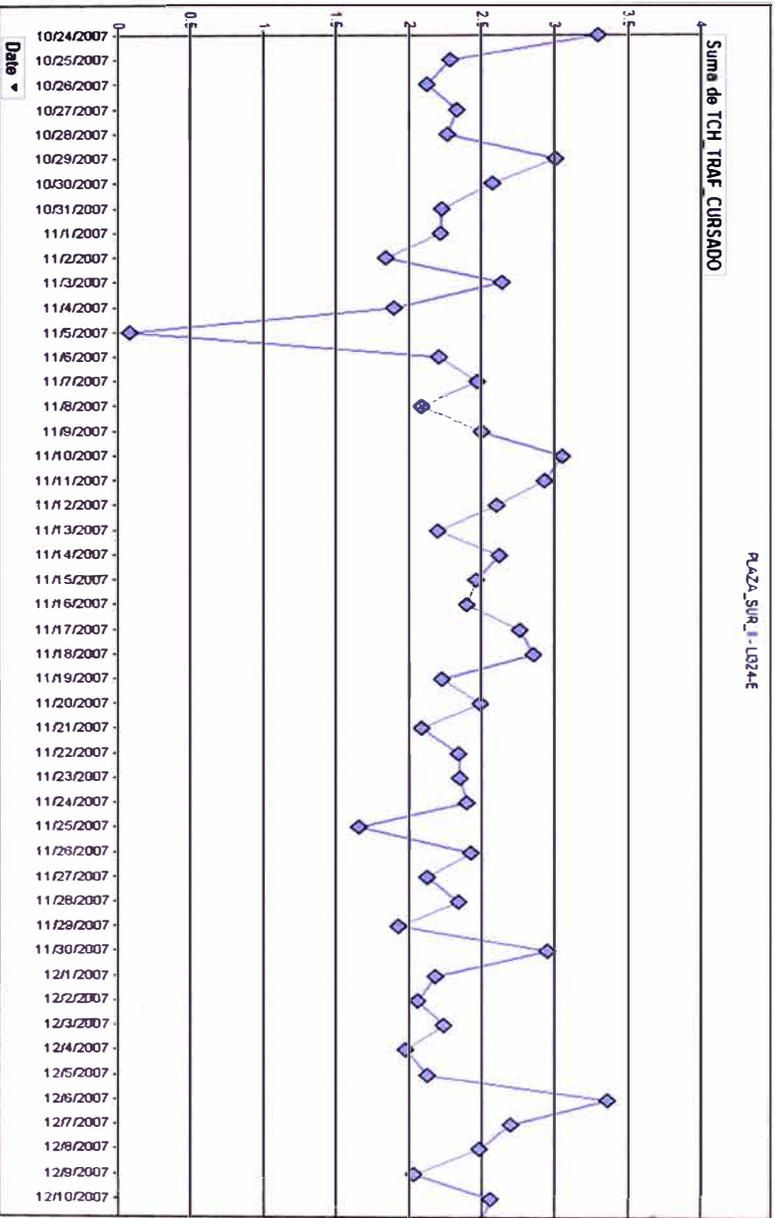


Figura 3.24 Trafico cursado sector 2 1900 celda Plaza Sur.

