

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



DISEÑO DE UNA RED URBANA DE TRANSMISIÓN DE DATOS
EDGE/GPRS

INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR:
RICARDO ALFONSO RICALDE LAVAUD

PROMOCIÓN
2003-II

LIMA – PERÚ
2009

DISEÑO DE UNA RED URBANA DE TRANSMISIÓN DE DATOS EDGE/GPRS

Este trabajo esta dedicado a mis padres Nora y Alejandro y a mi novia Miriha por su incondicional apoyo.

SUMARIO

En la actualidad los sistemas de transmisión de datos a través de redes inalámbricas móviles están evolucionando rápidamente, permitiendo a los usuarios alcanzar mayores tasas de transferencia de datos, mejores coberturas y a costos mas bajos, esta constante mejora se manifiesta también en la unificación de diversos servicios tales como Internet, televisión, radio etc. con la telefonía celular, debido a esta coyuntura los operadores celulares se ven presionados a actualizar constantemente la infraestructura de sus redes para mantenerse a la vanguardia frente a su competencia, sin embargo si se analiza cuidadosamente el mercado actual se puede observar que casi todas las aplicaciones diseñadas para transmisión de datos a través de redes celulares demandan anchos de banda relativamente bajos, aproximadamente 60 kbps, y pueden ser tranquilamente soportadas por tecnologías de 2.5G.

La implementación de una red 2.5G EDGE/GPRS garantiza al operador un menor costo comparado con la implementación de tecnologías 3G como WCDMA o HSDPA esto debido a que en la implementación de la red EDGE/GPRS se reutiliza la red de acceso (BTSs y BSCs) de la red GSM existente y en la implementación de una red 3G es necesario montar una nueva red de acceso (Nodos B y RNCs) paralela a la red GSM , considerando los costos de equipo, instalación y adquisición de una nueva banda se tiene una diferencia de mas del 90% en la inversión del operador. La red EDGE/GPRS tiene un menor tiempo para la puesta en servicio debido a que es un cambio mas suave por ser la evolución directa del GSM, es por esto que los operadores celulares continúan expandiendo sus redes de 2.5G en lugar de reemplazarlas o en muchos caos las mantienen conviviendo con sus nuevas redes 3G.

El presente trabajo se basa en mi experiencia laboral en la dirección de red de la empresa América Móvil Perú S.A.C en donde se debió afrontar el reto de proyectar correctamente la red EDGE/GPRS de tal forma que las necesidades del mercado fueran satisfechas y la infraestructura de red desplegada fuera la menor posible.

ÍNDICE

PRÓLOGO	1
CAPÍTULO I	
FUNDAMENTO TEÓRICO	2
1.1	Revisión de GSM (Global System for Mobile Communications) 2
1.2	Funciones y arquitectura de la red GSM 3
1.3	El subsistema de estación base (BSS) 4
1.3.1	La estación base (BTS) 4
1.3.2	El controlador de estación base, (BSC) 5
1.3.3	La unidad de transcodificación y adaptación de velocidad (TRAU) 5
1.3.4	Subsistema de conmutación y de red (NSS) 6
1.3.5	Registro general de abonados (HLR) y Centro de la Autenticación (AuC) 6
1.3.6	El centro de conmutación móvil (MSC) y el registro de visitantes (VLR) 7
1.3.7	El registro de la identidad del equipo 8
1.3.8	Subsistema de operación y mantenimiento (OSS) 8
1.3.9	La estación móvil GSM 8
1.4	Revisión del sistema EDGE/GPRS 9
1.4.1	Funciones de alto nivel de la red EDGE/GPRS 10
1.4.2	Arquitectura lógica de la red EDGE/GPRS 12
1.5	Modificaciones necesarias en la red GSM para soportar EDGE/GPRS. 16
1.5.1	Modificación en las estaciones bases. 17
1.5.2	Modificaciones en las BSC 17
1.5.3	Modificaciones en el MSC/ VLR 17
1.5.4	Modificaciones en HLR 18
CAPÍTULO II	
ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA RED GSM	19
2.1	Datos generales del área de estudio 19
2.1.1	Distrito de San Isidro 19
2.1.2	Distrito de Lince 20
2.2	Infraestructura de red existente 23

ÍNDICE

PRÓLOGO	1
CAPÍTULO I	
FUNDAMENTO TEÓRICO	2
1.1 Revisión de GSM (Global System for Mobile Communications)	2
1.2 Funciones y arquitectura de la red GSM	3
1.3 El subsistema de estación base (BSS)	4
1.3.1 La estación base (BTS)	4
1.3.2 El controlador de estación base, (BSC)	5
1.3.3 La unidad de transcodificación y adaptación de velocidad (TRAU)	5
1.3.4 Subsistema de conmutación y de red (NSS)	6
1.3.5 Registro general de abonados (HLR) y Centro de la Autenticación (AuC)	6
1.3.6 El centro de conmutación móvil (MSC) y el registro de visitantes (VLR)	7
1.3.7 El registro de la identidad del equipo	8
1.3.8 Subsistema de operación y mantenimiento (OSS)	8
1.3.9 La estación móvil GSM	8
1.4 Revisión del sistema EDGE/GPRS	9
1.4.1 Funciones de alto nivel de la red EDGE/GPRS	10
1.4.2 Arquitectura lógica de la red EDGE/GPRS	12
1.5 Modificaciones necesarias en la red GSM para soportar EDGE/GPRS.	16
1.5.1 Modificación en las estaciones bases.	17
1.5.2 Modificaciones en las BSC	17
1.5.3 Modificaciones en el MSC/ VLR	17
1.5.4 Modificaciones en HLR	18
CAPÍTULO II	
ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA RED GSM	19
2.1 Datos generales del área de estudio	19
2.1.1 Distrito de San Isidro	19
2.1.2 Distrito de Lince	20
2.2 Infraestructura de red existente	23

2.3	Cantidad de usuarios.....:	29
2.4	Distribución de los usuarios por segmentos.....	30
2.5	Tráfico de voz	32

CAPÍTULO III

DETERMINACIÓN DEL MERCADO POTENCIAL PARA LA RED EDGE/GPRS 35

3.1	Determinación de la cantidad de usuarios EDGE/GPRS.	35
3.2	Porcentaje de penetración EDGE/GPRS	36
3.3	Variación de usuarios móviles	38
3.4	Cálculo de cantidad de usuarios meta EDGE/GPRS	40
3.5	Tráfico EDGE/GPRS máximo en hora pico.	42
3.6	Cálculo del tráfico EDGE/GPRS máximo en hora pico.	42
3.7	Cálculo del tráfico voz en hora pico.	46

CAPÍTULO IV

DISEÑO DE LA RED EDGE/GPRS 48

4.1	Datos para el proceso de diseño de la red EDGE/GPRS	49
4.2	Consideraciones para el Proceso de Diseño	49
4.3	Resultados del Proceso de Diseño	50
4.4	Elección de la Topología de la Red EDGE/GPRS	50
4.5	Diseño de la Interfaz Aire de la red EDGE/GPRS	53
4.5.1	Principales indicadores del desempeño (KPI) EDGE/GPRS	53
4.5.2	Cálculo de la cantidad de TSLs necesarios para tráfico de voz	61
4.5.3	Cálculo de la cantidad de TSLs necesarios para tráfico de Datos	65
4.5.4	Cálculo de la cantidad de TRXs necesarios.	69
4.6	Diseño de la interfaz Abis	71
4.7	Diseño de la cantidad de Unidades de Control de Paquetes (PCU)	75
4.8	Diseño de la interfaz Gb (Conexión entre BSC y SGSN)	76
4.8.1	Diseño del medio de transmisión	77
4.8.2	Diseño del enlace Frame Relay	79
4.8.3	Cálculo de la cantidad de E1s y enlaces Frame Relay	80
4.9	Diseño del Core EDGE/GPRS	80
4.9.1	Diseño del Nodo servidor de soporte GPRS (SGSN)	81
4.9.2	Cálculo de la cantidad de Nodos servidor de soporte GPRS necesarios	82
4.9.3	Dimensionamiento del Nodo de Soporte de GPRS de Puerta de Enlace	83
4.9.4	Cálculo de la cantidad de Nodo de Soporte de GPRS de Puerta de Enlace	84
4.9.5	Diseño del Charging Gateway (CG) y el Domain Name Server (DNS)	84
4.9.6	Diseño del Firewall (FW) y Border Gateway (BG) GPRS	85
4.9.7	Diseño del Backbone GPRS (Switch EDGE/GPRS)	86

CAPÍTULO V**CASO DE APLICACIÓN DE UNA RED EDGE/GPRS 88**

5.1	Servicios empresariales de transmisión de datos EDGE/GPRS	88
5.2	Servicio AVL (Localización Automática de Vehículos) EDGE/GPRS	89
5.3	Principales usos y ventajas del servicio AVL EDGE/GPRS	89
5.4	Arquitectura del Servicio AVL EDGE/GPRS	90
5.4.1	Zona del Cliente	91
5.4.2	Zona del Proveedor	92
5.5	Configuraciones necesarias para implementar el servicio AVL EDGE/GPRS.	92
5.5.1	Nodo de Soporte de GPRS de Puerta de Enlace (GGSN)	92
5.5.2	Servidor de Nombres de dominio (DNS)	94
5.5.3	Cortafuegos (FIREWALL)	94
5.5.4	Enrutador (ROUTER)	95
5.5.5	Registro general de abonados (HLR)	95

CAPÍTULO VI**EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO 97**

6.1	Costos de la Red de Acceso	97
6.2	Costos del Centro de Conmutación	97
5.3	Gastos de Operación	98
6.3	CAPEX y OPEX del proyecto	98
6.4	Estado de ganancias y pérdidas	100

CONCLUSIONES 102**ANEXO A****GLOSARIO DE TÉRMINOS 103****BIBLIOGRAFÍA 107**

PRÓLOGO

El presente informe centra su estudio en el diseño e implementación de una red EDGE/GPRS metropolitana y de un servicio de transmisión de datos móvil tomando como punto de partida la red GSM ya existente de un operador de telefonía móvil tomado como ejemplo. De este trabajo obtendrá como resultado final un conjunto de criterios genéricos para definir y dimensionar la estructura de una red EDGE/GPRS los cuales tienen por objetivo ayudar a otros ingenieros a realizar esta labor en redes similares en el futuro.

Usualmente las redes de los operadores de telefonía móvil tienen coberturas extensas a nivel nacional las cuales son muy complejas, por este motivo para el presente trabajo se ha decidido limitar el alcance del estudio a un área urbana mas pequeña y que conserve las características esenciales de una red GSM pero que solo este formada por los distritos de San Isidro y Lince de la ciudad de Lima. De esta forma logramos simplificar la cantidad de datos iniciales de la red GSM para poder concentrarnos más profundamente en entender el proceso del diseño de la red EDGE/GPRS.

En el primer y segundo capítulo se realiza una revisión general de los conceptos esenciales de la redes de telefonía móvil del tipo GSM y EDGE/GPRS y se estudia la situación inicial de la red GSM. Para el tercer y cuarto capítulo basándose en los datos obtenidos en los capítulo anteriores se realiza una estimación de la cantidad de tráfico y usuarios de datos que la red EDGE/GPRS deberá soportar en el corto y mediano plazo, además se detalla el proceso de diseño de la red EDGE/GPRS tanto a nivel de la red de acceso como en el centro de conmutación de paquetes.

Finalmente en el capítulo cinco se propone un caso práctico de Implementación de un servicio de transmisión de datos móviles para ubicación de vehículos que se encuentren bajo la cobertura de la red EDGE/GPRS con el objetivo de mostrar al lector una visión global de las posibilidades que brinda esta tecnología.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTO TEÓRICO

EDGE es el acrónimo para Enhanced Data rates for GSM of Evolution (Tasas de Datos Mejoradas para la evolución de GSM). Es una tecnología de la telefonía móvil celular, que actúa como puente entre las redes 2G y 3G, EDGE se considera una evolución del GPRS (General Packet Radio Service). y aunque EDGE funciona con cualquier GSM que tenga implementado GPRS el operador debe implementar actualizaciones de hardware y software necesarias, Las redes EDGE/GPRS proporcionan capacidad de transferencia de datos basada en conmutación por paquetes a las redes GSM por lo que se encargan de soportar servicios como lo es la conexión a Internet, mensajes multimedia, aplicaciones telemétricas etc.

1.1 Revisión de GSM (Global System for Mobile Communications)

A principios de los años 80s los países europeos usaban muchos sistemas telefónicos móviles diferentes que no eran compatibles entre si. Al mismo tiempo, la demanda por servicios de telecomunicaciones móviles se incrementaba notablemente. Debido a esto, La Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones (CEPT) fundó un grupo para especificar un sistema común para toda Europa. Este grupo fue nombrado Grupo Especial Móvil quien desarrollo el sistema GSM, estas siglas han sido interpretadas de diversas formas, pero la expresión más común hoy en día es Sistema Global para las Comunicaciones Móviles.

El desarrollo del GSM tenía que cumplir los siguientes requisitos:

- Permitir varios operadores de red en cada país, para promover la competencia en las tarifas y servicios, se asumió, que esta era la mejor manera para asegurar la expansión rápida del sistema, la disminución en el precios en los terminales y la reducción en los costos de las llamadas.
- Ser un sistema abierto, esto quiere decir que debería contener interfaces bien definidas entre sus partes, de tal manera que permita que el equipamiento fuera de diferentes

fabricantes y que puedan coexistir entre ellos, por lo tanto se mejoraría la eficiencia de los costos del sistema desde el punto de vista del operador.

- Construirse sin necesidad de causar ningún cambio en las ya existentes Redes telefónicas públicas conmutadas (PSTN).
- Además de los requerimientos comerciales anteriormente enunciados, se tuvieron los siguientes objetivos:
- El sistema debe ser PAN-europeo, por lo tanto debe ser de cobertura internacional.
- El sistema debe mantener una buena calidad de audio.
- El sistema debe usar radiofrecuencias tan eficazmente como sea posible.
- El sistema debe tener una alta capacidad de adaptación al medio.
- El sistema debe ser compatible con la Red Digital de Servicios Integrados (ISDN).
- El sistema debe ser compatible con otras especificaciones de comunicación de datos.
- El sistema debe mantener un buen nivel de seguridad tanto de los suscriptores como de la información transmitida.

1.2 Funciones y arquitectura de la red GSM

El estándar GSM define una Red Pública Móvil Terrestre (PLMN) completa, de naturaleza digital y de servicios integrados, que comprende el acceso por radio como estructura celular, la transmisión, conmutación y señalización específicas para soportar las funciones de movilidad y los mecanismos de seguridad para el establecimiento de las llamadas y la protección de la información transmitida durante estas. Las funciones básicas que debe ejecutar la red PLMN-GSM, puede resumirse como sigue:

- Prestación de servicios básicos: Establecimiento y supervisión de las llamadas con las PSTN/ISDN y otras PLMN, Autenticación de usuarios y equipos, Encriptación de las llamadas, Llamadas de emergencia, Servicios suplementarios.
- Funciones de Movilidad: Localización y registro de abonados, Itinerancia, Radio búsqueda, Traspasos, Abandono
- Funciones de gestión de Red: Operación y mantenimiento, Gestión de abonados
- Gestión de los recursos de Radio: Asignación de frecuencias, Medición de la Señal.

En general, cada red del GSM se puede subdividir en el Subsistema de Estación Base (BSS), el subsistema de Conmutación de Red, (NSS), y el subsistema de Operación y Mantenimiento (OSS) así como la estación móvil. Se debe observar que cuando se implementa GPRS en la red GSM la estructura presentada en la Fig. 1.1 solo debe ampliarse, pero no debe cambiar ya que ambos tipos de uso, Conmutación de Circuitos y Conmutación de Paquete, deberán funcionar vía una red mutua GSM/GPRS. La forma en

que fue concebido los estándares para GSM permite la actualización de esta tecnología de una forma más transparente que en otro tipo de redes inclusive en la actualidad la instalación de las redes de tercera generación siguen usando partes de las redes iniciales GSM.

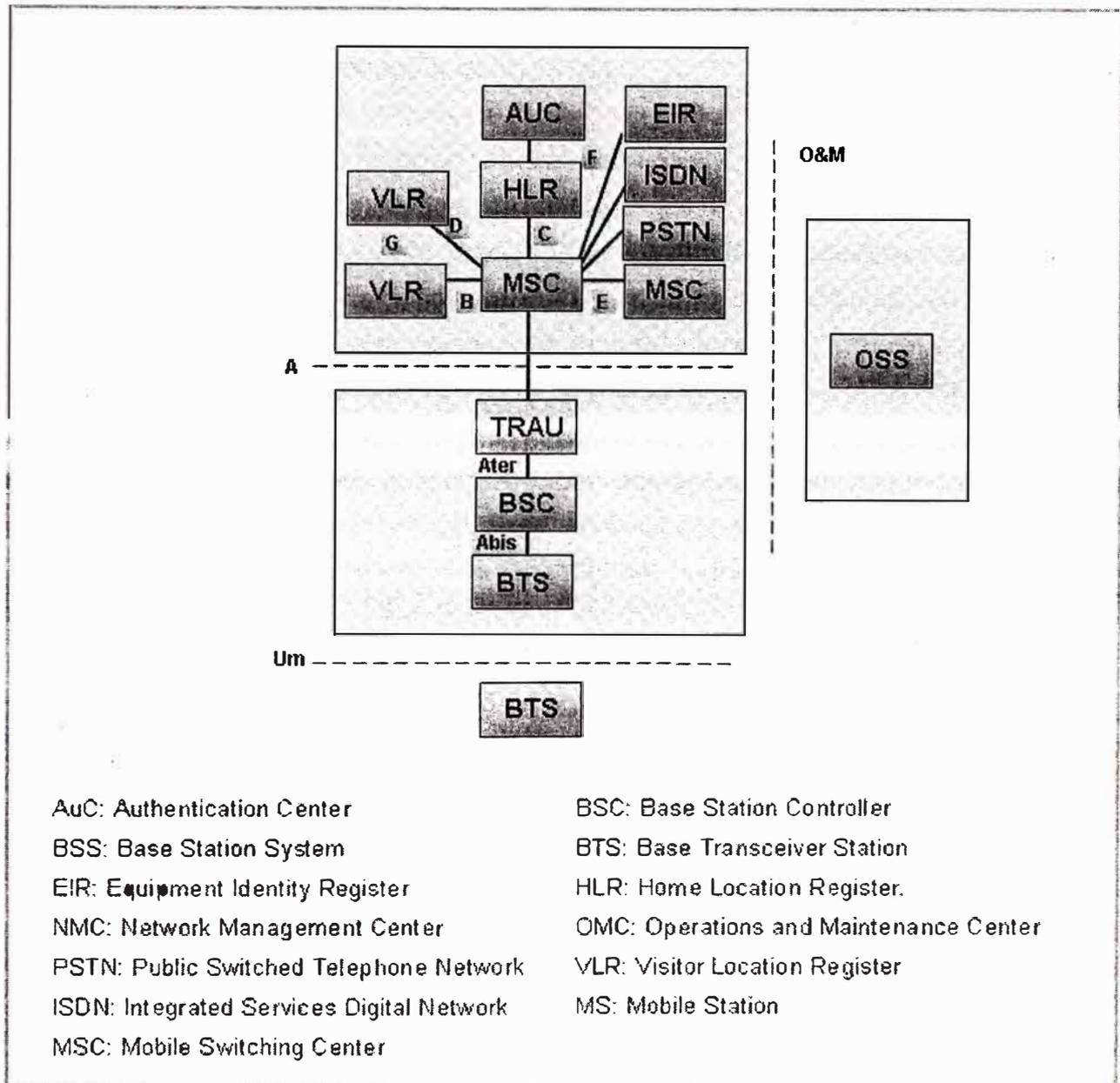


Fig. 1.1.- Arquitectura de la Red GSM Básica

1.3 El subsistema de estación base (BSS)

1.3.1 La estación base (BTS)

El BSS consiste principalmente de un gran número de BTSs que permite la conexión

inalámbrica de las estaciones móviles a la red vía la interfaz aire, Um. La BTS asume todas las funciones de la capa 1, según el modelo OSI entre la comunicación de la red y la estación móvil. Éstos incluyen, entre otros, codificación del canal, interpolación, cifrado, y generación de ráfagas. Otras funciones incluyen la modulación y la desmodulación.

1.3.2 El controlador de estación base, (BSC)

Todas las BTSs de un BSS están conectadas con un BSC vía la interfaz de Abis. El BSC es por la definición, un conmutador de circuitos que fue diseñado básicamente para relevar al Centro de Conmutación Móvil (MSC) de todas las tareas relacionadas con las conexiones inalámbricas. Estos incluyen, en detalle, la evaluación de las mediciones resultantes entre la BTS y la estación móvil durante una conexión establecida, el control del cambio de celda mientras se realiza una llamada (handover) y el control de potencia necesario para esto. Estas funciones reguladoras se realizan generalmente en su totalidad por el BSC, aunque el estándar GSM permite la preparación preliminar de los resultados en las BTS.

Adicionalmente el BSC se encarga del manejo del Protocolo de Administración de los Recursos de Radio (RR) y la administración del recurso en el interfaz de Abis e interfaz aire. El BSC, como elemento de la red de conmutación de circuito, no está diseñado para los servicios de conmutación de paquete (GPRS). Sus funciones de conmutación son casi inutilizables para la conmutación de paquetes, y el protocolo RR es extremadamente difícil de ajustar a los requisitos de la conmutación de paquetes. Por lo tanto, si el BSS va a ser utilizado para GPRS, el BSC debe ser modificado.

