

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**



**DISEÑO Y PLANIFICACION DEL TRÁFICO DE VOZ Y DATOS
PARA UNA RED CELULAR GSM/GPRS/EDGE PARA LA CIUDAD
DE LIMA**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR:

PERCY KIKE ROMAN QUISPE

**PROMOCIÓN
2005 - I**

**LIMA – PERÚ
2010**

**DISEÑO Y PLANIFICACION DEL TRÁFICO DE VOZ Y DATOS
PARA UNA RED CELULAR GSM/GPRS/EDGE PARA LA CIUDAD
DE LIMA**

DEDICATORIA
...para mis padres y hermanos

SUMARIO

El presente trabajo describe y propone el diseño y dimensionamiento de tráfico de voz y dato para una red celular GSM/GPRS/EDGE para la capital del país.

La necesidad del diseño surge debido a la creciente demanda de la necesidad de comunicación entre las personas. Cada año los operadores requieren re-diseñar todo su sistema de acceso de red celular para ofrecer el servicio sin tener problemas de congestión e interferencias en las llamadas.

El dimensionamiento de todo el hardware requerido en la implementación de la red de acceso celular es base fundamental para poder entrar en servicio comercial brindando a todo los subscriptores buena calidad de voz y velocidad de descarga en datos.

Este diseño cumplirá con todo los requerimientos de calidad señalados por los organismos supervisores de telecomunicaciones nacionales e internacionales. Dentro de cada capítulo se muestra de una manera detallada todo los conceptos de la tecnología celular GSM/GPRS/EDGE, así como los métodos usados y las recomendaciones técnicas para poder cumplir con el objetivo principal de este proyecto que es la de ofrecer una solución optima en cuanto a costo y eficiencia con la calidad de servicio esperada.

También se mostrará el crecimiento actual de la demanda de tráfico de la red celular en la ciudad de Lima, mostrándose las diferentes zonas de áreas urbanas y suburbanas con diferentes tasas de crecimiento.

Finalmente se brindaran las conclusiones y recomendaciones que deben tomar los operadores para garantizar un buen servicio a toda la población de la capital.

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I	
MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	3
1.1 Arquitectura de una Red GSM/GPRS	3
1.2 La Estación Móvil (MS).....	4
1.3 El Subsistema de la Estación Base (BSS).....	4
1.4 El Subsistema de Red (NSS).....	5
1.5 Estructura de la Interfaz Aire (Um).....	5
1.5.1 Tipos de Canales en la Interfaz Aire (Um)	6
1.6 Tipos de señalización en la red celular GSM.....	8
1.6.1 Protocolo LAPD	8
1.6.2 Protocolo CCS7.....	9
1.7 Introducción GPRS/EDGE.....	12
1.7.1 High-Speed Circuit Switched Data (HSCSD).....	12
1.7.2 General Packet Radio Service (GPRS)	13
1.7.3 Enhanced Data rates over GSM Evolution (EDGE).....	14
1.8 Canales Lógicos en la interfaz aire para GPRS.....	14
1.9 Esquemas de Codificación en Paquetes de Datos.....	15
1.10 Medios de Transmisión en la red GSM	17
1.10.1 Transmisión entre BTS y MS.....	17
1.10.2 Estación Base Transceptora	19

1.10.3	Transmisión entre BSC y BTS	19
1.10.4	Transmisión entre BSC y MSC.....	20
1.11	Teoría de Tráfico.....	21
1.11.1	Unidad de Tráfico.....	21
1.11.2	Grado de Servicio	22
1.11.3	Tiempo de duración de una llamada.....	22
1.11.4	Capacidad de Canal.....	23
1.11.5	Tablas de Distribución de Tráfico.....	23
1.11.6	Fórmulas de Erlang.....	24
1.11.7	Fórmulas de Bloqueo	25
CAPITULO II		
PLANTEAMIENTO DE INGENIERÍA DEL PROBLEMA		28
2.1	Descripción del Problema.....	28
2.2	Objetivos del Trabajo	29
2.3	Evaluación del Problema	29
2.4	Limitaciones del Trabajo.....	31
2.5	Síntesis del Trabajo.....	31
CAPITULO III		
TÉCNICAS Y METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA.....		33
3.1	Procedimiento de la Planificación del BSS.....	33
3.2	Procesos de dimensionamiento	35
3.2.1	Localización y Configuración de BTS	35
3.2.2	BSC requeridas	50
3.2.3	Dimensionamiento de la interfaz Abis.....	52
3.2.4	Dimensionamiento de la interfaz Asub y A.....	55
3.2.5	Configuración BSC	59

CAPITULO IV	
COSTOS Y TIEMPOS DE IMPEMENTACIÓN	64
4.1 Interfaz BSS	64
4.2 Costo del personal involucrado.....	65
4.3 Tiempo de ejecución	66
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
ANEXO A	
GLOSARIO DE TÉRMINOS	71
BIBLIOGRAFÍA.....	73

INTRODUCCIÓN

Uno de los más grandes crecimientos en estas últimas décadas fue el de la telefonía celular, motivo por el cual todos los operadores a nivel mundial invierten dinero cada vez más con el fin de llegar a cada rincón del planeta. Perú es uno de los países que en estos últimos tiempos tiene uno de las mayores índices de crecimiento en la comunicación celular. Esto se debe al abaratamiento en los precios de la infraestructura, los terminales y las constantes ofertas de servicios ofrecidos hacen que la demanda crezca día a día.

Las leyes regulatorias de cada país comprometen a cada operador a invertir y brindar un buen servicio de Voz y Datos con todos los respaldos necesarios. Una de las ventajas de esta tecnología GSM es la fácil adquisición de equipos terminales y la gran diversidad de proveedores que existen actualmente en el mercado como Nokia, Sony Ericsson, Huawei, Motorola., etc.

En la actualidad en toda Europa y Latinoamérica esta tecnología esta predominando ya que a comparación con la tecnología CDMA esta última no ha ido disminuyendo sus costos en los equipos terminales, esto a causa que no tiene mucha variedad en cuanto a marcas que puedan desarrollarlas. Siendo esta una de los principales motivos para la adquisición por parte de los operadores de cada país.

La red de acceso de una red celular existente de un operador puede ser migrada relativamente fácil ya que se tiene toda una cierta cantidad de estaciones bases con alguna otra tecnología celular, como el caso de Movistar que al contar con su red CDMA logró migrar a GSM aplicando todo un plan estratégico comercial y tecnológico. Lo cual para el ingreso de un nuevo operador se le incrementan las dificultades en la adquisición de lugares físicos donde colocar sus estaciones bases.

Una de las desventajas de esta tecnología es que no aprovechaba todo el espectro y ofrecía menor calidad de voz en comparación con la tecnología CDMA. Y si se deseará tener una optima mejora en la calidad y el tráfico depende directamente con el espectro manejado. Todas las técnicas que nos indicarán el óptimo ancho de banda espectral para una determinada demanda de tráfico y calidad lo veremos en los siguientes capítulos de este informe.

Este informe también nos brindará toda información que se requiera para poder diseñar cada interfaz de la red de acceso celular GSM. Ya que tiene como objetivo el diseño y dimensionamiento de la interfaz BSS.

El constante crecimiento de tráfico hace que este diseño tenga validez para la demanda actual requerida de tráfico de voz y datos. Motivo por el cual en base a muestras obtenidas en todo el transcurso del año se maneja una línea de tendencia de tráfico para la ciudad de Lima en especial para las diferentes zonas de Lima metropolitana, se puede proyectar la cantidad de infraestructura necesaria para cierto tiempo. En los capítulos siguientes de este informe mostraremos como ciertas zonas de la capital tienen índices de crecimiento de tráfico muy diferentes entre sí.

Este podría ser un indicio para que futuros operadores celulares que inviertan en el Perú apunten estratégicamente a ciertas zonas de Lima para su inversión ya sea en servicios ó infraestructura.

CAPITULO I.

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

1.1 Arquitectura de una Red GSM/GPRS

Una red celular GSM/GPRS comprende principalmente de los siguientes elementos: La estación móvil (MS), el modulo suscriptor que es una tarjeta SIM (Subscriber Identity Module), la estación base (BTS), la estación controladora (BSC), el centro de conmutación de servicios móviles (MSC), el registro de ubicación local (HLR), el registro de ubicación de visitante (VLR), el centro de identificación de equipos (EIR), el servicio de soporte de GPRS (SGSN) y el centro de soporte de interfaz entre la red GPRS y la red externa de datos o internet.

Cada parte de los enlaces de cada etapa, están constituidas por las interfaces tales como la interfaz Um entre el móvil y la BTS, interfaz Abis entre la BTS y la BSC, interfaz A entre la BSC y el MSC y la interfaz Gb entre la BSC y el SGSN. Adicionalmente se tiene en la Figura 1.1 se muestra la interfaz con la PSTN (Red Pública de Telefonía Conmutada).

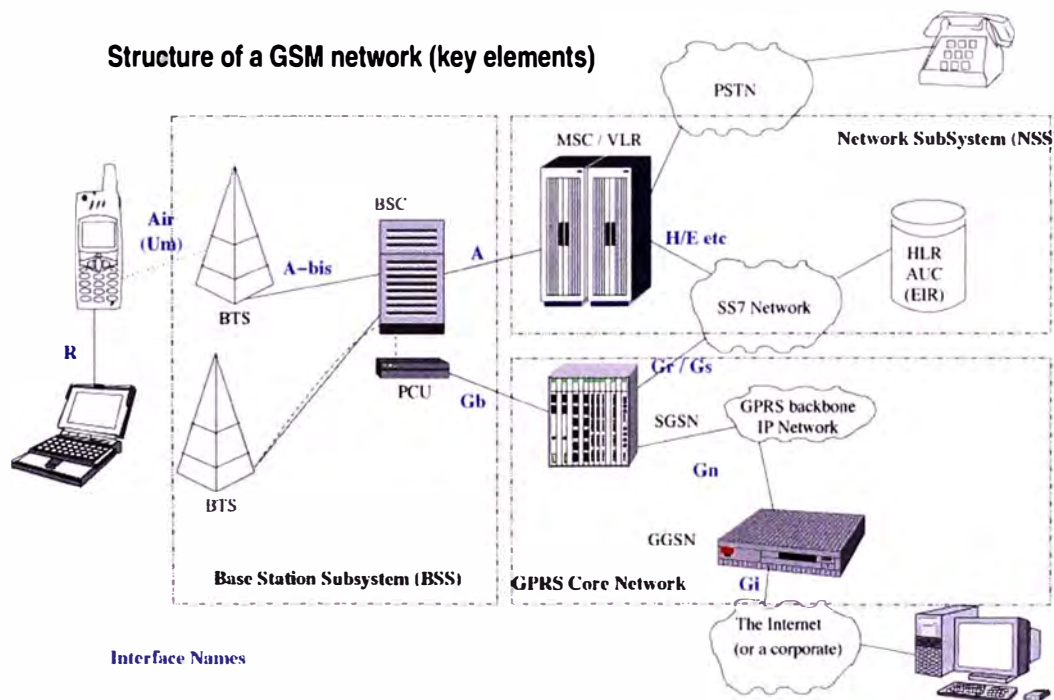


Figura 1.1 La Arquitectura de una red GSMGPRS.

1.2 La Estación Móvil (MS)

La estación móvil representa normalmente la única parte del sistema completo que el usuario puede observar. Existen estaciones móviles de muchos tipos como el "handset", un "móvil", un "terminal portátil" o "equipo móvil" (ME),

Una estación móvil además de permitir el acceso a la red a través de la interfaz de radio con funciones de procesamiento de señales y de radio frecuencia, ofrece también una interfaz al usuario humano (un micrófono, altavoz, display y tarjeta, para la gestión de las llamadas de voz),

En esta interfaz también se encuentra la tarjeta **SIM (Subscriber Identity Module)**, es por ello que **ME (Mobile Equipment) + SIM (Subscriber Identity Module) = MS (Mobile Station)**. Cada SIM tiene un número de identificación único llamado **IMSI (International Mobile Subscriber Identity)** y es el que se comunica directamente con el VLR y HLR. Cada equipo ME tiene asignado un número de identificación único de hardware llamado **IMEI (International Mobile Equipment Identity)**.

1.3 El Subsistema de la Estación Base (BSS)

El **BSS (Subsistema de la Estación Base)** agrupa al controlador de la Estación Base (**BSC**) que está en contacto con los conmutadores del **NSS (Subsistema de Red)** a través de la interfaz **A** y la **Estación Base Tranceptora (BTS)** que está en contacto con las estaciones móviles a través de la interfaz de radio (**Um**) y con la BSC a través de la interfaz **Abis**.

Una BTS lleva los dispositivos de transmisión y recepción por radio, incluyendo las antenas, y también todo el procesamiento de señales. Una BTS es capaz de mantener simultáneamente más de 10 portadoras de radio, permitiendo entre 50 y 100 comunicaciones simultáneas.

Un componente importante del BSS, que está considerado en la arquitectura GSM, es la **TRAU (Unidad Transcoder y Adaptadora de Velocidad)**. La TRAU es el equipo en el cual se lleva a cabo la compresión y la descompresión de la voz para poder enviar información entre la BSC y el MSC.

El segundo componente del BSS es el BSC. Está encargado de toda la gestión de la interfaz de radio a través de comandos remotos sobre el BTS y la MS, principalmente, la gestión de la localización de los canales de tráfico y de la gestión del "handover". Una BSC puede gestionar hasta algunas decenas de BTS's, dependiendo de su capacidad de tráfico.

1.4 El Subsistema de Red (NSS)

El NSS incluye las principales funciones de conmutación en GSM, así como funcionalidades para gestionar la movilidad de todo los abonados. La función principal del NSS es gestionar las comunicaciones entre los usuarios GSM y los usuarios de otras redes de telecomunicaciones como la red fija (PSTN), otros operadores nacionales o internacionales a través de una interfaz que requiere un "gateway" Gateway MSC (GMSC).

El NSS también necesita conectarse a las redes externas para hacer uso de su capacidad de transportar datos o señalización entre entidades GSM. El NSS hace uso del protocolo de señalización del tipo 7 (SSC7) el cual permite el trabajo entre las entidades dentro del NSS.

El **MSC (Mobile Services Switching Center)** controla varios BSCs a través de la interfaz A.

El **HLR (Home Location Register)**, es una base de datos perteneciente a este subsistema el cual es utilizado permanentemente para la administración de todos los suscriptores móviles. Aquí contiene los detalles de cada teléfono móvil suscriptor (IMSI y MSISDN) que está autorizado a utilizar la red GSM. Un HLR es un sistema independiente, con capacidad de administrar a cientos o miles de suscriptores. Una subdivisión funcional del HLR es el **Centro de Autenticación (Authentication Center ó AuC)**, cuya función es la encargada de autenticar y dar seguridad a todos los usuarios de la red.

El Visitor Location Register **VLR** es una base de datos temporal donde se almacenan toda la información actual de aquellos abonados situados en el área de servicio del correspondiente MSC.

El Equipment Identity Register **EIR**, es una base de datos integrado al HLR en cual contiene toda la información acerca de los equipos móviles validos dentro de la red GSM.

1.5 Estructura de la Interfaz Aire (Um)

GSM usa las tecnologías de **TDMA (Acceso Múltiple por División en el Tiempo)** y **FDMA (Acceso Múltiple por División de la Frecuencia)**. Las frecuencias disponibles se dividen en dos bandas. El enlace de ascenso UL que es para la transmisión del móvil, mientras que el enlace de descenso DL que es para la transmisión de la radio base. En la Figura 1.2 se muestra ambas tecnologías donde se resalta la amplitud de los canales físicos de frecuencia y las ranuras del tiempo, las cuales varían desde la ranura 0 a la ranura 7. Este proceso es realizado ya sea para Downlink o Uplink.

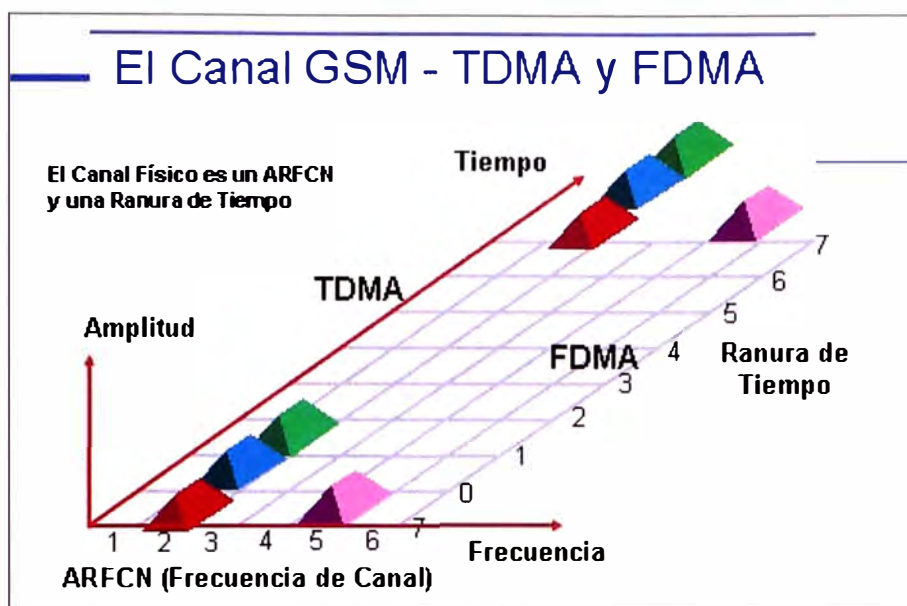


Figura 1.2 Canales GSM

Cada banda se divide en ranuras de 200kHz denominadas ARFCN (Número de Canal de Frecuencia de Radio Absoluta). Al igual que dividimos la frecuencia, también segmentamos el tiempo. Cada ARFCN se divide entre 8 móviles, cada uno de los cuales la usan cada cierto intervalo de tiempo. Cada móvil usa un ARFCN y 1 TS (ranura de tiempo) y después espera su turno para regresar nuevamente. Los móviles obtienen el uso de la ARFCN una vez por trama TDMA.

La Figura 1.2 ilustra 4 TCH (Canales de Tráfico). Cada uno de los TCH usa un ARFCN y Ranura de Tiempo particular. Tres de los TCH están en la misma ARFCN, usando diferentes ranuras de tiempo. El cuarto TCH utiliza un ARFCN diferente según muestra la figura. La combinación de un número de TS y uno de ARFCN se denomina canal físico.

1.5.1 Tipos de Canales en la Interfaz Aire (Um)

La tecnología GSM usa canales de transmisión donde puede enviar todo tipo de información para el proceso de una llamada. A continuación mostraremos los canales principales y las diferencias entre ellas.

La agrupación de estos canales está desarrollado en varias etapas, a continuación en la Figura 1.3 se muestra los tipos de canales lógicos que son usados en una red celular GSM. Más adelante se mostrará la explicación de los principales canales lógicos para entender todo el procedimiento de cada uno de ellos.

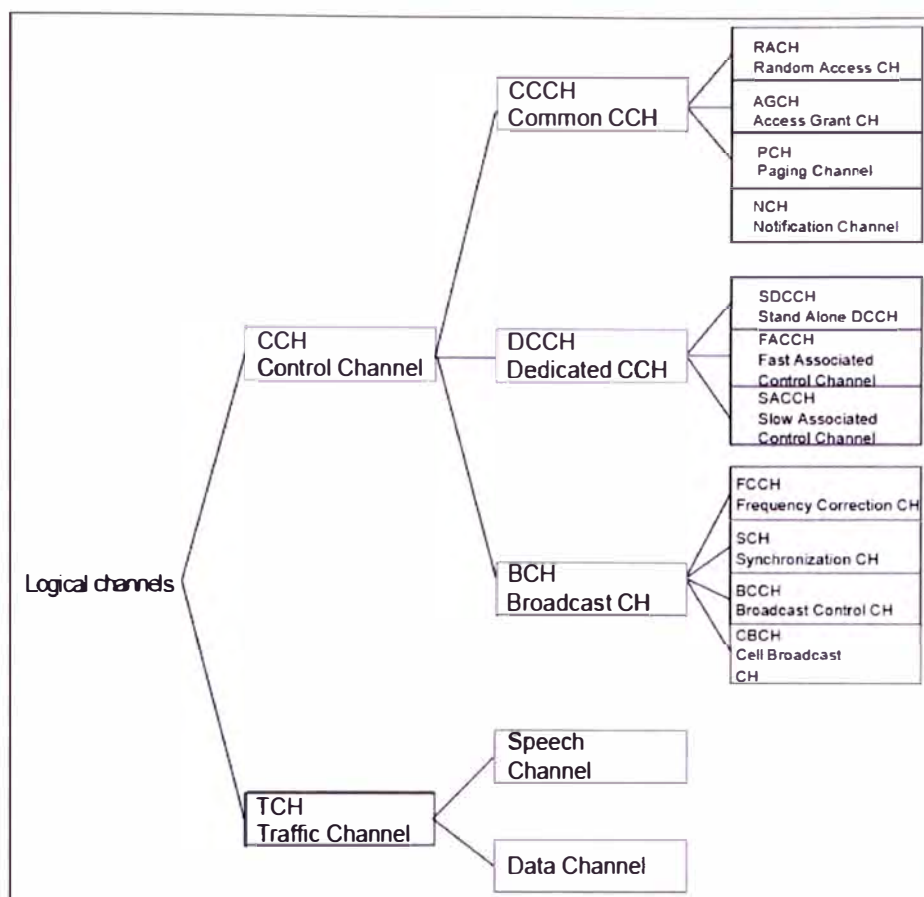


Figura 1.3 Tipos de Canales

Entre los canales existentes en GSM son los siguientes:

- **Canales Físicos**, son todos los Time Slot disponibles en un BTS, donde cada TS corresponde a un canal físico.
- **Canales Lógicos**, son aquellos que cumplen una finalidad en el proceso de una llamada de voz/dato y estos viajan a través de los canales físicos transportando información de voz o señalización.

Entre los canales Lógicos se puede distribuir en dos categorías principalmente: los canales lógicos de tráfico (TCH) y los canales lógicos de control (CCH). Los canales de tráfico llevan voz codificada digitalmente así como también los datos. A su vez los canales de control llevan información acerca de la señalización entre el MS, la BTS, el BSC y el MSC.

Entre los canales de tráfico pueden soportar canales de Full Rate de 12.2 Kbps y Half Rate de 6.5 Kbps el cual ayudará a duplicar la capacidad de tráfico, ya que en Full Rate usa todo 1 TS físico disponible.

Entre los principales canales dedicados de control tenemos los siguientes:

- a) **The Stand-alone Dedicated Control Channel (SDCCH):** Este es un canal de señalización que es usado para el call setup, autenticación, cifrado o mensajes de texto. Este mismo esta subdividido en 8 sub-canales de señalización que pueden ser necesarios para las estaciones móviles. Con estos 8 sub-canales pueden originarse 8 llamadas simultáneamente.
- b) **The Slow Associated Control Channel (SACCH):** Este canal es usado para transferir señalización través de un canal de tráfico. Este canal puede llevar 2 mensajes por segundo en cada dirección. En el downlink la estación móvil es informado acerca de las celdas vecinas que podrán realizar los procesos de handover. En la dirección del up link la estación móvil envían el reporte de mediciones hacia la BTS.
- c) **The Fast Associated Control Channel (FACCH):** Este canal es usado cuando se necesita enviar mayor información de señalización en paralelo mientras se usa canales de tráfico. El FACCH principalmente es usado en el proceso de handover.

1.6 Tipos de señalización en la red celular GSM

1.6.1 Protocolo LAPD

El protocolo usado entre el MS y la BTS es el LAP-Dm “m” se denota porque tiene pequeñas modificaciones con respecto al LAP- D (Link Acces Procedure for the ISDN “D” channel). Este es un protocolo de control de enlace de datos para los canales del tipo D que son usados para transportar información de control y señalización. Este es el mismo protocolo que es usado en la red ISDN entre el usuario y la red. En la Figura 1.4 se muestra la estructura de la red GSM con las interfaces de señalización.

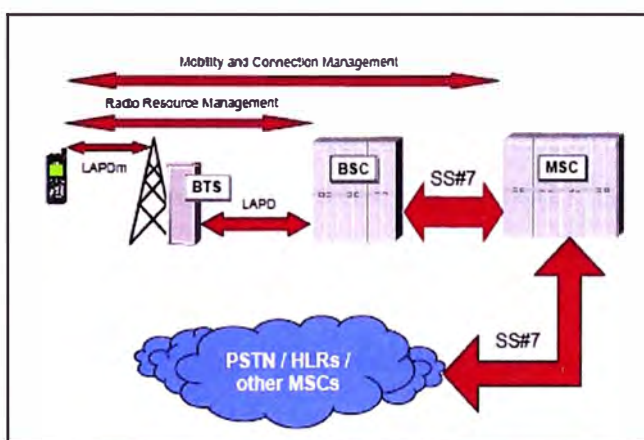


Figura 1.4 Canal de señalización LAP-D, SS7

1.6.2 Protocolo CCS7

Este protocolo es usado entre la BSC y la MSC en la interfaz A, También es usado en todas las interfaces del NSS (Network Switching Subsystem). Este protocolo está formado por 2 partes. La primera parte es el responsable de transferir el mensaje dentro de una red de señalización. La segunda parte es el usuario final de mensajes.

Esta fase inicial de SS7 consiste en 2 partes.

a) **Message Transfer Part - MTP** (responsable para transferir mensajes)

Hasta ahora hemos visto que la señalización se utiliza para establecer llamadas y que hay un conjunto de estándares de mensajes que se envían y facilitan todo el proceso de una llamada. Esta parte que es el responsable de tomar estos mensajes de un elemento de red hacia otro elemento de red es conocida como la parte de transferencia de mensajes (**MTP**). El SS7 está construido sobre la base de esta estructura que consiste en tres subcapas como se muestra en la Figura 1.5.