Sector 3

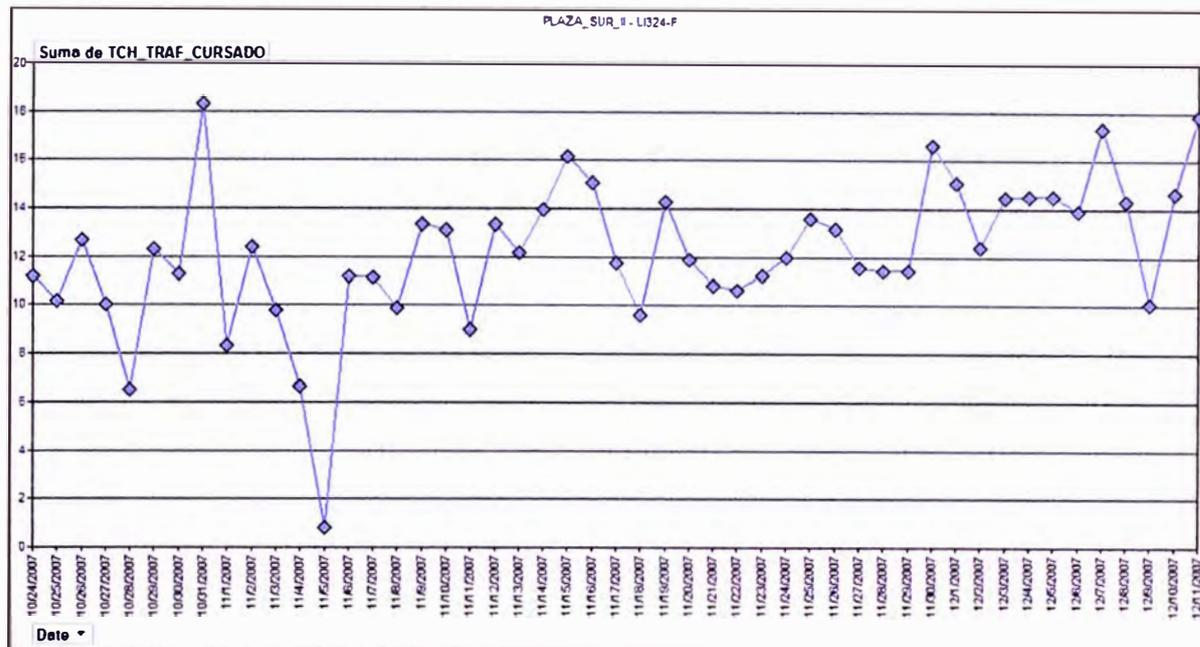


Figura 3.25 Trafico cursado sector 3 1900 celda Plaza Sur.

Las figuras 3.26 y 3.27 muestran a continuación muestran el porcentaje de utilización de canal de tráfico de los sectores que cubren la zona de la urbanización Matellini donde se ubica la nueva celda en servicio comercial.