1.3.3 La unidad de transcodificación y adaptación de velocidad (TRAU)

La TRAU es el tercer elemento de la red de BSS. La tarea más conocida del TRAU es la compresión de la voz a partir del 64 Kbps a 16 Kbps (full-rate) o 8 Kbps (half-rate). El TRAU también realiza la generación de ruido cuando está en la operación la transmisión discontinua (DTX). Para una comprensión básica del procesamiento de señal dentro del GSM es importante mencionar otra función de la TRAU, la conversión de toda la información que viene del MSC en tramas de TRAU. Esta conversión se realiza tanto para el fax, datos, y voz. Es decir toda la carga útil de transferencia entre la estación móvil y TRAU ocurre en base de tramas de TRAU. Las tramas de TRAU tienen una longitud de 320 bits. Cada 20 ms una trama de TRAU se transmite o se recibe. Por lo

tanto, hay canales de 16 Kbps. El número de los bits reales de carga útil variará dependiendo del tipo de trama de TRAU. Por ejemplo, para la voz full-rate y full-rate mejorado la trama de TRAU contendrá 260 bits de los datos de la carga útil, mientras que la trama TRAU normal para datos contiene 240 bits de datos de la carga útil. Los canales de la carga útil de 16 Kbps se utilizan entre la TRAU y la BTS, especialmente en Interfaz de Abis. Es decir si más se transfieren de 16 Kbps, allí es un problema. Esto es, sin embargo, lo que pasa exactamente en transferencia de datos vía GPRS o EDGE. La mayoría de los fabricantes tendrán que encontrar nuevas soluciones para este problema. Puesto que las funciones del TRAU son funciones específicas de la capa 1, La función de TRAU se debe asumir localmente para ser situado en el BTS. De hecho, el estándar del GSM permite la integración del TRAU en el BTS. Sin embargo, la mayoría de los fabricantes hace uso del llamado TRAU remoto. La razón de esto es la oportunidad de ahorrar en costes de la conexión. Si el TRAU está instalado al lado del MSC, entonces canales 16-Kbps se puede utilizar como conexión desde el MSC a la BTS, en vez de los canales 64-Kbps. Es decir un TRAU remoto disminuye los costos de la conexión por tres cuartos. Para la puesta en práctica de GPRS, la posición real del TRAU no tiene relevancia, ya que el flujo de paquetes conmutado hacia la red GPRS se toman de otro punto de la red GSM.

1.3.4 Subsistema de conmutación y de red (NSS)

Tal como muestra la Fig. 1.1, el NSS consiste en uno o más Registro General de Abonados (HLR), el Centro de la Autenticación (AuC), Centro de Conmutación Móvil (MSC) con conexión con el Registro de la localización de visitantes (VLR) y opcionalmente el Registro de Identidad de Equipos (EIR). Observar por favor que el NSS también es usado por lo menos en una parte por la red GPRS.

1.3.5 Registro general de abonados (HLR) y Centro de la Autenticación (AuC)

El HLR es una base de datos estática en la cual se almacena información sobre centenares de millares de suscriptores. Esta información incluye los números de teléfono, por ejemplo el número de directorio internacional del servicio del suscriptor móvil (MSISDN) de un suscriptor así como las características y limitaciones de su servicio. Para realizar la Administración de la Movilidad (MM), que es muy importante en GSM, el HLR mantiene la información tal como el área de VLR en el que un suscriptor está actualmente registrado. Con la introducción de GPRS, los datos sobre suscriptores

individuales en el HLR son más detallados. Esto implica que para GPRS, el HLR no debe poseer solamente la información con respecto al VLR respectivo sino que también el correspondiente Nodo de Soporte de Servicio para GPRS (SGSN). Otros datos GPRS específicos son almacenados en el HLR, por ejemplo los datos de los posibles contextos de Protocolo de Paquete de Datos PDP (Packet Data Protocol) además de las características y limitaciones de servicios específicos para GPRS.

El AuC, que es una parte integral del HLR, calcula el respectivo resultado de la autenticación (SRES) y los códigos de cifrado (kc), usados por los algoritmos A3 y A8 además de los códigos de suscriptor Ki almacenado en el HLR.

Se debe observar que el AuC predetermina hasta cinco tríos supuestos de la autenticación (RAND, SRES, kc) para cada suscriptor y los pone en la disposición del VLR responsable, vía el HLR, para los propósitos de la autenticación.

La implementación de GPRS no altera estos mecanismos del GSM. Sin embargo se debe observar que en GPRS la autenticación y la activación del cifrado son controlados por el SGSN. Por consiguiente, a la estación móvil se le puede autenticar dos veces, una vez por el VLR y una vez por el SGSN, cada uno con una diversa variable aleatoria, por supuesto. Por consiguiente, dos diversos valores del kc deben ser almacenados y alistados para la recuperación desde el móvil uno para GPRS y uno para el GSM normal.

1.3.6 El centro de conmutación móvil (MSC) y el registro de visitantes (VLR)

Antes de la introducción del GSM en los años 80, el MSC y VLR fueron concebidos como dos elementos independientes de la red: el MSC como elemento de la red para todas las llamadas Funciones del Control de llamada (CC) y el VLR para la parte de Funciones de Administración de la Movilidad (MM). Ambos protocolos, CC y MM, son transparentes para el BSS y se tratan entre el MSC y el VLR directamente, y desde una estación móvil a la otra. En los primeros años 90s después de la introducción de GSM, la independencia física del MSC y VLR desaparecieron, y por 1997 el MSC y el VLR se convirtieron en el MSC/VLR. Esto sin embargo no altera la independencia del protocolo del MM y CC.

Es importante entender sobre el GSM que el MSC es esencialmente un conmutador de circuitos ISDN que se ha modificado para el uso como GSM-MSC. Históricamente, este camino fue tomado a finales de los años 80 porque el GSM debía ser compatible con la ISDN tanto como sea posible. Uno de los problemas que se tuvo que solucionar en este contexto era que los sistemas existentes solo podrían asumir con gran dificultad y costosas modificaciones las funciones del RR, que son necesarias para un sistema de teléfono móvil. Por lo tanto, una solución inusual fue tomada por el GSM y asigno las

funciones de RR al BSC. Por lo tanto la conmutación de circuitos, la cual es inadecuada para la transferencia de paquetes conmutados GPRS, se situada en forma centralizada en el MSC para las redes GSM. El MSC de puerta de enlace (G-MSC) y la función que interconexión (IWF). En las fronteras de una PLMN un G-MSC realiza las funciones de interconexión IWF, que, entre otras cosas, se encarga de la adaptación de la velocidad de transferencia de datos en las conexiones a redes externas. GSM permite interconexión con diversos tipos de redes externas por ejemplo las PSTN y la ISDN.

1.3.7 El registro de la identidad del equipo

En contraste con las bases de datos en el GSM antes descritas (es decir, el VLR y el HLR), el EIR no administra datos del suscriptor sino los datos de los terminales móviles. Otra diferencia con el VLR y el HLR es el hecho de que el EIR es un elemento opcional de la red y por razones de costo, sólo introducido raramente por los operadores de red. Es importante mirar el desarrollo histórico de EIR. En la etapa de estandarización del GSM en los años 80, los dispositivos móviles y las llamadas eran muy costosos y el peligro de robo por consiguiente era alto y teóricamente, un dispositivo robado se podía utilizar desde el día de su hurto. Dos medidas fueron tomadas. Primero, todos los dispositivos GSM deben tener un código único llamado Identidad Internacional de Equipo Móvil (IMEI). En segundo lugar, el EIR, en el cual los IMEIs robado o visible pueden ser almacenados, fue introducido. El modelo de red GPRS también tiene interfaces al EIR por razones de la compatibilidad.

1.3.8 Subsistema de operación y mantenimiento (OSS)

Este subsistema esta conectados a todos los equipos del NSS y a los BSC a través de la interfaz de Operación y Mantenimiento O&M que no esta definida en los estándares. El OSS tiene a su cargo las funciones de monitoreo y control de todo el sistema brindando una visión general de la red, además provee soporte efectivo para actividades centralizadas de operación y mantenimiento que son requeridas por una red GSM. Esta constituido por el centro de operaciones y mantenimientos (OMC).

1.3.9 La estación móvil GSM

La expresión Estación Móvil (MS) hace referencia al conjunto formado por el Equipo Móvil (ME) que proporciona la conexión física a la red y el Modulo de Identidad del suscriptor.

1.4 Revisión del sistema EDGE/GPRS (Enhanced Data Rates for GSM Evolution/ General Packet Radio Service)

GSM es el mayor sistema de comunicación 2G y es verdaderamente global ya que tiene cobertura pan-Europeo además de los sistemas instalados en Asia, América, Asia y Australia. GSM maneja la voz de forma eficiente, pero el soporte para aplicaciones de datos e Internet es limitado. Una conexión de datos es establecida tan solo como una llamada de voz regular. El usuario marca e inicia una conexión de conmutación de circuitos continua durante toda la sesión. Si el usuario se desconecta y quiere reconectarse, la secuencia de marcado tiene que ser repetida. Este problema junto con la limitación de que a los usuarios se les cobra por todo el tiempo en el que están conectados, crea la necesidad de un sistema de transmisión de datos por paquetes para GSM. Usando Conmutación de Circuitos de Alta Velocidad (HSCSD) se usa la misma tecnología de conmutación de GSM pero con múltiples circuitos para una misma conexión para que un usuario puede alcanzar hasta 57.6 Kbps de velocidad de transmisión.

El Servicio General de Paquetes por Radio (GPRS) introduce transmisión de datos por paquetes en el sistema GSM. GPRS es una tecnología que se adhiere al existente sistema GSM sin cambiarlo. En otras palabras, el GSM aun maneja la voz, y GPRS a través de nuevas interfaces hace posible la transferencia de los datos por conmutación de paquetes. Para que este esquema funcione las estaciones móviles deben ser capaces de soportar ambas funciones, voz y datos. La instalación de GPRS es simple y con un manejo de costos eficientes para el operador ya que solo unos pocos nodos necesitan ser adheridos. Las principales ventajas que permite GPRS son:

- Conexión Permanente. Elimina el proceso de marcado para conectarse.
- Los operadores GSM no tienen que reemplazar sus equipos en lugar de eso es necesario adherir nuevos sobre la infraestructura existente tal como muestra la Fig. 1.2
- Es una parte integral de EDGE y WCDMA. GPRS es el Centro de conmutación de paquetes para el sistema de tercera generación.

El sistema de Mejoramiento de la Velocidad para la Evolución de GSM (EDGE) también realiza un manejo de costos eficientes para migrar a una red con todos los servicios de 3G.

EDGE no carga muchos cambios en la red de conmutación y aun usa la infraestructura GPRS/GSM. Se centra en el mejoramiento de la capacidad y la eficiencia sobre la interfaz aire introduciendo nuevos y más avanzados esquemas de codificación donde

cada intervalo de tiempo puede transportar mayor cantidad de datos. Adicionalmente EDGE adapta la codificación a las condiciones existentes, lo cual significa que la velocidad será más alta cuando la recepción de radio sea mejor.

Las principales ventajas de EDGE es que no hace necesario la adición de una nueva banda para incrementar la velocidad de transferencia de los sistemas GSM/GPRS.

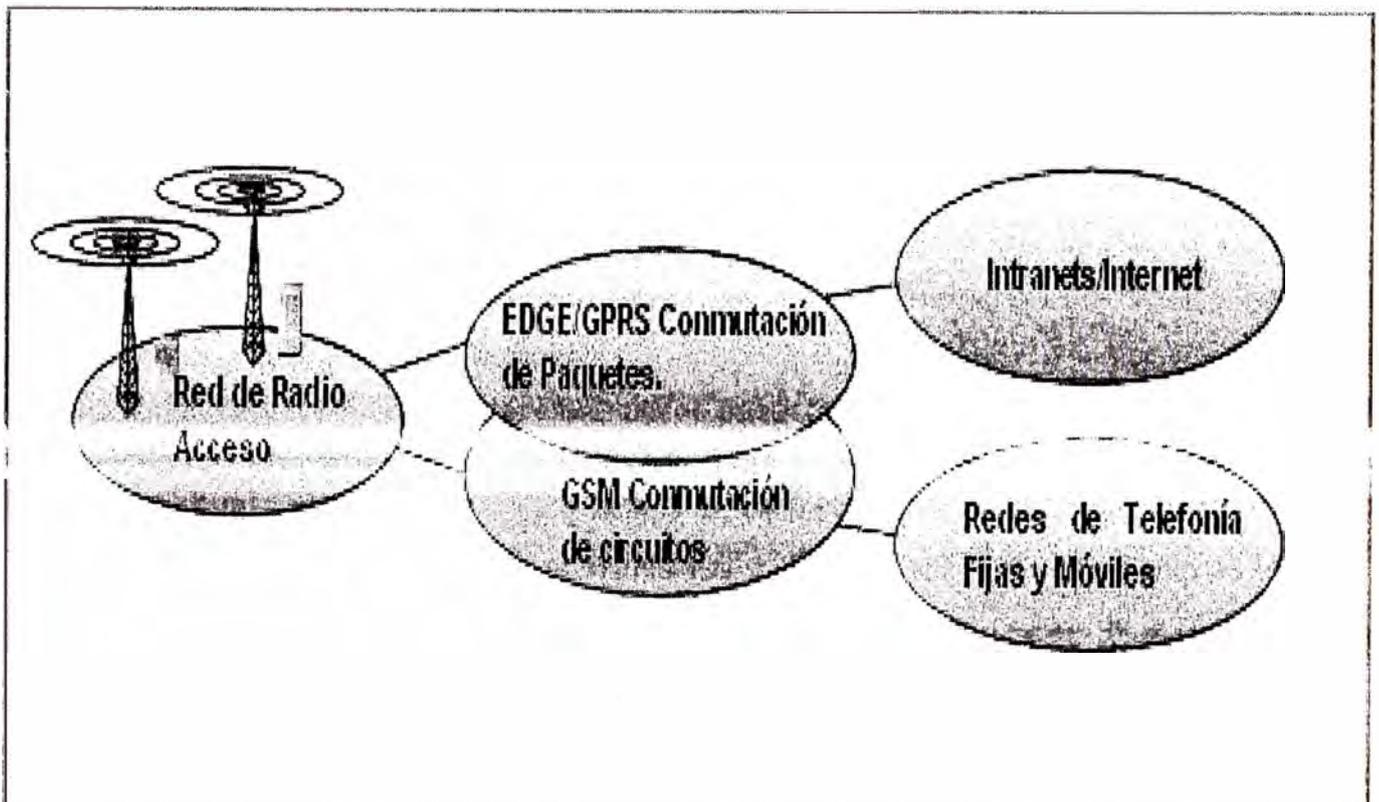


Fig. 1.2.- Red EDGE/GPRS implementada sobre una red GSM

1.4.1 Funciones de alto nivel de la red EDGE/GPRS

La lista siguiente muestra las funciones lógicas realizadas dentro de la Red en el Dominio de Paquete. Se definen varias agrupaciones funcionales (meta-funciones) y cada una abarca un número de funciones individuales:

a) Funciones de control de acceso a red

El acceso a red es la forma por la cual un usuario se conecta con una red de telecomunicación para utilizar los servicios y/o facilidades de esa red. Un protocolo de acceso es la definición de un conjunto de procedimientos que permite al usuario emplear los servicios y/o facilidades de la red. El acceso de red del usuario puede ocurrir desde el lado móvil o del lado fijo de la red. La interfaz a la PSTN debe soportar múltiples protocolos de acceso a las redes de datos externas, por ejemplo IP. El sistema de

protocolos del acceso que se soportaran es determinado por el operador de PLMN. Las administraciones individuales de las PLMN pueden requerir procedimientos específicos del control de acceso para limitar el número de usuarios permitido en la red, o para restringir las capacidades de usuarios individuales, por ejemplo limitando el tipo de servicio disponible para un suscriptor individual. Tales procedimientos del control de acceso están más allá del alcance de las especificaciones.

- Función de Registro
- Función de la autenticación y de la autorización
- Función de Control de Admisión dentro de cada célula.
- Función de Detección de Mensaje
- Función de Adaptación de Paquetes al Terminal
- Función de Recolección de Datos de Cobro
- Función de aplicación de excepciones.

b) Funciones de enrutamiento y transferencia de paquetes

Una ruta es una lista ordenada de nodos usados para la transferencia de mensajes tanto hacia otras redes como dentro de una misma PLMN(s). Una ruta está formada por el nodo de origen, cero a más nodos retransmisores y el nodo destino. Enrutamiento es el proceso de la determinación y de uso, de acuerdo a un conjunto de reglas, de la ruta de transmisión de los mensajes.

- Función de Retransmisión.
- Función de Enrutamiento.
- Funciones de Traducción y mapeo de direcciones.
- Función de Encapsulación.
- Función de Tunelización.
- Función De la Compresión.
- Función de Cifrado.
- Función de Servidor de Nombres de Dominio DNS (Domain Name Server).

c) Funciones de administración de la movilidad

La funcionalidad de administración de la movilidad es usada para mantener el seguimiento de la ubicación de un MS en una u otra PLMN.

d) Funciones de administración de enlace lógico (GSM solamente).

Esta función se encarga del mantenimiento de los canales de comunicación entre un MS individual y la PLMN a través de la interfaz de radio. Esas funciones involucran la coordinación de los estados del enlace entre el MS y la PLMN tanto como la supervisión de la información transferida sobre un enlace lógico.

- Función de establecimiento del enlace lógico

- Función de Mantenimiento de enlace lógico
- Función de liberación de enlace lógico

e) Funciones de administración de recursos de radio

Esta función se encarga de la asignación y mantenimiento de los caminos de radio comunicación y es realizada por la red de acceso.

f) Funciones de administración de red.

Esta función proporciona mecanismos de soporte para las funciones de O&M relacionadas al dominio de paquetes, además de ser la encargada de reportar a los administradores todas las estadísticas y alarmas necesarias para una correcta revisión del desempeño de la red.

1.4.2 Arquitectura lógica de la red EDGE/GPRS

a) Nodo servidor de soporte GPRS (SGSN)

El SGSN es un componente fundamental en la red Central GPRS (GPRS Core), a través de él muchas diferentes Unidades Controladores de paquetes (PCU) o BSS se suministran con GPRS, estas BSSs conforman su área de servicio. El SGSN para GPRS realiza las funciones que son realizadas por el MSC y el VLR, además de estas funciones, el SGSN tiene tareas adicionales que son específicas para GPRS, que no existen en GSM. El SGSN realiza el manejo de la conversión de protocolo IP usado en la red backbone GPRS, al Protocolo de Convergencia de Subred Dependiente (SNDCP) y al protocolo de control lógico de enlace LLC usado entre el SGSN y el MS, esos protocolos manejan la compresión y el cifrado. El SGSN además se encarga la autenticación de los móviles a la red GPRS y cuando la autenticación es exitosa, el SGSN se encarga de la registro a la red GPRS y supervisa la administración de la movilidad. El SGSN puede enviar información a otros SGSN y GGSN (y viceversa). Podemos detallar las funciones principales del SGSN de la siguiente manera:

- Conmutación de paquetes

Para el SGSN la conmutación y el envío de paquetes de datos es más importante que ninguna otra función. Esta conmutación se realiza entre las diferentes PCU que tiene conectadas directamente y el GGSN, el cual podría estar en la misma PLMN o en otra remota para el caso de los usuarios roamers.

- Transferencia de mensajes cortos

GPRS también deben ser capaces de transmitir mensajes cortos. En este caso, mensajes cortos son enviados entre los Centros de servicio de mensajes cortos de puerta de enlace (SMSC-G) y el SGSN. Un mensaje corto en GPRS siempre debe ser visto como una

carga útil y por lo tanto, requieren de tráfico canales (PDTCH).

- Cifrado en GPRS (Encriptación de datos)

Para GPRS, el cifrado se realiza en el nivel de paquetes de datos entre el SGSN y la estación móvil en el Nivel. A diferencia de GSM en la cual se realiza entre la estación móvil y la BTS.

- Compresión de Datos en GPRS

Del lado de la red, el SGSN es también responsable por la compresión de los datos. Para GPRS se soportan dos tipos independientes de compresión. RFC 1444 exclusivo para compresión de tramas TCP/IP y V.42 que es independientes de la data cruda que va a ser comprimida.

- Administración de la Movilidad

Cuando hay un cambio de celda GPRS, que también incluye un cambio de SGSN, el SGSN es responsable por garantizar que todos los paquetes de datos todavía no confirmados por la estación móvil se envíen al nuevo SGSN para la retransmisión. Los SGSNs deben estar conectados entre si con el objetivo de habilitar una completa red de itinerancia.

- Manejo del Cobro

El SGSN es responsable de la generación y en particular del envío de cierta información al servidor de puerta de enlace a la red de cobro (CG), sin embargo el SGSN puede solo registrar la información de cobro perteneciente al uso de la propia red o la interfaz de aire, en vista de que la conmutación de paquetes permite muchas ventajas tales como el estar siempre conectado se recomienda el cobro basado en el volumen de datos transmitido.

b) Nodo de Soporte de GPRS de Puerta de Enlace (GGSN)

El GGSN es esencialmente la interfaz entre la red de GPRS y las redes de datos externas., especialmente el Internet. El estándar del GSM es relativamente vago adentro la definición de las funciones para el GGSN, e incluso permite la integración del SGSN y del GGSN en el mismo elemento de la red. El GGSN es esencialmente un router (enrutador) de paquete que ha sido modificado para ejecute funciones adicionales propias de una red de GSM/GPRS. Para que una red GPRS se necesita por lo menos de un GGSN (es decir, un acoplamiento a las redes externas del paquete), pero pueden tener varios. El GGSN no tiene ninguna relación con el área geográfica a la que sirve a diferencia del SGSN. Los diferentes nodos de soporte GPRS se comunican entre si usando direccionamiento IP. El GGSN cumple las siguientes funciones

- Creación de los contextos de PDP

Los protocolos externos de paquetes se designan como PDPs en GPRS, el más

importante de los PDPs es indudablemente el Internet Protocol (IP). Otro PDPs son soportados por GPRS: X.25, PPP, IHOSS. Antes de que una estación móvil en GPRS pueda enviar o recibir paquete de datos se requiere la activación de un contexto de PDP entre la estación móvil y la red. Cuando se activa el contexto de PDP la red y la estación móvil acuerdan la dirección de PDP y los parámetros de transmisión que se utilizarán, como son la tasa máxima de transmisión, el retardo en la transmisión de los paquetes de datos, y la prioridad de asignación de recursos. Todos estos parámetros son parte del perfil de calidad de servicio (QoS).