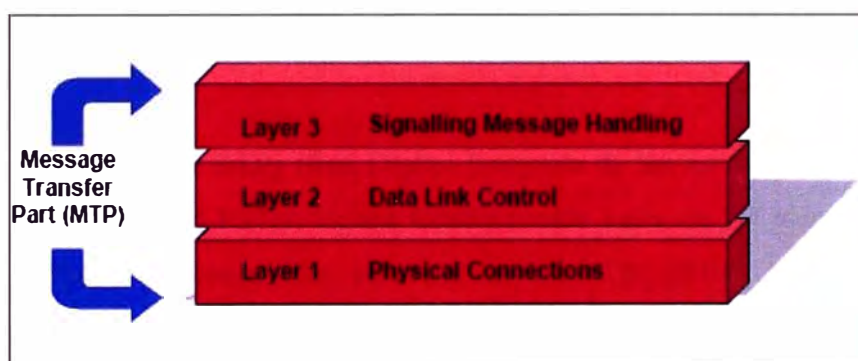


Figura 1.5 Capa de la Parte de Transferencia de Mensajes

El nivel inferior, MTP layer 1 (Conexión física), define las características físicas y eléctricas. MTP layer 2 (Control de enlace de datos), ayuda en liberar errores en la transmisión de los mensajes de señalización entre elementos adyacentes. MTP layer 3 (Capa de Red) es responsable de tomar los mensajes de un elemento de señalización de red hacia otro elemento dentro de la misma red.

b) **Telephone User Part – TUP** (Usuario de mensajes)

Esta etapa es realizada por el teléfono usuario que es quien recibe, envía y actúa en los mensajes. Todo el conjunto de mensajes mencionados anteriormente son los

mensajes estándar TUP que ayudan a establecer una llamada para supervisarlo y liberarlo.

Para algunos, el SS7 en la red de telefonía fija consiste en solo dos partes, el MTP y TUP, The CCITT (ahora el ITU) permite pequeñas variaciones en un solo país. Estas variaciones fueron menores y muy similares a los TUP, pero se llaman Nacional Parte de Usuario (NUP), como se muestra en la Figura 1.6.

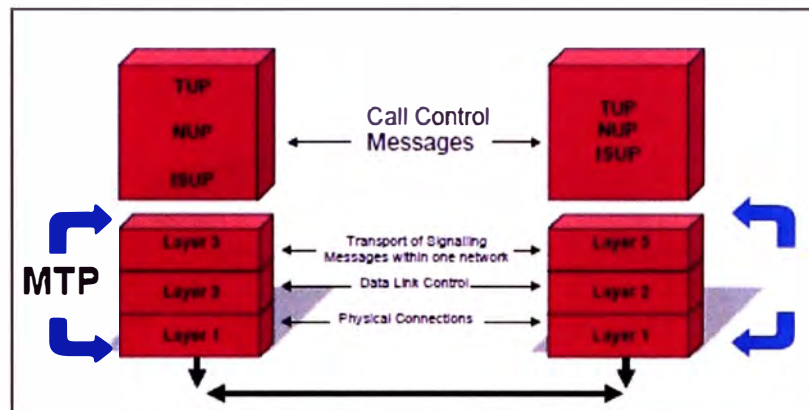


Figura 1.6 Protocolo de MTP y TUP/NUP/ISUP

Con la introducción del ISDN (Red Digital Integrada de Servicios), el cual tiene mayor capacidad que el PSTN, alguna Configuración extra en los mensajes son requeridos. Y esto se conoce como parte del usuario ISDN (ISUP). Ya sean estos como el TUP, NUP o ISUP, todos ellos hacen el mismo trabajo en ayudar a establecer una llamada.

c) **Signalling Connection and Part (SCCP)**

La estructura SS7 con TUP/NUP/ISUP maneja de una manera satisfactoria el proceso de llamadas. Sin embargo con el paso del tiempo y el desarrollo de las nuevas tecnologías. Los requisitos de la señalización comenzaron a ser más estrictos. Llegando a no ser suficientes los TUP ya que se volvían más estrictos los requerimientos de todo el proceso cuando ya eran necesarios las conexiones virtuales. MTP garantiza la transferencia de mensajes de puntos de señalización de una red de señalización hacia otro punto de señalización siendo seguro y confiable. Sin embargo cada mensaje podría alcanzar el punto de señalización destino usando

diferentes rutas. Teniendo mensajes recibidos de diferentes puntos de origen. Cuando el orden importa, allí es establecimiento es necesario “Circuitos Virtuales”. En otras instancias cuando la estructura TUP/MTP es ineficiente es cuando los mensajes de señalización tienen que ser enviados por múltiples redes. MTP es capaz de enrutar mensajes dentro una sola red. En el caso de una llamada en múltiples redes no es la misma señalización entre las mismas redes. Pero en ausencia de una llamada, MTP no puede enrutar los mensajes entre las múltiples redes. Tal como se muestra en la Figura 1.7.

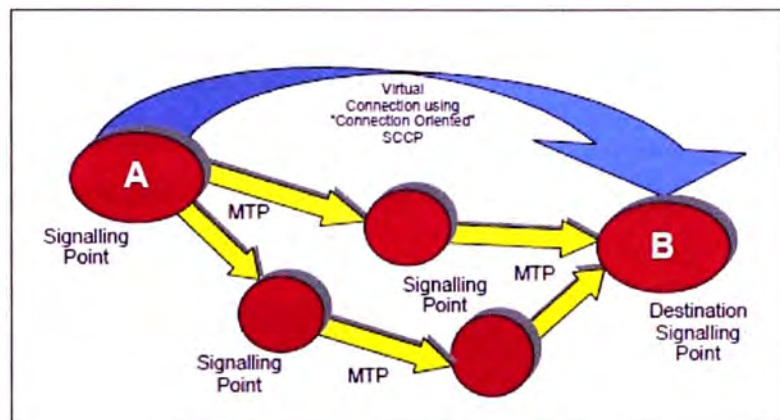


Figura 1.7 Conexiones Virtuales

La solución para estos 2 problemas fue la creación de otro protocolo en la capa superior del MTP el cual es llamado **Signalling Connection and Control Part (SCCP)**. SCCP se encarga de las conexiones virtuales y de las conexiones de señalización como se muestra en la Figura 1.8.

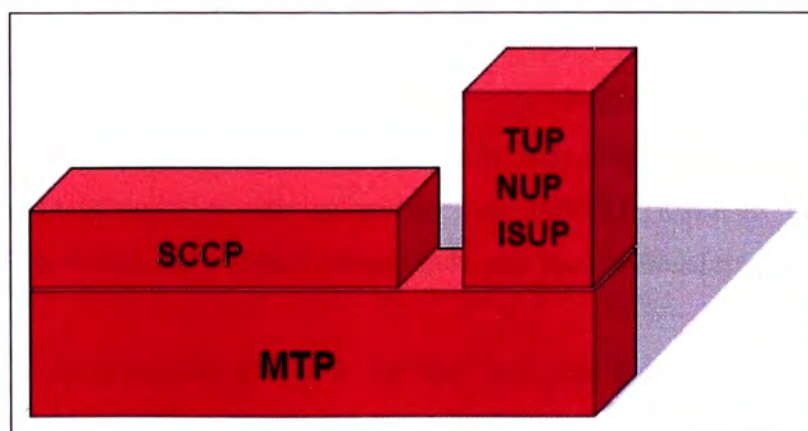


Figura 1.8 Localización de SCCP

1.7 Introducción GPRS/EDGE

La nueva demanda hizo que el futuro de los sistemas celulares evolucionaran generando cambios de manera individual y empresarial en las formas de trabajo.

El acceso de internet será más importante y los ejecutivos desearan acceder a sistemas de base de datos corporativos de manera virtual desde cualquier lugar físico. Nuevos servicios serán requeridos además de voz y datos, servicios como multimedia y otras aplicaciones.

Como se muestra en la Figura 1.9 el sistema GSM evolucionará al sistema UMTS progresivamente, introduciendo nuevas técnicas para proveer mayor ancho de banda.

- High Speed Circuit Switched Data (HSCSD)
- General Packet Radio Service (GPRS)
- Enhanced Data rates for GSM Evolution (EDGE)

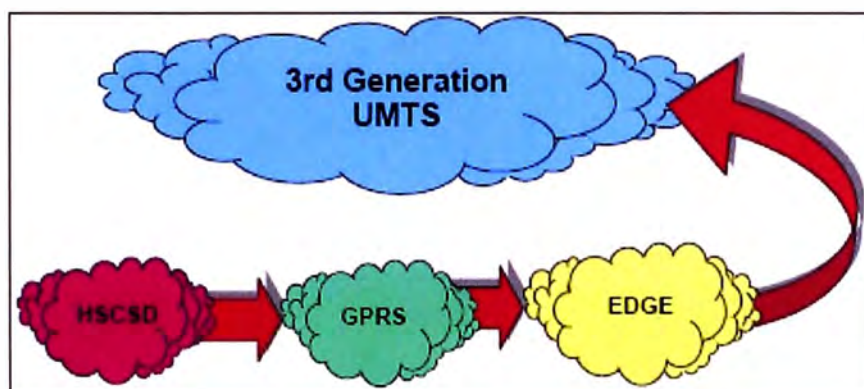


Figura 1.9 Evolución en GSM

1.7.1 High-Speed Circuit Switched Data (HSCSD)

Un time slot de TDMA provee una tasa de bits de 9.6Kbit/s, sin embargo, una nueva interfaz de aire modificada puede proveer 14.4Kbits/s, siendo posible aumentar la velocidad en las llamadas de datos usando múltiples time slots (Múltiples time slot puede usar 9.6Kbits/s o 14.4Kbits/s) y esto se realiza con HSCSD, logrando tener una combinación de hasta 4 time slots TDMA, alcanzando una tasa de transferencia de hasta 57.6Kbit/s.

En la Figura 1.10 se muestra el uso de los time slots para poder lograr la máxima velocidad de transmisión de datos. Se muestra 2 móviles que transmiten 2 time slots y otro móvil que transmite 4 time slots.

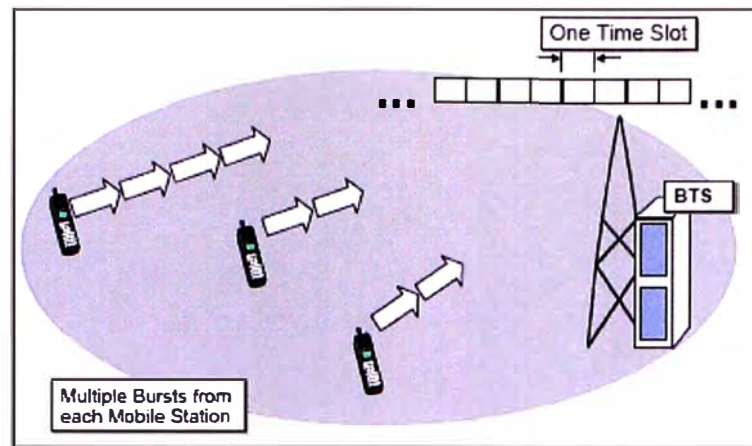


Figura 1.10 Ejemplo de Múltiple time slot para HSCSD

1.7.2 General Packet Radio Service (GPRS)

Internet se ha convertido en parte de la vida cotidiana haciéndonos participe del crecimiento de la tecnología en estas últimas décadas. GPRS proporciona un vínculo directo entre el mundo de internet y de comunicaciones móviles, GPRS es diferente de los actuales servicios de datos GSM. Para ofrecer este servicio se tiene que hacer algunas modificaciones en la estructura de la red GSM. Los paquetes de datos son manejados con la ayuda de 2 nuevos elementos como se muestra en la Figura 1.11.

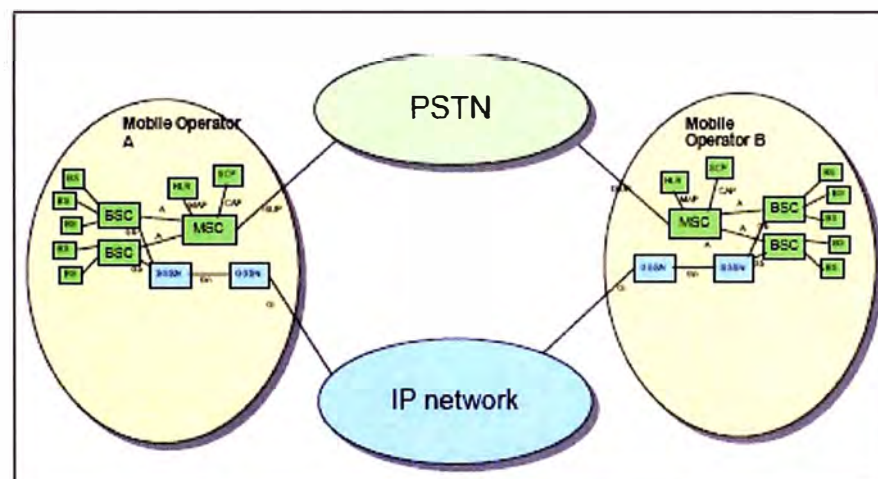


Figura 1.11 Red GSM con servicio de GPRS

El Nodo de Soporte del Servicio de GPRS (SGSN) es un router que mantiene toda la información de las localizaciones de todas las estaciones móviles y el Nodo de Soporte de la Compuerta GPRS (GGSN) habilita los paquetes de datos para ser pasado a otras redes de paquetes.

1.7.3 Enhanced Data rates over GSM Evolution (EDGE)

EDGE será un Puente de GSM para ingresar a redes de 3era Generación. Este podrá usar una técnica avanzada de modulación en la interfaz radio de GSM, para proveer velocidad de hasta 384Kbits/s usando el canal GSM existente de 200KHz.

La capacidad extra es incrementada de un simple time slot GSM de 9.6Kbits/s a 48Kbits/s. En la Figura 1.12 se muestra los requerimientos adicionales para el servicio EGPRS.

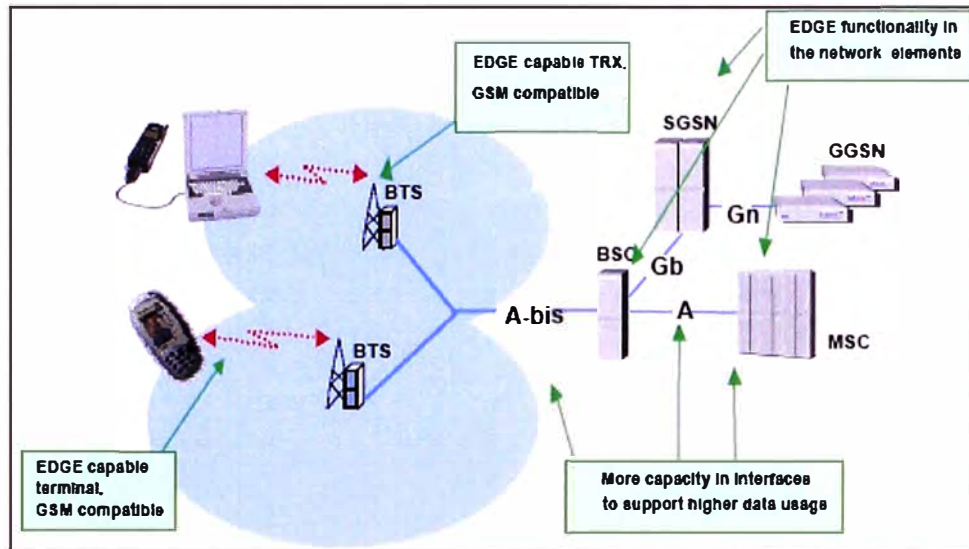


Figura 1.12 Incremento de capacidad de EDGE

1.8 Canales Lógicos en la interfaz aire para GPRS

Los canales lógicos de los paquetes de datos son mapeados en canales físicos que son dedicados para paquetes de datos. Los canales físicos dedicados para tráfico de paquete de datos son llamados Canal de Paquete de Datos (PDCH). GPRS introduce los siguientes nuevos tipo de canales lógicos:

- **PCCCH (Packet common control channels)**

Este canal lógico comprende los canales de control y señalización usados para paquetes de datos y forman parte de los siguientes canales:

PPCH (Packet Paging Channel), Puede ser usado para procesos de búsqueda y servicios de Voz y Dato.

PRACH (Packet Random Access Channel), Usados por la estación móvil para realizar los requerimientos de canales dedicados en la dirección uplink.

PAGCH (Packet Access Grant Channel), usados para asignamiento de recursos en la fase del establecimiento de transferencia de paquetes.

- **PBCCH (packet broadcast control channels)**, Canal se transmite toda la información de los paquetes de datos.
- **PDTCH (packet traffic channels)**, Este canal es asignado para transferir datos. Este es asignado temporalmente en un móvil o para un grupo de móviles. En una operación de multi slot, un móvil puede usar múltiples PDTCH en paralelo para una transferencia individual.

1.9 Esquemas de Codificación en Paquetes de Datos

GPRS tiene en cuenta la variabilidad de la interfaz aire afectado por la calidad del medio de transmisión. Cuando la interfaz de radio presenta buenos niveles de calidad no es necesario usar la redundancia en el envío de paquetes y para ello GPRS provee 4 sistemas de codificación que se muestran en la Tabla 1.1. Estos esquemas varían desde el Coding Scheme 1 hasta el Coding Scheme 4 y las tasas de transferencia se muestran en la Tabla 1.1, en la que notamos que cuanto menor sea la interferencia en la interfaz de radio se podrá usar esquemas de codificación con mayor velocidad de transferencia y si la interferencia es alta, los esquemas de codificación serán mucho más robustos pero a una baja velocidad de transferencia.

Coding Scheme	Data Rate (kbit/s)
CS1	9.05
CS2	13.4
CS3	15.6
CS4	21.4

Tabla 1.1 Esquemas de codificación en GPRS

La tecnología EDGE usa otro tipo de modulación de frecuencia diferente al GPRS en la interfaz de radio, Esta modulación es llamada 8-PSK que posee otro tipo de característica en comparación al GSMK. El 8-PSK consiste en una modulación por desplazamiento de fase y el GSMK está basado en el desplazamiento de frecuencia. En la Figura 1.14 se muestra las diferencias entre dichas modulaciones.

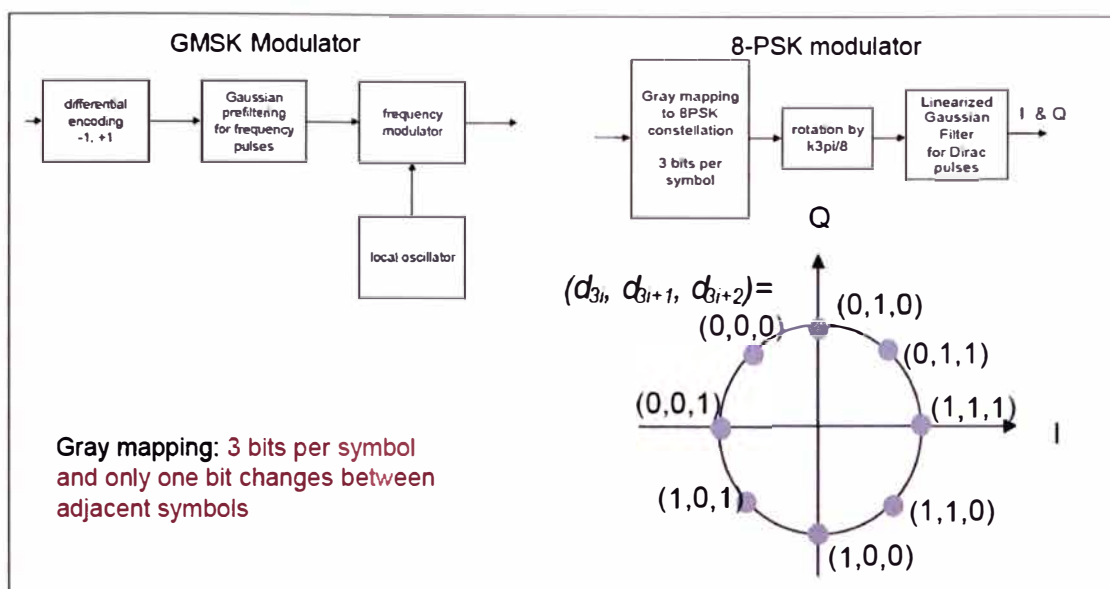


Figura 1.14 Formas de Modulación GPRS/EDGE

Este tipo de modulación de frecuencia hace que la tasa de transferencia sea mayor al clásico GMSK. Una de las características principales es el uso de 3 bits por símbolo a diferencia de 1 bit por símbolo que lo hace en la modulación GMSK. En la Tabla 1.2 se muestran los esquemas de codificación en la tecnología EDGE. De la misma forma que en GPRS, el uso de estos esquemas depende del tipo de interferencia que se puede tener en una interfaz de radio.

Scheme	Code rate	Header Code rate	Modulation	Data rate kb/s
MCS-9	1.0	0.36	8PSK	59.2
MCS-8	0.92	0.36		54.4
MCS-7	0.76	0.36		44.8
MCS-6	0.49	1/3		29.6 27.2
MCS-5	0.37	1/3		22.4
MCS-4	1.0	0.53	GMSK	17.6
MCS-3	0.80	0.53		14.8 13.6
MCS-2	0.66	0.53		11.2
MCS-1	0.53	0.53		8.8

Tabla 1.2 Esquemas de Codificación en GPRS/EDGE

1.10 Medios de Transmisión en la red GSM

Dentro de las redes de las comunicaciones móviles, parte de las conexiones de transmisión es usado por enlaces de radio y otras por 2Mbits/s de líneas de transmisión PCM. La transmisión de radio puede ser usado entre la estación móvil y la estación base transceptora y esta información es adaptada por la estación base para poder ser enviada a través de un medio de transmisión como la de 2Mbits/s PCM.

1.10.1 Transmisión entre BTS y MS

El enlace de radio conocida como la interfaz Um es la parte de la conexión más vulnerable y es requerido una mayor atención y trabajo para su buen desempeño.

La interfaz radio entre el móvil y la estación base transceptora se muestra en la Figura 1.15, donde podemos ver a cada móvil transmitiendo en cada time slot de tiempo a determinada frecuencia.

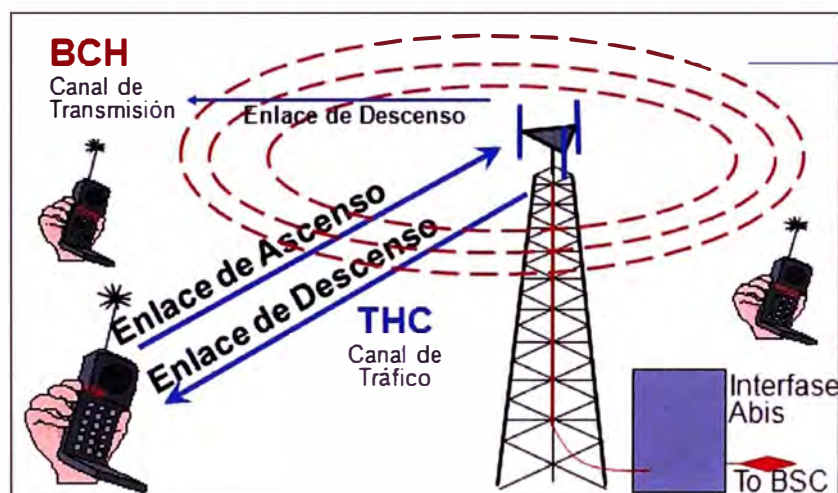


Figura 1.15 Interfaz radio (Um)

El hardware que hace de receptor y transmisor a la vez y que se encuentra en la estación base transceptora es llamada **Tranceiver (TRX)**.

La transmisión de radio en la red GSM está basada en tecnología digital. Y se encuentra implementado usando dos métodos conocidos como **Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA)** y **Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA)**.

Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA) refiere que a cada estación base transceptora es asignado diferentes frecuencias, por lo que celdas vecinas podrían operar al mismo tiempo pero separado en frecuencia para que no haya interferencia co-canal.

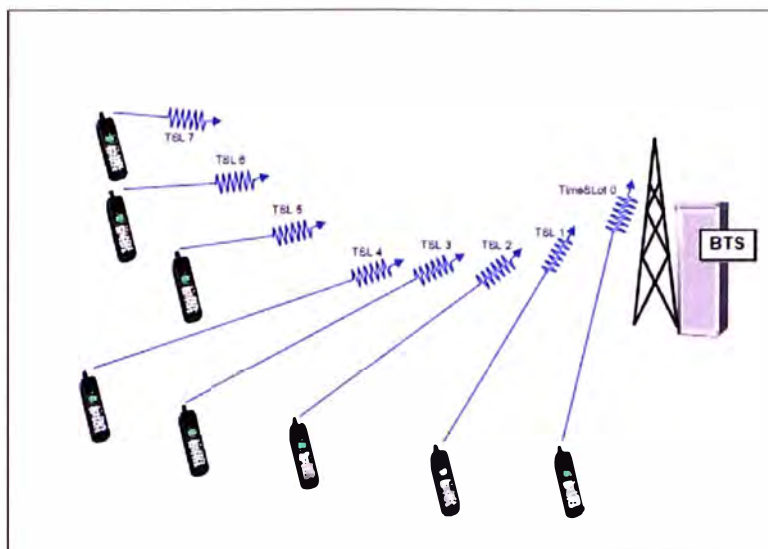


Figura 1.16 Interfaz radio (Um)

Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA), el método consiste en compartir los recursos, en este caso la misma frecuencia entre múltiples usuarios por una asignación específica de tiempo, conocido como time slot para cada usuario como se muestra en la Figura 1.16 Por cada frecuencia puede manejar 8 time slot, lo que significa que puede mantener 8 llamadas simultaneas.

Para una red GSM-900 y GSM-1800 tenemos la siguiente distribución Downlink y Uplink, como se muestra en la Figura 1.17 se tiene la frecuencia uplink de la estación móvil (MS) hacia la estación base transceptora (BTS) y la señal downlink refiere de la estación base transceptora (BTS) hacia estación móvil (MS).