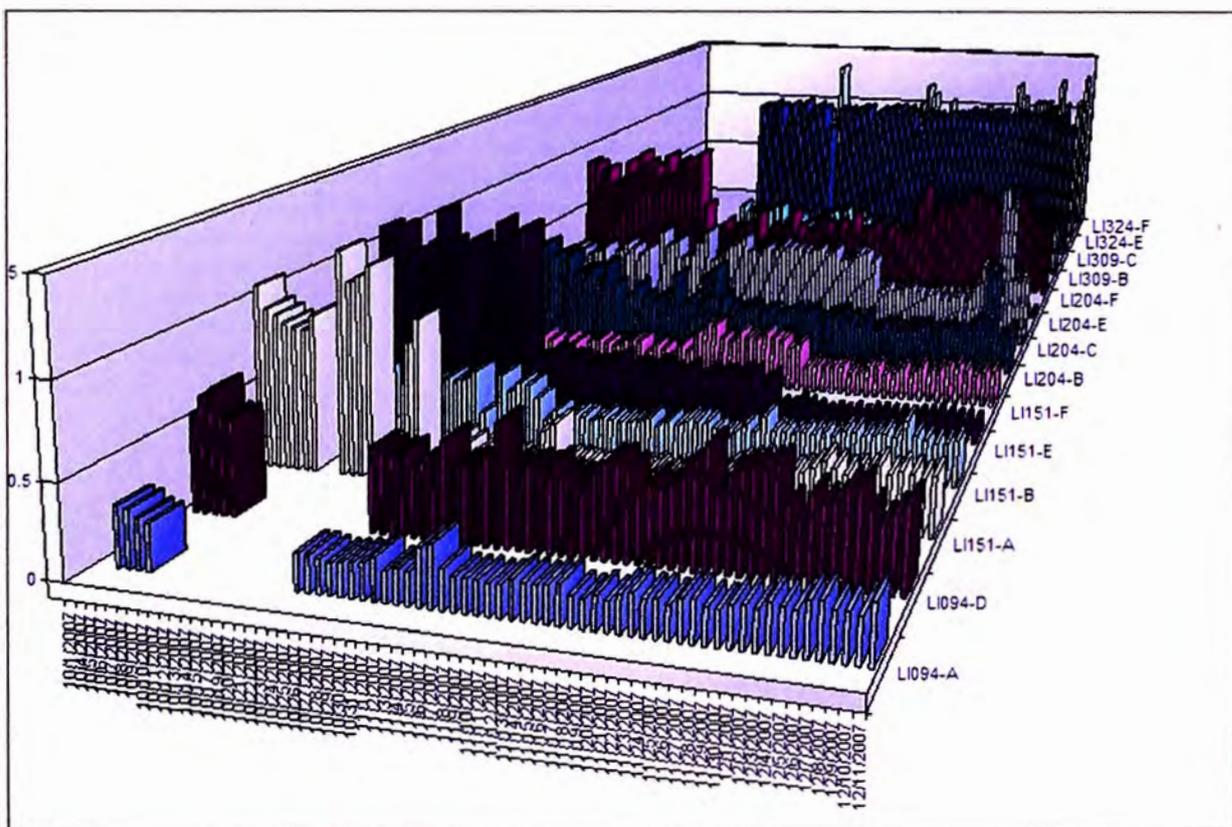


Figura 3.26 Porcentaje de utilización de los canales de trafico antes y después de la operación en servicio comercial de la BTS PLAZA SUR.