- Función de Enganche

El GGSN es el elemento GPRS que no cambia durante un contexto de PDP activo. Este hecho es claramente necesario ya que los paquetes de datos vienen de redes de datos externas y requieren un punto fijo de entrada en la red de GSM/GPRS. Solamente el SGSN se cambia durante la itinerancia en la red cuando el área servida respectiva cambia.

- Funciones de Cobro

El GGSN también hace una parte activa en el cobro, mientras que el SGSN se concentra en la compaginación de todos los cobros con respecto al uso de los recursos internos de la red, incluyendo en particular la interfaz del aire, el GGSN se encarga de compaginar todas los cobros con respecto a recursos de redes externas. Esta diferenciación es importante en el caso de un usuario itinerante de otra PLMN.

c) Unidad Controladora de Paquetes (PCU)

Por razones financieras los BSCs deben ser afectados lo menos posible en la expansión GPRS, sin embargo debido a la limitada capacidad de los BSCs la expansión de hardware es inevitable. Esta expansión de hardware es la PCU que puede ser instalado como parte del BSS en diferentes partes de la red.

La PCU tiene la responsabilidad de la gestión de las funciones de recursos de radio en la red GPRS, se trata de un nuevo protocolo en comparación con el RR en GSM el cual es llamado Control de Radio Enlace/Control de acceso al medio (RLC/MAC), si bien el BSC se encarga de la administración de la conmutación de los circuitos de radio GSM, las PCU se hacen cargo de esta tarea para GPRS. La PCU es responsable de las capas inferiores de la pila de protocolos GPRS en la interfaz aire.

La segunda función de las PCU es la conversión de paquetes de datos en lo que se llama tramas PCU. Estas tramas PCU son transmitidas transparentemente a través del BSC a la BTS, la cual toma un procesamiento adicional en forma de codificación de canales y entremezclado, Transparentemente para el BSC, la información de señalización RLC/MAC alcanza la BTS y finalmente a la estación móvil, una cosa especial acerca de

las tramas PCU es el hecho de que son del mismo formatos que las tramas de la TRAU que son enviadas transparentemente a través del BSC a la BTS..

d) Servidor de puerta de enlace de frontera (BG)

El BG (Border Gateway) es un enrutador que proporciona un GPRS túnel directo entre dos PLMNs y es por lo tanto de decisiva importancia para la itineraria GPRS entre PLMNs. Físicamente un BG puede ser parte de un SGSN, GGSN o un equipo aparte. Se debe tener en cuenta que el BG es siempre utilizado cuando un particular GGSN es seleccionado por una estación móvil durante la activación de un PDP si el abonado se encuentra en otra PLMN en ese momento la conexión SGSN/GGSN será creada y mantenida a través del BG.

e) Servidor de puerta de enlace al sistema de cobro (CG)

El CG (Charging Gateway) ofrece un único punto de acceso entre la red GPRS al Sistema de Cuidado y facturación del Clientes (CCB). La información de cobro en la red GPRS es colectada tanto por el SGSN en S-CDRs y el GGSN G-CDRs. El cobro se puede basar en volumen de datos transferidos, cantidad de tiempo con un contexto PDP activo, ubicación del MS o el punto de acceso a la red APN usado. El CG realiza las siguientes funciones:

- Recolección de los registro de detalle de las llamadas (CDR) del GGSN y el SGSN
- Combinación de los SCDR y los GCDR.
- Validación, consolidación, formateo y manejo en general de los CDRs

f) Servidor de nombres de dominio (DNS)

El DNS (Domain Name Server) tiene una importante funcionalidad dentro de la infraestructura general del GPRS la cual es proporcionar la dirección IP del GGSN detrás del nombre de punto de acceso APN, esto quiere decir que este DNS resuelve a que GGSN se tiene que dirigir las solicitudes de apertura de un contexto PDP dependiendo del APN, por ejemplo si es un APN local el DNS resolverá abrir un contexto con el GGSN local y si fuera un APN de una PLMN remota la solicitud se enviara hacia el GGSN de esta PLMN remota. Este servidor DNS funciona por separado e independientemente del DNS público con cara a Internet.

g) Cortafuegos (Firewall)

El FW (Firewall) es utilizado en la red GPRS para controlar las comunicaciones, permitiéndolas o prohibiéndolas según las políticas de red que haya definido la organización responsable de la red... La ubicación habitual de un cortafuegos es el punto de conexión de la red interna de la organización con la red exterior, que normalmente es Internet; de este modo se protege la red interna de intentos de acceso no autorizados desde Internet, que puedan aprovechar vulnerabilidades de los sistemas de la red

interna. También es frecuente conectar a los cortafuegos una tercera red, llamada zona desmilitarizada o DMZ, en la que se ubican los servidores de la organización que deben permanecer accesibles desde la red exterior.

La arquitectura teórica de la red EDGE/GPRS y sus interfaces se muestra en la Fig. 1.3 y la arquitectura final que se implementará se muestran en la Fig. 1.4.

1.5 Modificaciones necesarias en la red GSM para soportar EDGE/GPRS.

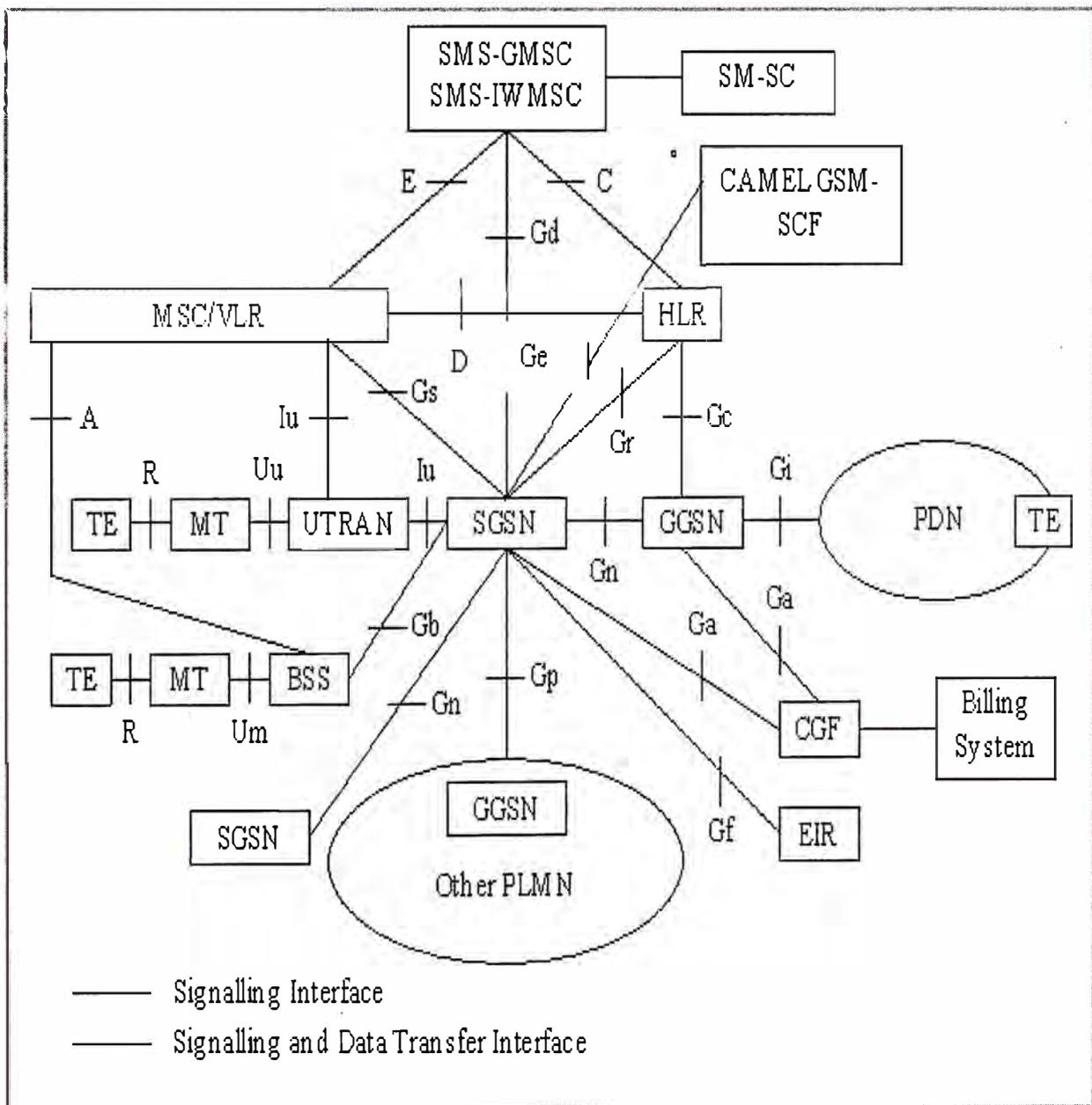


Fig. 1.3.- Arquitectura Lógica de la red EDGE/GPRS

Fuente: General Packet Radio Service (GPRS), Service description - Technical Specification Group Services and System Aspects

1.5.1 Modificación en las estaciones bases.

Para el caso de que se quiera implementar solo GPRS ningún cambio de hardware es requerido tan solo son necesarios actualizaciones del software en la BTS sin embargo si se requiere implementar EDGE es necesario usar nuevas TRX las cuales soportan los requerimientos necesarios de codificación (16 QPSK) y mayores velocidad de transferencia de datos con la introducción de nuevos esquemas de modulación y codificación que varían dinámicamente dependiendo de las condiciones de radio de los usuarios Además es usual incrementar a la cantidad de E1 asignados para la transmisión de la información de estas BTS al BSC, esto debido a que una de las características de EDGE es la utilización de un grupo dinámico de recursos de radio en la interfaz Abis que se ponen a disposición de las TRXs que tienen configurado EDGE, esto permite también que los usuarios desarrollen mayores velocidades de transferencia de datos

1.5.2 Modificaciones en las BSC

La implementación de GPRS/EDGE no tiene ningún efecto sobre la capacidad del BSC para manejar conmutación de llamadas por circuitos. Para soportar GPRS es necesario la actualización del software y una nueva pieza de hardware son requeridas en el BSC, La unidad controladora de paquetes PCU debe ser incluida dentro de la BCSU en una de las posiciones vacantes. La PCU soporta los nuevos protocolos necesarios para GPRS y además maneja las funciones de asignación y administración de canales de radio.

1.5.3 Modificaciones en el MSC/ VLR

Los MSC/VLR no están involucrados en la transferencia de datos por GPRS pero deben soportar señalización para teléfonos móviles clase A¹ y clase B² y envío de SMS. Es necesario realizar una actualización de software para permitir que los terminales sean enganchados en ambos servicios GSM y GPRS simultáneamente, además se requiere la implementación de la interfaz Gs entre el MSC/VLR y el SGSN pero solo cuando se tendrá habilitada en modo de red 2 en el cual el "paging" de GSM y GPRS se realiza en forma conjunta ya que en modo de red 1 en el cual el "paging" GSM y GPRS son independientes no es necesario usar esta interfaz , de esta forma se soporta la radio búsqueda (paging) combinada para móviles clase A y B.

¹ Móviles clase A son los que solo soportan una comunicación GSM o GPRS a la vez.

² Móviles clase B son los que soportan una comunicación GSM y GPRS simultáneamente

1.5.4 Modificaciones en HLR

Tal como en servicios de conmutación de circuitos, la información de los suscriptores para GPRS debe ser guardada en el HLR. Es necesario realizar una actualización en el software del HLR ya que este debe soportar nuevos procedimientos propios de GPRS tales como el enganche y desenganche GPRS y la autenticación, además se debe implementar una interfaz entre el HLR y el SGSN (Gr) la cual permite al SGSN obtener la información necesaria para sus VLRs.

A lo largo de este capítulo se ha presentado los principales puntos teóricos de las redes GSM y EDGE/GPRS, estos conocimientos los utilizaremos a lo largo de los capítulos posteriores y nos servirán para lograr un mejor entendimiento del proceso de diseño de la red EDGE/GPRS.

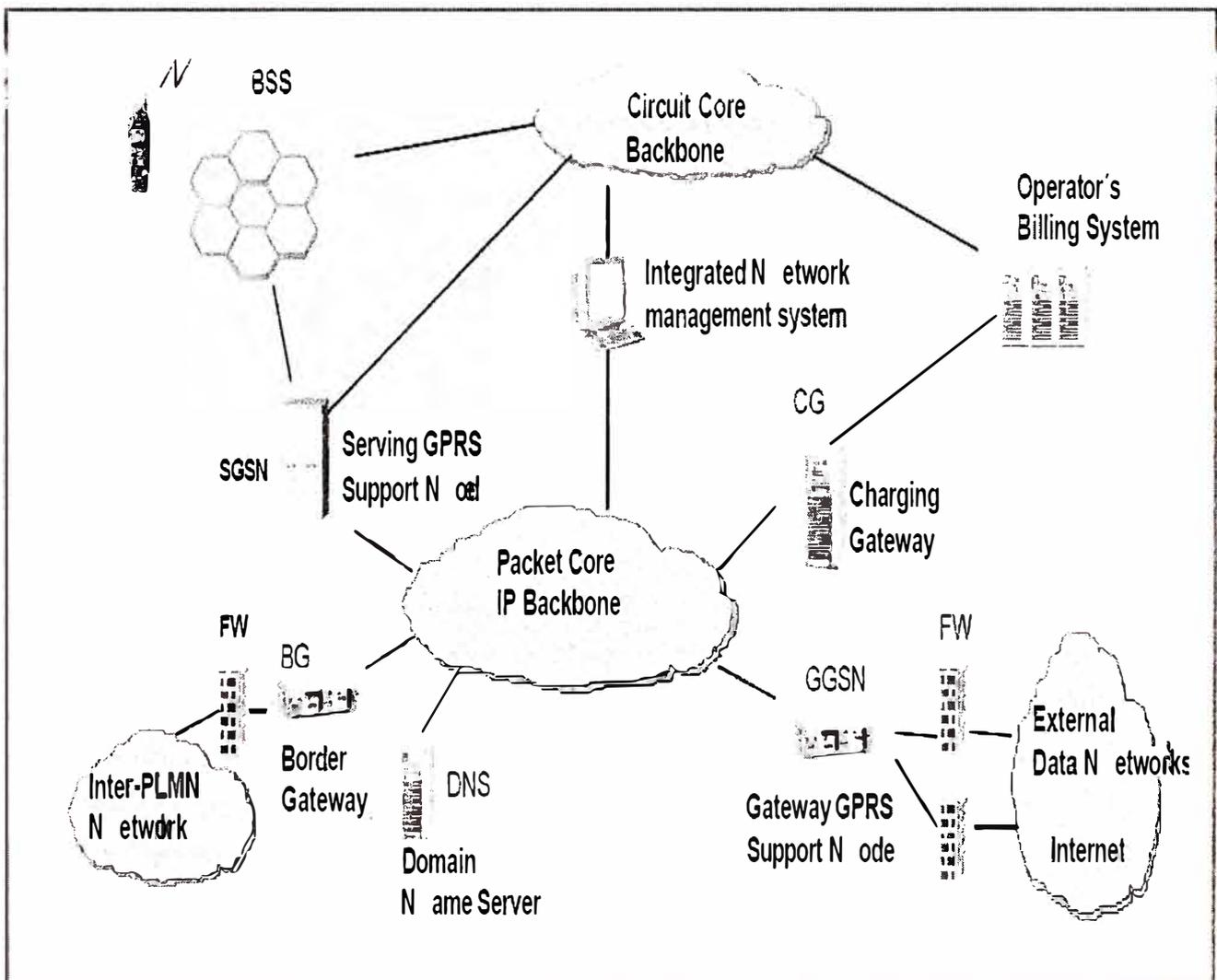


Fig. 1.4.- Estructura de Red EDGE/GPRS implementada

Fuente: General Packet Radio Service (GPRS) Solution Description NOKIA

CAPÍTULO II

ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA RED GSM

Para el desarrollo exitoso de este proyecto es imprescindible conocer con precisión ciertos valores los cuales constituyen los datos de entrada en el proceso de diseño.

En el presente capítulo se presentará la información mas relevante de la red GSM sobre la cual se implementará la red EDGE/GPRS, además se indicaran cuales son esos valores necesarios para el diseño y como pueden ser calculados, las deducciones teóricas realizadas en este capítulo son independientes de la marca de equipos que use el operador móvil.

2.1 Datos generales del área de estudio

El área geográfica en donde se desarrollara este proyecto esta comprendida por los distritos de San Isidro y Lince, por lo tanto necesitamos conocer algunos rasgos generales de estos distritos, tales como superficie y población.

2.1.1 Distrito de San Isidro

El distrito de San Isidro es uno de los 43 distritos de la Provincia de Lima, ubicada en el Departamento de Lima. Limita al norte con el distrito de Lince, el distrito de La Victoria y el distrito de Jesús María, al este con el distrito de San Borja, al sur con el distrito de Surquillo y el distrito de Miraflores y al oeste con el distrito de Magdalena del Mar y el Océano Pacífico.

Posteriormente, las urbanizaciones de San Isidro, Orrantia y Country Club se segregan de Miraflores y pasan a formar el nuevo distrito creado por D.L. Nro. 7113 del 24 de abril de 1931 y cuyo primer concejo se instaló el 2 de mayo del mismo año, siendo su primer Alcalde el Dr. Alfredo Parodi.

Tiene una población estimada de 68.438 habitantes residentes (de acuerdo al INEI,

proyectado al año 2006) y una población flotante de no residentes de 700.000 personas. Es el distrito con el más alto índice de Desarrollo Humano de todo el país. Su área total es de 11,1 kilómetros cuadrados, se ubica a 109 m.s.n.m. Actualmente, San Isidro se ha convertido en el centro financiero de la ciudad de Lima; sin embargo, a pesar de la modernidad que lo caracteriza, aún conserva varias áreas residenciales e importantes legados de la cultura indígena y colonial que, combinados con los más refinados diseños arquitectónicos. La siguiente información estadística nos da una idea global de su actual desarrollo:

- 28 residencias de Embajadas.
- 21 Bancos principales, 5 administradoras de fondos de pensiones y 6 sociedades agentes de bolsa, todo lo cual califica al Distrito de San Isidro como el centro financiero del Perú.
- 9 Hoteles de 5 estrellas y 34 hoteles y hostales de otras categorías; 34 restaurantes y 15 centros nocturnos de diversión, todo lo cual constituyen facilidades de alojamiento y recreación para promover el turismo.
- 158 iglesias católicas, grandes centros educativos tanto de índole privado como estatal. Centros comerciales, grandes tiendas, tiendas por departamento y supermercados que constituyen atracción para el turista. (Mayor información en: www.munisanisidro.gob.pe).

El plano del distrito se muestra en la Fig. 2.1.

2.1.2 Distrito de Lince

Fue establecido el 18 de mayo de 1936, por Decreto Ley N° 8281, siendo presidente de la Asamblea Constituyente, Clemente Revilla durante el gobierno del General Óscar R. Benavides.

Su primer Alcalde fue Don Juan R. Velásquez, nombrado el 27 de setiembre de 1945, por la Junta Municipal Transitoria, por un periodo de tres años, cubriendo la fase del 10 de octubre de 1945 al 14 de marzo de 1948. El distrito de Lince es uno de los 43 distritos que conforman la Provincia de Lima, ubicada en el Departamento de Lima. Limita al norte con los distritos de Jesús María y Santa Beatriz (Cercado de Lima), al este con la La Victoria y al sur y oeste con San Isidro.

Tiene una extensión de 3,03 km² y una altitud de 117 m.s.n.m. En el censo de 1963, Lince sumaba una población de 30 000 habitantes. Según el Censo de 2005 tiene una población de 52 123 habitantes (Mayor información en: www.munilince.gob.pe).

El plano del distrito se muestra en la Fig. 2.2.