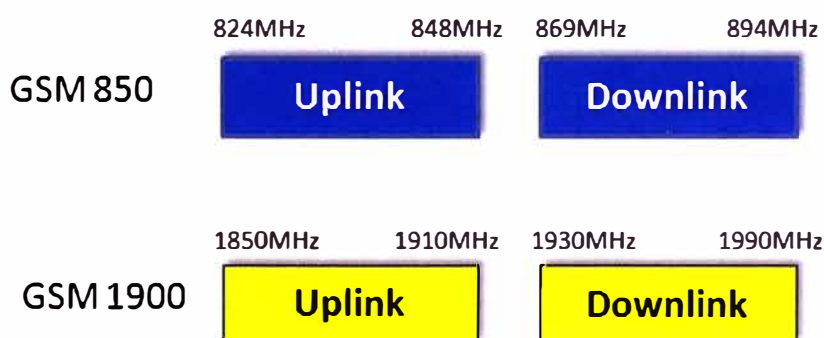


Figura 1.17 Asignación de frecuencia en GSM

El uso simultáneo de la transmisión downlink en la frecuencia referida y la recepción en la frecuencia del uplink es llamado Duplex Frequency. El rango de

frecuencia está dividido en frecuencias principales espaciadas 200kHz. En la Tabla 1.3 vemos la distribución de frecuencia por banda de GSM.

P-GSM 900	$FI(n) = 890 + 0.2 \cdot n$	$1 \leq n \leq 124$	$Fu(n) = FI(n) + 45$
E-GSM 900	$FI(n) = 890 + 0.2 \cdot n$ $FI(n) = 890 + 0.2 \cdot (n-1024)$	$0 \leq n \leq 124$ $975 \leq n \leq 1023$	$Fu(n) = FI(n) + 45$
R-GSM 900	$FI(n) = 890 + 0.2 \cdot n$ $FI(n) = 890 + 0.2 \cdot (n-1024)$	$0 \leq n \leq 124$ $955 \leq n \leq 1023$	$Fu(n) = FI(n) + 45$
DCS 1 800	$FI(n) = 1710.2 + 0.2 \cdot (n-512)$	$512 \leq n \leq 885$	$Fu(n) = FI(n) + 95$
PCS 1 900	$FI(n) = 1850.2 + 0.2 \cdot (n-512)$	$512 \leq n \leq 810$	$Fu(n) = FI(n) + 80$
GSM 450	$FI(n) = 450.6 + 0.2 \cdot (n-259)$	$259 \leq n \leq 293$	$Fu(n) = FI(n) + 10$
GSM 480	$FI(n) = 479 + 0.2 \cdot (n-306)$	$306 \leq n \leq 340$	$Fu(n) = FI(n) + 10$
GSM 850	$FI(n) = 824.2 + 0.2 \cdot (n-128)$	$128 \leq n \leq 251$	$Fu(n) = FI(n) + 45$

Tabla 1.3 Canales de frecuencia para GSM

1.10.2 Estación Base Transceptora

La estación base transceptora es un sitio físico donde se realiza la transmisión de radio en ambas direcciones de downlink y uplink. Los recursos de radio son las frecuencias asignadas a la estación base. Como se mencionó anteriormente el hardware principal de transmitir y recibir es el **Transceiver (TRX)**. Una estación base podría tener una cierta cantidad de TRX que varían desde 1 hasta 48, esto dependerá el modelo del equipamiento y los requerimientos del diseño. Ya que como se muestra en la Figura 1.18 las estaciones podrían ser BTS Omnidireccionales o sectorizados con 2 o más sectores.

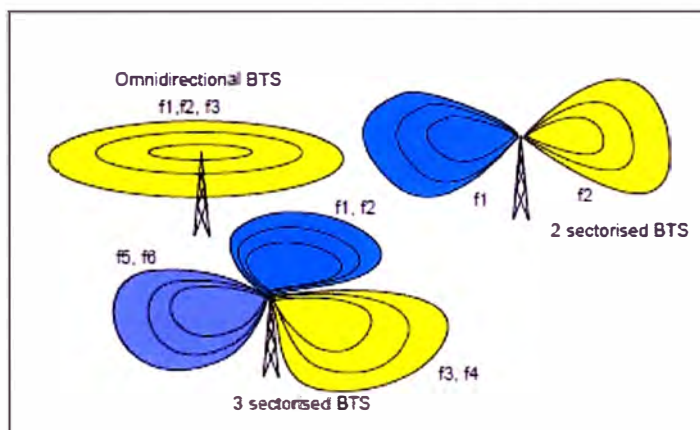


Figura 1.18 Configuración de BTS

1.10.3 Transmisión entre BSC y BTS

Aquí se tienen tres alternativas para proveer las conexiones entre una BSC y las BTS. El método usado dependerá de los factores físicos como distancias entre la Estación

Base Controladora (BSC) y la Estación Base Transceptora (BTS), el número de TRXs usados para un sitio en particular, los canales de señalización entre ambos equipos. En la Figura 1.19 se muestra las tres opciones de Configuración.

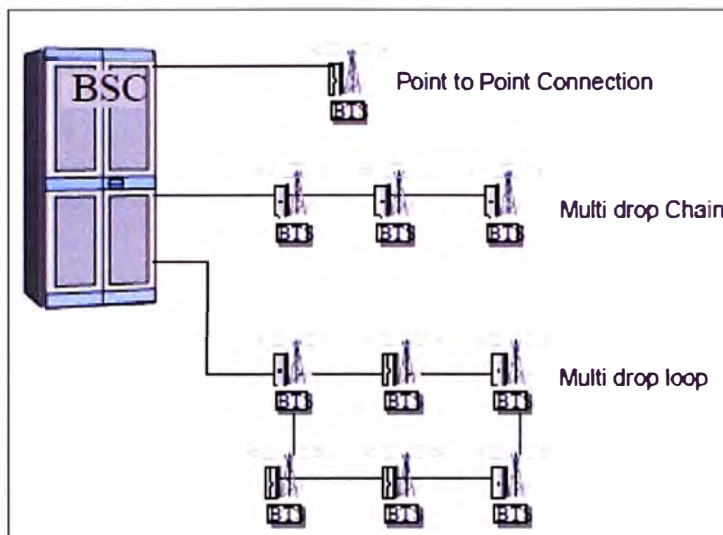


Figura 1.19 Conexión entre BSC-BTS

La conexión Punto a Punto indica que la Estación Base Controladora (BSC) es conectada directamente a cada BTS con una línea de 2Mbit/s. Este método es simple y efectivo en caso la distancia entre la BSC y la BTS es corto. Sin embargo si la distancia entre BSC-BTS es larga y un grupo de BTS es mucho más corta, entonces no tiene sentido hacer un punto a punto a cada BTS, para ese caso una sola línea de PCM conectada a una sola BTS podría ser compartido hacia las otras BTS a este método se le llama **Multi-drop** en cadena. La BSC envía a través de un solo enlace PCM las señales a cada BTS en los time slot asignados. Este método tiene un problema cuando uno de los puntos de la cadena se rompe y se pierde la conexión con el resto de las BTS. La solución para este caso es el llamado **Multi-drop en lazo** cerrado.

1.10.4 Transmisión entre BSC y MSC

De acuerdo a las especificaciones de GSM, el bit rate en la interfaz radio es de 13Kbit/s, y la tasa de bits en el **Centro de Conmutación de Servicios Móviles (MSC)** y la interfaz PSTN es 64Kbits/s. Esto significa que la tasa de bits tiene que ser convertida en algún lugar de la red GSM.

El hardware realiza esta conversión de 13Kbits/s a 64Kbits/s y viceversa se llama **Transcoder**. En teoría esta parte es de la estación base transreptora, sin embargo para reducir costos de transmisión se coloca a lado de la BSC como se muestra en la Figura 1.20.

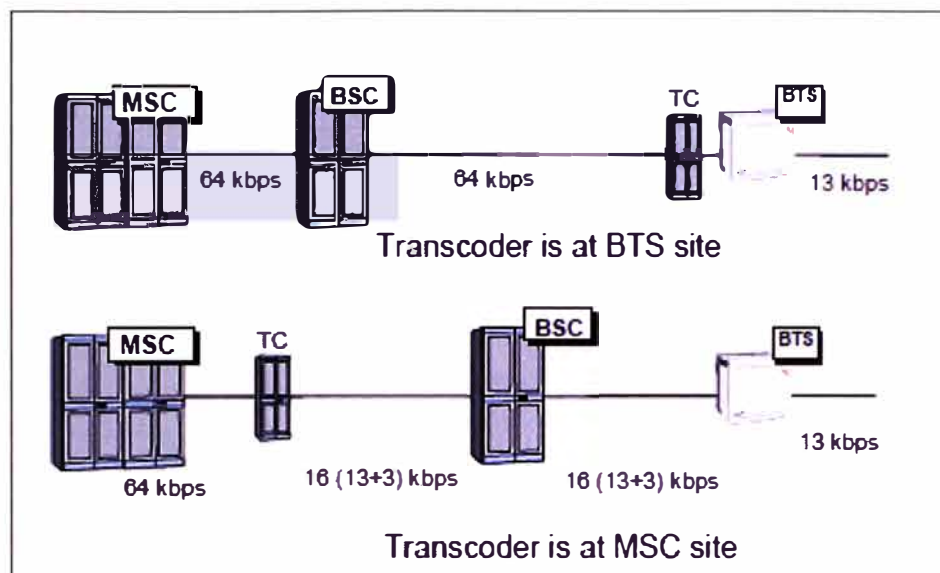


Figura 1.20 Transcoder en diferentes sitios

1.11 Teoría de Tráfico

Para poder realizar el diseño y planificación de una red de telecomunicaciones es necesario conocer la demanda de los tipos de servicios que se requiere ofrecer. Uno de los conceptos que se requiere conocer es las unidades de tráfico, parámetros que veremos a continuación.

1.11.1 Unidad de Tráfico

La unidad de tráfico tiene como unidad de medida adimensional al Erlang, la que se considera como una medida de estadística de tráfico, donde 1 Erlang es un canal ocupado durante 3600 segundos. Como definición viene a ser como el promedio de llamadas realizadas simultáneamente durante un periodo particular de tiempo. A continuación se muestra la fórmula 1.1 para el cálculo del Erlang, donde las siglas ACHT se refieren al promedio del tiempo de la duración de la llamada y el otro parámetro se refiere al número total de llamadas realizadas en 1 hora.

$$Erlang = \frac{\text{Número de llamadas} \times \text{ACHT(seg.)}}{3600} \dots\dots\dots (1.1)$$

1.11.2 Grado de Servicio

El grado de servicio, **GoS (Grado de Servicio)**, está definido como la probabilidad de que una llamada falle. Esto significa que cuando todos los canales disponibles se encuentren ocupados, las llamadas serán rechazadas, trayendo consigo las pérdidas de llamadas en el proceso del establecimiento de la llamada. El rango del grado de servicio varía de 0 a 1. Donde 0 viene a ser el grado de servicio ideal donde todas las llamadas entrantes tendrán disponibilidad de canal presenta ningún bloqueo en las llamadas. De la misma forma 1 grado de servicio indicará que todos los canales están ocupados y para una nueva llamada no se obtendrá ningún servicio. Para nuestro caso en este informe el GoS será menor al 2%. La Figura 1.21 indica la fórmula de cálculo del Grado de Servicio.

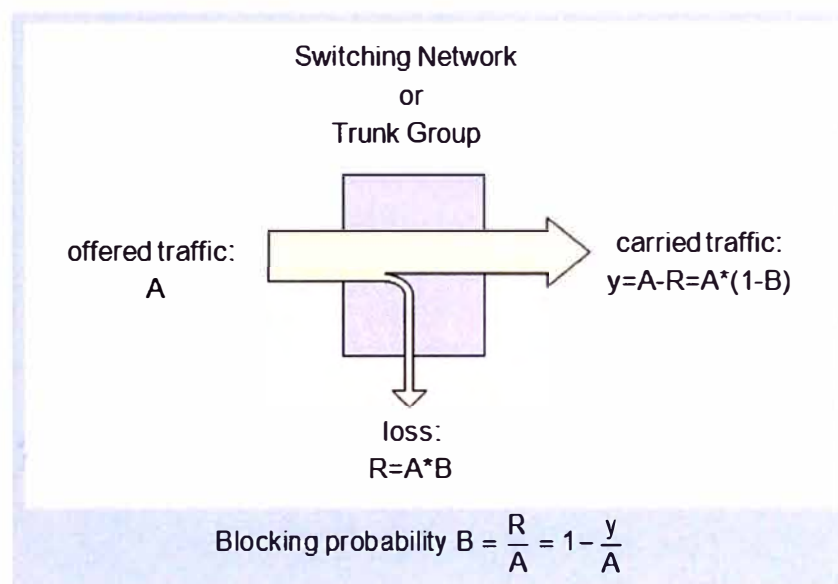


Figura 1.21 Fórmula del grado de Servicio

1.11.3 Tiempo de duración de una llamada

Llamado también Mean Holding Time, Estos valores pueden varían entre 20 a 120 segundos. Esto dependerá del tipo de tráfico que se maneja en cada red celular. Según la teoría de tráfico los tiempos de duración de cada llamada tienen una tendencia exponencial negativa. En la Figura 1.22 se muestra la distribución de frecuencias de llamadas con respecto al tiempo de duración. Cuanto mayor sea el tiempo de duración de una llamada menor será la cantidad de frecuencia de llamadas. En las redes celulares actuales depende mucho del marketing para el uso de las cantidades de llamadas.

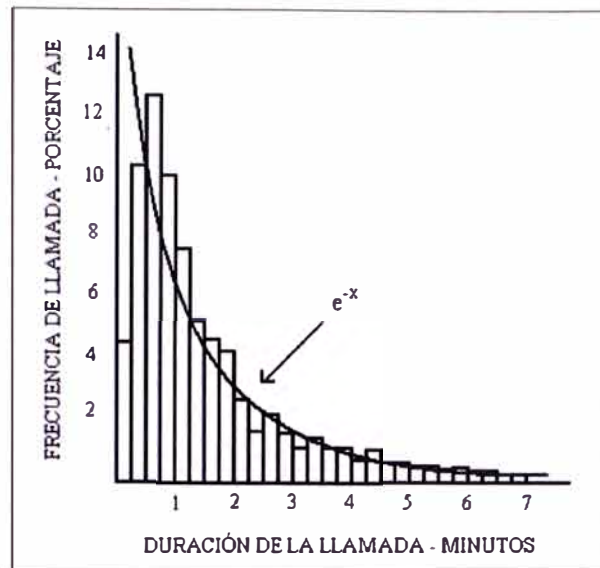


Figura 1.22 Distribución de frecuencia de llamadas

1.11.4 Capacidad de Canal

En un sistema de red celular un factor importante es la capacidad de canal que se puede ofrecer. En la Figura 1.21 se muestra la capacidad de canal ofrecida para el acceso de todo los subscriptores de una red celular. La infraestructura a diseñar dependerá de la capacidad que se requiera ofrecer a todo los subscriptores.

1.11.5 Tablas de Distribución de Tráfico

Las fórmulas y tablas de Erlang B y C están basadas en una teoría de tráfico y el objetivo es estimar si existe una canal disponible para la transmisión (circuit switched speech or data). Un canal de transmisión representa a una unidad de 1 Erlang si este es usado sobre 1 hora y a esta hora se le llama busy hour. Cuando hay 7 canales de transmisión disponibles en un medio común, 7 transmisiones pueden ser usadas simultáneamente sin bloqueo y el octavo canal es solicitado este generará una congestión debido a la falta de canales disponibles. Sin embargo si estos 7 transmisiones o llamadas tomaran 90 segundos cada una (Promedio de tiempo de llamadas en una red GSM). Las siguiente 7 llamadas pueden ser transmitidas después de los 90 segundos. Sin embargo en la vida real las llamadas de los usuarios móviles es totalmente aleatorio, teniendo un promedio de 25mErlang por usuario. Estas llamadas aleatorias pueden causar bloqueos si más de 7 llamadas son realizadas en el mismo tiempo y la octava llamada será congestionada.

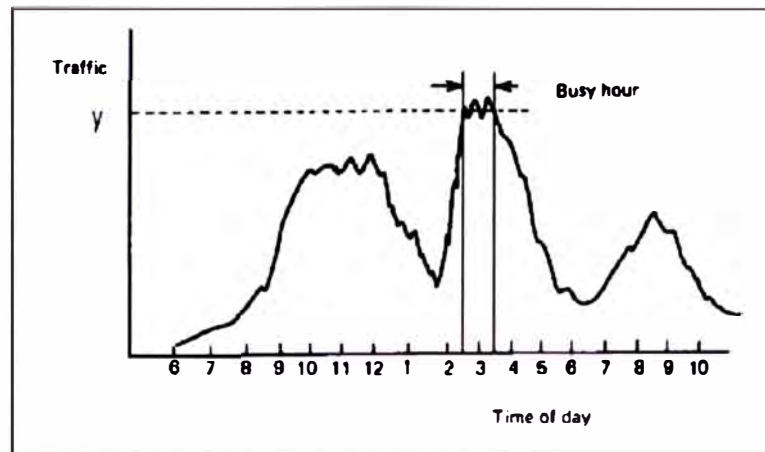


Figura 1.23 Hora Pico del tráfico

La tabla de Erlang indica el bloqueo y el máximo número de llamadas sobre la busy hour, como se muestra en la Figura 1.23, estas nos pueden indicar el tráfico que pueden ser ofrecidos para cada configuración de canales.

1.11.6 Fórmulas de Erlang

Los factores que involucran al resultado de las fórmulas de Erlang son los intentos de llamada, los canales disponibles y la calidad de servicio. En la Figura 1.24 se muestra los tipos de fórmulas a usar para cada escenario. En este capítulo tocaremos solo las fórmulas de bloqueo con reintentos de llamadas y sin reintentos.

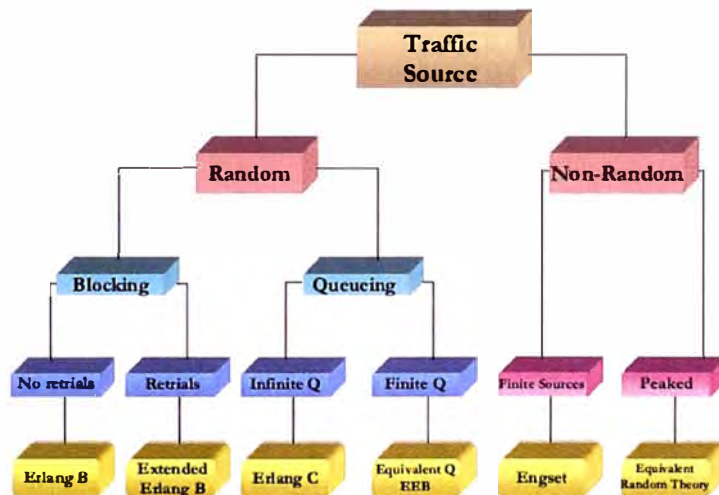


Figura 1.24 Diagrama de Fórmulas de Erlang

Las fórmulas de Erlang C, Erlang B son los más usados universalmente para los diseños de sistemas de comunicación.

Las fórmulas de Erlang están representadas en base a la distribución de Poisson.

- **Fórmula de Poisson:** La fórmula de Poisson fue desarrollada por un matemático francés, donde logra obtener una tasa promedio de probabilidad en un determinado tiempo como muestra la fórmula 1.2.

$$P(k) = \frac{(E(n) * t)^k * e^{-E(n)*t}}{k!} \dots\dots\dots (1.2)$$

Dónde: P(k) = Probabilidad de llegadas satisfactorias
 E(n) = Tasa promedio de llegadas satisfactorias
 t = Tiempo promedio de ocupación de llamada

Esta fórmula 1.2 calcula la probabilidad de **n** llegadas durante un tiempo **t**. En la siguiente Figura 1.25 se muestra la siguiente distribución de probabilidad de llegadas satisfactorias que varían de 0 a 13. Con un promedio de 4.

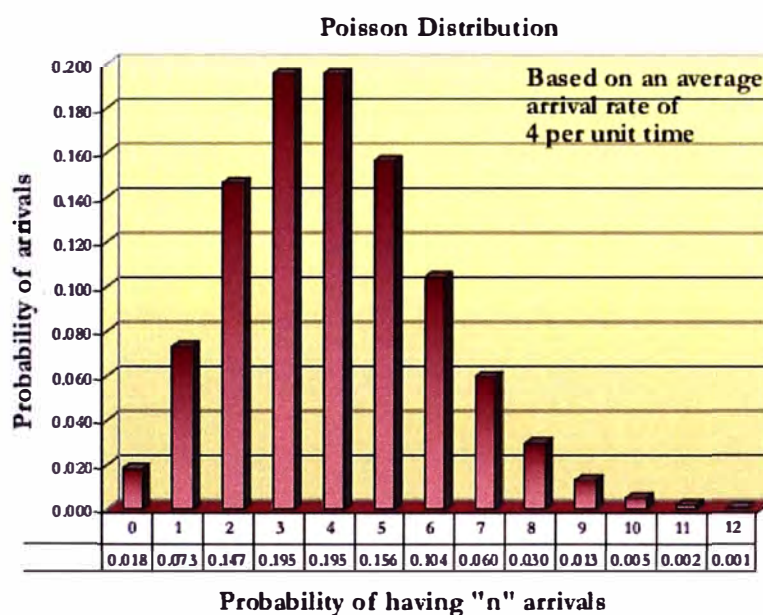


Figura 1.25 Diagrama de Poisson

1.11.7 Fórmulas de Bloqueo

En este grupo existen tres fórmulas: Molina, Erlang B y Erlang B extendido (EEB). Los cuales son utilizados para calcular la cantidad de líneas en cada equipo telefónico como las centrales telefónicas, etc. Estas fórmulas difieren en los sucesos de las llamadas que son bloqueadas por la ocupación de todas las líneas o canales ofrecidos. Una de las

fórmulas más populares por compañías de telecomunicaciones fue la fórmula **Molina**, siendo reemplazado por **Erlang B** que en la actualidad es la que prevalece cuando hay bloqueos de llamadas. El **Erlang B Extendido** es una modificación del **Erlang B** el cual asume algunas llamadas que son bloqueadas para ser re-transmitidas.

1.11.7.1 Fórmula Molina

Esta fórmula es llamada comúnmente como la fórmula de Poisson, actualmente la fórmula Molina es una aplicación de la fórmula de Poisson. Y fue desarrollado por los Laboratorios Bell durante los años 20's. Esta fórmula sobredimensiona las cantidades de requeridas y presenta un margen de error alto, es por ello que a la fecha ya no es usado en los diseños de dimensionamiento.

1.11.7.2 Fórmula Erlang B

Esta fórmula está recomendada por la ITU-T (Unión Internacional de Telecomunicaciones). Y es usada para calcular el número de troncales o canales de comunicación en el primer intento de las llamadas originadas, y si todas las troncales de comunicaciones estas ocupadas, las llamadas desbordan a otro grupo o simplemente nunca retornar y son llamadas perdidas. Esta fórmula al igual que la fórmula Molina comparte asumiendo las originaciones infinitas y el promedio de tiempo de las llamadas. Y la mayor diferencia de Molina es que en Erlang B asume pérdidas de llamadas a causa de los canales ocupados. La fórmula 1.3 muestra la fórmula de Erlang B donde A es el tráfico ofrecido, N el troncales disponibles y Probabilidad de Bloqueo.

$$P_b = \frac{\frac{A^N}{N!}}{\sum_{X=0}^N \frac{A^X}{X!}} \dots\dots\dots (1.3)$$

1.11.7.3 Fórmula Extended Erlang B

Esta fórmula es una mejora con mayor exactitud que la fórmula **Erlang B** cuando el porcentaje de llamadas intenten de nuevo cuando hay canales ocupados. De las tres fórmulas usadas para calcular la cantidad de troncales cuando una llamada es bloqueada, **EEB** es generalmente la de mayor exactitud para manejar configuraciones. Está basado en

la mejor situación, en escuchar la señal de ocupado para que las llamadas intenten de nuevo, y por lo tanto estos intentos de llamada incrementan el tráfico ofrecido.

Por lo tanto a medida que crece el porcentaje de bloqueo, también lo hace el ofrecido y el tráfico cursado. Entonces para calcular la probabilidad de bloqueo usando el **EEB**, el ingeniero necesita los Erlang totales, el número de líneas o troncales, y el porcentaje de llamadas bloqueadas que intentaran de nuevo a iniciar una llamada (varia de 0 – 100 por ciento).

A pesar que EEB es el más complicado de las tres fórmulas vistas anteriormente, este es mucho más exigente en la exactitud de los datos de entrada. El parámetro adicional que necesita EEB es el factor de reintentos de llamadas, como puede mostrarse en la Figura 1.26 y esto conlleva a una mayor exactitud de la probabilidad de bloqueos. Cuando la red de telecomunicaciones no tiene reintentos de llamada, Erlang B puede ser usado.

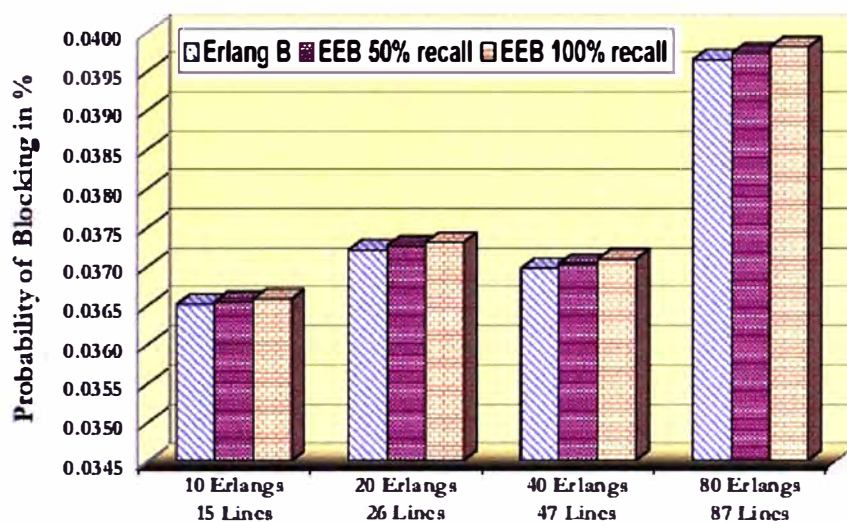


Figura 1.26 Comparación de Erlang B y EEB

CAPITULO II. PLANTEAMIENTO DE INGENIERÍA DEL PROBLEMA

2.1 Descripción del Problema

Durante la última década, el crecimiento de la telefonía celular fue constante año a año y cada vez la población tiene la necesidad de comunicarse. Para ello el requerimiento de una infraestructura necesaria y optima para poder brindar este tipo de servicios de Voz y Dato ha sido uno de los primeros pasos e importantes para iniciar el lanzamiento de un red celular en una determinada zona geográfica. En nuestro caso se trata de la ciudad Lima que cuenta a la fecha con alrededor de 7.4 millones de habitantes como se muestra en la Figura 2.1.