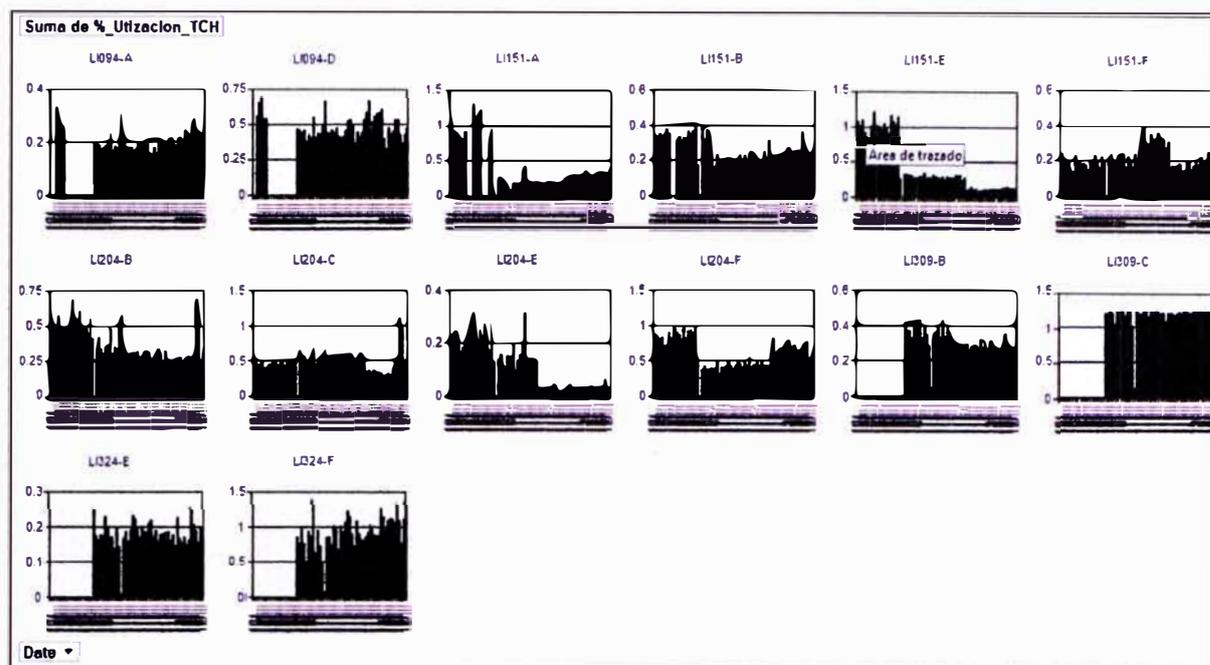


Figura 3.27 Porcentaje de utilización de los canales de tráfico antes y después de la operación en servicio comercial de la BTS PLAZA SUR.

Las graficas anteriores demuestran la descongestión de las celdas de Chorrillos (LI094), Richardson (LI204) y Matellini (LI151) en los sectores que cubren la zona en cuestión después de la puesta en servicio de la celda PLAZA SUR.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones.

1.-Al resultar elevada la inversión que demanda la instalación de una nueva celda que significa la solución a problemas que otras soluciones de optimización no pueden resolver se requiere la exactitud en la recolección de datos (tales como coordenadas de los sitios candidatos, fotografías panorámicas, ubicación exacta de obstáculos importantes e identificación de áreas de alto comercio dentro de la zona son datos muy importantes) durante la visita de inspección a la zona que presenta problemas de cobertura o congestión. Lo anterior es fundamental para obtener predicciones confiables que permitan confirmar los valores propuestos para los parámetros de configuración de la BTS tales como el número de sectores, la altura de las antenas, las orientaciones e inclinaciones de la misma. Tenga en cuenta que una nueva celda en lugar de mitigar o solucionar un problema puede traer problemas de sobre cobertura y por lo tanto causar interferencia en otras celdas existentes y la consecuente degradación de la calidad del servicio ofrecido por la red.

2.-El monitoreo y las pruebas de campo después de la puesta en operación comercial de la nueva celda permiten evaluar el desempeño de la misma como parte de la red y a continuación evaluar también la exactitud de las predicciones y lo acertado de las asunciones realizadas. Por lo tanto el monitoreo nos permite descubrir falencias en las predicciones. De esta manera se convierte en una herramienta para afinar las herramientas de predicción y realizar asunciones más exactas en el futuro.

3.-La realización de pruebas de campo (drive test) se constituyen en una herramienta muy útil que también permite detectar falencias en la instalación de la BTS tales como sector cruzados que en ocasiones pasan inadvertidos especialmente cuando la BTS tiene una configuración alta de radios y por lo tanto el número de líneas de antena es considerable. Además el drive test comprueba que la nueva BTS ofrezca una cobertura óptima en la zona del problema y que los procedimientos de handover dentro de la celda (entre sectores de la misma celda y entre los mismos sectores de diferente banda, intracell) o entre sectores de diferentes celdas (intercell) se realicen exitosamente. Entonces esta prueba resulta ser muy valiosa pues verifica también que la configuración

de handover en la nueva estación base y las estaciones base vecinas se hayan reconfigurado correctamente.

Recomendaciones.

1.-Cada una de las fases dentro del proceso de ampliación de la red GSM existente (y en general de cualquier red de similares características) demanda establecer un plan con plazo definido y que este plan se desarrolle por medio procedimientos establecidos que permitan hacer uso eficiente del tiempo y de los costos que demandan la planificación, instalación, puesta en servicio y posterior monitoreo del funcionamiento de las nuevas estaciones base dentro de la red,

2.-Puesto que estas ampliaciones de capacidad y cobertura que se ejecuta sobre la red se realiza dentro del marco de un Proyecto que involucra acción conjunta entre el operador y Nokia Siemens Networks (contratista ejecutor) en el que el cumplimiento de los objetivos dentro de plazos establecidos es la meta mas importante, resulta vital llevar a cabo una coordinación efectiva orientado a logros entre ambas partes y entre las diferentes áreas dentro de la misma empresa.