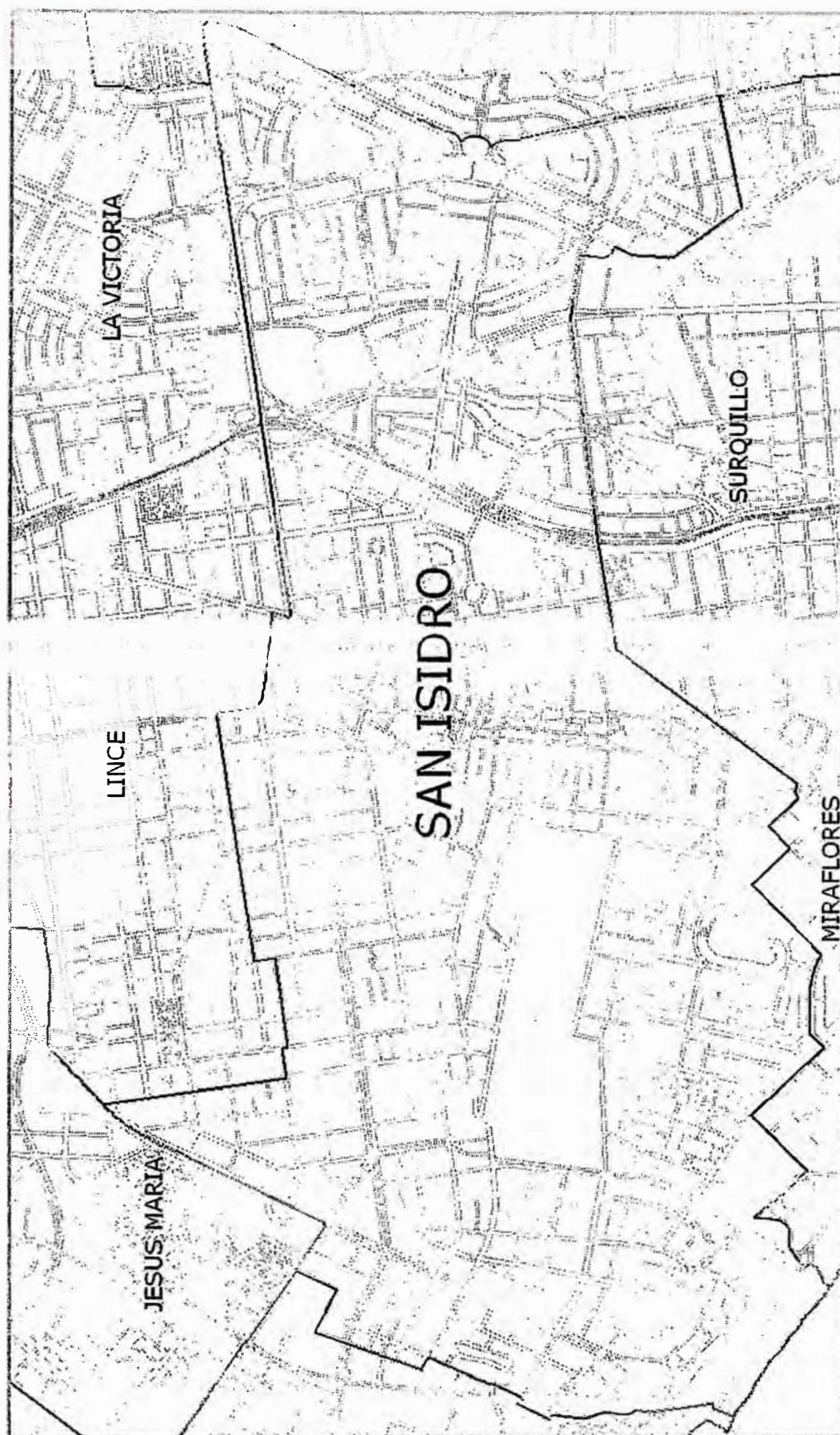


Fig. 2.1.- Plano San Isidro

Fuente: www.munisanisidro.gob.pe

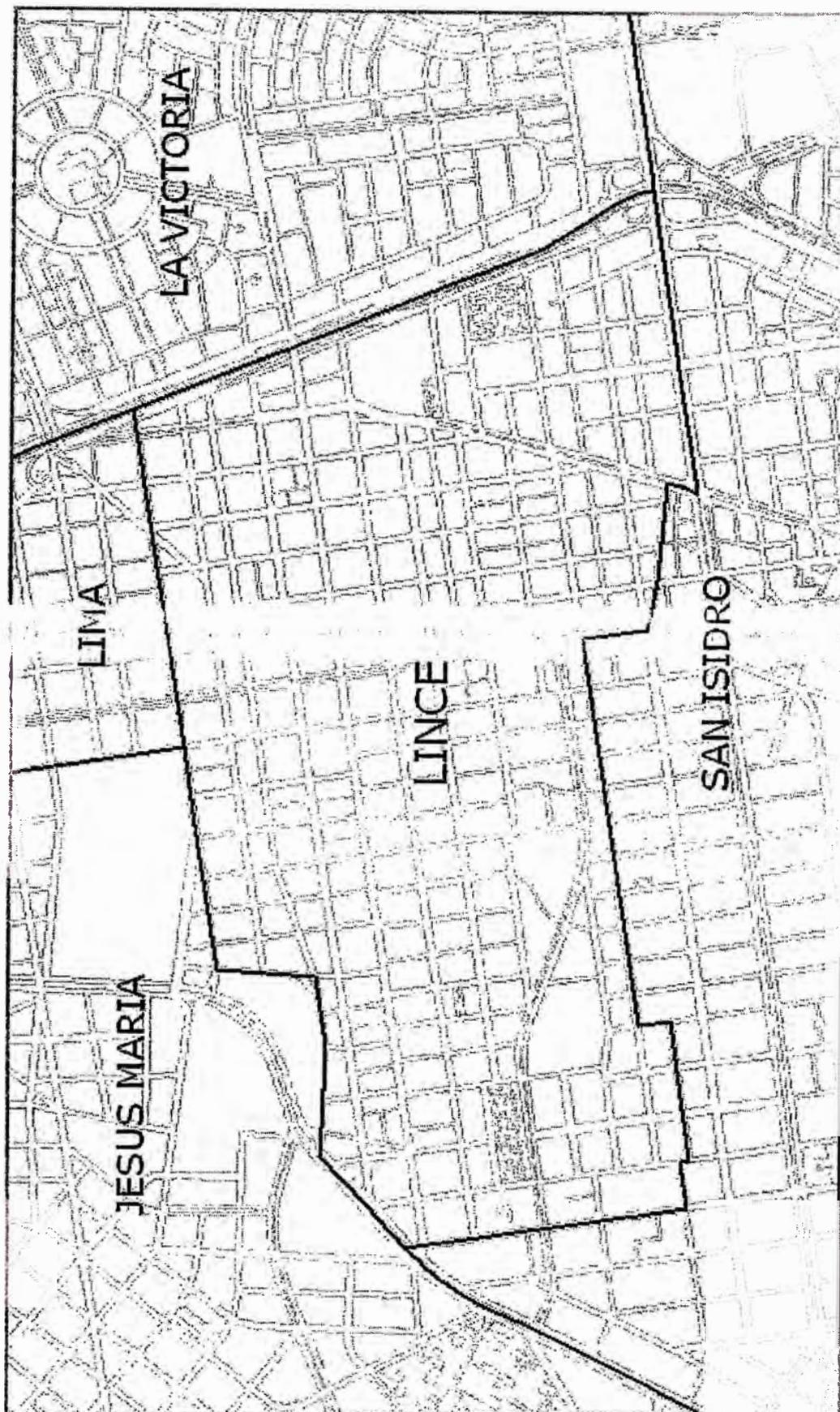


Fig. 2.2.- Plano del distrito de Lince

Fuente: www.munilince.gob.pe

2.2 Infraestructura de red existente

En este punto se requiere averiguar la cantidad de elementos de la Red GSM que dan servicio al área de estudio conformado por los distritos de San Isidro y Lince a nivel de la Red de Acceso estos son BSCs, BTSs, TRXs y elementos de transmisiones. Los elementos del centro de conmutación de la red tales como MSC, HLR no es necesario considerarlos en este paso. La zona de estudio tiene las siguientes características a nivel de Red de Acceso,

- Es servida por un solo BSC el cual llamaremos BSC0001.
- Contiene 52 celdas los cuales numeraremos desde el CI0001 hasta el CI0052.
- Contiene un total de 158 BTS (sectores).
- Contiene un total de 467 TRXs.
- Contiene un total de 158 canales MBCCH, 158 canales SDCCH, 3420 canales TCHF.
- El medio de transmisión de la interfaz abis para cada celda es de un E1 (2 Mbps divididos en 32 time slots de 64 kbps).

En la Fig. 2.3 se muestra la ubicación de todas las celdas del BSC0001 (marcados en amarillo) presentados sobre una imagen satelital de Lince y San Isidro de tal forma que podamos tener una mejor idea de la distribución geográfica de las celdas con respecto a la organización urbana de estos distritos, por ejemplo en ella se puede observar una mayor concentración de celdas en la zona del centro empresaria de San Isidro y una menor concentración en la zona de Lince, debido que la red EDGE/GPRS se implementa sobre una red GSM existente no es posible definir la ubicación de las celdas ya que estos han sido ubicados antes para la red GSM por lo tanto es un valor fijo que no podemos cambiar sin embargo si luego de la implementación de la red EDGE/GPRS se observa que una zona tiene problemas de cobertura se puede realizar cambios en las orientaciones de las antenas.

En la Fig. 2.4 se muestra las celdas que pertenecen al BSC0001 (marcados en rojo) presentados junto a celdas de otros BSCs detallando la cantidad de sectores por celda de tal forma que podemos llevarnos una mejor idea de la densidad de sectores que se requiere para dar cobertura a la ciudad de Lima.

Es importante recordar que la densidad de las celdas en un área geográfica depende de la frecuencia de la banda con la que es este trabajando, la demanda de tráfico y el nivel de señal mínimo que se especifique para dicha zona de cobertura, en este caso se esta usando la banda de 1800 MHz, además las fronteras de coberturas entre los BSCs no es exacta si no que pueden existir pequeñas zonas de cobertura en los distritos de San Isidro y Lince que provienen de otros BSCs pero estas se consideran despreciables.

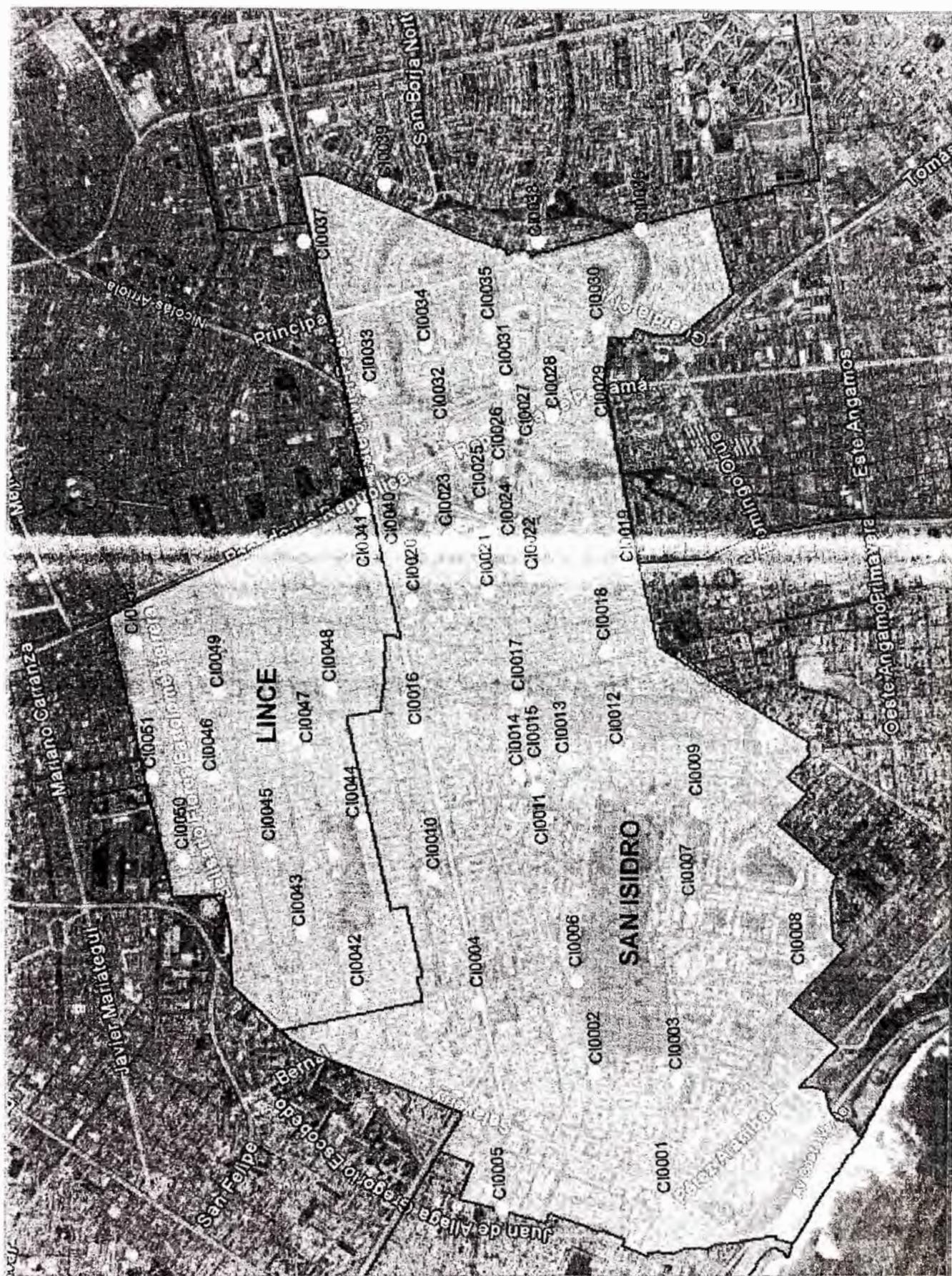
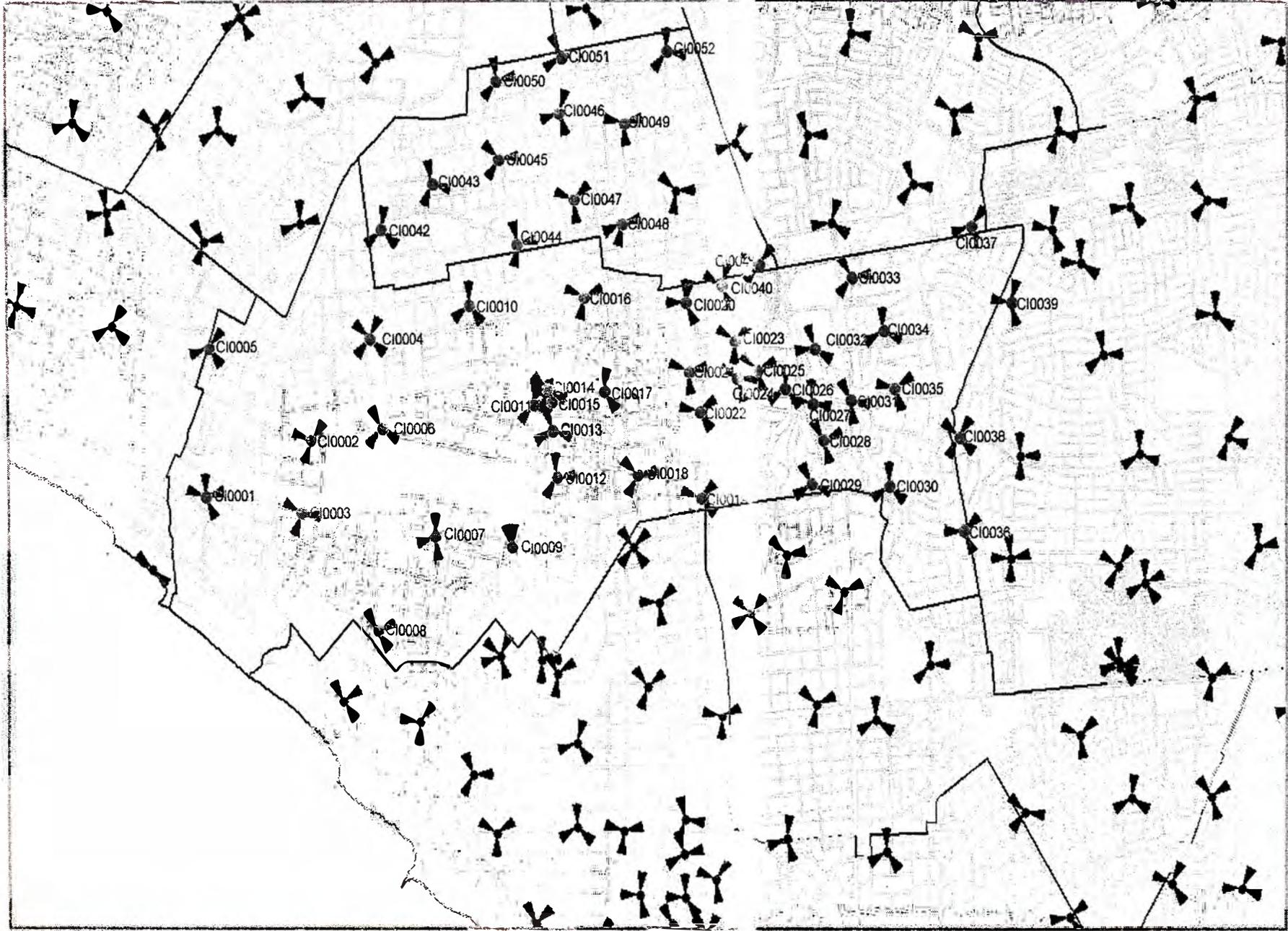


Fig. 2.3.- Ubicación de las celdas del BSC0001

Fig. 2.4.- Orientación de los sectores del BSC0001



En las tablas 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5 se muestra la distribución de la configuración de canales para las BTSs según la cantidad de TRXs que contienen, esta configuración es variable y depende de la planificación de radio que se haya realizado, se debe recordar que lo que se pretende maximizar es la cantidad de canales TCHF ya que estos son los que transportan las llamadas de voz y datos, sin embargo se debe cuidar el mantener una cantidad acorde de canales SDCCH y MBCCH de tal forma que las celdas puedan cumplir con sus funciones de señalización de forma satisfactoria, en la ultima tabla se observa la distribución de canales para una BTS con una sola TRXs en este caso se usa un canal combinado de MBCCH y SDCCH el cual se denomina MBCCHC.

En la TABLA 2.6 se muestra el detalle de la configuración para cada una de las celdas del BSC0001. Este es el inventario básico que se debe tener registrado para la red de acceso en el se puede observar la cantidad de TRXs que se tiene por sector y la cantidad de sectores que se tienen por celda, además se puede observar que todas las celdas deben estar identificadas con un número en la red el cual es llamado (Cell ID)

TABLA 2.1.- Configuración de BTS con 5 TRXs

CH	TRX 1	TRX 2	TRX 3	TRX 4	TRX 5
1	MBCCH	SDCCH	TCHF	TCHF	TCHF
2	SDCCH	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF
3	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF
4	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF
5	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF
6	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF
7	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF
8	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF

TABLA 2.2.- Configuración de BTS con 4 TRXs

CH	TRX 1	TRX 2	TRX 3	TRX 4
1	MBCCH	TCHF	TCHF	TCHF
2	SDCCH	TCHF	TCHF	TCHF
3	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF
4	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF
5	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF
6	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF
7	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF
8	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF

TABLA 2.3.- Configuración de BTS con 3 TRXs

CH	TRX 1	TRX 2	TRX 3
1	MBCCH	TCHF	TCHF
2	SDCCH	TCHF	TCHF
3	TCHF	TCHF	TCHF
4	TCHF	TCHF	TCHF
5	TCHF	TCHF	TCHF
6	TCHF	TCHF	TCHF
7	TCHF	TCHF	TCHF
8	TCHF	TCHF	TCHF

TABLA 2.4.- Configuración de BTS con 2 TRXs

CH	TRX 1	TRX 2
1	MBCCH	TCHF
2	SDCCH	TCHF
3	TCHF	TCHF
4	TCHF	TCHF
5	TCHF	TCHF
6	TCHF	TCHF
7	TCHF	TCHF
8	TCHF	TCHF

TABLA 2.5.- Configuración de BTS con 1 TRX

CH	TRX 1
1	MBCCHC
2	TCHF
3	TCHF
4	TCHF
5	TCHF
6	TCHF
7	TCHF
8	TCHF

TABLA 2.6.- Configuración de las BTSs del BSC0001

CI	#BTS	#TRX Sector 1	#TRX Sector 2	#TRX Sector 3	#TRX Sector 4	#TRX Total
CI0001	4	2	2	3	2	9
CI0002	3	3	3	3	0	9
CI0003	3	3	3	3	0	9
CI0004	4	2	3	2	2	9
CI0005	3	3	3	3	0	9
CI0006	3	3	3	3	0	9
CI0007	3	3	3	3	0	9
CI0008	3	3	3	3	0	9
CI0009	3	3	3	3	0	9
CI0010	3	3	3	3	0	9
CI0011	3	3	3	3	0	9
CI0012	3	3	3	3	0	9
CI0013	3	3	3	3	0	9
CI0014	3	3	3	3	0	9
CI0015	3	3	3	3	0	9
CI0016	3	3	3	3	0	9
CI0017	2	4	4	0	0	8
CI0018	3	3	3	3	0	9
CI0019	3	3	3	3	0	9
CI0020	3	3	3	3	0	9
CI0021	3	3	3	3	0	9
CI0022	3	3	3	3	0	9
CI0023	3	3	3	3	0	9
CI0024	3	3	3	3	0	9
CI0025	3	3	3	3	0	9
CI0026	3	3	3	3	0	9
CI0027	3	3	3	3	0	9
CI0028	3	3	3	3	0	9
CI0029	3	3	3	3	0	9
CI0030	3	3	3	3	0	9
CI0031	3	3	3	3	0	9
CI0032	3	3	3	3	0	9
CI0033	3	3	3	3	0	9
CI0034	3	3	3	3	0	9
CI0035	3	3	3	3	0	9
CI0036	3	3	3	3	0	9
CI0037	3	3	3	3	0	9
CI0038	4	3	2	2	2	9
CI0039	3	3	3	3	0	9
CI0040	3	3	3	3	0	9
CI0041	3	3	3	3	0	9
CI0042	3	3	3	3	0	9
CI0043	3	3	3	3	0	9
CI0044	3	3	3	3	0	9
CI0045	3	3	3	3	0	9
CI0046	3	3	3	3	0	9
CI0047	3	3	3	3	0	9
CI0048	3	3	3	3	0	9
CI0049	3	3	3	3	0	9
CI0050	3	3	3	3	0	9
CI0051	3	3	3	3	0	9
CI0052	3	3	3	3	0	9

2.3 Cantidad de usuarios

En este punto debemos determinar la cantidad de usuarios que están registrados en la red GSM bajo la cobertura del BSC0001 tanto en promedio como en hora pico, este valor no necesariamente esta relacionado a la cantidad de personas que viven en la zona de estudio ya que debido al carácter móvil de la telefonía celular muchos de los usuarios finales del servicio no viven en San Isidro o Lince aproximadamente 40% según los datos de los usuarios en VLR.