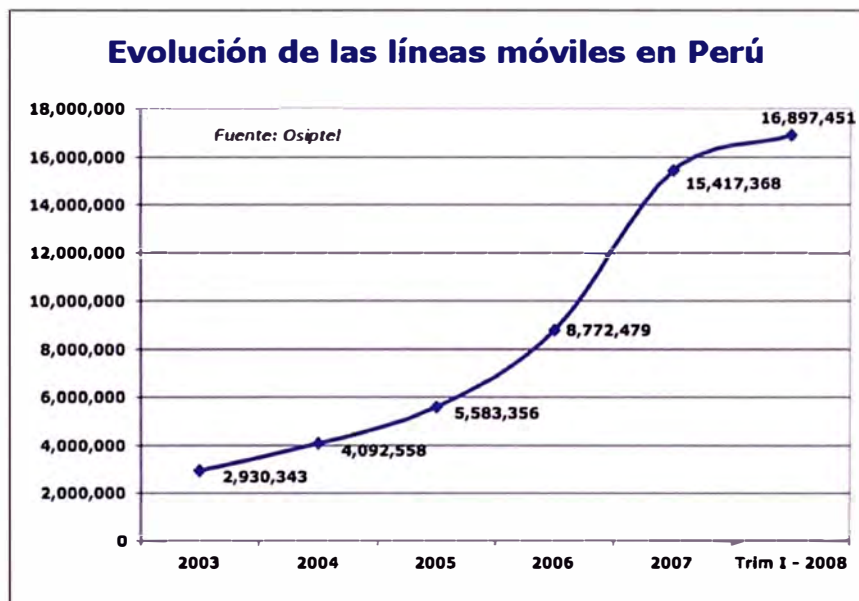


Figura 2.1 Crecimiento de usuarios de líneas celulares en el Perú.

El servicio brindado debe de cumplir todo los estándares de calidad establecidos por las organizaciones supervisoras de calidad en telecomunicaciones, para ello es necesario realizar un buen diseño y dimensionamiento en cuanto a todo el equipamiento del subsistema BSS y el buen re-uso del espectro de frecuencia.

Uno de los principales problemas en una red celular GSM es el manejo del espectro de frecuencia, ya que cada frecuencia puede manejar hasta 8 llamadas (8 Time Slot)

simultáneas en Full Rate o 16 llamadas (16 Time Slot) en Half Rate, pero este último tendría una calidad mucho menor en cuanto a la percepción de la llamada.

A causa de estos problemas se tiene que tomar medidas para poder llevar a los valores más óptimos todos los parámetros de diseño y minimizar toda la infraestructura requerida en cada etapa de la red celular GSM.

Actualmente el tráfico manejado en la ciudad de Lima se muestra en la Figura 2.2 en los últimos días festivos de navidad y fin de año logro alcanzar alrededor de 50 mil Erlang.

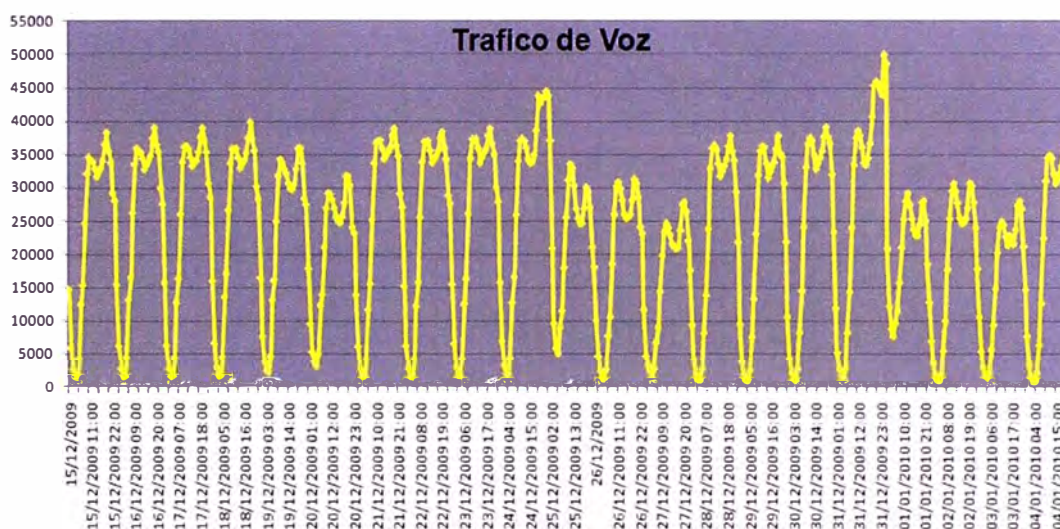


Figura 2.2 Tráfico en Erlangs en la ciudad de Lima.

2.2 Objetivos del Trabajo

Brindar una visión general de todo el proceso de diseño y dimensionamiento de una red celular GSM/GPRS/EDGE. Y poder ofrecer los servicios de Voz y Datos con 2% de Grado de Servicio (GoS) en Voz y un throughput downlink de 236.8Kbps.

Brindar métodos y formas para optimizar la infraestructura y por ende los precios de costo de todo los componentes involucrados en el proceso. Los tiempos de ejecución, así como también los costos y cantidad de personal requerido para la puesta en servicio comercial de la red celular.

2.3 Evaluación del Problema

Cuando un operador de telecomunicaciones requiere brindar un servicio de telefonía celular requiere de toda una infraestructura para ponerlo en marcha, Para ello el operador necesita saber los tipos de servicios que desea brindar.

En una red GSM/EDGE, los principales servicios son Voz y Datos. Y uno de los principales problemas que se vienen dando en una red celular es el manejo de la capacidad de tráfico tanto Voz como en Datos. El diseño inicial se realiza para cierta cantidad de usuarios las cuales vienen creciendo progresivamente dependiendo del marketing realizado por el operador.

En la Figura 2.3 se muestra la demanda de tráfico de Voz en la ciudad de Lima. Con lo que se podrá tener una tendencia de crecimiento y requerimiento de la infraestructura distribuida por zonas geográficas.

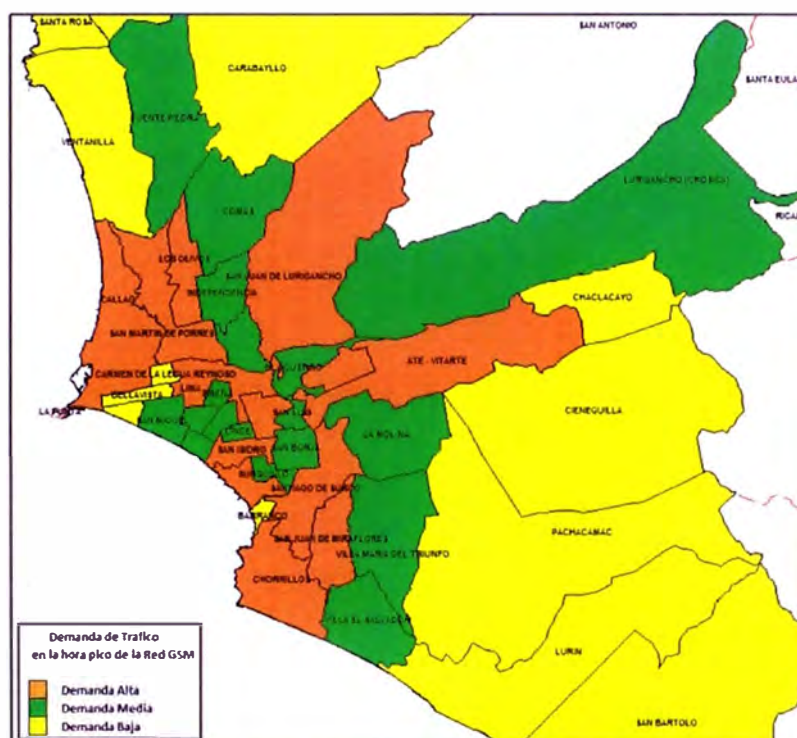


Figura 2.3 Distribución de la demanda de tráfico de Voz.

A medida del crecimiento de los usuarios y de la carga de tráfico en una red celular se hace más propenso los problemas de calidad. Por lo tanto trataremos de diseñar una red celular al 85% de carga para su puesta en servicio comercial para una determinada demanda de tráfico en la ciudad de Lima, teniendo en cuenta las limitaciones que tienen los operadores así como el espectro de frecuencia que es uno de los principales problemas que se vienen dando en las redes celulares. El aspecto social es otro problema para los operadores ya que muchos de los distritos de las zonas socioeconómicas bajas que impiden la instalación de estaciones bases celulares por motivos de salud u otros motivos.

2.4 Limitaciones del Trabajo

El presente informe no describe todo el proceso de implementación de una red celular, ya que solo se abarca la interfaz radio BSS y la parte del dimensionamiento en base a la capacidad de tráfico que se ofertará. Todo el diseño se basará sobre una red existente lo cual hace que uno de nuestras limitaciones se concentre en el proceso de búsqueda de sitios que no estará contemplada en este informe.

Las limitaciones de este trabajo se muestran en la Figura 2.4 donde se muestra que la cantidad de MSC's, VLR's no están incluidas en este informe. La interfaz Abis, Asub, A y Gb son los que podremos realizar todo el diseño que se requiera.

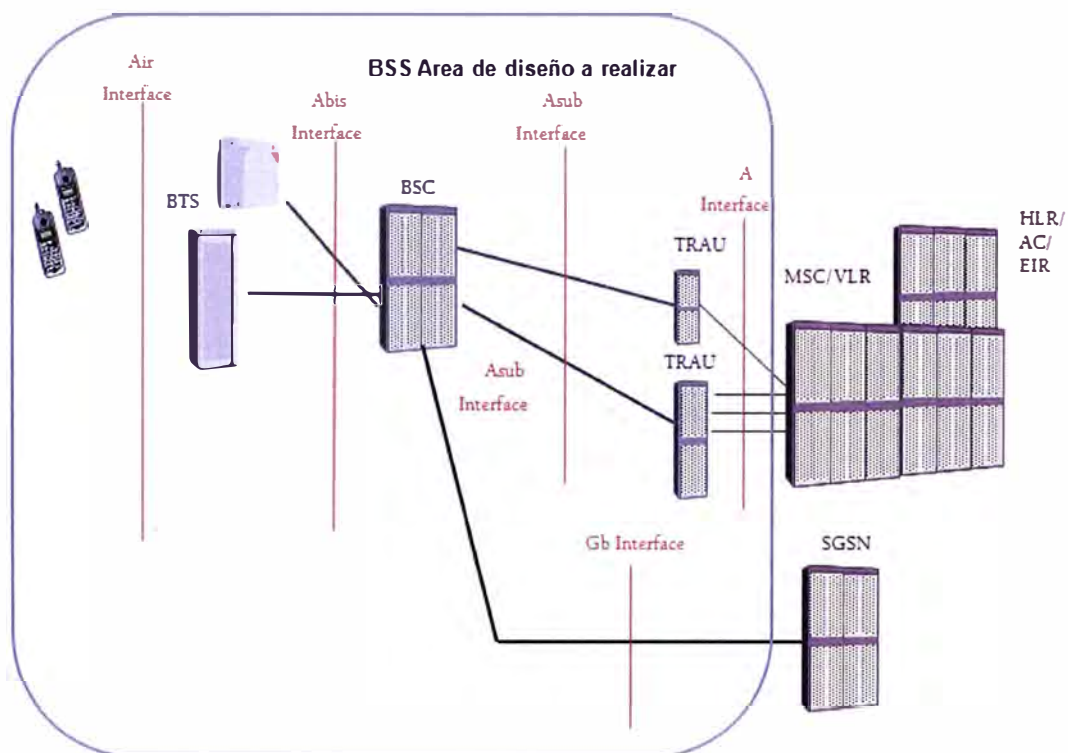


Figura 2.4 Área de Diseño de la interfaz BSS

2.5 Síntesis del Trabajo

Este informe está conformado por varios capítulos. Inicia con el capítulo I donde mostramos toda la descripción general de la tecnología GSM/GPRS-EDGE y con todo estos conceptos descritos se tendrá la base conceptual para el desarrollo de dicho informe. Describiremos todas las interfaces de la red celular y el análisis de cada una de las partes donde ahondaremos debido a la necesidad para entender las estrategias que se tomarán en los capítulos subsiguientes.

El capítulo III describe las técnicas usadas para el diseño del dimensionamiento a nivel de la red de acceso, donde se tomará todo los requerimientos del operador para realizar el diseño. Entre ellos se encuentran el tráfico demandado, el espectro disponible y las celdas existentes con sus respectivos índices de tráfico dependiendo de las zonas geográficas de la ciudad de Lima. Luego mostraremos los resultados del análisis de tráfico por zonas e indicando el crecimiento de tráfico.

El capítulo IV se muestra los resultados y costos de todo el equipamiento y requerimientos para todo el despliegue de una red celular totalmente nueva.

Como punto final presentamos las conclusiones y recomendaciones tomadas en base a los resultados y análisis de cada etapa del diseño.

CAPITULO III.

TÉCNICAS Y METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

3.1 Procedimiento de la Planificación del BSS

Este capítulo se mostrará todo el proceso del diseño y dimensionamiento de la interfaz BSS (Subsistema de Estaciones Base). En la Figura 3.1 se muestra las interfaces a cubrir.

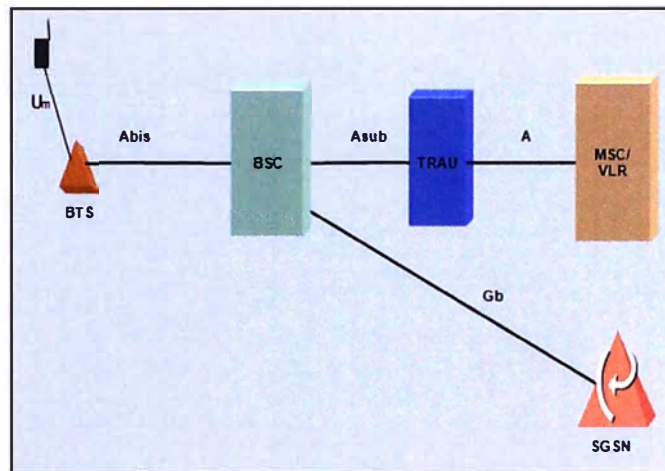


Figura 3.1 Red GSM

Para poder iniciar con el diseño se requiere de ciertos input que el operador tiene que proveer como se muestra en la Tabla 3.1. Estos parámetros serán los necesarios para tener en cuenta todo el hardware que se requerirá.

Tabla 3.1 Inputs de Modelo de Tráfico

Parámetros	Valor / Comentarios
Tráfico de voz demandado en la hora más cargada (BH)	60 000 Erlang
QoS de Voz durante hora cargada	2%
QoS de Señalización en BH	1%
Espectro disponible 850/1900	5.4 / 12.4 Mhz
Localización de celdas existentes	440
Distribución de Tráfico Dual 850/1900	60% 1900 40% 850
Vocodificadores AMR FR/ AMR HR Banda 1900	30% AMR-FR 70% AMR-HR
Vocodificadores AMR FR/ AMR HR Banda 850	100% AMR-HR
Velocidad de descarga Datos	236.8Kbits/s

Como se muestra en la Tabla 3.1 se requiere el tráfico de voz en la hora más cargada para poder calcular las configuraciones de todas las celdas que estarán distribuidas en la ciudad de Lima, así como los controladores, los enlaces en las diferentes interfaces. También son necesarios los porcentajes de Calidad y servicio para voz y para la señalización, otro de los factores importantes es el espectro disponible con lo que se podrá disponer.

La localización de los sitios es también una etapa previa al dimensionamiento de una red celular, en este caso tomaremos la base de datos actuales de la red CDMA-1X, el cual disponen de 440 celdas para poder instalar las nuevas BTS's de GSM. Según muestra la tabla el Operador posee 2 bandas 850/1900, esto hará que el tráfico cursado en toda la red sean distribuidas ya sea por penetración de la banda o por parámetros específicos de optimización para migrar tráfico hacia la banda 1900, como input, el operador nos entrega el uso deseable de la distribución de tráfico en la hora pico de la red, donde se tendrá que el 60% del tráfico será asociado a la banda 1900 y 40% a la banda de 850.

Otro parámetro importante es el uso de los vocoder de Voz, para este caso como input del operador es el uso del 30% para llamadas en AMR Full Rate, y el 70% AMR Half Rate. Para este escenario de inputs llegaremos a requerir una cantidad de infraestructura necesaria para poder ofrecer el servicio requerido de Voz y Datos.

En la Figura 3.2 se muestra el diagrama de flujos del proceso del dimensionamiento de la interfaz **BSS (Subsistema de Estaciones Base)**. Cada etapa será analiza en el transcurso de presente capítulo.

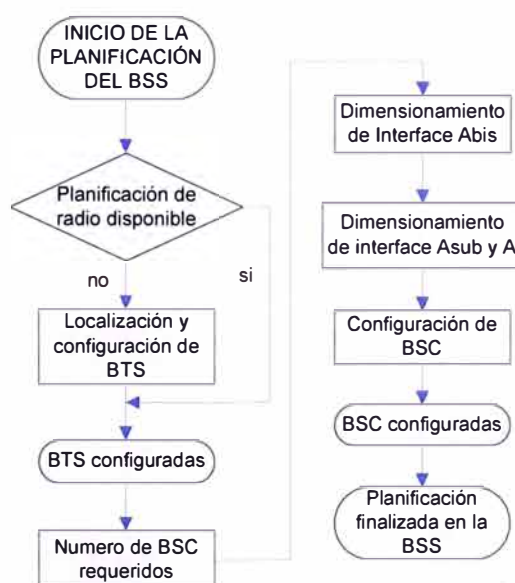


Figura 3.2 Proceso de dimensionamiento de la BSS

3.2 Procesos de dimensionamiento

A continuación detallaremos el proceso del dimensionamiento del diagrama de flujo mostrado en la Figura 3.2 y cada etapa estará acompañada con los resultados de cada cálculo realizado.

3.2.1 Localización y Configuración de BTS

En esta etapa es necesario saber las ubicaciones geográficas de todas las BTS en la ciudad de Lima y el espectro disponible para poder calcular la cantidad necesaria de TRX por celda. A continuación mostraremos el diseño de la cantidad de celdas requeridas para la ciudad de Lima.

3.2.1.1 Área de cobertura

Como se mencionó en capítulos anteriores las ubicaciones de las BTS de GSM serán tomadas estratégicamente de las ubicaciones existentes de la red CDMA-1X. Estas celdas serán consideradas BTS por cobertura. Los valores del Rx Level y C/I (carrier / Interference) son los parámetros de calidad que definen en una red GSM.

La ciudad de Lima morfológicamente posee diferentes zonas geográficas que pueden ser clasificados como se muestra en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Distribución de clutter de Lima

<i>Tipo de clutter Diseño</i>	<i>Tipo de clutter Mapa</i>
Urbano Denso	Dense Urban, Buildings
Urbano	Airport, Industrial, Open in Urban, Open street in Urban, Comercial
Suburbano	Suburban_high_residential, Low Urban, Medium urban, Village/Town, Parks,
Rural	Agriculture, Forest, Open Land, Sea, Inland Water, River
Carreteras	Carreteras

Mediante el uso de un software de predicción propietario calcularemos los sites necesarios para brindar la cobertura necesaria para la ciudad de Lima.

Como parámetros de entrada para este software, requiere mapa geográfico de los tipos de terreno como se mostró en la Tabla 3.2. En la Figura 3.3 se muestra los tipos de terreno los cuales representan los tipos de obstrucción que pueden causar a las señales de radiofrecuencia.

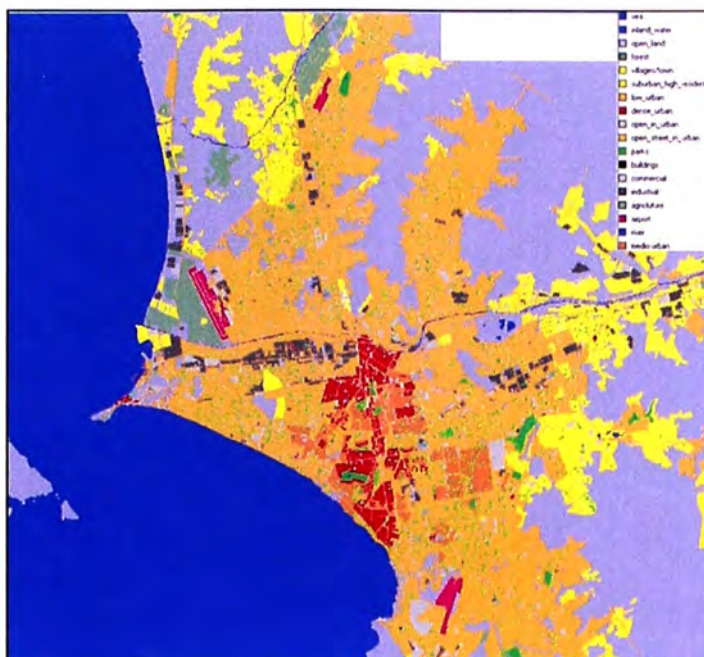


Figura 3.3 Tipos de Clutter en la ciudad de Lima

Como se muestra en la Figura 3.3 estos distintos puntos que hacen referencia al tipo de terreno implican pérdidas de penetración como se muestra en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Distribución de clutter de Lima

Tipo de clutter	Banda	Perdidas de Penetración (dB)
Suburbano	850	9
Urbano	850	13
Urbano Denso	850	15
Rural	850	3.5
Industrial	850	8
Parques	850	7

De la misma forma son requeridos parámetros para la fórmula del cálculo del Pathloss (Perdidas en el espacio libre) como se muestra en la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned}
 \text{Pathloss (dB)} &= P_{tx} - P_{rx} \\
 &= K_1 + K_2 \log(d) + K_3(H_{ms}) + K_4 \log(H_{ms}) + K_5 \log(H_{eff}) + \\
 &\quad K_6 \log(H_{eff}) \log(d) + K_7 \text{Diff} + L_{clutter} \dots\dots\dots (3.1) \\
 L_{pathloss} &= \overbrace{69.55}^{K_1} + \overbrace{26.16 \log\left(\frac{f}{\text{MHz}}\right)}^{K_2} + \overbrace{44.9 \log\left(\frac{d}{\text{km}}\right)}^{K_2} - \overbrace{13.82 \log\left(\frac{h_{gs}}{m}\right)}^{K_3} - \overbrace{6.55 \log\left(\frac{h_{gs}}{m}\right) * \log\left(\frac{d}{\text{km}}\right)}^{K_6} - \overbrace{a \left(\frac{h_{gs}}{m}\right)}^{K_3} \\
 &\quad + L_{clutter}
 \end{aligned}$$

Donde cada parámetro que se muestra en la Tabla 3.4 se ingresa al software de predicción. La potencia de transmisión de las BTS GSM es 42dBm. Con este valor se realizará todo el cálculo.

Tabla 3.4 Parámetros de la fórmula Pathloss

Parámetros
$K_1 = 147.5$
$K_2 = 44.9$
$K_3 = 0$
$K_4 = 0$
$K_5 = -13.82$
$K_6 = -6.55$
$K_7 = 0.05$

Otros parámetros como la altura de las estaciones, curvas de niveles de la ciudad, los clutters ya mencionados anteriormente, modelos de las antenas que se usaran, para nuestro caso se usará las antenas dual 850/1900 de la marca Kathrein, por el buen desempeño y finos ajustes en sus patrones de radiación. Sus especificaciones se muestran en la Figura 3.4.

XXPol Panel 824-960/1710-2180 65°/65° 16/18.5dBi 0°-10°/0°-6°T					
Type No.	742 265				
Frequency range	824-960		824-960		
	824-894 MHz	880-960 MHz	1710-1880 MHz	1850-1990 MHz	1920-2180 MHz
Polarization	+45°, -45°	+45°, -45°	+45°, -45°	+45°, -45°	+45°, -45°
Gain	2 x 15.5 dBi	2 x 16 dBi	2 x 17.8 dBi	2 x 18.2 dBi	2 x 18.3 dBi
Horizontal Pattern:					
Half-power beam width	68°	65°	67°	65°	63°
Front-to-back ratio (180°±30°)	> 27 dB	> 25 dB	> 25 dB	> 25 dB	> 25 dB
Cross polar ratio	Typically:	Typically:	Typically:	Typically:	Typically:
Main direction 0°	20 dB	20 dB	16 dB	18 dB	18 dB
Sector ±60°	> 10 dB	> 10 dB	> 10 dB	> 10 dB	> 10 dB
Vertical Pattern:					
Half-power beam width	10.5°	10°	5.2°	5.0°	4.9°
Electrical tilt	0.5°-9.5°	0.5°-9.5°	0°-6°	0°-6°	0°-6°
continuously adjustable					
Sidelobe suppression for first sidelobe above main beam	0.5° ... 5° ... 9.5°T 15 ... 15 ... 15 dB	0.5° ... 5° ... 9.5°T 15 ... 17 ... 19 dB	0° ... 3° ... 6°T 14 ... 15 ... 15 dB	0° ... 3° ... 6°T 18 ... 17 ... 17 dB	0° ... 3° ... 6°T 17 ... 17 ... 16 dB
Impedance	50 Ω	50 Ω	50 Ω	50 Ω	50 Ω
VSWR	< 1.5	< 1.5	< 1.5	< 1.5	< 1.5
Isolation: Intrasystem	> 30 dB	> 30 dB	> 30 dB	> 30 dB	> 30 dB
Isolation: Intersystem Typically:	> 50 dB (824-960 // 1710-2180 MHz)				
Intermodulation IM3	< -150 dBc (2 x 43 dBm carrier)		< -150 dBc (2 x 43 dBm carrier)		
Max. power per input	500 W		250 W		
Total power	1000 W		500 W		
(at 50 °C ambient temperature)					



Figura 3.4 Antena Dual Band

El modelo de propagación que se usará es el de OKOMURA HATA, y esta es una opción del software de predicción propietario, así como también todos los parámetros

mencionados anteriormente y fórmulas son configurados en la herramienta generando los niveles de cobertura que se muestra en la Figura 3.5.