3.-Establecer procedimientos claros que describan los pasos a seguir durante la ejecución de las tareas en cada una de las etapas es importante pues permite agilizar los procesos lo cual ante eventualidades o problemas inesperados que especialmente se presentan en la etapa de implementación de la BTS permite ejecutar soluciones y aun cumplir con los plazos definidos.

4.-En la etapa de implementación de la BTS, resulta crucial la supervisión del Ingeniero a cargo de la instalación y puesta en servicio de la BTS. Una supervisión en esta etapa basado en el conocimiento de las funcionalidades del equipo, basado en el conocimiento del funcionamiento de la red y del conocimiento de los objetivos de diseño de la BTS resulta en la puesta en funcionamiento de un equipo en óptimas condiciones de acuerdo al diseño y especificaciones de funcionamiento definidas.

5.-La coordinación es otra de las tareas importantes que debe desempeñar el Ingeniero Supervisor. Dentro del marco de un proyecto en que la obra civil (construcción del sitio y de las adecuaciones que requiere la BTS para su instalación) se encuentra bajo la responsabilidad de terceras empresas contratistas del operador, en el que la instalación del enlace de transmisión entre la BSC y la BTS lo ejecuta el área de transmisiones del operador y el control y configuración de los equipos de la red de core GSM (MSC o MSS) esta a cargo del área de planeamiento del operador , la coordinación que el supervisor realice con cada una de estas áreas permitirá disponer a tiempo de los requerimientos

que exige la instalación del equipo y su sistema radiante, su integración a la red, la realización de pruebas a la estación base y la posterior puesta en operación comercial.

6.-El diseño de la configuración de una nueva BTS además de tener como objetivo resolver problemas latentes en la red debe considerar crecimientos futuros de la demanda de servicio y por tanto la BTS, el sitio mismo y la infraestructura del sitio (tales como la torre y las escalerillas) deben dimensionarse para facilitar la expansión de la BTS para que esta pueda soportar mayor capacidad de radios lo que significa la instalación de mas unidades portadoras de radio, gabinetes adicionales donde albergar los nuevos radios, líneas de antena y antenas adicionales. En un escenario en que nuevas tecnologías de comunicación aparecen y adquieren popularidad rápidamente, el dimensionamiento del sitio y su infraestructura debe tener en cuenta futuros proyectos del operador tales como proyectos de implementación de nuevas redes tales como una red de tercera generación.

BIBLIOGRAFIA

- 1.-Nokia. Systra Training Material. Nokia Telecommunications Oy, 1988.
- 2.-Gunnar Heine. GSM Networks: Protocols, Terminology and Implementation. Jhon Wiley & sons, ltd, 2001.
- 3.-Siemens. Planning Guideline. Air Interface Dimensioning. Communication Mobile Networks, Siemens AG 2006.
- 4.-J.Gomolka, D. Boera. Propagation models and model tuning with TornadoN. Communication Mobile Networks, Siemens AG, 2004.
- 5.-Ricardo G. Graminhani .Initial Cell Planning. Communication Mobile Networks, Siemens , 2004.
- 6.-Antel Amphenol Technologies Inc. Data sheet Antenna Antel Amphenol modelo C-BXD 65806580 M. Antel Amphenol Technologies Inc, 2008.
- 7.-RFS. Data sheet RFS CELLFLEX_Foam_Jumpers_60-65. www.rfsworld.com.
- 8.-RFS. Data sheet RFS CELLFLEX_Foam_Cable_18-30. www.rfsworld.com.
- 9.-Nokia Siemens Networks.TED:BS-240/241 II. Nokia Siemens Networks, 2007.
- 11.- Tony R. Paucar.Procedimiento General de Instalación de Estaciones Base. Siemens, 2008
- 10.-MapInfo Professional V9.5. Pitney Bowe Software Inc. 2008.
- 11.-TornadoN tool prediction. Siemens AG.