Para calcular este valor se usará las estadísticas propias del Sistema de Gestión, Operación y Mantenimiento GSM o en su defecto se puede crear un programa automático que realice una consulta cíclica al VLR del MSC001 (MSC que conmuta las llamadas del BSC0001) es importante aclarar que esta medición es mas importante que la que se obtendría de consultar en el HLR ya que esa es una base de datos estática que no necesariamente refleja la cantidad de usuarios que usan la red, debido a que los operadores necesitan aprovisionar usuario siempre por exceso (aproximadamente 20% más de usuarios) de tal forma que se tenga un margen para realizar las ventas.

En este caso realizamos este análisis ejecutando un programa automático que cada 15 minutos realice un cuenta de la cantidad de usuario registrados en el VLR del MSC001 bajo el LAC correspondiente al BSC0001 (se asume que se tiene un LAC por BSC), en la Fig. 2.5 y la TABLA 2.7 se muestra los resultados de 2 días promedio mas cargados, para sacar este promedio se realizó una estimación con los datos del ultimo mes, en este caso agosto 2008. Es importante observar que los promedios se realizan entre días similares de la semana esto quiere decir que por ejemplo se promediaran los valores obtenidos un lunes con los que se obtuvo el día lunes de la semana pasada, luego los del día martes con los del martes de la semana pasada y así sucesivamente este forma de trabajo se justifica debido a que cada día de la semana tiene un patrón de tráfico diferente y promediarlos todos dentro de un mismo valor nos induciría a un error, debido a que para cálculos de capacidad nos interesan mas los valores máximos se ha escogido los dos días promedio mas cargados y a estos valores se les ha calculado el máximo, mínimo y promedio, este método de calculo se realizará de forma extensiva en este informe.

Se debe tener en cuenta que para realizar un estudio real se deben tomar muestras de datos con varios semanas de anticipación de tal forma que se pueda establecer de manera mas precisa la evolución que esta teniendo este indicador, para el análisis no se deben considerar días con tráficos anormales tales como navidad, año nuevo o el día de la madre ya que estos usualmente tienen curvas de tráfico inusuales y podrían incrementar el error en los cálculos.

TABLA 2.1.- Valores máximos, mínimos y promedios de usuarios en el BSC0001 para los 2 días de la semana más cargados según los datos del mes de Agosto 2008

Número promedio de usuarios	50444.66
Número máximo de usuarios	77272
Número mínimo de usuarios	29253

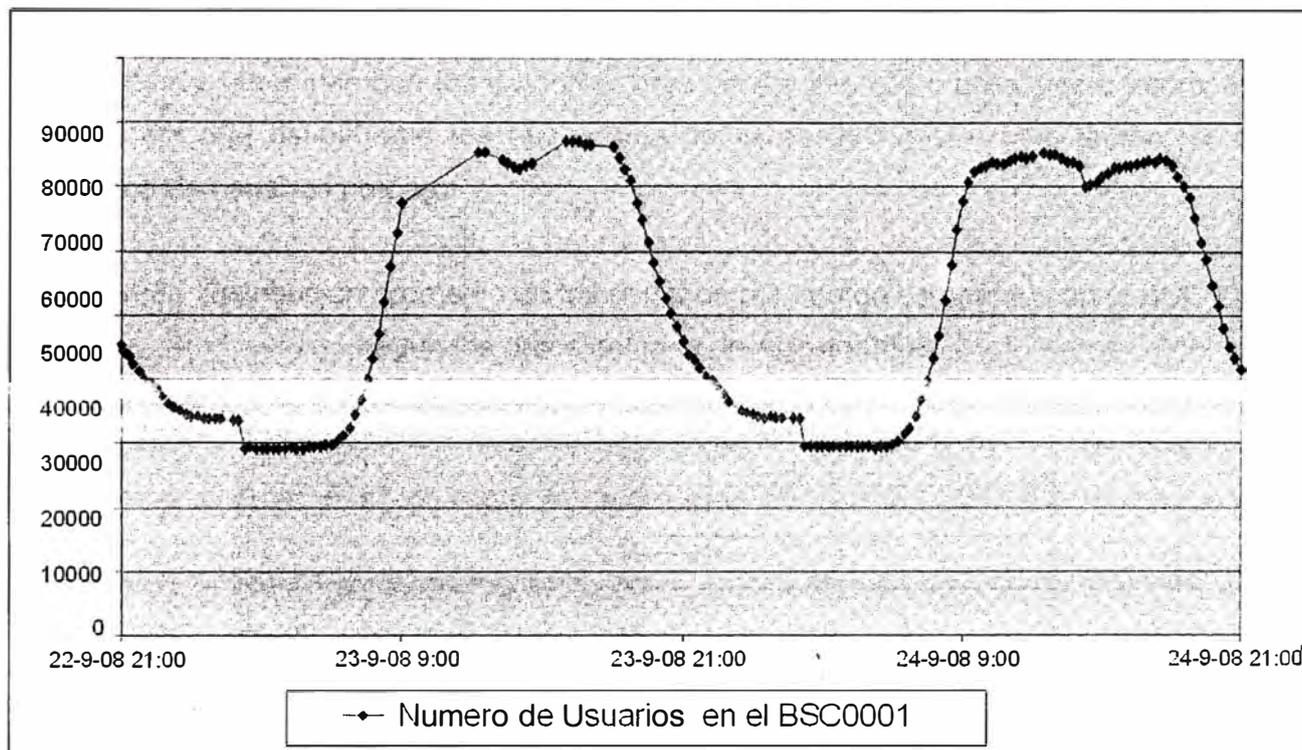


Fig. 2.5.- Cantidad promedio de usuarios en el BSC0001 para los 2 días de la semana más cargados según los datos del mes de Agosto 2008

2.4 Distribución de los usuarios por segmentos

En este punto debemos determinar como se distribuyen los usuarios dentro de los siguientes 4 grandes segmentos:

- Prepago: Usuario que no tiene una bolsa de crédito mínima, puede o no tener saldo según las recargas que realice.
- Pospago: Usuario que tienen una bolsa de crédito mínima asignada mensualmente, adicionalmente si se queda sin saldo puede realizar recargas.
- Corporativo: Usuario pospago con promociones especiales por pertenecer a una compañía en particular.
- Roamer: Usuario que pertenece a otra PLMN pero esta de forma temporal en nuestra

red, también aplica a los usuarios de nuestra red que temporalmente se encuentra usando una PLMN en otro operador.

Siguiendo el método descrito en el punto anterior se diseñó un programa automático que realice una consulta en VLR del MSC001 para usuarios del LAC del BSC0001 pero esta vez el programa realiza un filtro por Service Key³ el cual es un parámetro de CAMEL que nos permite dar un tratamiento diferenciado por tipo de usuarios para los temas de cobro (se asume que se tiene un Service Key diferente por segmento de usuario y se pueden tener prepago, pospago, corporativo o roamer), en la TABLA 2.8 y la Fig. 2.6 se muestra los resultados obtenidos con los datos del mes de Agosto 2008, un aspecto interesante es observar que usualmente los operadores celulares de nuestro país tienen un alto porcentaje de usuarios prepago

TABLA 2.2.- Distribución promedio de los usuarios por tipo de segmentos en el BSC0001 según los datos del mes de Agosto 2008

Usuarios prepago	89.53%
Usuarios pospago	3.19%
Usuarios corporativos	6.33%
Usuarios roamer	0.95%

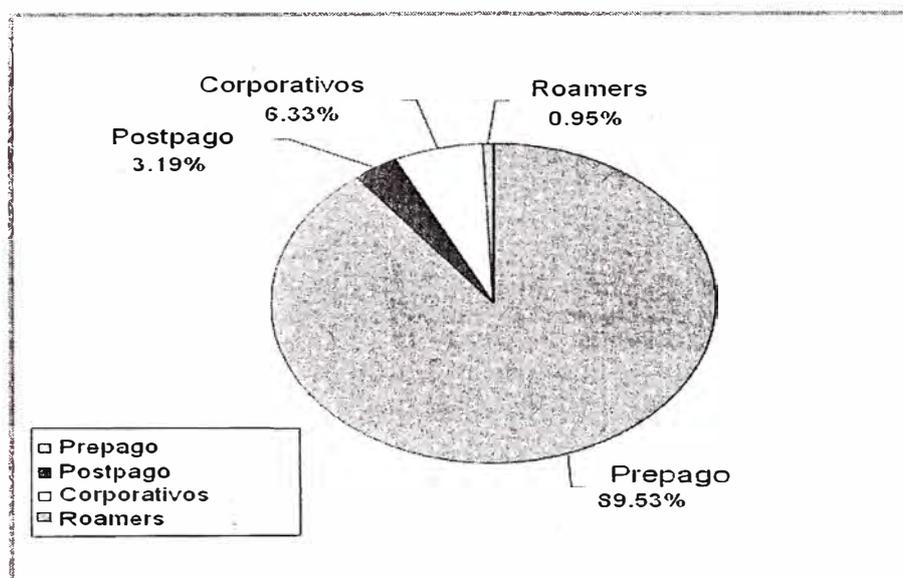


Fig. 2.6.- Distribución promedio de la cantidad de usuarios por tipo de segmento en el BSC0001 según los datos del mes de Agosto 2008

Service Key es un parámetro de CAMEL usado para la clasificación de los usuario.

2.5 Tráfico de voz

En este punto debemos determinar la cantidad de tráfico de voz que cursa el BSC0001 tanto en promedio como en hora pico⁴, este valor esta relacionada a la cantidad de usuarios registrados en la red GSM. Para calcular este valor se usará las estadísticas propias del Sistema de Gestión, Operación y Mantenimiento o en su defecto se puede crear un script⁵ que realice una consulta a los Circuit Groups entre el BSC0001 y el MSC001 que muestre la cantidad de time slots⁶ usados en un instante de tal forma que se puedan tomar valores referenciales cada 15 minutos y así poder tener un estimado de la tendencia de este valor según muestra la Fig. 2.7.

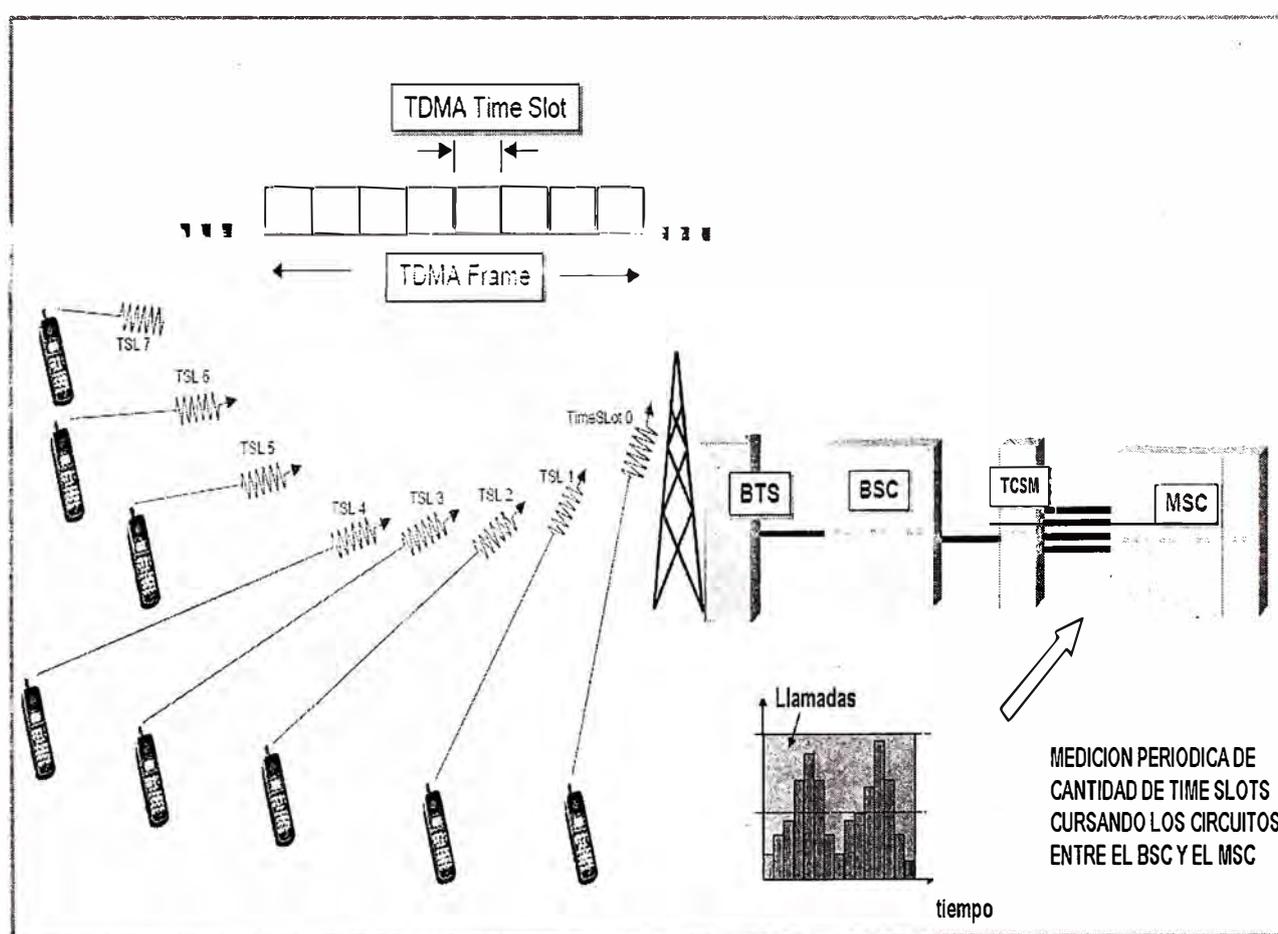


Fig. 2.7.- Medición de cantidad de llamadas del BSC0001

⁴ Hora pico son los cuatro cuartos de hora continuos mas cargados de tráfico de llamadas de voz o datos dentro de un día.

⁵ Script es un programa pequeño para ejecutar una tarea específica en forma automática.

⁶ Time Slot es la unidad mínima en la que se divide un circuito, por el solo puede cursar una llamada de voz a la vez durante un periodo específico.

En este caso realizamos este análisis con la información que nos proporciona el Sistema de Gestión, Operación y Mantenimiento, en la TABLA 2.9 y la Fig. 2.8 se muestra los resultados de 2 días promedio para los indicadores de tráfico total, el tráfico Full Rate⁷ (FR), el tráfico Half Rate⁸ (HR) y el de señalización⁹ (SDCCH).

TABLA 2.3.- Tráfico de voz en el BSC0001 para los 2 días de la semana más cargados según los datos del mes de Agosto 2008

Tráfico promedio (Erlang)	785.24
Tráfico máximo (Erlang)	1612.7
Tráfico mínimo (Erlang)	14.26

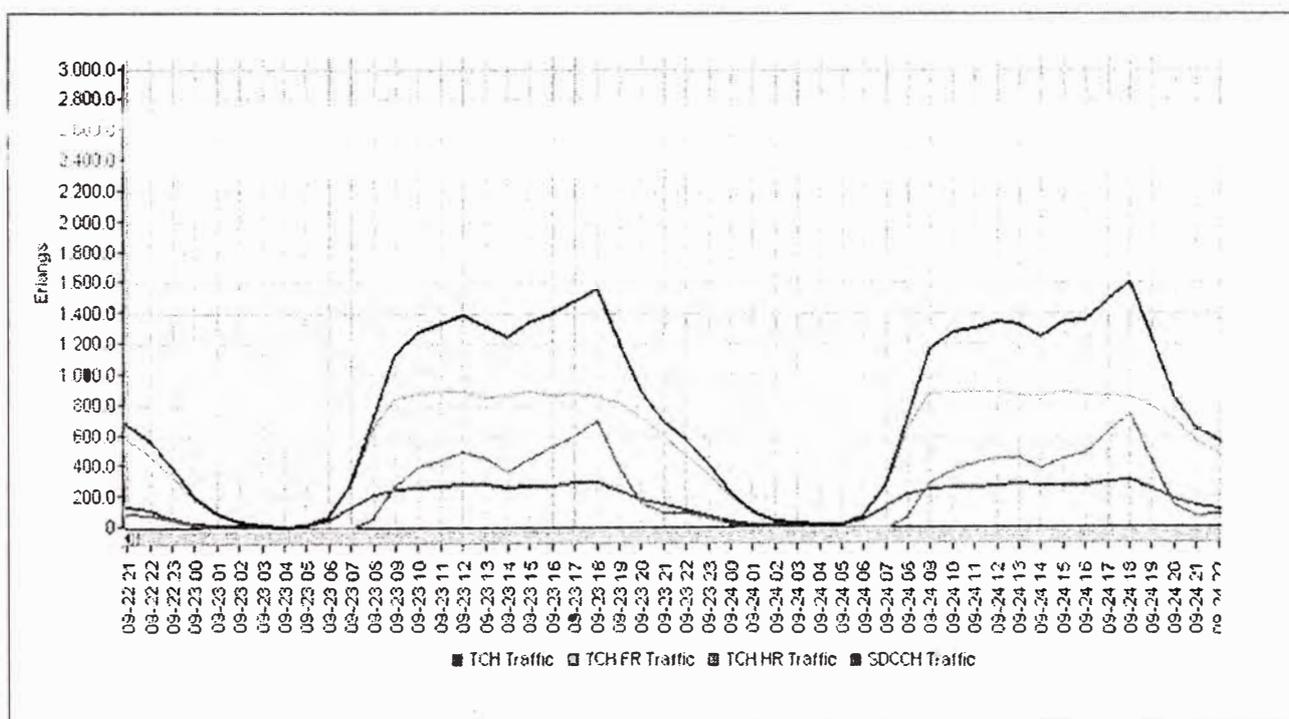


Fig. 2.8.- Tráfico de voz en el BSC0001 para los 2 días de la semana más cargados según los datos del mes de Agosto 2008

En el presente capítulo hemos presentado los principales indicadores de la red GSM que usaremos en este estudio esto son:

⁷ Full Rate es un tipo de codificación del sistema GSM que opera a 13 kbps.

⁸ Half Rate es un tipo de codificación del sistema GSM que opera a 5.6 kbps.

⁹ SDCCH (Stand-alone Dedicated Control Channel) es un tipo de canal del sistema GSM que proporciona conexión confiable para señalización y mensajes de texto.

- La cantidad de usuarios activos en la cobertura del BSC0001
- La clasificación de estos usuarios por prepago, pospago, corporativo y roamer la cantidad.
- El tráfico de voz que se tienen en el BSC0001.

Se ha explicado detalladamente la forma en que pueden ser calculados, esto datos son fundamentales para los análisis de los capítulos posteriores ya que nos presentan una visión clara de situación inicial de la red GSM y además constituyen la materia prima para realizar la determinación del mercado potencial de la red EDGE/GPRS futura, sin embargo es importante recordar que existen muchos otros indicadores como son:

- Accesibilidad
- Retención
- Movilidad
- Integridad

Pero estos principalmente son usados para tareas de afinamiento de la red. Además se ha detallado los equipos que conforman la red de acceso GSM estas son la cantidad de TRXs, BTSs, Celdas y BSCs dentro de nuestra zona de estudio conformada por los distritos de San Isidro y Lince.

CAPÍTULO III

DETERMINACIÓN DEL MERCADO POTENCIAL PARA LA RED EDGE/GPRS

Luego del análisis realizado en el capítulo anterior, contamos con una buena referencia con respecto a la situación de la red inicial y conocemos datos tales como la estructura de red existente (cantidad de TRXs, sectores y celdas), la cantidad de usuarios, la distribución de usuarios por segmento y la cantidad de tráfico de voz cursado en la red GSM, sin embargo es importante observar que todos estos datos son variables en el tiempo y para iniciar el proceso de diseño es necesario estimar el comportamiento futuro para los próximos 3 años, se debe tener en cuenta que mientras mas años se intente estimar en el tiempo mayor será el error que se cometerá por lo tanto no se puede estimar periodos demasiado largos en el tiempo, por ejemplo no se puede estimar con exactitud el tráfico que se tendrá cursando dentro de 10 años. En el presente capítulo se mostrará los cálculos necesarios para realizar la estimación del Tráfico de Datos en hora pico y de la cantidad de usuarios EDGE/GPRS para los próximos 3 años de tal forma que se tenga una idea clara de la capacidad para la cual se debe diseñar la red EDGE/GPRS.

3.1 Determinación de la cantidad de usuarios EDGE/GPRS.

La mayoría de proveedores de equipos para redes EDGE/GPRS tienen limitantes de licencias o de hardware para la cantidad de usuarios que pueden contener en el VLR del SGSN por lo tanto para maximizar el uso del VLR los operadores programan limpiezas automáticas de tal forma que la cantidad de usuarios presentes en el VLR sea porque están listos para iniciar sesión o estén teniendo una sesión activa y aquellos usuarios que no estén listos para iniciar una sesión son borrados, por ejemplo un usuario con capacidad EDGE/GPRS (tiene un móvil EDGE/GPRS, correcta aprovisionamiento en el HLR y saldo disponible) pero tienen su celular apagado o no ha abierto una sesión hace mucho tiempo (en este caso el tiempo es de 60 minutos) será borrado en la próxima

purga, por lo tanto podemos indicar que si un usuario esta presente en el VLR ha tenido una sesión activa hace por lo menos una hora, este tiempo va a depender de los parámetro configurables en el SGSN, por ejemplo para un SGSN NOKIA seria controlado por el parámetro VLR PERIODIC CLEANING START TIME. Es importante analizar la cantidad de usuarios EDGE/GPRS registrados en el VLR del SGSN que la red tendrá como meta en el periodo de tiempo 2008 al 2011. Para realizar este cálculo debemos considerar principalmente tres datos los cuales son:

- La penetración EDGE/GPRS
- La cantidad de inicial usuarios móviles GSM.
- La variación de la cantidad de usuarios móviles.