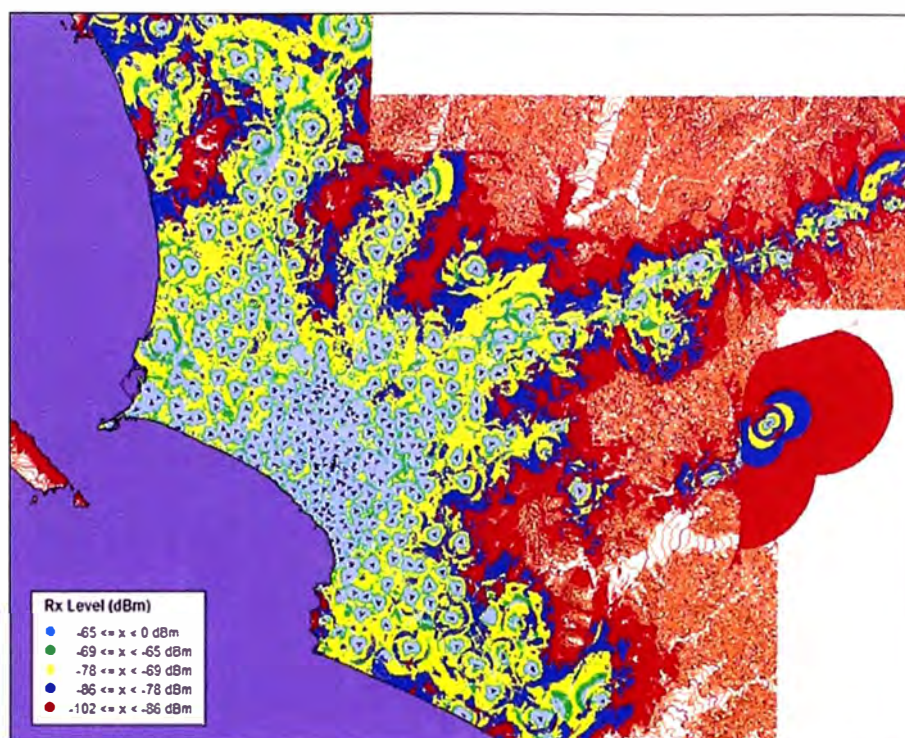


Figura 3.5 Predicción de la cobertura en la ciudad de Lima

El rango mostrado de los niveles de cobertura nos muestra las áreas de cobertura en la ciudad de Lima. Como se observa la zona este que comprende Chosica, Cieneguilla están rodeadas de cerros y se concentra las menos coberturas.

Según esta cobertura mostrada se tiene 440 BTS GSM en toda la ciudad de Lima. Las cuales serán consideradas BTS por cobertura.

3.2.1.2 Descripción del Espectro disponible

El espectro que el operador dispone depende de los organismos estatales de cada país. Por ello Movistar posee la siguiente distribución de espectro en las bandas 850/1900 para la red GSM como se muestra en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5 Espectro disponible 850/1900

BANDA	BCCH	HOPPING	MHZ
1900	20	42	12.4
850	12	15	5.4

En la Tabla 3.6 y Tabla3.7 se muestran los rangos de canales disponibles por banda con sus respectivos rangos de frecuencias espaciados en 200Khz.

Tabla 3.6 Canales de frecuencia disponible en Banda 850

Tipo Canal	Arfen	Banda	Uplink (Mhz)	Downlink (Mhz)
BCCH	128	850	824.2	869.2
BCCH	129	850	824.4	869.4
BCCH	130	850	824.6	869.6
BCCH	131	850	824.8	869.8
BCCH	132	850	825.0	870.0
BCCH	133	850	825.2	870.2
BCCH	134	850	825.4	870.4
BCCH	135	850	825.6	870.6
BCCH	136	850	825.8	870.8
TCH	162	850	831.0	876.0
TCH	163	850	831.2	876.2
TCH	164	850	831.4	876.4
TCH	165	850	831.6	876.6
TCH	166	850	831.8	876.8
TCH	167	850	832.0	877.0
TCH	168	850	832.2	877.2
TCH	169	850	832.4	877.4
TCH	170	850	832.6	877.6
TCH	179	850	834.4	879.4
TCH	180	850	834.6	879.6
TCH	181	850	834.8	879.8
TCH	233	850	845.2	890.2
TCH	234	850	845.4	890.4
TCH	235	850	845.6	890.6
TCH	236	850	845.8	890.8
TCH	237	850	846.0	891.0
TCH	238	850	846.2	891.2

Tabla 3.7 Canales de frecuencia disponible en Banda 1900

Tipo de canal	Arfen	Banda	Uplink (Mhz)	Downlink (Mhz)
BCCH	612	1900	1870.2	1915.2
BCCH	613	1900	1870.4	1915.4
BCCH	614	1900	1870.6	1915.6
BCCH	615	1900	1870.8	1915.8
BCCH	616	1900	1871.0	1916.0
BCCH	617	1900	1871.2	1916.2
BCCH	618	1900	1871.4	1916.4
BCCH	619	1900	1871.6	1916.6
BCCH	620	1900	1871.8	1916.8
BCCH	621	1900	1872.0	1917.0
TCH	622	1900	1872.2	1917.2
TCH	623	1900	1872.4	1917.4
TCH	624	1900	1872.6	1917.6
TCH	625	1900	1872.8	1917.8
TCH	626	1900	1873.0	1918.0
TCH	627	1900	1873.2	1918.2
TCH	628	1900	1873.4	1918.4
TCH	629	1900	1873.6	1918.6
TCH	630	1900	1873.8	1918.8
TCH	631	1900	1874.0	1919.0
TCH	632	1900	1874.2	1919.2
TCH	633	1900	1874.4	1919.4
TCH	634	1900	1874.6	1919.6
TCH	635	1900	1874.8	1919.8
TCH	636	1900	1875.0	1920.0
TCH	637	1900	1875.2	1920.2
TCH	638	1900	1875.4	1920.4
TCH	639	1900	1875.6	1920.6
TCH	640	1900	1875.8	1920.8
TCH	641	1900	1876.0	1921.0
TCH	642	1900	1876.2	1921.2
TCH	643	1900	1876.4	1921.4
TCH	644	1900	1876.6	1921.6
TCH	645	1900	1876.8	1921.8
TCH	646	1900	1877.0	1922.0
TCH	647	1900	1877.2	1922.2
TCH	648	1900	1877.4	1922.4
TCH	649	1900	1877.6	1922.6
TCH	650	1900	1877.8	1922.8
TCH	651	1900	1878.0	1923.0

TCH	652	1900	1878.2	1923.2
TCH	653	1900	1878.4	1923.4
TCH	654	1900	1878.6	1923.6
TCH	655	1900	1878.8	1923.8
TCH	656	1900	1879.0	1924.0
TCH	657	1900	1879.2	1924.2
TCH	658	1900	1879.4	1924.4
TCH	659	1900	1879.6	1924.6
TCH	660	1900	1879.8	1924.8
TCH	661	1900	1880.0	1925.0
TCH	662	1900	1880.2	1925.2
TCH	663	1900	1880.4	1925.4
BCCH	664	1900	1880.6	1925.6
BCCH	665	1900	1880.8	1925.8
BCCH	666	1900	1881.0	1926.0
BCCH	667	1900	1881.2	1926.2
BCCH	668	1900	1881.4	1926.4
BCCH	669	1900	1881.6	1926.6
BCCH	670	1900	1881.8	1926.8
BCCH	671	1900	1882.0	1927.0
BCCH	672	1900	1882.2	1927.2
BCCH	673	1900	1882.4	1927.4

Con esta disponibilidad de espectro podemos calcular la cantidad de TRX o transmisores de radio que se podrá usar sin causar problemas de interferencia.

3.2.1.3 TRX por celda

Como se había mostrado anteriormente la cantidad de TRX por BTS depende de la disposición del espectro. Por lo tanto la capacidad máxima de TRX en una BTS SIEMENS es de 8TRX por sector en cada banda 850/1900.

Se considerará 3 sectores por cada banda en la mayor parte de las BTS. Cada frecuencia es asignada a cada TRX por lo tanto para no tener interferencia co-canal o por canales adyacentes tendremos la consideración en la banda 850 ya que esta posee la menor cantidad de espectro. En la Figura 3.6 se muestra la asignación de canales en la banda 850, teniendo canales adyacentes en cada sector. Por lo tanto la Configuración total en una BTS 850 será de 4-4-4 (12 TRX por BTS).

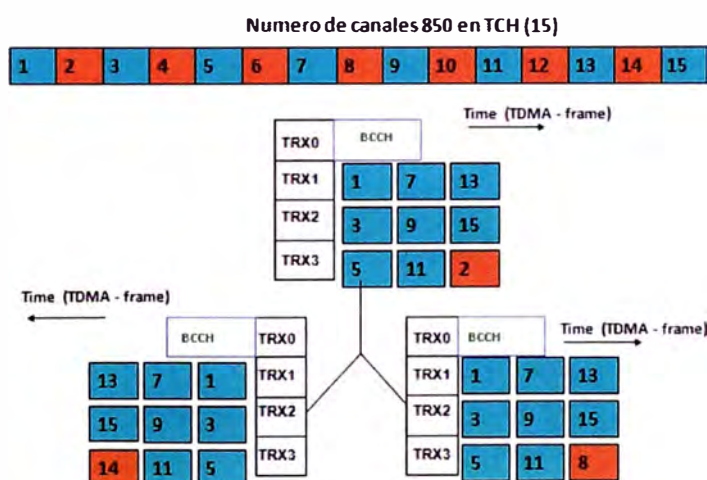


Figura 3.6 Asignación de canales a los TRX de TCH

Para el caso de la banda 1900 y al poseer 42 canales si es posible la instalación de 8-8 por BTS (24 TRX) sin tener ningún problema de interferencia co-canal ni adyacente.

3.2.1.4 Configuración de BTS por tráfico

El tráfico requerido por parte del operador es de 60 mil Erlang en la hora más cargada del día. El operador según la experiencia del tráfico manejado en la tecnología CDMA-1X nos muestra en la Tabla 3.8 los índices de tráfico de todos los 440 BTS de cobertura.

Tabla 3.8 Índice de tráfico de voz y señalización

DISTRITO	SITIO	Índice de Tráfico de Voz			Índice de tráfico de Señalización		
		S1	S2	S3	S1	S2	S3
SAN JUAN DE LURIGANCHO	PORRAS	0.12%	0.12%	0.17%	0.27%	0.08%	0.08%
BARRANCA	URA BARRANCA	0.28%	0.09%	0.10%	0.18%	0.05%	0.07%
HUACHO	NEGRITOS	0.27%	0.17%	0.04%	0.19%	0.12%	0.02%
VILLA MARIA DEL TRIUNFO	VILLAMARIA	0.27%	0.21%	0.14%	0.52%	0.35%	0.16%
SANLUIS	SAN PABLO	0.26%	0.05%	0.09%	0.18%	0.02%	0.04%
HUARAL	HUARAL	0.26%	0.23%	0.24%	0.26%	0.19%	0.21%
RIMAC	MANZANOS	0.22%	0.13%	0.07%	0.16%	0.13%	0.05%
SAN JUAN DE MIRAFLORES	KM18 SUR	0.22%	0.11%	0.20%	0.36%	0.10%	0.21%
SAN MARTIN DE PORRES	INGENIERA	0.21%	0.15%	0.19%	0.21%	0.24%	0.27%
RIMAC	RIMAC	0.21%	0.12%	0.19%	0.32%	0.39%	0.16%
SAN JUAN DE LURIGANCHO	FLORES	0.20%	0.19%	0.16%	0.16%	0.38%	0.14%
JESUS MARIA	IPSS	0.20%	0.10%	0.08%	0.09%	0.06%	0.04%
VENTANILLA	CERRO VELA	0.20%	0.15%	0.09%	0.13%	0.12%	0.07%
SANTA ANITA	FORTALEZA	0.20%	0.11%	0.12%	0.15%	0.12%	0.06%
PUENTE PIEDRA	ZAPALLAL	0.20%	0.11%	0.12%	0.19%	0.07%	0.09%
LIMA	DANSEY	0.19%	0.15%	0.08%	0.31%	0.24%	0.06%
CHORRILLOS	CHORRILLOS	0.19%	0.10%	0.10%	0.14%	0.13%	0.09%
CARMEN DE LA LEGUA REYNOSO	REYNOSO	0.18%	0.14%	0.13%	0.13%	0.14%	0.20%
ATE - VITARTE	URA HUAYCAN	0.18%	0.09%	0.11%	0.14%	0.07%	0.08%
PUENTE PIEDRA	CHOQUE	0.17%	0.27%	0.24%	0.48%	0.23%	0.25%
EL AGUSTINO	PTE NUEVO	0.17%	0.03%	0.07%	0.15%	0.02%	0.03%
SAN JUAN DE LURIGANCHO	CACERES	0.17%	0.17%	0.13%	0.15%	0.16%	0.11%
COMAS	PROLINA	0.17%	0.05%	0.12%	0.15%	0.06%	0.23%
SANTA ANITA	STA ANITA	0.16%	0.08%	0.10%	0.10%	0.08%	0.14%
SANISIDRO	MOVILNE	0.16%	0.06%	0.09%	0.21%	0.05%	0.05%
SAN JUAN DE MIRAFLORES	GUZMAN	0.16%	0.13%	0.12%	0.34%	0.32%	0.15%
LIMA	WASHINGTON	0.16%	0.15%	0.12%	0.23%	0.39%	0.23%
COMAS	LIBERTAD	0.16%	0.17%	0.17%	0.13%	0.14%	0.29%
LIMA	DUENAS	0.16%	0.12%	0.09%	0.12%	0.08%	0.05%
LOS OLIVOS	PRO	0.16%	0.20%	0.20%	0.09%	0.29%	0.41%
ANCON	ANCON	0.16%	0.05%	0.06%	0.13%	0.04%	0.00%
IMPERIAL	URA IMPERIAL	0.16%	0.42%	0.12%	0.16%	0.28%	0.08%
CARABAYLLO	PRADO	0.16%	0.08%	0.10%	0.11%	0.08%	0.08%
LA MOLINA	YNAS	0.16%	0.10%	0.15%	0.06%	0.04%	0.06%
LIMA	IMPERIO	0.16%	0.13%	0.15%	0.60%	0.12%	0.12%
JESUS MARIA	CARRION	0.16%	0.09%	0.08%	0.08%	0.13%	0.04%
SAN JUAN DE LURIGANCHO	MILARDON	0.16%	0.15%	0.14%	0.17%	0.11%	0.13%
SANTA ANITA	SAUCES	0.15%	0.15%	0.12%	0.10%	0.11%	0.34%
LIMA	GARCIA NARANJO	0.15%	0.13%	0.14%	0.12%	0.17%	0.38%
LOS OLIVOS	EULOGIO FERNANDI	0.15%	0.13%	0.05%	0.18%	0.20%	0.04%
SANTIAGO DE SURCO	ATOCONGO	0.15%	0.12%	0.17%	0.08%	0.11%	0.13%
LOS OLIVOS	HIEDRA	0.15%	0.07%	0.08%	0.23%	0.06%	0.08%
SUPE PUERTO	SUPE	0.15%	0.07%	0.00%	0.10%	0.06%	0.00%
SANTA ANITA	CHANCAS	0.15%	0.10%	0.06%	0.11%	0.09%	0.04%
AUCALLAMA	DIENTE	0.15%	0.02%	0.01%	0.11%	0.10%	0.10%
ATE - VITARTE	SANTA CLARA	0.15%	0.26%	0.15%	0.10%	0.16%	0.10%
SAN JUAN DE MIRAFLORES	SAN JUAN	0.14%	0.06%	0.11%	0.13%	0.13%	0.18%
SANISIDRO	CORPAC	0.14%	0.00%	0.00%	0.09%	0.00%	0.00%
SAN JUAN DE MIRAFLORES	JARAMILLO	0.14%	0.07%	0.14%	0.08%	0.15%	0.20%
VILLA MARIA DEL TRIUNFO	CONCHITAS	0.14%	0.16%	0.21%	0.15%	0.15%	0.13%
LURIGANCHO (CHOSICA)	PLANTA GLORIA	0.14%	0.12%	0.10%	0.08%	0.11%	0.09%
VILLA EL SALVADOR	VILLA EL SALVADOR	0.14%	0.15%	0.29%	0.08%	0.11%	0.21%
CALLAO	MINCA	0.13%	0.10%	0.00%	0.13%	0.19%	0.00%
LIMA	AV. ABANCAY	0.13%	0.17%	0.18%	0.07%	0.33%	0.12%
LIMA	JUSTICIA	0.13%	0.13%	0.05%	0.25%	0.10%	0.15%
SAN JUAN DE LURIGANCHO	CHINU	0.13%	0.10%	0.08%	0.14%	0.10%	0.15%
LURIN	PACHACAMAC	0.13%	0.07%	0.09%	0.12%	0.05%	0.06%
VENTANILLA	LOS PERROS	0.13%	0.18%	0.14%	0.08%	0.14%	0.09%
HUACHO	HUACHO	0.13%	0.13%	0.24%	0.10%	0.08%	0.19%
BREDA	CHAMAYA	0.13%	0.04%	0.05%	0.05%	0.02%	0.03%
LA VICTORIA	VICTORIA	0.13%	0.15%	0.08%	0.10%	0.09%	0.05%
LIMA	CAPECO	0.13%	0.09%	0.16%	0.29%	0.15%	0.12%
BELLA VISTA	URA SAN JOSE	0.13%	0.11%	0.12%	0.07%	0.22%	0.14%
CALLAO	SANTAROSA	0.13%	0.09%	0.03%	0.11%	0.11%	0.02%
CHORRILLOS	RICHARDSON	0.13%	0.04%	0.09%	0.08%	0.02%	0.06%
LA VICTORIA	CERYELLI	0.13%	0.13%	0.05%	0.13%	0.20%	0.19%
LURIGANCHO (CHOSICA)	HUACHIPA	0.13%	0.14%	0.13%	0.15%	0.09%	0.09%
LIMA	PIEROLA	0.12%	0.16%	0.05%	0.24%	0.11%	0.02%
SAN LUIS	LANDA	0.12%	0.11%	0.10%	0.06%	0.05%	0.09%
LIMA	PARURO	0.12%	0.07%	0.09%	0.09%	0.08%	0.06%
CALLAO	AERO OVALO	0.12%	0.09%	0.08%	0.07%	0.05%	0.04%
SAN JUAN DE LURIGANCHO	ZARATE	0.12%	0.08%	0.14%	0.19%	0.13%	0.14%
SAN MIGUEL	SAN MIGUEL	0.12%	0.14%	0.16%	0.06%	0.13%	0.08%
CHANCAY	CHANCAY	0.12%	0.03%	0.05%	0.09%	0.02%	0.03%
CALLAO	CARABAYLLO	0.12%	0.19%	0.20%	0.09%	0.14%	0.14%
LA VICTORIA	TAHUANTINSUYO	0.12%	0.14%	0.08%	0.09%	0.11%	0.06%
OS	ESCUELA	0.12%	0.14%	0.13%	0.05%	0.15%	0.06%
ATE - VITARTE	CARAFONGO	0.12%	0.20%	0.25%	0.08%	0.14%	0.14%
LIMA	BEATRIZ	0.12%	0.08%	0.21%	0.06%	0.04%	0.09%
SAN MIGUEL	SABINA	0.12%	0.14%	0.05%	0.10%	0.15%	0.07%
LA VICTORIA	3 DE FEBRERO	0.12%	0.10%	0.05%	0.08%	0.07%	0.03%
ATE - VITARTE	FONATANAR	0.12%	0.05%	0.07%	0.20%	0.03%	0.05%

Con estos valores de índices de tráfico en la hora más cargada podemos calcular el tráfico requerido en cada sector para llegar a cursar 60 mil Erlang en toda la red y el hardware necesario para poder cursar los tráficos de voz, señalización y datos.

El throughput donwlink requerido para el diseño es de 236.8Kbits/s, por lo tanto como lo visto en capítulos anteriores es necesario 4 time slot fijos de datos para poder alcanzar esta velocidad en EDGE, el cual en todo los sectores de la red se asignará 4 time slot.

En la Tabla 3.9 se muestra la Configuración típica de los tipos de canales lógicos que se requieren para ofrecer el servicio de voz y datos.

Tabla 3.9 Tipo de canales de un sector

	TRX	TS 0	TS 1	TS 2	TS 3	TS 4	TS 5	TS 6	TS 3
SECTOR	TRX 0	BCCH	SDCCH	SDCCH	TCH	TCH	TCH	PDTCH	PDTCH
	TRX 1	SDCCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	PDTCH	PDTCH
	TRX 2	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
	TRX 3	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
	TRX 4	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH
	TRX 4	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH	TCH

Como se muestra en la Tabla 3.9 se usan 8 time slot por cada TRX. Una llamada de voz pueden usar 1 time slot físico en Full Rate o 2 llamadas en un time slot físico en Half Rate. Pero ello implica disminuir la calidad como se muestra en la Figura 3.7, es por ello que el operador indica un 30% de Full Rate en toda la red.

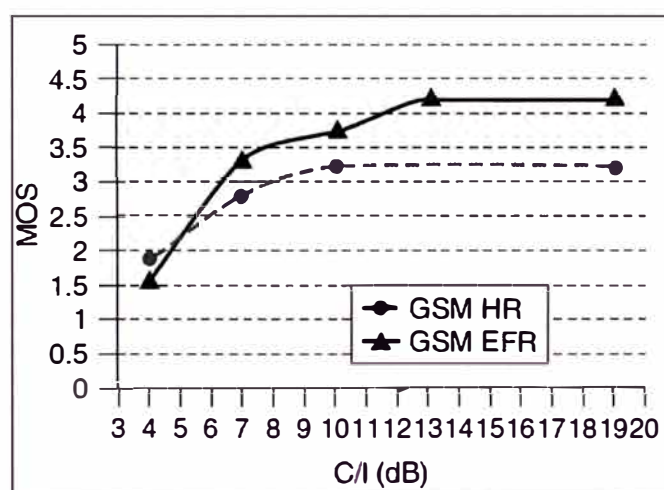


Figura 3.7 MOS (Mean Opinion Score) y Half / Full Rate

En la siguiente parte calcularemos los canales necesarios para cada tráfico de voz y señalización mediante la siguiente fórmula de Erlang B:

$$\#Canal = ErlangBchannel(Trafico, GoS) \dots\dots\dots (3.2)$$

Donde **#canal** viene a ser los canales requerido para poder manejar el **Tráfico** a un GoS del 2% para tráfico de Voz y 1% para el tráfico de señalización. En la Tabla 3.10 se muestra los diferentes valores de tráfico para diferentes canales.

Tabla 3.10 Tipo de canales de un sector

#canales	TRAFICO	
	Voz GoS al 2%	Señalización GoS al 1%
1	0.020	0.010
2	0.223	0.152
3	0.602	0.455
4	1.092	0.869
5	1.657	1.360
6	2.276	1.909
7	2.935	2.500
8	3.627	3.127
9	4.345	3.782
10	5.083	4.461
11	5.841	5.160
12	6.615	5.875
13	7.401	6.607
14	8.200	7.351
15	9.009	8.108
16	9.828	8.875
17	10.656	9.651
18	11.491	10.436
19	12.333	11.230
20	13.181	12.030
21	14.036	12.837
22	14.896	13.651
23	15.760	14.470
24	16.630	15.295
25	17.505	16.124
26	18.383	16.959
27	19.265	17.797
28	20.150	18.640
29	21.039	19.487
30	21.931	20.337

Considerando los parámetros iniciales del operador como el porcentaje de uso de tráfico Dual Band 850/1900 y que el 16 % de tráfico de voz representa el tráfico de la señalización. Según lo mencionado con el índice de tráfico en los sectores de la red y los

porcentajes dual 850/1900 mostramos el cálculo de una parte de las BTS usando la fórmula Erlang B para calcular los canales requeridos de voz para cada sector 850/1900.

Tabla 3.11 Tráfico de Voz y canales requeridos.

SITIO	Tráfico por sector			TRAFICO DE VOZ 60% 850 y 40% 1900						CANALES REQUERIDOS DE VOZ					
	S1	S2	S3	850			1900			850			1900		
				S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
PORRAS	186.7	69.6	103.8	74.7	27.9	41.5	112.0	41.8	62.3	87	37	52	125	52	74
URA_BARRANCA	167.7	53.2	58.0	67.1	21.3	23.2	100.6	31.9	34.8	79	30	32	113	42	45
NEGRITOS	162.9	102.7	25.7	65.1	41.1	10.3	97.7	61.6	15.4	77	51	17	111	73	23
VILLAMARIA	162.7	123.9	81.7	65.1	49.6	32.7	97.6	74.4	49.0	77	60	42	110	86	60
SAN_PABLO	155.7	31.3	51.4	62.3	12.5	20.6	93.4	18.8	30.9	74	20	29	106	27	40
HUARAL	154.9	140.3	145.2	62.0	56.1	58.1	93.0	84.2	87.1	73	67	69	106	97	100
MANZANOS	133.3	80.1	43.6	53.3	32.0	17.4	80.0	48.0	26.2	64	42	25	92	59	35
KM14_SUR	133.0	66.3	119.1	53.2	26.5	47.6	79.8	39.8	71.5	64	36	58	92	50	83
INGENIERIA	127.3	87.5	113.2	50.9	35.0	45.3	76.4	52.5	67.9	62	45	56	88	64	80
RIMAC	123.7	73.7	116.0	49.5	29.5	46.4	74.2	44.2	69.6	60	39	57	86	55	81
FLORES	122.6	112.6	98.3	49.0	45.0	39.3	73.5	67.6	59.0	60	56	49	86	79	70
IPSS	121.3	62.5	47.4	48.5	25.0	18.9	72.8	37.5	28.4	59	34	27	85	48	38
CERRON_VELA	120.2	90.9	53.8	48.1	36.4	21.5	72.1	54.5	32.3	59	46	30	84	66	42
FORTALEZA	118.3	63.7	69.3	47.3	25.5	27.7	71.0	38.2	41.6	58	34	37	83	48	52
ZAPALLAL	117.5	63.2	74.7	47.0	25.3	29.9	70.5	37.9	44.8	58	34	39	82	48	55
DANSEY	112.8	87.0	49.3	45.1	34.8	19.7	67.7	52.2	29.6	56	45	28	79	63	39
CHOFILLOS	112.7	61.3	60.6	45.1	24.5	24.2	67.6	36.8	36.4	56	33	33	79	47	46
REYNOSO	108.1	85.6	79.2	43.2	34.2	31.7	64.9	51.3	47.5	54	44	41	77	62	58
URA_HUAYCAN	105.5	52.4	65.8	42.2	21.0	26.3	63.3	31.4	39.5	53	29	35	75	41	50
CHOQUE	101.1	159.0	141.9	40.4	63.6	56.7	60.7	95.4	85.1	51	75	68	72	108	98
PTE_NUEVO	100.8	20.5	39.7	40.3	8.2	15.9	60.5	12.3	23.8	51	14	24	72	19	33
CACERES	100.4	101.5	80.2	40.2	40.6	32.1	60.2	60.9	48.1	50	51	42	72	72	59
PRDLMA	99.7	28.8	69.5	39.9	11.5	27.8	59.8	17.3	41.7	50	19	37	71	25	52
STA_ANITA	98.8	50.4	58.2	39.5	20.1	23.3	59.3	30.2	34.9	50	28	32	71	40	45
MOVLIN	98.3	38.4	59.0	39.3	15.4	22.0	59.0	23.1	33.0	50	23	31	70	32	43
GUZMAN	97.7	79.9	71.0	39.1	32.0	28.4	58.6	48.0	42.6	49	42	38	70	59	53
WASHINGTON	97.5	91.9	72.9	39.0	36.8	23.1	58.5	55.2	43.7	49	47	38	70	66	54
LIBERTAD	97.3	99.1	104.2	38.9	39.6	41.7	58.4	59.5	62.5	49	50	52	70	71	74
DUENAS	97.2	73.4	55.1	38.9	29.4	22.1	58.3	44.0	33.1	49	39	31	70	55	43
PRO	96.5	120.8	119.3	38.6	48.3	47.3	57.9	72.5	71.0	49	59	58	69	84	83
ANCON	94.9	27.9	0.0	38.0	11.2	0.0	56.9	16.8	0.0	48	18	0	68	25	0
URA_IMPERIAL	94.8	249.7	71.5	37.9	99.9	28.6	56.9	119.8	42.9	48	113	38	68	164	53
PRADO	94.7	50.3	61.8	37.9	20.1	24.7	56.8	30.2	37.1	48	28	34	68	40	47
VINAS	94.2	59.6	90.4	37.7	23.8	36.2	56.5	35.8	54.2	48	33	46	68	46	65

Tabla 3.12 Tráfico de Señalización y canales requeridos.

CELL_NAME	Tráfico por sector			TRAFICO SEÑALIZACIÓN 40% 850 y 60% 1900						CANALES REQUERIDOS DE SEÑALIZACIÓN					
	S1	S2	S3	850			1900			850			1900		
				S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
3_DE_FEBRERO	7.2	7.0	2.5	2.9	2.8	1.0	4.3	4.2	1.5	8	8	5	10	10	6
7_DE_MAYO	10.3	14.1	16.1	4.1	5.6	6.4	6.2	8.5	9.7	10	12	13	13	16	18
AL_GAMARRA	4.3	12.7	9.8	1.7	5.1	3.9	2.6	7.6	5.9	6	11	10	8	15	13
AERO_OVALO	6.3	4.8	3.9	2.5	1.9	1.5	3.8	2.9	2.3	8	6	6	10	8	7
AEROCARGA	2.4	7.3	4.9	1.0	2.9	2.0	1.5	4.4	3.0	5	8	7	6	10	8
AEROLAP	2.7	0.1	3.4	1.1	0.1	1.4	1.6	0.1	2.0	5	2	5	6	2	7
ALBORADA	5.2	4.0	2.0	2.1	1.6	0.8	3.1	2.4	1.2	7	6	4	9	7	5
ALBUFERA	0.9	0.5	2.9	0.4	0.2	1.2	0.5	0.3	1.8	3	3	5	4	3	6
ALCANTARA	8.8	7.8	16.1	3.5	3.1	6.4	5.3	4.7	9.6	9	9	13	12	11	17
ALIANZA	9.0	9.4	3.7	3.6	3.8	1.5	5.4	5.6	2.2	9	9	6	12	12	7
ALTIPLANO	5.4	12.9	5.9	2.2	5.2	2.3	3.2	7.8	3.5	7	12	7	9	15	9
AMERICAS	2.4	5.4	3.2	0.9	2.1	1.3	1.4	3.2	1.9	5	7	5	6	9	7
ANCON	12.6	3.8	0.0	5.0	1.5	0.0	7.5	2.3	0.0	11	6	0	15	7	0
ANGEL	11.9	1.8	11.3	4.8	0.7	4.5	7.2	1.1	6.8	11	4	11	14	5	14
APARICIO	0.7	0.6	1.0	0.3	0.2	0.4	0.4	0.4	0.6	3	3	3	3	3	4
ARAMBURU	5.0	1.6	8.4	2.0	0.6	3.4	3.0	0.9	5.1	7	4	9	8	5	11
ARONA	0.9	0.9	0.4	0.3	0.4	0.2	0.5	0.6	0.3	3	3	3	4	4	3
ARRIOLA	12.0	1.9	5.9	4.8	0.7	2.4	7.2	1.1	3.6	11	4	7	14	5	9
ARTES	3.6	2.0	3.2	1.4	0.8	1.3	2.2	1.2	1.9	6	4	5	7	5	7
ASBESTOS	8.9	6.3	5.2	3.6	2.5	2.1	5.3	3.8	3.1	9	8	7	12	9	8
ASIA	1.1	1.0	0.8	0.4	0.4	0.3	0.7	0.6	0.5	3	3	3	4	4	4
ATENTO	4.5	5.4	0.0	1.8	2.2	0.0	2.7	3.2	0.0	6	7	0	8	9	0
ATOCONGO	7.5	10.1	12.5	3.0	4.0	5.0	4.5	6.1	7.5	8	10	11	11	13	15
AURORA	17.8	9.3	8.4	7.1	3.7	3.4	10.7	5.6	5.0	14	9	9	19	12	11
AV_ABANCAY	6.4	32.1	11.1	2.6	12.8	4.4	3.8	19.2	6.7	8	21	10	10	29	14
AV_IQUITOS	8.4	5.9	5.1	3.4	2.4	2.0	5.1	3.6	3.0	9	7	7	11	9	8
B_ALTOS	9.9	17.6	8.5	4.0	7.0	3.4	6.0	10.5	5.1	10	14	9	13	19	11
BACKUS	3.4	16.1	9.3	1.3	6.5	3.7	2.0	9.7	5.6	5	13	9	7	18	12
BALSAMO	5.0	4.7	1.9	2.0	1.9	0.7	3.0	2.8	1.1	7	6	4	8	8	5
BARRANCA	4.8	1.9	13.3	1.9	0.7	5.3	2.9	1.1	8.0	6	4	12	8	5	15
BARRANCO	0.8	3.0	6.8	0.3	1.2	2.7	0.5	1.8	4.1	3	5	8	4	6	10
BASE_NAVAL_CALL	5.4	1.6	0.0	2.2	0.6	0.0	3.3	1.0	0.0	7	4	0	9	5	0
BATALLON_CALLAO	0.8	5.1	0.5	0.3	2.1	0.2	0.5	3.1	0.3	3	7	3	4	8	3
BEATRIZ	5.8	3.6	8.2	2.3	1.4	3.3	3.5	2.2	4.9	7	6	9	9	7	11

En la Tabla 3.12 se muestra el tráfico de señalización en los sectores dual band de la red. Con esta información de canales requeridos, podemos calcular el uso de canales en Full Rate y Hal Rate en cada sector.

Cuando usamos el uso de canales de Full Rate y Half Rate para el cálculo de los TRX de una BTS entonces hacemos lo siguiente:

$$1 \text{ TRX} = 8 \text{ Canales de Time Slot} \dots\dots\dots (3.3)$$

Y según lo indicado anteriormente usaremos 70% de Half Rate y 30% de Full Rate por lo tanto la fórmula a calcular la cantidad de canales de Time Slot sería de la siguiente forma:

$$1 \text{ TRX} = 8 * \frac{\%FullRate}{30\%*1} + 8 * \frac{\%HalfRate}{70\%*2} \dots\dots\dots (3.4)$$

$$1 \text{ TRX} = 8 * 30\% * 1 + 8 * 70\% * 2 \dots\dots\dots (3.5)$$

Teniendo para nuestro porcentaje de Half Rate a 70% lo siguiente:

$$1 \text{ TRX} = 14 \text{ Canales de Time Slot} \dots\dots\dots (3.6)$$

Por lo tanto los Time slot necesario para cursar el tráfico de voz y señalización requeridos son los que se muestran en las Tablas 3.13 y 3.14

Tabla 3.13 Time Slot de Voz al 70% HR en 1900, 100% HR en 850

SITIO	CANALES REQUERIDOS DE VOZ						TIME SLOT REQUERIDOS DE VOZ					
	850			1900			850 al 100% de Half Rate			1900 al 70% de Half Rate		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
PORRAS	87	37	52	125	52	74	44	19	26	82	34	49
URA_BARRANCA	79	30	32	113	42	45	40	15	16	74	28	30
NEGRITOS	77	51	17	111	73	23	39	26	9	73	48	15
VILLAMARIA	77	60	42	110	86	60	39	30	21	72	56	39
SAN_PABLO	74	20	29	106	27	40	37	10	15	69	18	26
HUARAL	73	67	69	106	97	100	37	34	35	69	64	65
MANZANOS	64	42	25	92	59	35	32	21	13	60	39	23
KM14_SUR	64	36	58	92	50	83	32	18	29	60	33	54
INGENIERIA	62	45	56	88	64	80	31	23	28	58	42	52
RIMAC	60	39	57	86	55	81	30	20	29	56	36	53
FLORES	60	56	49	86	79	70	30	28	25	56	52	46
IPSS	59	34	27	85	48	38	30	17	14	56	32	25
CERRO_VELA	59	46	30	84	66	42	30	23	15	55	43	28
FORTALEZA	58	34	37	83	48	52	29	17	19	54	32	34
ZAPALLAL	58	34	39	82	48	55	29	17	20	54	32	36
DANSEY	56	45	28	79	63	39	28	23	14	52	41	26
CHORRILLOS	56	33	33	79	47	46	28	17	17	52	31	30
REYNOSO	54	44	41	77	62	58	27	22	21	51	41	38
URA_HUAYCAN	53	29	35	75	41	50	27	15	18	49	27	33
CHOQUE	51	75	68	72	108	98	26	38	34	47	71	64
PTE_NUEVO	51	14	24	72	19	33	26	7	12	47	13	22
CACERES	50	51	42	72	72	59	25	26	21	47	47	39
PROLIMA	50	19	37	71	25	52	25	10	19	47	17	34
STA_ANITA	50	28	32	71	40	45	25	14	16	47	26	30
MOVILINE	50	23	31	70	32	43	25	12	16	46	21	28
GUZMAN	49	42	38	70	59	53	25	21	19	46	39	35
WASHINGTON	49	47	38	70	66	54	25	24	19	46	43	36
LIBERTAD	49	50	52	70	71	74	25	25	26	46	47	49
DUENAS	49	39	31	70	55	43	25	20	16	46	36	28
PRO	49	59	58	69	84	83	25	30	29	45	55	54
ANCON	48	18	0	68	25	0	24	9	0	45	17	0
URA_IMPERIAL	48	113	38	68	164	53	24	57	19	45	107	35
PRADO	48	28	34	68	40	47	24	14	17	45	26	31
VINAS	48	33	46	68	46	65	24	17	23	45	30	43

Tabla 3.14 Time Slot de Señalización requeridos

CELL_NAME	CANALES REQUERIDOS DE SEÑALIZACION						TIME SLOT REQUERIDOS DE SEÑALIZACION					
	850			1900			850			1900		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
3_DE_FEBRERO	8	8	5	10	10	6	1	1	1	2	2	1
7_DE_MAYO	10	12	13	13	16	18	2	2	2	2	2	3
A_GAMARRA	6	11	10	8	15	13	1	2	2	1	2	2
AERO_OVALO	8	6	6	10	8	7	1	1	1	2	1	1
AEROCARGA	5	8	7	6	10	8	1	1	1	1	2	1
AEROLAP	5	2	5	6	2	7	1	1	1	1	1	1
ALBORADA	7	6	4	9	7	5	1	1	1	2	1	1
ALBUFERA	3	3	5	4	3	6	1	1	1	1	1	1
ALCANTARA	9	9	13	12	11	17	2	2	2	2	2	3
ALIANZA	9	9	6	12	12	7	2	2	1	2	2	1
ALTIPLANO	7	12	7	9	15	9	1	2	1	2	2	2
AMERICAS	5	7	5	6	9	7	1	1	1	1	2	1
ANCON	11	6	0	15	7	0	2	1	0	2	1	0
ANGEL	11	4	11	14	5	14	2	1	2	2	1	2
APARICIO	3	3	3	3	3	4	1	1	1	1	1	1
ARAMBURU	7	4	9	8	5	11	1	1	2	1	1	2
ARONA	3	3	3	4	4	3	1	1	1	1	1	1
ARRIOLA	11	4	7	14	5	9	2	1	1	2	1	2
ARTES	6	4	5	7	5	7	1	1	1	1	1	1
ASBESTOS	9	8	7	12	9	8	2	1	1	2	2	1
ASIA	3	3	3	4	4	4	1	1	1	1	1	1
ATENTO	6	7	0	8	9	0	1	1	0	1	2	0
ATOCONGO	8	10	11	11	13	15	1	2	2	2	2	2
AURORA	14	9	9	19	12	11	2	2	2	3	2	2
AV_ABANCAY	8	21	10	10	29	14	1	3	2	2	4	2
AV_IQUITOS	9	7	7	11	9	8	2	1	1	2	2	1
B_ALTOS	10	14	9	13	19	11	2	2	2	2	3	2
BACKUS	5	13	9	7	18	12	1	2	2	1	3	2
BALSAMO	7	6	4	8	8	5	1	1	1	1	1	1
BARRANCA	6	4	12	8	5	15	1	1	2	1	1	2
BARRANCO	3	5	8	4	6	10	1	1	1	1	1	2
BASE_NAVAL_CALL	7	4	0	9	5	0	1	1	0	2	1	0
BATALLON_CALLAC	3	7	3	4	8	3	1	1	1	1	1	1

Se observa en la Tabla 3.14 que los time slots requeridos varían entre 1 y 2, esto se debe a que 1 canal de SDCCH contiene 8 sub canales.

En resumen como tabla final de requerimiento de hardware tendremos lo siguiente en la Tabla 3.15. Donde además se observa en celdas sobre marcadas que se tienen TRX mayores a 8. Y según la Configuración planificada el máximo TRX por sector es 8 en la banda de 1900 ya que no es posible mayor instalación a causa que ya implicaría un nuevo sector adicional porque a nivel de capacidad de hardware en la celda es limitada. Para el caso de la banda 850 es 4 y esto se debe a causa de la disponibilidad del espectro. Como se mostró anteriormente el hardware es proporcional a la cantidad de canales de frecuencia disponibles.

Por lo tanto para todos los casos donde los sectores superen a 8 TRX en la banda 1900 se considerará un sitio nuevo y para el caso de la banda 850 que superen a 4 TRX serán absorbidos por el co-sector en la banda 1900. Por lo tanto la necesidad de celdas nuevas serán necesarias en todo los sectores que tengan exceso de tráfico o de TRX's.

Las BTS nuevas calculadas serán llamadas BTS por tráfico. Para ello ubicaremos en el mapa para identificar los sectores que exceden en tráfico.

Tabla 3.15 TRX necesarios por sector 850/1900

SITIO	TIME SLOT TOTALES						TRX NECESARIOS					
	850+BCCH Y PDCH			1900+BCCH Y PDCH			850			1900		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
PORRAS	52	25	32	91	41	56	7	4	4	12	6	7
URA_BARRANCA	47	21	22	82	34	37	6	3	3	11	5	5
NEGRITOS	46	33	15	81	55	21	6	5	2	11	7	3
VILLAMARIA	48	38	28	83	65	47	6	5	4	11	9	6
SAN_PABLO	44	16	21	77	24	32	6	2	3	10	3	4
HUARAL	45	41	42	77	72	73	6	6	6	10	9	10
MANZANOS	39	28	19	68	46	29	5	4	3	9	6	4
KM14_SUR	40	25	36	69	40	62	5	4	5	9	5	8
INGENIERIA	38	31	36	66	50	61	5	4	5	9	7	8
RIMAC	38	28	39	65	46	64	5	4	5	9	6	8
FLORES	37	36	32	64	61	53	5	5	4	8	8	7
IPSS	37	23	20	63	39	31	5	3	3	8	5	4
CERRO_VELA	37	30	21	62	50	35	5	4	3	8	7	5
FORTALEZA	36	24	25	62	39	41	5	3	4	8	5	6
ZAPALLAL	36	23	27	62	39	43	5	3	4	8	5	6
DANSEY	36	31	20	61	49	33	5	4	3	8	7	5
CHORRILLOS	35	24	24	59	38	37	5	3	3	8	5	5
REYNOSO	34	29	28	58	48	46	5	4	4	8	6	6
URA_HUAYCAN	34	21	25	56	34	40	5	3	4	7	5	5
CHOQUE	35	46	42	57	79	72	5	6	6	8	10	9
PTE_NUEVO	33	13	20	54	19	31	5	2	3	7	3	4
CACERES	32	33	28	54	55	46	4	5	4	7	7	6
PROLIMA	32	16	27	54	24	43	4	2	4	7	3	6
STA_ANITA	32	20	23	54	33	37	4	3	3	7	5	5
MOVILINE	32	18	22	54	28	34	4	3	3	7	4	5
GUZMAN	33	29	26	55	48	42	5	4	4	7	6	6
WASHINGTON	32	32	27	54	53	44	4	4	4	7	7	6
LIBERTAD	32	32	34	53	54	58	4	4	5	7	7	8
DUENAS	32	27	22	53	43	34	4	4	3	7	6	5
PRO	32	38	38	52	64	64	4	5	5	7	8	8
ANCON	31	15	5	52	23	5	4	2	1	7	3	1
URA_IMPERIAL	31	65	25	53	116	42	4	9	4	7	15	6
PRADO	31	20	24	52	33	38	4	3	3	7	5	5
VINAS	30	23	29	52	36	50	4	3	4	7	5	7

De la misma forma restringimos la capacidad a 4 TRX en la banda 850 y a 8 TRX en la banda de 1900. En la Tabla 3.16 se muestra la cantidad exacta de TRX por BTS.

Tabla 3.16 TRX necesarios por sector 850/1900

SITIO	TRX NECESARIOS						TRX NECESARIOS						CONFIGURACION	
	850			1900			850			1900			850 / 1900	TOTAL
	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3		
PORRAS	7	4	4	12	6	7	4	4	4	8	6	7	444/867	33
URA_BARRANCA	6	3	3	11	5	5	4	3	3	8	5	5	433/855	28
NEGRITOS	6	5	2	11	7	3	4	4	2	8	7	3	442/873	28
VILLAMARIA	6	5	4	11	9	6	4	4	4	8	8	6	444/886	34
SAN_PABLO	6	2	3	10	3	4	4	2	3	8	3	4	423/834	24
HUARAL	6	6	6	10	9	10	4	4	4	8	8	8	444/888	36
MANZANOS	5	4	3	9	6	4	4	4	3	8	6	4	443/864	29
KM14_SUR	5	4	5	9	5	8	4	4	4	8	5	8	444/858	33
INGENIERIA	5	4	5	9	7	8	4	4	4	8	7	8	444/878	35
RIMAC	5	4	5	9	6	8	4	4	4	8	6	8	444/868	34
FLORES	5	5	4	8	8	7	4	4	4	8	8	7	444/887	35
IPSS	5	3	3	8	5	4	4	3	3	8	5	4	433/854	27
CERRO_VELA	5	4	3	8	7	5	4	4	3	8	7	5	443/875	31
FORTALEZA	5	3	4	8	5	6	4	3	4	8	5	6	434/856	30
ZAPALLAL	5	3	4	8	5	6	4	3	4	8	5	6	434/856	30
DANSEY	5	4	3	8	7	5	4	4	3	8	7	5	443/875	31
CHORRILLOS	5	3	3	8	5	5	4	3	3	8	5	5	433/855	28
REYNOSO	5	4	4	8	6	6	4	4	4	8	6	6	444/866	32
URA_HUAYCAN	5	3	4	7	5	5	4	3	4	7	5	5	434/755	28
CHOQUE	5	6	6	8	10	9	4	4	4	8	8	8	444/888	36
PTE_NUEVO	5	2	3	7	3	4	4	2	3	7	3	4	423/734	23
CACERES	4	5	4	7	7	6	4	4	4	7	7	6	444/776	32
PROLIMA	4	2	4	7	3	6	4	2	4	7	3	6	424/736	26
STA_ANITA	4	3	3	7	5	5	4	3	3	7	5	5	433/755	27
MOVILINE	4	3	3	7	4	5	4	3	3	7	4	5	433/745	26
GUZMAN	5	4	4	7	6	6	4	4	4	7	6	6	444/766	31
WASHINGTON	4	4	4	7	7	6	4	4	4	7	7	6	444/776	32
LIBERTAD	4	4	5	7	7	8	4	4	4	7	7	8	444/778	34
DUENAS	4	4	3	7	6	5	4	4	3	7	6	5	443/765	29
PRO	4	5	5	7	8	8	4	4	4	7	8	8	444/788	35
ANCON	4	2	0	7	3	0	4	2	0	7	3	0	420/730	16
URA_IMPERIAL	4	9	4	7	15	6	4	4	4	7	8	6	444/786	33
PRADO	4	3	3	7	5	5	4	3	3	7	5	5	433/755	27
VINAS	4	3	4	7	5	7	4	3	4	7	5	7	434/757	30

Para el caso de las BTS nuevas se requiere poner las celdas en mapa y observar geográficamente que la zona requiere una celda nueva ya que en la banda 850 solo es posible instalar 4TRX's y en la banda 1900 solo es posible 8 TRX's, en las Figuras 3.8, 3.9, 3.10, 3.11 se muestran las BTS adicional que se requieren por tráfico.

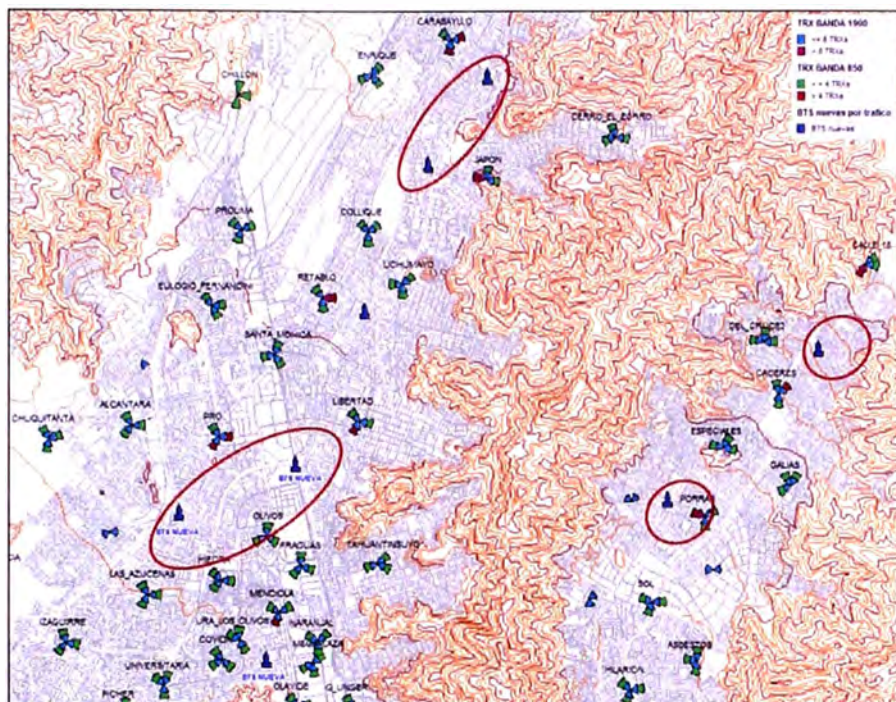


Figura 3.8 BTS nuevas por tráfico, con norte

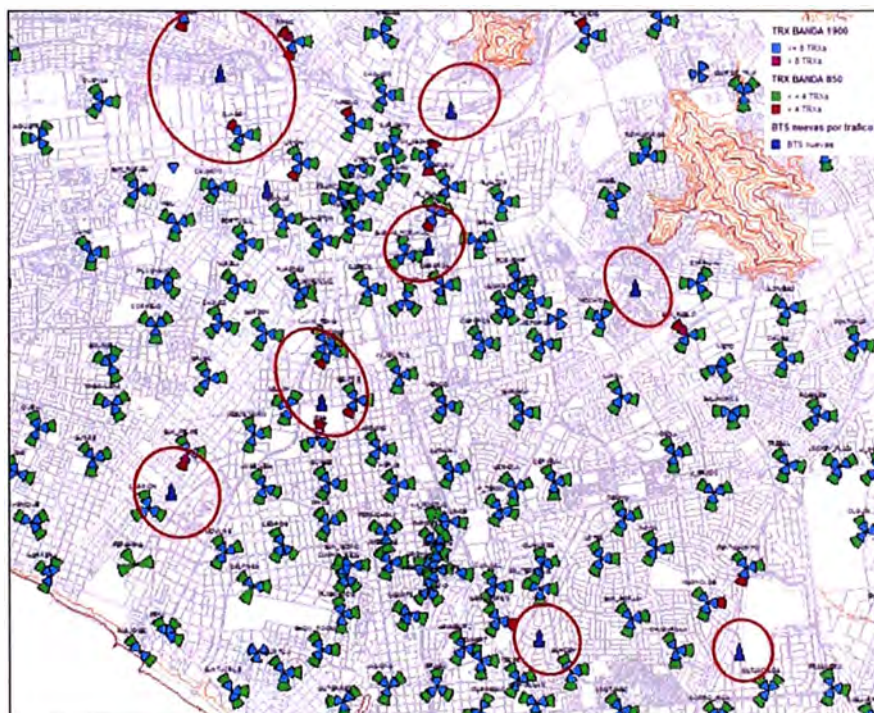


Figura 3.9 BTS nuevas por tráfico, zona core

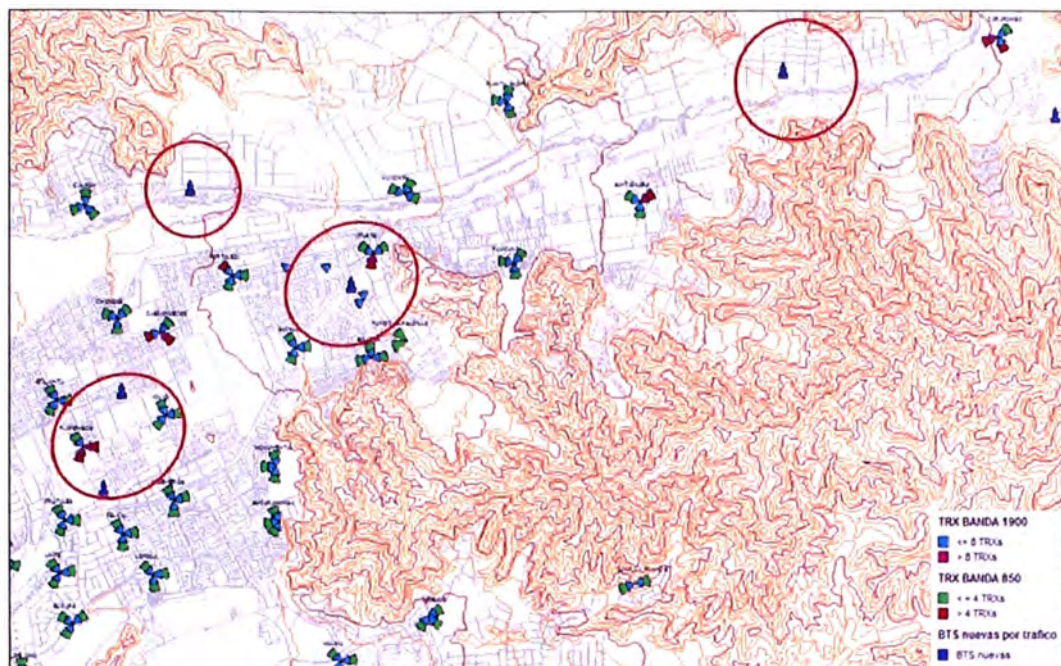


Figura 3.10 BTS nuevas por tráfico, zona este

En la Figura 3.11. Se muestra las celdas nuevas que serán propuestos a causa del alto tráfico cursado en la zona geográfica ya que los sectores existentes no pueden manejar el tráfico predicho.