3.2 Porcentaje de penetración EDGE/GPRS

En forma práctica este valor mide el porcentaje de usuarios registrados en el VLR del SGSN del total de usuarios registrados en el VLR del MSC.

Es un parámetro de diseño que se tiene que asumir ya que no existe ninguna fórmula para su estimación, sin embargo existen algunos factores que se pueden considerar para su cálculo tales como la situación económica de los usuarios, antigüedad de la red GPRS, los costos del servicio de transmisión de datos y los servicios que se planean implementar. Se tiene que tener en cuenta que la población de usuarios se divide en 4 segmentos principales (Prepago, Pospago, Corporativo, Roamer) los cuales tienen diferentes necesidades de servicios de datos por lo tanto también diferentes valores de penetración EDGE/GPRS.

En este caso la penetración GPRS se estimó usando como referencia la experiencia en redes EDGE/GPRS implementadas por el grupo al que pertenece el operador (en este caso particular el grupo América Móvil) en otros países que tienen un comportamiento de mercado similar, tales como Ecuador, Bolivia, Chile y Colombia. Para el caso en los que no se pueda contar con esta información privilegiada se debe solicitar datos de referencia a la compañía proveedora de lo equipos con los que se implementará el proyecto ya que usualmente estas cuentan con información similar de sus experiencias en proyectos pasados.

En la TABLA 3.1 y la Fig. 3.1 se tiene el resultado final del análisis para la estimación de porcentajes de penetración según el segmento del usuario. Los valores de que corresponden al periodo del 2003-2007 son los datos que en promedio se recopilaron de las redes de referencia y los valores que corresponden al periodo 2008-2011 son los resultados que se estimaron para nuestra red EDGE/GPRS.

TABLA 3.1.- Estimación de la penetración EDGE/GPRS por segmento de usuario para los usuarios para finales del 2008, 2009, 2010 y 2011

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Penetración EDGE/GPRS prepago	0.80%	1.20%	1.60%	2.10%	2.60%	3.50%	4.50%	4.90%	5.00%
Penetración EDGE/GPRS pospago	2.50%	3.64%	4.61%	5.59%	6.46%	7.35%	10.0%	11.0%	11.1%
Penetración EDGE/GPRS corporativos	5.00%	6.89%	8.52%	10.2%	12.0%	15.0%	23.0%	25.00%	26.0%
Penetración EDGE/GPRS roamer	18.0%	18.0%	19.0%	19.4%	20.0%	20.5%	21.0%	21.5%	21.6%

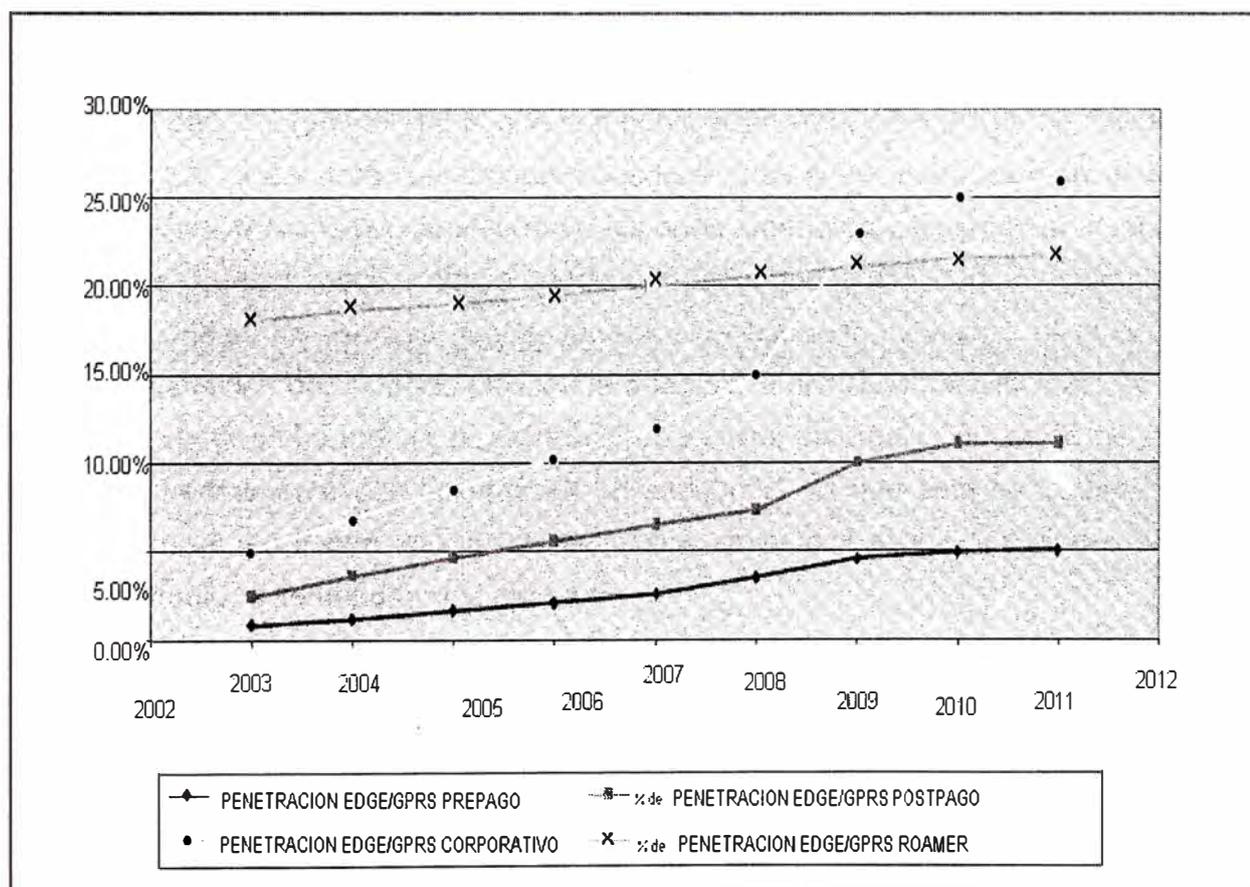


Fig. 3.1.- Estimación de la penetración EDGE/GPRS por segmento de usuario para los finales de los años 2008, 2009, 2010 y 2011

3.3 Variación de usuarios móviles

Este parámetro mide la variación porcentual de la cantidad de usuarios móviles tomando como referencia la cantidad de usuarios móviles al final del año anterior, para estimar su valor se tomaron como datos de cantidad de usuarios totales a nivel nacional desde el 2000 hasta el 2007 publicados por Osiptel, es mas conveniente analizar la variación total de usuarios en su conjunto en lugar que los usuarios de un solo operador debido a que permite tener una visión global del mercado y así observar sus tendencias generales del desarrollo.

Se puede observar un notable incremento de la cantidad de usuarios en los años 2006 y 2007 debido en gran medida a la reducción de las tarifas telefónicas y las agresivas campañas promocionales ocasionadas por la fuerte competencia entre los operadores líderes del mercado, sin embargo este ritmo acelerado de crecimiento no se puede mantener indefinidamente debido a que el número de usuarios no debería superar al número de habitantes a nivel nacional, además considerando los márgenes de pobreza del país se estima que el crecimiento de los usuarios celulares a partir del año 2009 se desacelere paulatinamente.

La Fig. 3.2 y la TABLA 3.2 muestran la cantidad de usuarios móviles al final de cada año en nuestro país, según los datos que son publicados en la página web de Osiptel desde el 2003 al 2007, los valores presentados desde el 2008 al 2011 son los resultados que se estimaron para la red GSM considerando los años anteriores y teniendo en cuenta que la cantidad de usuarios móviles nunca puede ser mayor que la cantidad de habitantes.

Para este trabajo se asumirá que la variación de usuarios móviles a nivel nacional es igual a la variación de usuarios móviles que tendrá la red GSM, adicionalmente se debe notar que en el momento de la estimación de estos valores la dirección de red debe trabajar estrechamente con la dirección de comercial ya que esta es la encargada de realizar todo el mercadeo, el manejo de tarifas, promociones etc, los cuales afectan la .profundamente la demanda en el mercado.

TABLA 3.2.- Líneas móviles en servicio en el Perú por año, el periodo 2008-2011 es una estimación

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Total de líneas móviles en el Perú	4092558	5583356	8772479	15417368	20042578	23048965	25584351	27375256

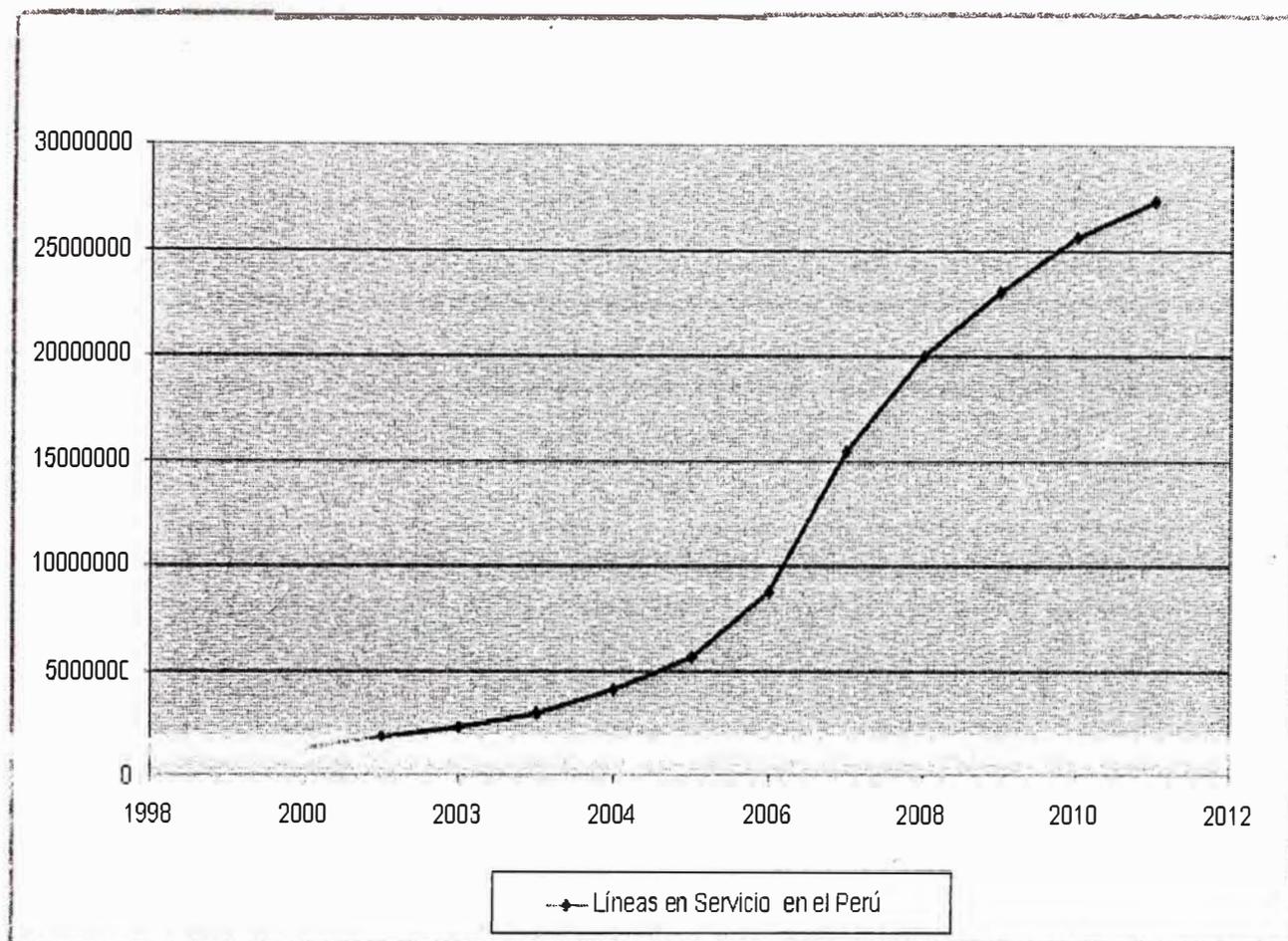


Fig. 3.2.- Líneas móviles en servicio en el Perú por año, el periodo 2008-2010 es una estimación

De los datos de usuarios móviles se obtiene la variación porcentual (diferencia entre el valor del año actual y del año anterior dividido entre el valor del año anterior) que han tenido el número de usuarios móviles en nuestro país para el final de cada año, tal como podemos observar en la Fig. 3.3 y TABLA 3.3. se tienen un pico de crecimiento en el año 2007 esto debido a que en este año se observó una fuerte competencia en el mercado lo cual produjo una considerable baja en los precios de los equipos y costos de llamada por minuto, para los años 2008 al 2011 se observa una desaceleración en el incremento de la cantidad de usuario móviles.

TABLA 3.3.- Variación de líneas móviles en Servicio en el Perú por año, el periodo 2008-2011 es una estimación

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Variación de usuarios móviles	39.66%	36.43%	57.12%	75.75%	30.00%	15.00%	11.00%	7.00%

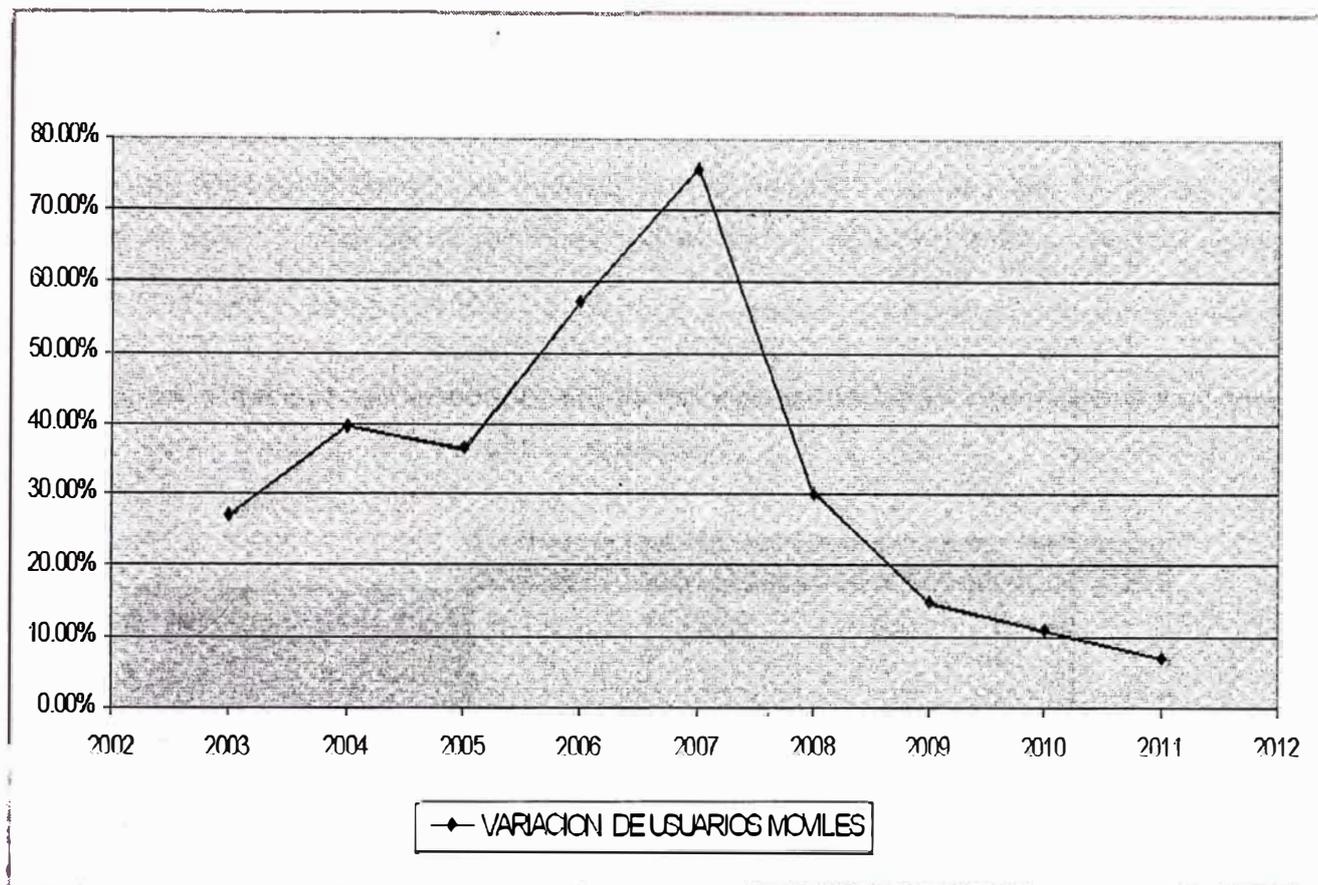


Fig. 3.3.- Variación de líneas móviles en Servicio en el Perú por año, el periodo 2008-2011 es una estimación

3.4 Cálculo de cantidad de usuarios meta EDGE/GPRS

Este valor indica la cantidad máxima de usuarios EDGE/GPRS registrados en VLR del SGSN que se espera tener a final de cada año para este cálculo se esta asumiendo que la distribución del mercado por segmento de usuario se mantendrán constante. Para realizar este cálculo se seguirán los siguientes pasos:

1. Tomar como referencia inicial la cantidad máxima de usuarios GSM del capítulo anterior y multiplicarle los valores de variación de usuarios móviles para estimar la cantidad de usuarios GSM bajo la cobertura del BSC0001 al final de cada año.
2. El porcentaje de penetración EDGE/GPRS para cada segmento de usuario se multiplica por el valor porcentual de cada uno de los segmento de usuarios, de esta forma calcularemos el porcentaje de penetración EDGE/GPRS total para cada año.
3. El porcentaje de penetración EDGE/GPRS total se multiplica por la cantidad de usuarios GSM del BSC0001 al final de cada año, de esta forma calcularemos la cantidad total de usuarios EDGE/GPRS bajo la cobertura del BSC0001.

Luego de realizar el procedimiento anterior para los datos de cada año se tiene los

siguientes resultados. Es importante resaltar que esta cantidad meta representa el valor máximo de usuarios que se tienen en el VLR del SGSN por lo tanto aquellos usuarios que han realizado como mínimo una transacción GPRS en la ultima hora, adicionalmente de la gráfica puede observarse que a pesar que la cantidad de usuarios va siempre en aumento la tasa de crecimiento va disminuyendo a partir del año 2009 tal como se puede apreciar en la Fig. 3.4 y la TABLA 3.4.

TABLA 3.4.-Cantidad de usuarios EDGE/GPRS para el BSC0001 estimados al finalizar cada año

	2008	2009	2010	2011
%Variación de usuarios GSM	30.00%	15.00%	11.00%	7.00%
Usuarios GSM del BSC0001	100454	115522	128229	137205
Penetración EDGE/GPRS total	4.51%	6.00%	6.52%	6.68%
Usuarios EDGE/GPRS del BSC0001	4533	6935	8366	9167

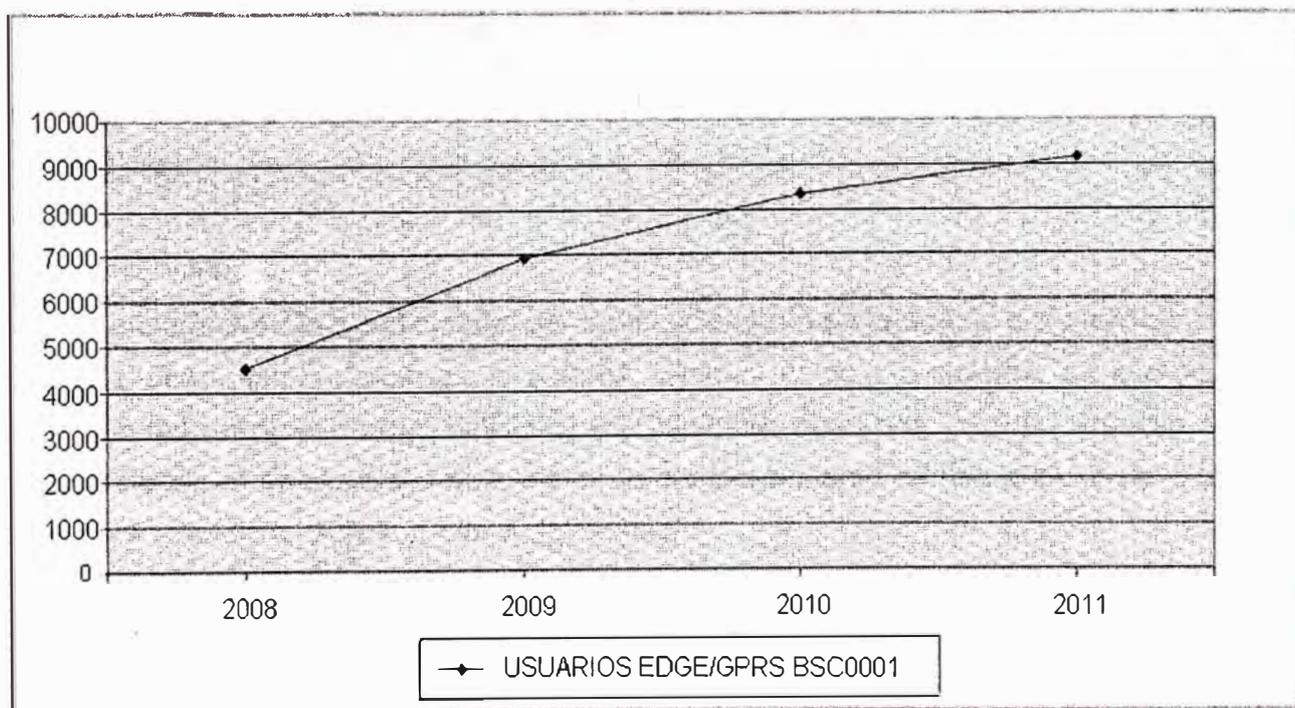


Fig. 3.4.- Cantidad de usuarios EDGE/GPRS estimados al finalizar cada año para el Controlador de estación base BSC0001

3.5 Tráfico EDGE/GPRS máximo en hora pico.

Este valor mide la cantidad máxima de tráfico de paquetes en kbps. en la hora pico es importante aclarar que este ancho de banda máximo consumido por los usuarios no es una constante durante toda la hora pico en realidad en la práctica se observa que estos mas pueden llegar a ser una serie de picos de consumos máximos de ancho de banda dentro de la hora pico, en todo caso estamos interesados en estimar el valor máximo que podrán alcanzar estos picos debido a que este dato nos servirá para estimar la capacidad requerida para el DAP, los enlaces en la interfaz Gb, la cantidad de PCU en el BSC y PAPUs en el SGSN. La cantidad de tráfico EDGE/GPRS máximo en hora pico depende de los siguientes factores que ya hemos calculado en capítulos anteriores:

- La cantidad de usuarios totales que se encuentra en el VLR del SGSN, debido a que esto nos garantiza que estos son los usuarios que han por lo menos hecho una transacción GPRS en la ultima hora.
- La proporción en que se encuentra distribuidos los usuarios ya que cada segmento tienen diferentes necesidades de transmisión de datos, pueden ser Prepago, Pospago, Corporativo y Roamers,

Sin embargo se requiere otros datos los cuales se deben asumir, estos son:

- Los servicios que se piensan ofrecer a los usuarios, cada servicio tiene un consumo promedio diferente, este dato tiene que ir de la mano con la estrategia comercial que se planea para el
- El porcentaje en el que los usuarios realizan transacciones simultáneamente por servicio
- Los porcentajes promedios de transacciones por usuario por hora para cada uno de los servicios.
- El consumo en Kbytes promedio por transacción para cada uno de los servicio.