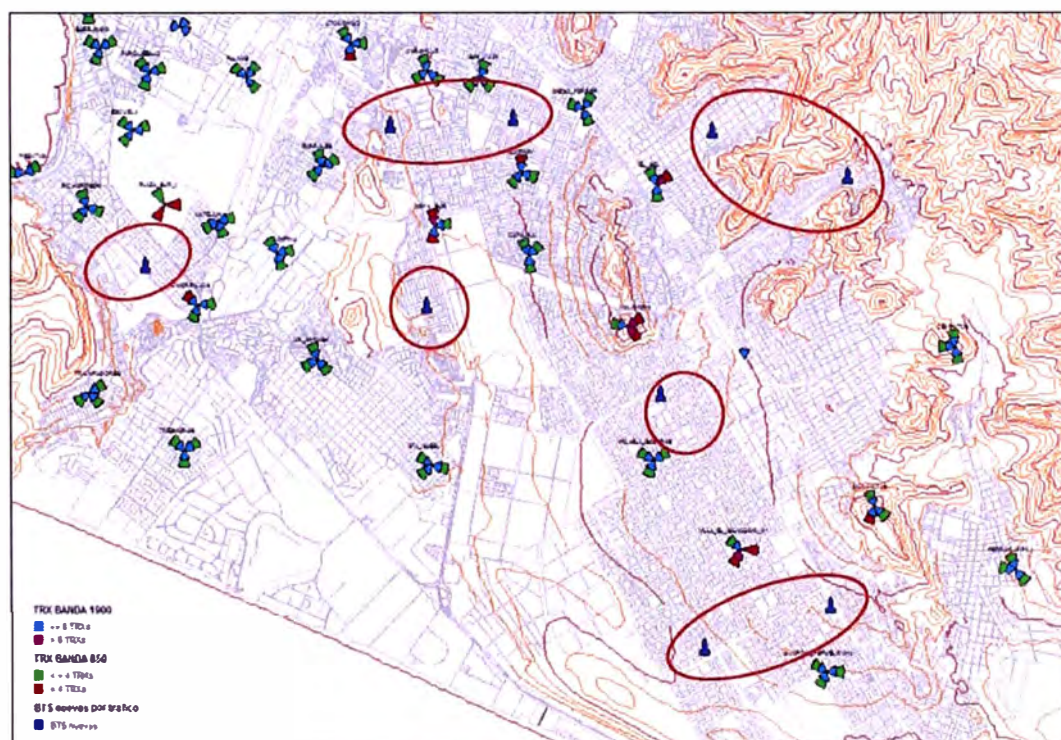


Figura 3.11 BTS nuevas por tráfico, zona sur

En resumen en la Tabla 3.17 se muestra el resumen final de toda la cantidad de TRX y sectores requeridos para cursar 60 mil Erlang. En las BTS nuevas se consideraran en las 2 bandas 850/1900 con configuración que variaran de acuerdo al tráfico de la zona.

Tabla 3.17 TRX y celdas requeridas

BTS	SECTORES	TRX	TIPO
440	2370	9009	COBERTURA Y TRAFICO
47	282	1128	TRAFICO
487	2652	10137	TOTAL

3.2.2 BSC requeridas

Del procedimiento anterior llegamos a obtener el resultado anteriormente mencionado. Con los cuales podemos realizar el cálculo de BSC's requeridas para cursar los 60 mil Erlang. Para ello necesitamos los siguientes parámetros de entrada que son los siguientes.

- total #BTSs,
- total #TRXs
- total #sectores
- total tráfico a cursar

Con lo calculado anteriormente tenemos lo siguiente mostrado en la Tabla 3.18

Tabla 3.18 Cantidad de hardware

HARDWARE	CANTIDAD
BTS	487
SECTORES	2652
TRX	10137
TRAFICO	60000

Para calcular la cantidad mínima cantidad de BSCs podemos ver en la siguiente fórmula.

$$\min N_{BSC} = \max \left\{ \left\lceil \frac{N_{cell,region}}{\max N_{cell,BSC}} \right\rceil ; \left\lceil \frac{N_{BTSE,region}}{\max N_{BTSE,BSC}} \right\rceil ; \left\lceil \frac{N_{TRX,region}}{\max N_{TRX,BSC}} \right\rceil ; \left\lceil \frac{Erl_{region}}{\max Erl_{BSC}} \right\rceil \dots \right\} \dots (3.7)$$

Donde

- $N_{cell,region}$: numero de sectores en una zona geográfica, nuestro caso es 2652.

- $N_{BTSE,region}$: numero de BTS en una zona geográfica, nuestro caso es 487.
- $N_{TRX,region}$: numero de sectores en una zona geográfica, nuestro caso es 10137.
- Erl_{region} : en nuestro caso es 60 mil Erlang.

Teniendo eso como referencia tenemos lo siguiente.

$$\min BSC = \max \left[\frac{2652 \cdot 487}{400 \cdot 200}, \frac{10137}{900}, \frac{60000}{80\% \times 4800} \right] \dots\dots\dots (3.8)$$

Por lo tanto la cantidad mínima de BSC al 80% de carga según las recomendaciones del fabricante obtendremos 16 BSC.

Los valores máximos lo sacamos de las especificaciones técnicas de la BSC SIEMES mostrados en la Tabla 3.19 siguiente.

Tabla 3.19 Especificaciones técnicas de la BSC SIEMENS

	BR6.0	BR7.0
# LAPD channels/BSC	240	240
# BTS sites	200	200
# interface (Abis + Asub + Gb)	72	120
# TRX/BSC max	500	900
# cells/BSC max	250	400
switched capacity. [Erl.]	3500	5200
process capacity. [Erl.]	3200	4800
# PDTCH max.	1536	3072
# CSS7-links/BSC max.	8	16
# O&M links/BSC max. 64kbit/s	(1+1)	(1+1)

3.2.2.1 Configuración BTS-BSC

En este capítulo detallaremos las BTS asociadas a los BSC. Como se vio en los capítulos anteriores existen diferentes tipo de conexiones entras las BTS hacia la BSC. Por su uso común y fácil de Configuración optaremos con la Configuración punto a punto como se muestra en la Figura 3.12.

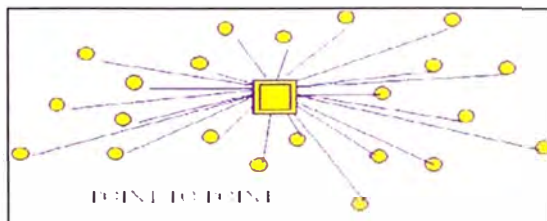


Figura 3.12 Punto a punto BTS - BSC

Para determinar las localizaciones geográficas entre BSC, es recomendable el uso y análisis de actividad de transito como las vías principales de alto tráfico vehicular y los conglomerados centros comerciales. De esa manera se tendrá un mínimo de actividad entre las fronteras de las BSCs. En la Figura 3.13 se muestra la distribución geográfica de todo las BSC en la ciudad de Lima.

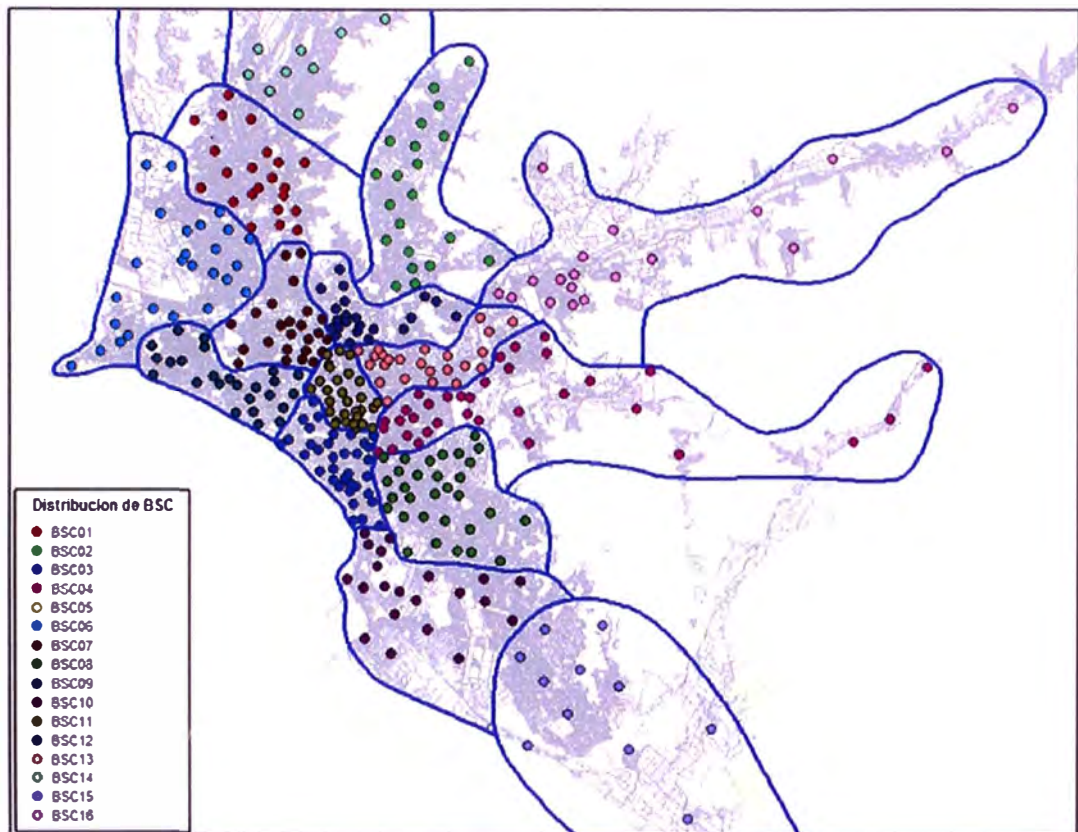


Figura. 3.13 Distribución de BSC en la ciudad de Lima

3.2.3 Dimensionamiento de la interfaz Abis

En esta etapa calcularemos los números de enlaces de la interfaz Abis requeridos para cada estación base de toda la red. Estas interfaces podrán soportar todo el tráfico de voz, señalización y de datos de la celda.

Con lo calculado anteriormente, con los canales o time slot requeridos para cada celda, se calculará la cantidad de enlaces necesarios.

Por lo general estos enlaces están realizados por enlaces de microonda. Estos enlaces están formados por enlaces PCM's de 2Mbits/s. En las zonas rurales esta interfaz es realizada por enlaces satelitales, para nuestro diseño no consideraremos este análisis.

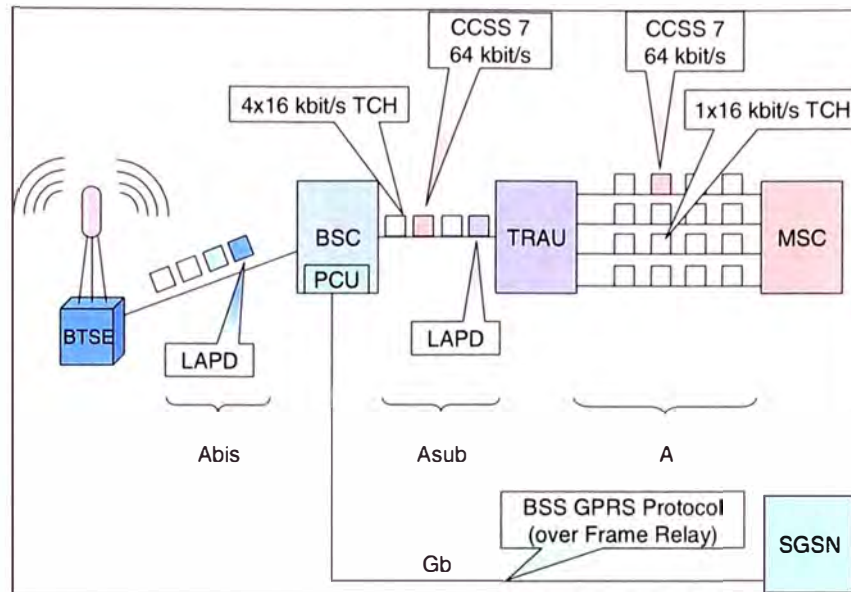


Figura. 3.14 Interfaces de la red GSM

En la Figura 3.14 se observa las interfaces que nos faltan calcular. En el transcurso de este capítulo analizaremos la interfaz Abis.

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				

Figura 3.15 Time Slot de la interfaz Abis.

Como observamos en la Figura 3.15 el **Time Slot 0** se encuentra FAS/NFAS es el time slot de sincronismo del link. Cada time slot es de 64Kbit/s. También se muestra un

time slot de señalización y O&M (**Operación y Mantenimiento**). También se muestra Air 0, Air 1, Air 2, Air 3, Air 4, Air 5, Air 6, Air 7, son los canales de voz y datos de 16Kbits/s donde dependiendo la Configuración de las BTS se asignaran en la interfaz Abis.

Como observamos en la Figura 3.15 se tiene lo siguiente.

$$2 \text{ Time Slot de Abis} = 8 \text{ Time Slot de radio} = 1 \text{ TRX de radio} \dots\dots\dots (3.9)$$

Para el caso de datos, en la Figura 3.16 se muestra el uso time slot de los esquemas de codificación en GPRS / EDGE. Como diseño se consideró 4 TS con 59200Kbits/s. Y como se muestra el Figura 3.16 el uso de MCS-9 implica 5 sub time slot de Abis, 1 sub time slot fijo y un grupo de 4 sub time slot a los que se les llama esclavos.

Coding Scheme	Bit rate (bps)	Abis PCM allocation (fixed + pool)
CS-1	8,000	■ □□□
CS-2	12,000	■ ■□□
CS-3	14,400	■ ■□□
CS-4	20,000	■ ■□□
MCS-1	8,800	■ □□□
MCS-2	11,200	■ ■□□
MCS-3	14,800	■ ■□□
MCS-4	17,600	■ ■□□
MCS-5	22,400	■ ■□□
MCS-6	29,600	■ ■□□
MCS-7	44,800	■ ■□□
MCS-8	54,400	■ ■□□
MCS-9	59,200	■ ■□□

} Slave Groups

Figura 3.16 Sub Time Slot para los esquemas de codificación en Abis

Considerando los 4 sub time slot por cada **PDTCH (Packet data Traffic Channel)** de radio, entonces se tendrá 5 time slot de 64Kbits/s de Abis por cada site.

Entonces tendremos lo siguiente para una BTS cuya Configuración de radio sea 444/888 con el uso de MCS-9 que involucra 5 time slot de Abis lo que se muestra en el siguiente cálculo:

$$\begin{aligned} \text{Configuracion } 444/888 &= 36 \text{ TRX} = [36 * 2 + 5] \text{Time Slot} \\ &= 77 \text{ Time Slot de Abis} = \frac{77}{30} = 2.6E1_s = 3E1_s \dots\dots\dots (3.10) \end{aligned}$$

Con el resultado de la Tabla 3.16 calcularemos de la misma forma mencionada anteriormente la cantidad de EI's requerida. Además cabe mencionar que por cada EI requerido se requiere un 1 time de señalización el cual es llamado LAPD. En la Tabla 3.20 se muestra el resumen de los EI's requeridos.

Tabla 3.20 EI y LAP-D requeridos en cada BSC

BSC_NUMBER	EI requeridos	LAP-D requeridos
BSC01	55	55
BSC02	59	59
BSC03	71	71
BSC04	70	70
BSC05	64	64
BSC06	54	54
BSC07	60	60
BSC08	63	63
BSC09	56	56
BSC10	60	60
BSC11	66	66
BSC12	54	54
BSC13	56	56
BSC14	55	55
BSC15	78	78
BSC16	61	61

3.2.4 Dimensionamiento de la interfaz A sub y A

A sub es la interfaz entre la BSC y la TRAU como se muestra en la Figura 3.14. Esta etapa es una interfaz propietaria y posee canales de tráfico de 16Kbps y aquí se encuentran los canales de señalización CCS7 de 64Kbps, la distribución se aprecia en la Tabla 3.21

Tabla 3.21 Distribución de Time Slot en Interfaz A sub

TS	0	1	2	3
0	FIXED CCITT FRAME DATA			
1	TCH 1	TCH 2	TCH 3	TCH 4
2	TCH 5	TCH 6	TCH 7	TCH 8
3	TCH 9	TCH 10	TCH 11	TCH 12
4	TCH 13	TCH 14	TCH 15	TCH 16
5	TCH 17	TCH 18	TCH 19	TCH 20
6	TCH 21	TCH 22	TCH 23	TCH 24
7	TCH 25	TCH 26	TCH 27	TCH 28
8	TCH 29	TCH 30	TCH 31	TCH 32
9	TCH 33	TCH 34	TCH 35	TCH 36
10	TCH 37	TCH 38	TCH 39	TCH 40
11	TCH 41	TCH 42	TCH 43	TCH 44
12	TCH 45	TCH 46	TCH 47	TCH 48
13	TCH 49	TCH 50	TCH 51	TCH 52
14	TCH 53	TCH 54	TCH 55	TCH 56
15	TCH 57	TCH 58	TCH 59	TCH 60
16	TCH 61	TCH 62	TCH 63	TCH 64
17	TCH 65	TCH 66	TCH 67	TCH 68
18	TCH 69	TCH 70	TCH 71	TCH 72
19	TCH 73	TCH 74	TCH 75	TCH 76
20	TCH 77	TCH 78	TCH 79	TCH 80
21	TCH 81	TCH 82	TCH 83	TCH 84
22	TCH 85	TCH 86	TCH 87	TCH 88
23	TCH 89	TCH 90	TCH 91	TCH 92
24	TCH 93	TCH 94	TCH 95	TCH 96
25	TCH 97	TCH 98	TCH 99	TCH 100
26	TCH 101	TCH 102	TCH 103	TCH 104
27	TCH 105	TCH 106	TCH 107	TCH 108
28	TCH 109	TCH 110	TCH 111	TCH 112
29	TCH 113	TCH 114	TCH 115	TCH 116
30	TCH 117	TCH 118	TCH 119	TCH 120
31	# SIGNALING			

Los canales que se requieren en la interfaz **Asub** va a depender de la cantidad de tráfico que maneja cada BSC's. En la Figura se muestra la agrupación de tráfico en cada BSC.

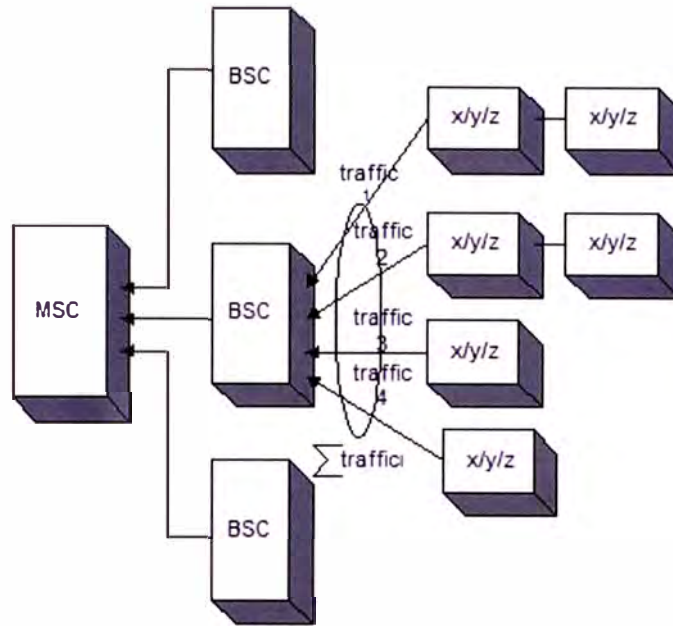


Figura 3.17 Interfaz ASub

Como se muestra en la Tabla 3.21 cada link de ASub está conformado por un canal CCS7 y 30 sub time slot de 16Kbps.

$$1 \text{ Link PCM ASub} = 30 \times 4 \dots\dots\dots(3.11)$$

$$1 \text{ Link PCM ASub} = 120 \text{ Sub time Slot de 16Kbps}$$

Según la fórmula 3.11, se tiene cantidad de time slots por cada link ASub.

Entonces para un BSC que maneja un tráfico determinado se requerirá una cantidad de time slots para que pueda manejar el trafico de erlangs diseñado. En la Tabla 3.22 se muestra la cantidad de time slot requerido como resultado del cálculo con la formula de Erlang B.

Tabla 3.22 Cálculo en la interfaz ASub

BSC NAME	TRAFICO	CANALES (Formula ErlangB)	Link ASub(120canales)
BSC01	3686.34	ErlanB(3686.34,2%)=3650	(3650/120)=31 Link ASub

Teniendo esa consideración en la Tabla 3.22 se muestra la cantidad de link en la interfaz ASub requeridos en la Tabla 3.23.

Tabla 3.23 Link de la interfaz Asub

BSC NAME	TRAFICO	CANALES (Formula ErlangB)	Link Asub(120canales)
BSC01	3686.3	3650	31
BSC02	3894.4	3854	33
BSC03	3798.0	3759	32
BSC04	3833.7	3794	32
BSC05	3845.5	3806	32
BSC06	3643.6	3608	31
BSC07	3664.2	3628	31
BSC08	3858.0	3818	32
BSC09	3860.3	3820	32
BSC10	3472.8	3440	29
BSC11	3894.5	3854	33
BSC12	3525.1	3491	30
BSC13	3770.9	3733	32
BSC14	3864.9	3825	32
BSC15	3652.8	3617	31
BSC16	3734.8	3697	31

3.2.4.1 Calculo de Numero de TRAU

Como se muestra en la Tabla 3.23 todo los links Asub necesarios para cada BSC SIEMENS, ya podemos calcular la cantidad de TRAU's requeridos para una de las BSC's. En la Figura 3.18 se muestra cuatro llamadas que viajan a través de la interfaz Asub.

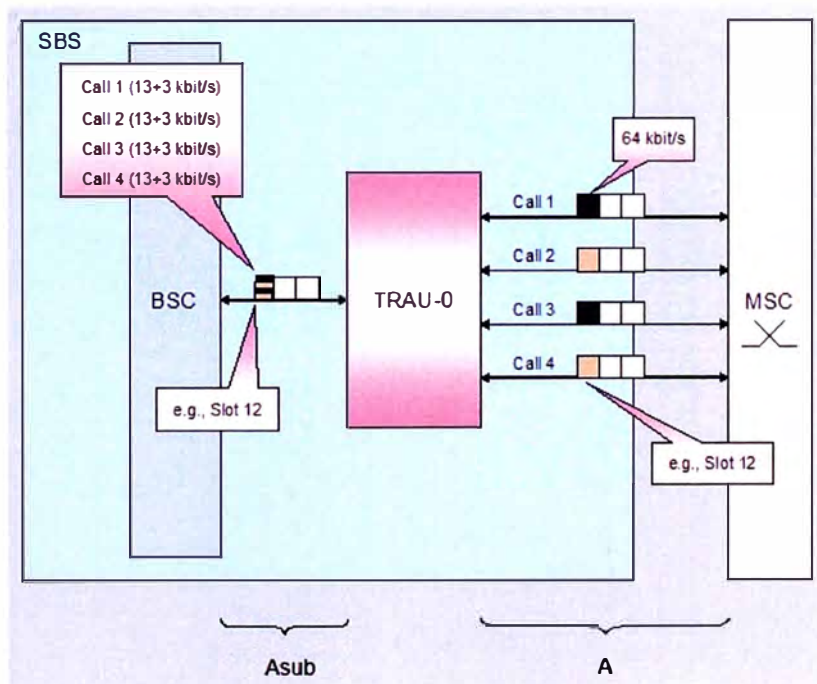


Figura 3.18 Canales en las interfaces Asub y A

Cada proveedor como el caso de SIEMENS maneja ciertos gabinetes donde agrupan la cantidad de TRAU's ya que cada link Asub es un TRAU asociado. En la Figura 3.19 se muestra el TRAU-RACK asociado a un grupo de TRAU's en este caso 8 TRAU's por cada TRAU-RACK.