En este caso estos datos se estimaron usando como referencia la información experimental de otras redes EDGE/GPRS implementadas por el grupo América Móvil anteriormente en otros países que tienen un comportamiento de mercado similar a este, tales como Ecuador, Bolivia, Chile y Colombia.

3.6 Cálculo del tráfico EDGE/GPRS máximo en hora pico.

Para realizar este cálculo se seguirán los siguientes pasos:

1. Tomar la cantidad máxima de usuarios en VLR del SGSN por año que se obtuvo del capítulo anterior y multiplicarle los valores porcentuales de cada uno de los

segmentos de usuarios para estimar la cantidad de usuarios máxima por segmento que han realizado una transacción EDGE/GPRS en la última hora.

2. Multiplicar el porcentaje de utilización simultánea para cada servicio por la cantidad de usuarios que existe en su segmento respectivo. Observar que el segmento que tiene mayor índice de uso simultáneo de servicios es el corporativo debido a que normalmente se desarrolla para este segmento de usuario mayor cantidad de productos de transmisión de datos con tarifas reducidas, por otro lado el segmento prepago tiene el menor índice de uso simultáneo debido a que este segmento usa los servicios básicos de transmisión de datos.
3. Para calcular el ancho de banda consumido por un tipo de servicio debemos multiplicar a la cantidad de que están usando un tipo de servicio simultáneamente por el valor estimado de transacciones por hora de ese servicio y por su consumo promedio en kbytes, luego convertir de kbyte/hora a kbps, se debe observar que cada uno de los servicios de transmisión de datos dependiendo de su naturaleza tiene un nivel diferente de consumo de kbps los cuales se han estimado realizando pruebas reales y de los datos que ha proporcionado el proveedor.
4. Finalmente para obtener el resultado total de kbps consumidos en hora pico se debe sumar este resultado para todos los servicios en cada uno de los segmentos de usuarios, para dar una buena aproximación del consumo total kbps se debe trabajar conjuntamente con el departamento comercial ya que este departamento se encarga de definir que nuevos servicios se estarán lanzando al mercado sobre la plataforma EDGE/GPRS.

A modo de ejemplo realizaremos el procedimiento descrito para el año 2008.

1. La cantidad de usuarios que existen en el VLR del SGSN bajo la cobertura del BSC0001 disgregado por tipo de segmento para el año 2008 se tienen según se muestra en la TABLA 3.5.

TABLA 3.5.- Cantidad de usuarios que existen en el VLR del SGSN para el 2008

	% De usuarios por segmento	Cantidad de Usuarios
Prepago EDGE/GPRS	0.8953	4058
Postpago EDGE/GPRS	0.0319	145
Corporativos EDGE/GPRS	0.0633	287
Roamers EDGE/GPRS	0.0095	43
Total de usuarios EDGE/GPRS		4533

2. La cantidad de tráfico de datos EDGE/GPRS máximo en hora pico en el BSC0001 para el año 2008, se calcula tomando en cuenta que se ha decidido brindar solo 4 servicios (WAP, MMS, Transferencia de archivos y correo electrónico) a los 4 tipos de usuario (prepago, pospago, corporativo y roamer), este calculo se detalla en la TABLA 3.7. Realizando el mismo procedimiento para los años 2009, 2010 y 2011 se tiene los siguientes resultados, según se muestra en la TABLA 3.6 y la Fig. 3.5., observar que según nuestros cálculos se espera un crecimiento suave del consumo de ancho de banda.

TABLA 3.6.- Ancho de banda máximo para el BSC0001 hora pico por año

	2008	2009	2010	2011
Tráfico EDGE/GPRS máximo en hora pico (Kbps)	2959	4527	5461	5984

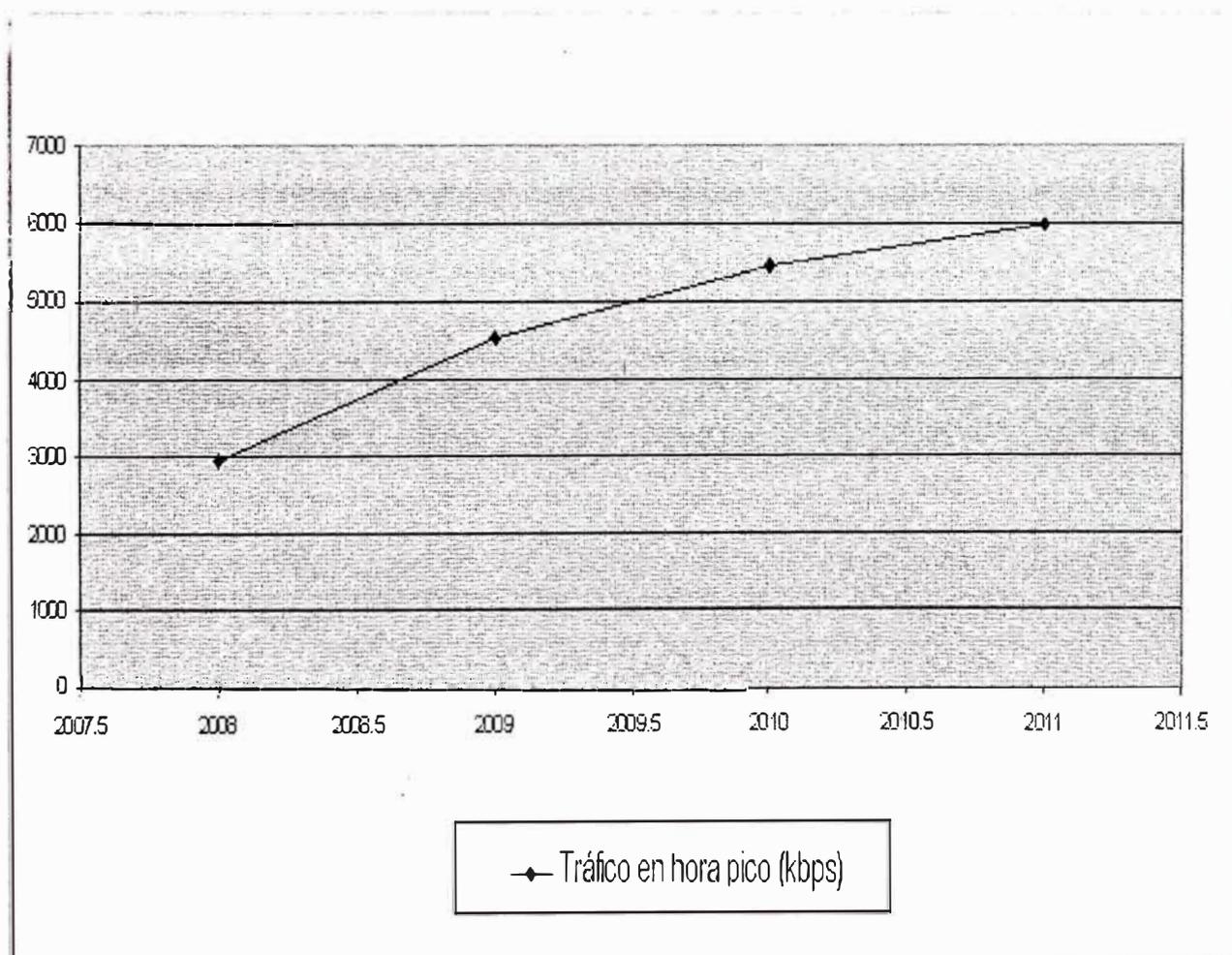


Fig. 3.5.- Tráfico de paquetes máximo en hora pico por año para el Controlador de estación base BSC0001

TABLA 3.7.- Cálculo de la cantidad de tráfico EDGE/GPRS para el 2008

2008						
Servicios EDGE/GPRS para diferentes segmentos de usuario	% De uso simultaneo de un servicio en hora pico	Usuarios usando simultáneamente el servicio en hora pico	# Transacciones por Usuarios por Hora	# Kbytes por Transacción	BW utilizado	Total BW
Prepago EDGE/GPRS	0.4	1623				
WAP - Internet Access	0.25	1015	20	30	1,353	1,524
MMS	0.1	406	3	30	81	
Transferencia de archivos	0.05	203	2	100	90	
Postpago EDGE/GPRS	0.63	91				
WAP - Internet Access	0.4	58	30	30	116	142
MMS	0.1	14	10	30	10	
Correo electrónico	0.1	14	5	100	16	
Transferencia de archivos	0.03	4	1	100	1	
Corporativos EDGE/GPRS	0.85	244				
WAP - Internet Access	0.15	43	20	30	57	1,254
MMS	0.1	29	2	30	4	
Correo electrónico	0.1	29	5	100	32	
Transferencia de archivos	0.1	29	2	100	13	
Acceso a Intranet	0.4	115	30	150	1,148	
Roamers EDGE/GPRS	0.67	29				
WAP - Internet Access	0.4	17	30	30	34	39
MMS	0.1	4	5	30	1	
Correo electrónico	0.15	6	2	100	3	
Transferencia de archivos	0.01	0	0	100	0	
Acceso a Intranet	0.01	0	0	150	0	
TOTAL EDGE/GPRS						2,959

3.7 Cálculo del tráfico voz en hora pico.

Este parámetro mide la cantidad de tráfico de voz en hora pico que se espera tener al final de cada año, para su determinación se asumirá que el tráfico de voz es linealmente proporcional a la cantidad de usuarios de la red GSM por lo tanto la variación del tráfico de voz es la misma que del número de usuarios. Para realizar este cálculo se deberá tomar como punto de inicio la cantidad de tráfico de voz en hora pico actual determinada en el capítulo anterior y multiplicarle por la variación del número de usuarios móviles, en la Fig. 3.6 y TABLA 3.8 se pueden observar estos resultados para este caso.

TABLA 3.8.- Tráfico de voz para el BSC0001 hora pico por año

	2008	2009	2010	2011
% Variación de usuarios GSM	30.00%	15.00%	11.00%	7.00%
Tráfico de voz en el BSC0001 en hora pico (Erlang)	2096,51	2410,99	2676,20	2863,53

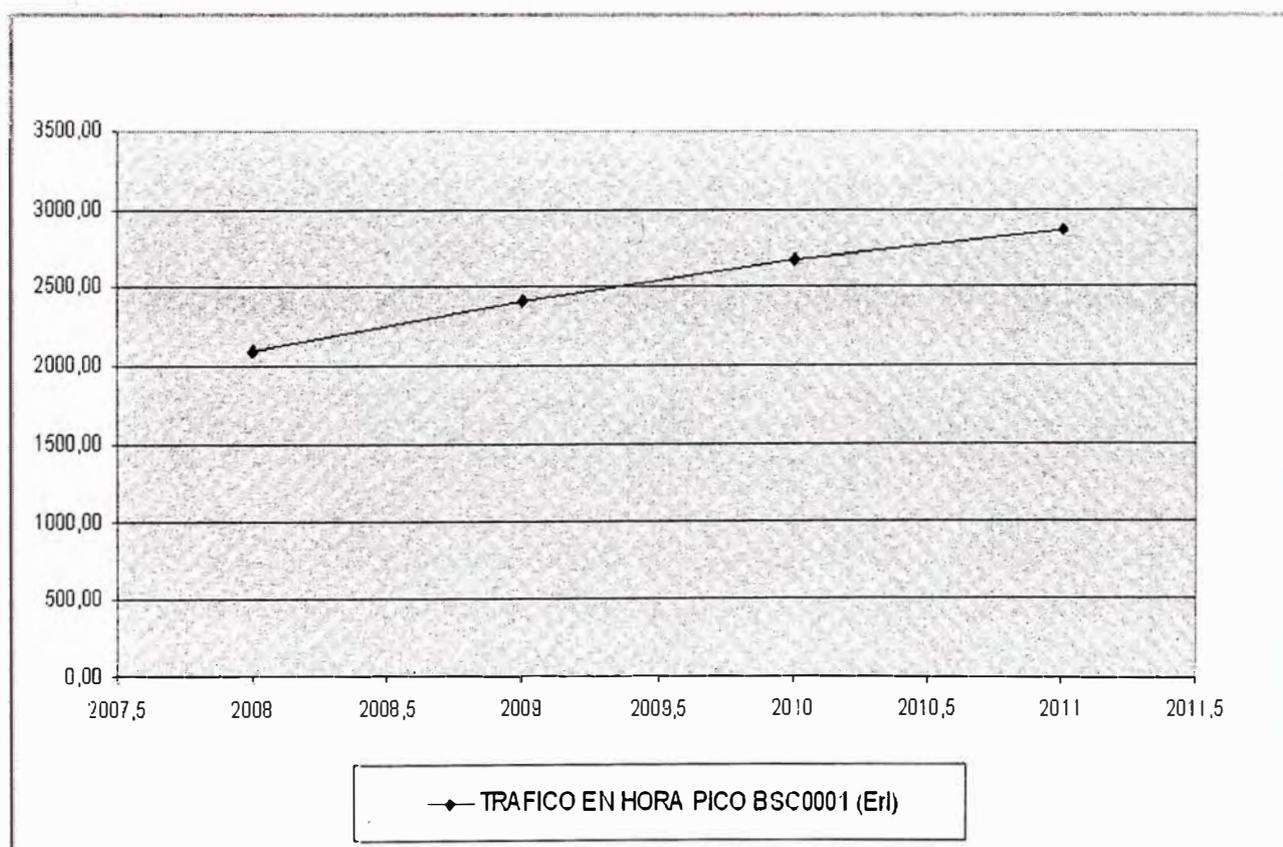


Fig. 3.6.- Tráfico de voz en hora pico por año para el Controlador de estación base BSC0001

En el presente capítulo se ha presentado detalladamente la manera en que se realizan las proyecciones del mercado potencial de la red EDGE/GPRS tanto a nivel de tráfico de paquetes como a nivel de cantidad de usuarios, las claves de este capítulo es entender la forma en que los servicios se distribuyen dependiendo del tipo de usuario y la cantidad de tráfico que cada servicio consume dependiendo su naturaleza (lo cual esta plasmado en la TABLA 3.7) y la forma en que se realiza la proyección de usuarios EDGE/GPRS basándose en la variación de los usuarios móviles en nuestro país. Finalmente conociendo estos valores podemos pasar al siguiente capítulo con un real conocimiento de la red inicial (capítulo II) y con una idea clara de los valores de tráfico de paquetes y usuarios que se espera tener en el corto y mediano plazo y que nuestra red EDGE/GPRS deberá soportar satisfactoriamente.

CAPÍTULO IV

DISEÑO DE LA RED EDGE/GPRS

“El rol de la planificación de red (y de los planificadores de red) es proporcionar a la organización un medio inteligente para conocer las necesidades futuras de la red usando como punto de partida la red existente” - Thomas G. Robertazzi.

En este caso el proceso de diseño definirá la cantidad y la configuración de los principales componentes de la red EDGE/GPRS requeridos para satisfacer la demanda proyectada para la puesta en producción de dicha red, lo que quiere decir que se debe soportar la cantidad de usuarios y tráfico de datos estimados para el final del año 2009 que se obtuvieron en el capítulo anterior.

Los siguientes componentes tendrán que ser incluidos o modificados en la red GSM para que pueda soportar al sistema EDGE/GPRS adecuadamente, se puede observar que en la red de acceso no se requiere ningún tipo nuevo de elementos y solo son necesarios adecuaciones de los ya existentes.

- Nuevos terminales que soporten la tecnología EDGE/GPRS
- Cantidad extra de TRX en las BTS.
- Configuración del DAP.
- Unidades PCU en los BSC.
- Enlaces entre los BSC y el SGSN (interfaz Gb)
- SGSN (Serving GPRS Support Node)
- GGSN (Gateway GPRS Support Node)
- Backbone IP(interfaz Gn, Gi, Ga)
- Firewall GPRS (para salida a Internet)
- Router GPRS (para salida a Internet)
- Router GRX (para salida a GRX)
- Border Gateway (BG) para conexión con otras PLMN
- Charging Gateway (CG)
- Domain Name Server (DNS)

4.1 Datos para el proceso de diseño de la red EDGE/GPRS

La siguiente es una lista de los datos globales que se requieren para realizar el diseño de la red EDGE/GPRS.

- Situación actual de la Red GSM.
Configuración a nivel de Hardware, Software, y parámetros configurados en los MSCs, HLRs, BSCs, BTSs, TRXs, y medio de transmisión.
- Penetración EDGE/GPRS
Porcentaje de usuarios EDGE/GPRS que están registrados por del total de usuarios registrados a la red GSM.
- Carga de usuarios estimada
Tráfico de conmutación de circuitos y conmutación de paquetes EDGE/GPRS, en hora pico, en el pico y en promedio.
- Calidad de servicio Ofrecida
Ancho de banda y retardos máximos ofrecido por usuario en hora pico y en promedio.

4.2 Consideraciones para el Proceso de Diseño

Se ha decidido tener las siguientes consideraciones técnicas.

- La red GSM no tiene activado la característica de “Half Rate”, esta característica permite que un canal de tráfico puede cursar 2 llamadas simultáneamente.
- La red GSM no tiene activado la característica de “Frequency Hopping¹⁰”, esta característica permite un salto dinámico de las frecuencias del canal de control de las celdas de tal forma que se disminuya el índice señal ruido.
- La red GSM no tiene activado la característica de “Adaptive Multi Rate¹¹”, esta característica permite utilizar códigos de compresión variables para la voz.

Adicionalmente a los requerimientos técnicos propios del despliegue de la red EDGE/GPRS se deben tener otros requerimientos de corte administrativos los cuales se tendrán que respetar en el proceso de diseño, estos requerimientos muchas veces están orientados a temas como la rentabilidad del proyecto, las campañas comerciales y cumplimiento de objetivos a nivel macro, estas fueron:

¹⁰ Frequency Hopping es una técnica del sistema GSM que permite la conmutación de las frecuencias de las celdas siguiendo un algoritmo con el fin de reducir las interferencias entre ellas.

¹¹ Adaptive Multi Rate es un tipo de codificación del sistema GSM que opera a distintos velocidades adaptándose a las condiciones de radio del usuario, buscando siempre la optimización de los recursos de radio.

- La red debe diseñarse usando como meta el tráfico y la cantidad de usuarios estimada para el año 2009.
- Se deben realizar la menor cantidad de cambios a la Red GSM para la implementación de la Red EDGE/GPRS. En este sentido se decidió lo siguiente, por lo tanto la ubicación de las celdas no se cambiará y su orientación se modificará solo en casos muy necesarios y el medio de transmisión para el tráfico de EDGE/GPRS se montará sobre el E1 que ya existe para transportar tráfico de voz.
- Todos los equipos adquiridos para la implementación de la red EDGE/GPRS son Nokia por lo tanto los resultados del proceso de diseño deberán ser contrastados con sus productos disponibles.
- El tiempo de despliegue de la red EDGE/GPRS debe ser mínimo (6 meses).
- Los costos de la puesta en servicio de la red EDGE/GPRS deben ser mínimos, estos se discuten en el capítulo 6.

4.3 Resultados del Proceso de Diseño

El proceso de diseño tendrá como objetivo obtener los siguientes resultados

- Seleccionar la Topología de la Red EDGE/GPRS
- Número de TRX requerida y su distribución en las BTSs.
- Número de DAPs requeridos y su configuración en el ABIS.
- Número de PCU por BSC requeridos
- Capacidad de la interfaz Gb
- Capacidad y número de SGSNs
- Capacidad y número de GGSNs
- Capacidad del Backbone IP
- Capacidad de Firewall GPRS y Router GPRS.
- Capacidad del CG.
- Capacidad del DNS.