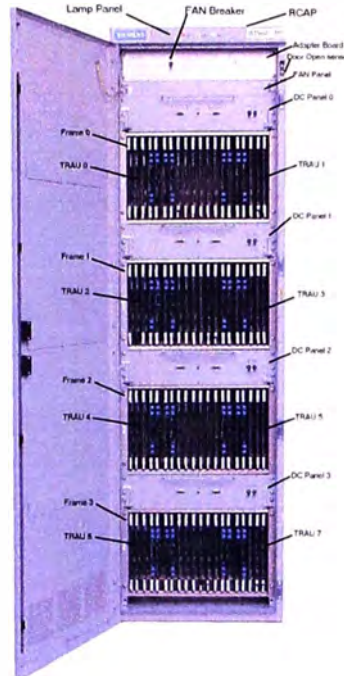


Figura 3.19 TRAU-RACK con 8 TRAU's

Por lo tanto para cada BSC según la Tabla 3.23 se tendrá la cantidad de TRAU-RACK como se muestra en la Tabla 3.24. La instalación de estos gabinetes usualmente va instalado a lado de las BSC haciendo que se comporten como un solo equipo BSC-TRAU.

Tabla 3.24 Link de la interfaz Asub

BSC NAME	Link Asub(120canales)	TRAU-RACK
BSC01	31	4
BSC02	33	5
BSC03	32	4
BSC04	32	4
BSC05	32	4
BSC06	31	4
BSC07	31	4
BSC08	32	4
BSC09	32	4
BSC10	29	4
BSC11	33	5
BSC12	30	4
BSC13	32	4
BSC14	32	4
BSC15	31	4
BSC16	31	4

Para el caso de la interfaz A, como se mencionó en capitulos anteriores la TRAU convierte los time slot de 16Kbps a 64Kbps como se muestra en la Figura 3.18. Por lo tanto por cada link en la interfaz A sub habrá 4 veces en la interfaz A como se muestra en la Figura 3.20.

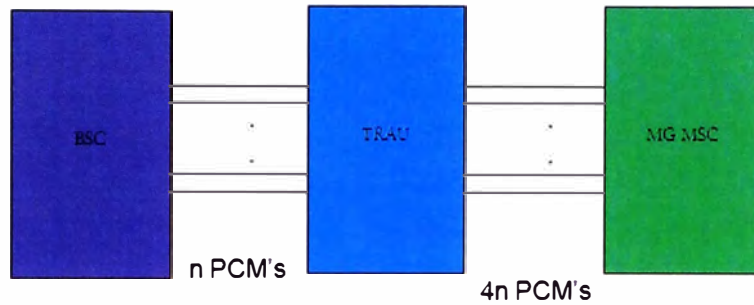


Figura 3.20 Link de la Interfaz A

Entonces los enlaces de cada interfaz A en la BSC serán 4 veces los link de la interfaz A sub como se muestra en la Tabla 3.25

Tabla 3.25 Link de la interfaz A y A sub

BSC NAME	Link A sub(120canales)	Link Interface A
BSC01	31	124
BSC02	33	132
BSC03	32	128
BSC04	32	128
BSC05	32	128
BSC06	31	124
BSC07	31	124
BSC08	32	128
BSC09	32	128
BSC10	29	116
BSC11	33	132
BSC12	30	120
BSC13	32	128
BSC14	32	128
BSC15	31	124
BSC16	31	124

3.2.5 Configuración BSC

Con todos los resultados de todas las etapas mencionadas, se requerirá un BSC que cumpla con todo los requerimientos que se necesiten. A continuación en la Figura 3.21 se muestra la estructura de un **BSC (Base Station Controller)**.

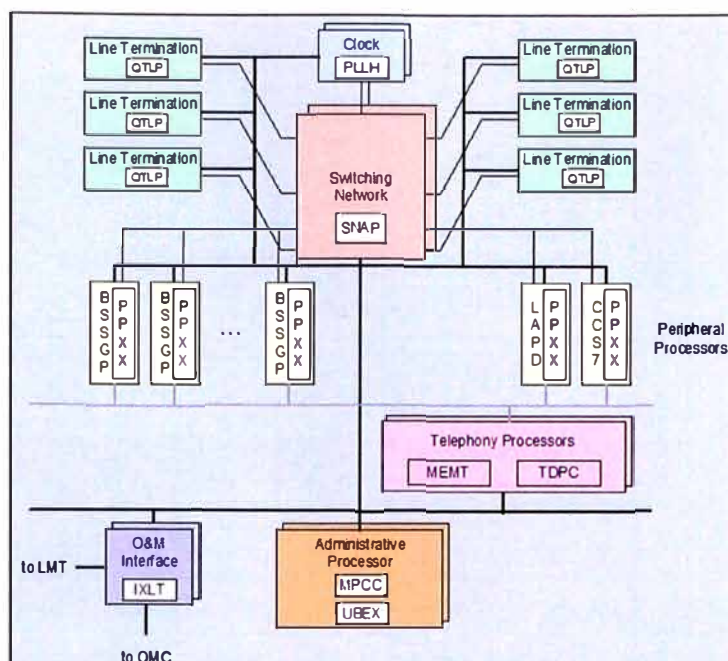


Figura 3.21 Estructura interna de la BSC (Base Station Controller)

Cada parte de la estructura consta de los siguientes hardwares que a continuación mostramos.

SNAP, Es el encargado de hacer la conmutación de los paquetes de Voz y Dato.

PPXX, Este es un grupo de hardware encargado de procesar información como la señalización de LAPD con PPLD, la señalización SCC7 es encargado por el PPCC, PPCU es el encargado de la funcionalidad de GPRS. El PPXU encargado de manejar los servicios de GPRS, donde cada PPXU soporta 256 PDT (Subtime slot de Abis PCM).

TDPC, Este hardware es el encargado de procesar todas las llamadas, todo los procesos de señalización.

MEMT, La memoria del procesador TDPC.

MPCC, Control principal de Procesos de Circuitos.

UBEX, Placa de Bus Universal.

QTLP, Interfaces de las líneas periféricas así como las interfaces Abis, A, Gb.

IXLT, Interfaz hacia el OSS, donde se realizan las operaciones de mantenimiento y monitoreo de todo el sistema GSM.

PLLH, Reloj de alta performance que controla la BSC y todos los equipos conectados a través de sus interfaces.

PWRD, Distribuidor de energía.

La capacidad de un **BSC (Base Station Controller)**, depende de las versiones de fabricación. En la Figura 3.22 se muestra las diferentes versiones de BSC.

BSC/120 Technical Data			
Performance			
Controlled TRXs	900	Processing Capacity (Erlang)	4,800
Controlled Cells	400	E-GPRS Channels (16 Kb/s)	3,072
Controlled BTSE	200	LAPD (Abis+Asub)	240
Controlled TRAU	48	SS7 links	16
PCM lines (Abis+Asub+Gb)	120		
Physical & Environment			
Dimension (W-D-H)	600 x 300 x 2000 mm ³		
Weight	140 kg		
Power Supply	-48 V		
Power consumption:	657 W		
Operation Temperature	-5 °C ... +45 °C		
Earthquake	Zone 4		
Fire resistance	IEC 60950, UL 60950		

Figura 3.22 Datos técnicos de la BSC (Base Station Controller)

Como se muestra en la Figura 3.22 la capacidad de TRX que puede controlar es de 900. Por lo tanto con lo calculado anteriormente podemos calcular las líneas de interfaces de PCM necesarias que podrían ser soportados en cada BSC y adicionalmente calcularemos la cantidad de PDT requeridos por BSC y por consecuencia las cantidad de PPXU requeridos en cada BSC.

3.2.5.1 Impacto GPRS/EDGE

La necesidad de contar con el servicio de Datos es necesario el uso de time slot PDCH. Anteriormente se mostró el uso de los esquemas de codificación en la interfaz. Un hace que la velocidad de descarga sea más rápido.

- 1 canal **PDTCH (Canal de Paquete de Datos)** con **MCS9** (59.2Kbps) requiere 5 PDT's de 16Kbps.
- 1 PPXU puede manejar 256 PDTs, entonces **256/5 = 51 PDTCH**.
- La capacidad máxima de PPXU en una BSC es de 12.

Entonces según la cantidad de sectores que maneje cada BSC se tendrá la siguiente distribución de PDT usado en cada uno de ellos. Esto se muestra en la Tabla 3.26.

Tabla 3.26 Cantidad de Tarjetas PPXU requeridas

BSC_NUM	PDCH de MCS9 (59.2Kbps)	PPXU requerida
BSC01	104	3
BSC02	120	3
BSC03	144	3
BSC04	144	3
BSC05	128	3
BSC06	108	3
BSC07	108	3
BSC08	124	3
BSC09	100	2
BSC10	112	3
BSC11	136	3
BSC12	104	3
BSC13	108	3
BSC14	100	2
BSC15	184	4
BSC16	124	3

3.2.5.2 Impacto de la interfaz Gb

La interfaz Gb es una interfaz lógica que es creada sobre diferentes interfaces físicas. Según la Tabla 3.26 vemos que se requieren cierta cantidad de PDCH por cada BSC, el cual implica la cantidad de Sub time slot de 16Kbps por cada PDT requerido en las BSC's y cada PCM link posee 30 Time Slot de 64Kbps. Por lo tanto el requerimiento para la interfaz Gb es como la que se muestra en la Tabla 3.27.

Tabla 3.27 Interfaz Gb

BSC_NUM	PDCH de MCS9 (59.2Kbps)	PPXU requerido	PDT	TS_PCM	Link PCM para Gb
BSC01	104	3	520	130	5
BSC02	120	3	600	150	5
BSC03	144	3	720	180	6
BSC04	144	3	720	180	6
BSC05	128	3	640	160	6
BSC06	108	3	540	135	5
BSC07	108	3	540	135	5
BSC08	124	3	620	155	6
BSC09	100	2	500	125	5
BSC10	112	3	560	140	5
BSC11	136	3	680	170	6
BSC12	104	3	520	130	5
BSC13	108	3	540	135	5
BSC14	100	2	500	125	5
BSC15	184	4	920	230	8
BSC16	124	3	620	155	6

A continuación mostraremos un resumen de la Configuración requerida para todo las BSC's. En la tabla Tabla 3.28 se muestra los valores de requerimiento que no superan los valores permitidos dentro de las características que se vio en la Figura 3.22

Tabla 3.28 Requerimiento de interfaces

BSC_NAME	Interface Abis	N° de TRX's	N° de PDCH	N° de LAPD	Trafico Erlang	Asub Interface	N° TRAU-RACK(8TRAU's)	A Interface	Gb Interface	CCS7 Link
BSCD1	55	619	104	55	3686.34	31	4	124	5	16
BSC02	59	646	120	59	3894.40	33	5	132	5	16
BSC03	71	688	144	71	3798.02	32	4	128	5	16
BSC04	70	686	144	70	3833.73	32	4	128	5	16
BSC05	64	613	128	64	3845.54	32	4	128	5	16
BSC06	54	579	108	54	3643.63	31	4	124	5	16
BSC07	60	616	108	60	3664.23	31	4	124	5	16
BSC08	63	634	124	63	3857.98	32	4	128	5	16
BSC09	56	610	100	56	3860.32	32	4	128	5	16
BSC10	60	654	112	60	3472.79	29	4	116	4	16
BSC11	66	653	136	66	3894.47	33	5	132	5	16
BSC12	54	564	104	54	3525.06	30	4	120	4	16
BSC13	56	613	108	56	3770.91	32	4	128	5	16
BSC14	55	618	100	55	3864.95	32	4	128	5	16
BSC15	78	711	184	78	3652.83	31	4	124	5	16
BSC16	61	633	124	61	3734.80	31	4	124	5	16

La cantidad de enlaces PCM está conformado como se indica en la fórmula 3.12 y es uno de los factores limitantes para una BSC. Según las especificaciones técnicas de la BSC la cantidad máxima de link PCM's es de 120.

$$N_{PCMS,BSC} + N_{PCMG,BSC} + N_{PCMB,BSC} \leq 120 \quad \dots\dots\dots (3.12)$$

Donde estos valores son tomados de la tabla 3.28 y ninguna BSC sobrepasan los 120 enlaces de interfaz PCM y los canales de señalización tampoco sobrepasan la cantidad que puede soportar la BSC SIEMENS.

CAPITULO IV COSTOS Y TIEMPOS DE IMPEMENTACIÓN

En este capítulo mostraremos todo los elementos requeridos para poder implementar cada etapa de la red GSM y los tiempos necesarios para cada trabajo. También mostraremos los costos aproximados de todos los equipos requeridos. Adicionalmente el tiempo invertido en cada proceso del diseño e instalación. Así como cada detalle del costo del personal involucrado.

Para el diseño de toda una red celular para una ciudad, en este caso para la capital de Lima tenemos que tener consideraciones como el tiempo de ejecución y la puesta en servicio comercial. Ya que parte de ese inicio consta de todo el proceso de la recuperación de toda la inversión involucrada y marketing realizado en todo el proceso de instalación.

Cada etapa de la red lo podremos distribuir de la siguiente forma:

4.1 Interfaz BSS

En esta etapa de la red GSM se consideraron los siguientes equipos de hardware tales como TRX's, BTS's, BSC's etc, a continuación mostramos una breve descripción:

TRX's: Modulos de Carrier Unit, hardware encargado de transmitir los canales de señalización y de Voz y Dato.

BTS: Es la estación base transmisora encargada de dar cobertura a cierta zona geográfica y encargada también de brindar tráfico de Voz y Datos.

Transmisión Abis: Es el medio de transmisión donde viaja toda la información de señalización, voz y datos por cada estación base. La cantidad de líneas de transmisión depende del tráfico que maneja cada estación base celular.

BSC: Encargado de controlar todo las estaciones bases instaladas en sus puertos.

TRAU: El encargado de realizar la compresión y la descompresión de la voz.

En la Tabla 4.1 se muestra el costo por cada unidad de hardware.

Tabla 4.1 Costo de equipamiento por cantidad

HARDWARE	CANTIDAD	COSTO X UNIDAD	COSTO
TRX	10137	\$2,500	\$25,342,500
BTS	487	\$15,000	\$7,305,000
BSC	16	\$120,000	\$1,920,000
Interfaz Abis	487	\$8,500	\$4,139,500
TRAU's	528	\$2,500	\$1,320,000
PPXU's	47	\$2,000	\$94,000
TOTAL			\$40,121,000

4.2 Costo del personal involucrado

Después de la planificación de hardware realizado en el capítulo anterior, ahora realizaremos el proceso de instalación, y para ello se requiere personal calificado para cada etapa de la implementación. Como ya lo habíamos comentado en capítulos anteriores la ubicación de las estaciones base es la fase inicial para todo el proceso y lo que tiempo toma. Uno de los motivos es el factor social.

La cantidad de horas y personal involucrado para la instalación de las estaciones bases son mostrada en la Tabla 4.2. En cada estación se invertirá alrededor de 4 días para poder implementarla totalmente. La interfaz Abis será instalada en 2 días, pero para este caso estamos considerando que el pre-estudio de todos los enlaces de microondas entre las estaciones bases y la BSC fueron realizados por el operador. La instalación y configuración de las estaciones bases serán realizadas por 4 personas competentes que podrán integrarlo a la red celular.

Tabla 4.2 Personal para instalación de Celdas

CONCEPTO	CANTIDAD	CANTIDAD DE HORAS	COSTO POR HORA	COSTO
Ingenieros de Campo	1	32	\$65	\$2,080
Técnicos	3	64	\$35	\$2,240
Costo Total				\$4,320

Para la instalación de los enlaces de transmisión en la interfaz Abis se requiere de 3 personas, 1 ingeniero y 2 técnicos capaces de configurar e instalar los equipos. El tiempo involucrado para esta etapa es de 2 días trabajando a 8 horas diarias. En la Tabla 4.3, se muestra el detalle de los costos de cada ingeniero y técnico que estarán involucrados en la instalación de los enlaces microondas.

Tabla 4.3 Personal para instalación de enlaces de Abis

CONCEPTO	CANTIDAD	CANTIDAD DE HORAS	COSTO POR HORA	COSTO
Ingenieros de Campo	1	16	\$50	\$800
Técnicos	2	32	\$35	\$1,120
Costo Total				\$1,920

A continuación mostramos el costo de la instalación del BSC que a su vez viene incluido con toda la instalación de las TRAU's, PPXU, software básicos. El costo de la instalación de las BSC's viene incluido con las TRAU's, PPXU's, El cableado de todas la interfaces como A sub, A y Gb son realizados por el operador, por lo que no estarán contempladas en el cálculo de los precios. En este proceso todas las configuraciones son realizadas por 1 ingeniero y 2 técnicos. En la Tabla 4.4 se muestra los costos por este servicio.

Tabla 4.4 Personal para instalación del BSC

CONCEPTO	CANTIDAD	CANTIDAD DE HORAS	COSTO POR HORA	COSTO
Ingenieros de Campo	1	40	\$150	\$6,000
Técnicos	2	80	\$75	\$6,000
Costo Total				\$12,000

Luego de ver a detalle cada costo del personal involucrado en la instalación de los equipos, a continuación mostramos la Tabla 4.5 con el costo total.

Tabla 4.5 Costo total de servicio de instalación

CONCEPTO	CANTIDAD	CANTIDAD DE HORAS	COSTO POR INSTALACION	COSTO TOTAL
Estaciones Base	487	32	\$4,320	\$2,103,840
Transmisión Abis	487	16	\$1,920	\$935,040
BSC / TRAU	16	40	\$12,000	\$192,000
Costo Total				\$3,230,880

4.3 Tiempo de ejecución

Una vez realizado el cálculo de los costos, mencionaremos el tiempo de ejecución aproximado, por lo que se observó en las tablas anteriores se requiere personal calificado pero dependerá mucho de la cantidad de personas que estarán involucradas en todo este proceso y por consecuencia hará que la implementación sea más rápida. Para el caso de las

estaciones bases se requiere que las instalaciones y configuraciones se realicen en paralelo por 5 grupos de ingenieros y técnicos para poder acelerar el proceso.

En cuanto al medio de transmisión de la interfaz Abis se optará con la misma cantidad de grupo de 5 ingenieros y 5 técnicos.

Y para la instalación de las BSC's se requerirá 2 grupos de ingenieros y 2 técnicos. Considerando todo los pre-estudios de factibilidad para el acceso a las estaciones y toda la infraestructura del operador, entonces en la Tabla 4.5 se muestra la cantidad de días que se realizará la instalación de toda la red GSM.

Tabla 4.5 Cantidad de Días de la implementación

CONCEPTO	CANTIDAD	CANTIDAD DE HORAS	CANTIDAD DE GRUPOS	CANTIDAD DE DIAS
Estaciones Base	487	32	10	195
Transmisión Abis	487	16	5	195
BSC / TRAU	16	40	2	40

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El uso de 2 bandas de frecuencia 850 y 1900 hace que se tenga 1 capa de penetración de cobertura con la banda de 850 y una capa de solo tráfico que sería en la banda de 1900 por la poca penetración que posee esta banda.
2. La calidad en el servicio de Voz depende mucho de la cantidad de espectro que se maneja. Las entidades gubernamentales de cada país asignan un determinado ancho de banda de espectro. Cuando menos sea la cantidad de canales de frecuencia se tendrá niveles de calidad baja y limitaciones en el crecimiento de ofrecer tráfico a todos los usuarios de una red celular GSM.
3. En el transcurso del diseño se observó el uso de llamadas en Full Rate y Half Rate, por lo que la calidad y el hardware necesarios son muy diferentes en ambos casos. Las llamadas en Full Rate presentan una mejor calidad que una llamada Half Rate pero requiere el doble de equipamiento a nivel de TRX y BTS, es por ello que la red se diseño con el mayor porcentaje en Half Rate.
4. El plan de frecuencia requerido para una red celular GSM que se basa en TDMA es complicado ser generado cuando tiene poco ancho de banda en el espectro disponible para este caso la banda de 850. La banda de 1900 que pose Movistar es amplia y ahí no se tendrá demasiadas limitaciones para el plan de frecuencia.
5. El crecimiento constante de tráfico en una red celular GSM generará que se apliquen nuevas técnicas de optimización de red para poder migrar el crecimiento de tráfico a la red de 1900 ya que estas si están preparadas para poder soportar mucho mayor tráfico que banda 850.
6. Una de las zonas geográficas de alto crecimiento de tráfico se concentra en el cono norte y este de la ciudad y Lima. Lo que a su vez son las zonas más complicadas para la instalación de nuevas estaciones bases, muchos de las cuales la infraestructura actual no abastece todo el tráfico que se demanda.
7. Las complicaciones que se dan en las zonas donde no permiten la instalación de estaciones bases nuevas se deben mayormente a problemas sociales. Y es uno de los más importantes factores que alargan el tiempo de ejecución de obras.

8. La descarga de datos dependerá de los terminales de usuario ya que mucho de los teléfonos móviles usan time slot en Downlink que varían de 2 a 4 TS, lo cual hace que la velocidad de descarga en Downlink llegue al máximo del valor diseñado en 236.8 Kbps.
9. A medida del crecimiento de tráfico en una red celular es constante la ejecución de ampliaciones de infraestructura a nivel de radio y a nivel de core.
10. En una red GSM que está basado en tecnología TDM y FDMA la relación de crecimiento de tráfico con el crecimiento de espectro son directamente proporcionales así como también con la calidad del servicio de voz y datos.

ANEXO A
GLOSARIO DE TÉRMINOS

GLOSARIO DE TÉRMINOS

ARFCN: Absolute Radio Frequency Channel Number.

AuC: Centro de Autenticación (Authentication Center).

BCCH: Canal de Control de Broadcast.

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

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

BTS: Estación Base Tranceptora (Base Station Transceiver).

CDMA: Acceso Múltiple por División de Código.

DOWNLINK: Transmisión desde la BTS hacia el móvil.

EDGE: Enhanced Data Rates for GSM Evolution.

EIR: Equipment Identity Register.

FDMA: Acceso Múltiple por División de Frecuencia.

Full Rate: Codificación de voz para GSM a 13kbps.

GMSK: Gaussian minimum shift keying.

GPRS: General Packet Radio Service.

GSM: Sistema Global para comunicaciones Móviles.

Half Rate: Codificación de voz para GSM a 5.6 kbps.

HLR: Home Location Register

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

IMEI: International Mobile Equipment Identity.

IMSI: International Mobile Subscriber Identity.

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

ITU: International Telecommunication Unión.

MS: Estación Móvil (Mobile Station).

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

SGSN: el servicio de soporte de GPRS.

OMC: Centro de Operación y Mantenimiento.

PCM: Pulse Code Modulation.

PSTN: Red Telefónica Pública Conmutada.

SIM: Subscriber Identity Module.

TCH: Canal de Tráfico de Voz.

TDMA: Acceso Múltiple por División de Tiempo.

TRAU: Transcoder Unit.

TRX: Transmisor-Receptor.

TS: Time Slot (Ranura de tiempo).

Uplink: Transmisión desde el móvil hacia la BTS.

ABIS: Interfaz entre BSC y BTS.

ASUB: Interfaz entre BSC y BTS.

AMR: Adaptative MultiRate.

BHCA: Intento de llamadas en la hora pico.

CALL HOLDING TIME: Tiempo de duración de una llamada.

CCS7: Canal Común de Señalización N° 7.

GB: Interfaz entre la BSC y la SGSN.

CS: Esquema de Codificación.

ERL: Unidad adimensional de medida de tráfico.

ERLANGB: Fórmula de Erlang B.

LAPD: Link Access Procedure on D-Channel.

LAPDM: Link Access Procedure on D-Channel Modificado para la interfaz Um.

PCU: Control de unidad de Paquetes para GPRS.

PDCH: Canal de Paquetes de Datos en la interfaz radio.

PDT: Paquete de Datos Terminales de 16Kbits/s usados para EGPRS

PPCC: Peripheral Processor for CCS7.

PPCU: Peripheral Packet Control Unit for GPRS.

PPLD: Peripheral Processor for LAPD.

PPXL: Peripheral Processor for CCS7 and LAPD.

PPXU: Peripheral Processor for GPRS.

QTLP: Quadruple Terminal Line Peripheral.

SDCCH: Standalone Dedicated Control Channel.

Sub-TS: 16kbit/s sub-time slot on a PCM line.

TDPC: Telephony and Distributor Processor Circuit.

TRAU: Transcoder and Rate Adaptation Unit.

BIBLIOGRAFÍA

1. GSM Networks, Protocols, Terminology, and Implementation, Gunnar Heine.
2. GSM Pocket Guide. Wandel & Goltermann.
3. GSM, GPRS and EDGE Performance, Timo Halonen, Javier Romero y Juan Melero.
4. Radio Interface System Planning for GSM/GPRS/UMTS, Jukka Lempinen, Matti Manninen.
5. SIEMENS, Fixed Network Planning.
6. GSM and Personal Communications Handbook, Siegmund M. Redl, Matthias K. Weber, Malcom W. Oliphant.
7. GPRS NETWORKS, Geoff Sanders, Lionel Thorens, Manfred Reisky, Oliver Rulik, Stefan Deylitz
8. 3GPP TS 23.060 V3.14.0, General Packet Radio Service (GPRS) Service description.
9. Fundamentals of Cellular Network Planning and Optimization. Ajay R. Mishra
10. The GSM Network: The GPRS Evolution, Joachim Tisal.
11. 2.5G Mobile Networks: GPRS and EDGE, Sumit Kasera, Nishit Narang y P. Priyanka.