4.4 Elección de la Topología de la Red EDGE/GPRS

Lo primero que se debe definir es la topología de la red que se implementará, para una implementación básica de la red EDGE/GPRS se recomienda que la ubicación de todos los equipos del centro de conmutación estén ubicados en la misma locación debido a que esto reduce costos en la implementación y el tiempo de puesta en servicio de la red, conforme la red aumente la cantidad de usuarios será necesario crear una topología de

red distribuidas geográficamente de tal forma que se garantice el funcionamiento en caso de siniestros, además esto disminuye el costo en enlaces de transmisión ya que parte del tráfico que se generó localmente podría quedarse en esa región y no tienen que estar viajando hasta una ubicación centralizada.

En la Fig. 4.1 se muestra un ejemplo del desarrollo de la red EDGE/GPRS (los valores de usuarios y tráfico son referenciales), aquí se puede observar que para el lanzamiento de la red son necesario un solo SGSN y uno o dos GGSN y conforme la cantidad de usuarios y tráfico se incrementa serán necesarios mayor número de SGSNs y GGSNs, además se debe tener en cuenta los temas de redundancia de nodos para garantizar una topología redundante.

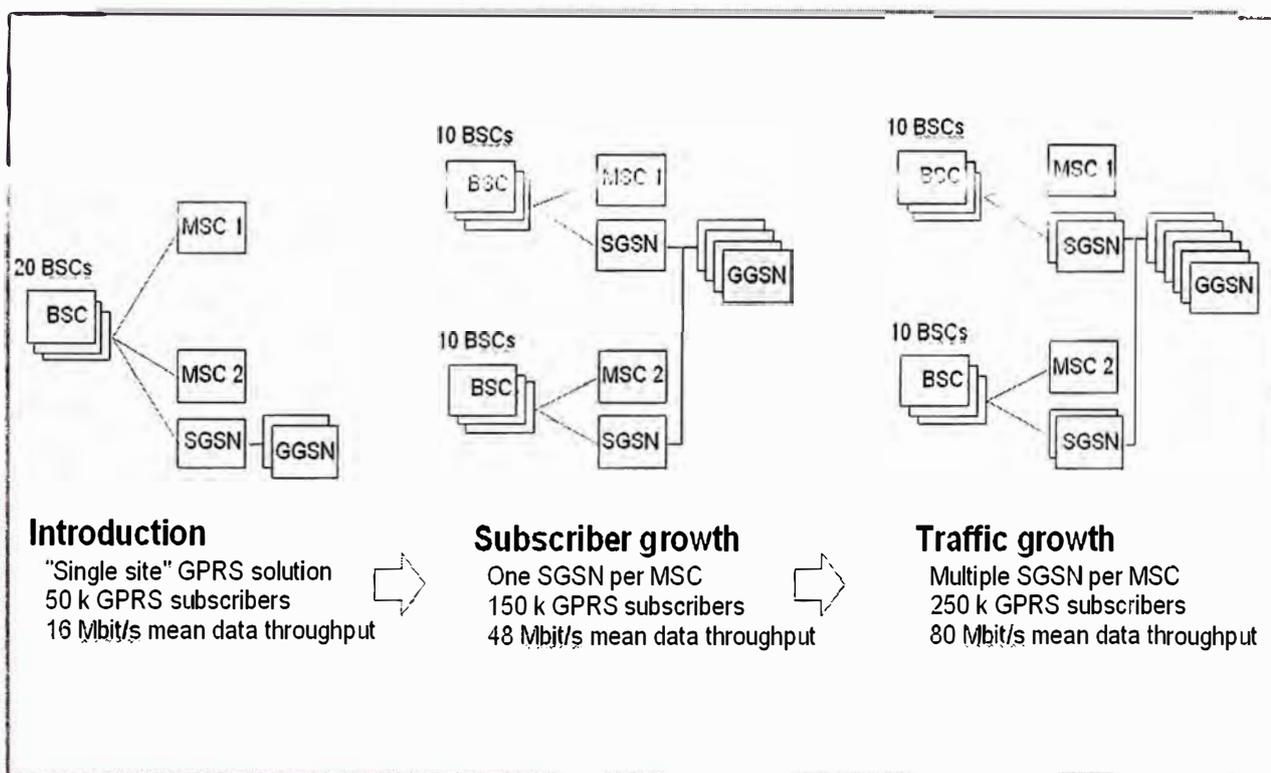


Fig. 4.1.- Ejemplo de la evolución de red EDGE/GPRS

En la Fig. 4.2 se muestra la topología de red EDGE/GPRS que se ha decidido utilizar, básicamente corresponde a la topología de red en introducción eso quiere decir que cuenta con un solo SGSN al cual se le conectan varios BSCs a través de enlaces (Frame Relay¹²) usando enlaces E1s, además solo contamos con un GGSN, BG, CG, DNS y FW lo cual es el equipamiento mínimo e indispensable para la puesta en producción de la red EDGE/GPRS, el beneficio principal de esta elección es la reducción de los costos y su carencia principal es su falta de redundancia.

¹² Frame Relay es una técnica de comunicación de paquetes mediante la retransmisión de tramas

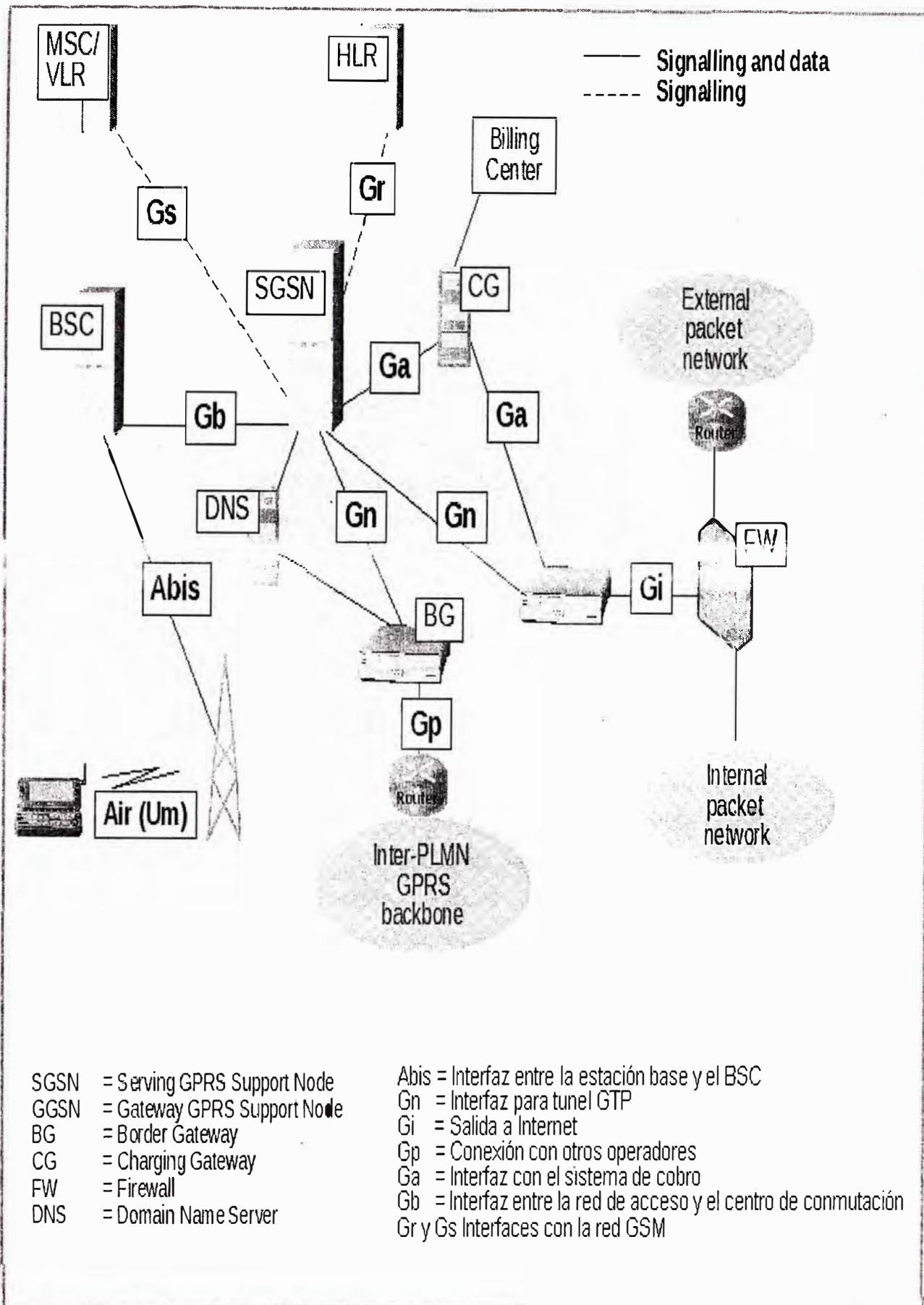


Fig. 4.2.- Topología de la red EDGE/GPRS

4.5 Diseño de la Interfaz Aire de la red EDGE/GPRS

4.5.1 Principales indicadores del desempeño (KPI¹³) EDGE/GPRS

Para realizar la labor de diseño en la interfaz aire¹⁴ es necesario conocer los siguiente KPI de la red EDGE/GPRS.

a) Fiabilidad

La Fiabilidad describe la máxima probabilidad de error del enlace de radio control (RLC) entregado a la capa LLC. La Fiabilidad depende principalmente del modo de funcionamiento de la capa RLC. En la mayoría de los casos, los errores no son tolerados por las aplicaciones de datos y las retransmisiones son necesarias. Con el fin de evitar nuevas demoras, las retransmisiones se realizan preferentemente en la capa RLC que operan con el modo de reconocimiento (ACK). En RLC ACK, hay una pequeña probabilidad de no detectar errores en bloque debido a la escasa longitud de campo de CRC (16 y 12 de EGPRS y GPRS, respectivamente) incluido en cada bloque de radio. El residual de BER en modo RLC/ACK es 10^{-5} y 2×10^{-4} para GPRS y EGPRS, respectivamente. Algunos servicios de datos son sensible al retraso por lo tanto operan en el modo de UNACK ya que puede manejar un cierto número de bloques erróneos RLC. El modo de funcionamiento se negocia en la fase de establecimiento del servicio.

b) Ancho de banda

El Ancho de banda es la cantidad de información o de datos que se puede enviar a través de una conexión de red en un período de tiempo dado, se mide como la cantidad de datos entregados a la capa LLC por unidad de tiempo, es decir, la carga útil de la capa RLC. El rendimiento sólo es relevante cuando la cantidad de datos que se transmite es lo suficientemente grande y puede ser fácilmente medido por la red a través de la duración temporal de un bloque de flujo (TBF), como se muestra en la Fig. 4.3. Cada uno ha TBF tiene una muestra de ancho de banda asociado. Cada red tiene una probabilidad de ancho de banda diferente dependiendo de la distribución de la carga y la configuración de la red. En lugar de usar toda la distribuciones de probabilidad del ancho de banda, es más práctico calcular la media y el ancho de banda de los valores de percentil 10. La típica variación de la media del ancho de banda de un TBF según su carga puede verse en la Fig. 4.4. Los valores del percentil del ancho de banda caracterizan las colas de la distribución del ancho de banda. Percentil 10 es el mínimo rendimiento alcanzado por el

¹³ KPI, del ingles *Key Performance Indicators*, o Indicadores Clave de Desempeño, miden el nivel del desempeño de un proceso.

¹⁴ La interfaz aire conecta de forma inalámbrica la estación móvil con la BTS

90% de la TBF, este valor se considera como una de las principales del criterio de calidad.

El ancho de banda de usuario se puede medir también en la capa de aplicación, por ejemplo, la medición en el momento de la descarga de un archivo de gran tamaño utilizando el protocolo de transferencia de archivos FTP. Esta medición debe hacerse en uno de los extremos de la comunicación (ya sea en el servidor o en la estación móvil) y puede hacerse con una simple aplicación que supervisa el ancho de banda de la capa de aplicación.

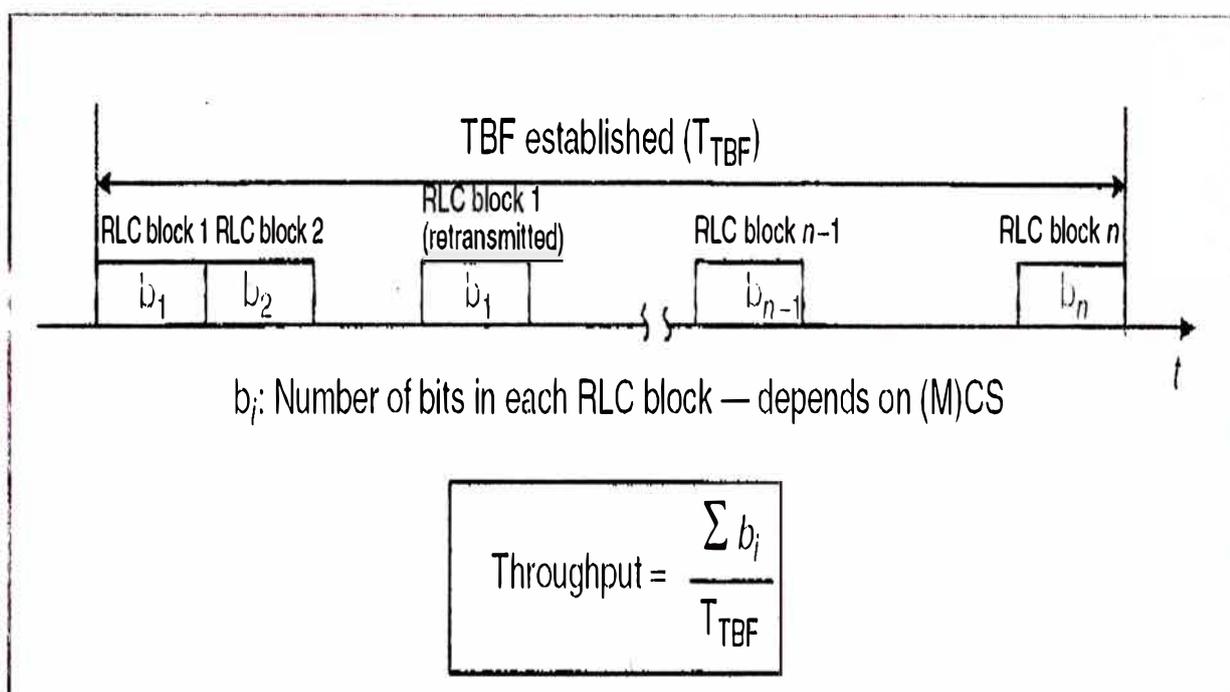


Fig. 4.3.- Ancho de banda de un TBF

Fuente: GSM, GPRS and EDGE Performance Evolution towards 3G/UMTS

c) Retardo

El retardo es el tiempo que tarda una unidad de datos de protocolo LLC (PDU) para ser transferido desde el SGSN a la estación móvil o desde el móvil al SGSN. EL retraso a nivel LLC incluye el tiempo necesario para volver a transmitir los bloques erróneos RLC. La distribución de probabilidad del retardo LLC se puede medir en la Unidad de Control de Paquete PCU.

El retardo es relevante para la transmisión de paquetes cortos y para servicios de datos en tiempo real. En el modo RLC ACK, la demora es muy dependiente tiempo de ida y vuelta (RTT RA) en la interfaz radio acceso, y puede tener un impacto considerable en el rendimiento de las aplicaciones. RA RTT define el tiempo total desde un paquete de RLC

se transmite hasta que se recibe la información ACK/NACK. Su valor típico es del orden de 250 ms incluyendo la demora para el establecimiento del TBF.

Con una adecuada optimización de la arquitectura de la red, es posible reducir al mínimo la RA RTT. Cuando la carga de datos aumenta, el retardo LLC aumenta rápidamente hasta que la red está cerca al punto de saturación, donde los retrasos son tan grandes que no es posible ofrecer ningún servicio de datos de manera eficiente.

La evolución del retardo según la variación de la carga en la red se muestra en la Fig. 4.4. Una forma de medir el tiempo de respuesta de la red EDGE/GPRS es mediante el envío de comandos ping a un servidor.

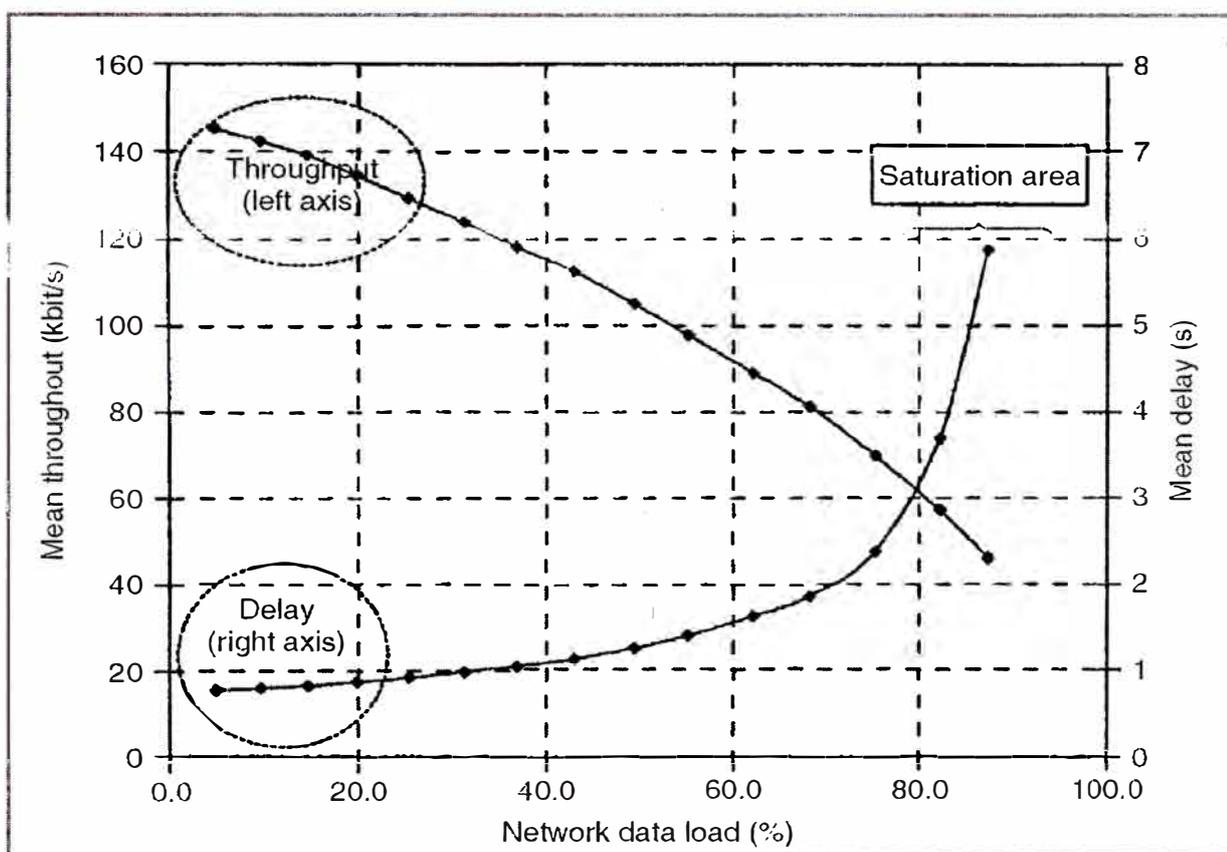


Fig. 4.4.- Variación del retardo y ancho de banda según la variación de la carga en la BTS
Fuente: GSM, GPRS and EDGE Performance Evolution towards 3G/UMTS

d) Carga de datos EDGE/GPRS (Datos Erlang)

Una forma útil para medir la carga de datos es medir la cantidad media de TSL utilizado por los servicios EDGE/GPRS, esto puede expresarse en términos de "Datos Erlangs" o "utilización de TSL."

Esta medida incluye los datos del usuario, la retransmisión y el control sobre la información enviada PDTCH canales. Esta definición es muy útil en la comprensión de

cuantos TSL son en promedio utilizados en su totalidad por los servicios EDGE/GPRS. Ambos "Datos Erlangs" y TSL utilización puede ser fácilmente calculado de los valores reales disponible en los contadores de la red EDGE/GPRS que usualmente son almacenado por los sistemas gestores de la plataforma.

$$\text{Datos Erlang} = (\text{Número total de bloques de transmisión de radio} \times 0,02 \text{ s}) / (\text{Duración del periodo de muestra s}).$$

(4.1)

Tenga en cuenta que el 1 de Erlang corresponde a una transmisión continua de 1 bloque de radio cada 20 ms. Un Erlang de datos se compone de las transmisiones de bloques RLC, las sucesivas retransmisiones de previos bloques RLC enviados y los bloques de control RLC, las retransmisiones pueden ser divididas en dos clases: retransmisiones regulares y retransmisiones preventivas las cuales son opcionales tanto del lado de la red como del lado del móvil y aunque las retransmisiones preventiva son buenas desde el punto de vista del protocolo RLC, aumentan la cantidad de Datos Erlang en la red y en realidad sólo una pequeña fracción de las retransmisiones preventiva son útiles.

e) Ancho de banda por BTS (Sector)

El ancho de banda por BTS es una medida de la cantidad de bits que pueden transmitirse en una BTS. Ello normalmente se mide en unidades kbps/Sector. Las redes EDGE/GPRS pueden fácilmente calcular este indicador midiendo la cantidad de información ha sido transmitida durante un período determinado.

Rendimiento por célula no tiene en cuenta las retransmisiones o de control de la información por debajo de la capa LLC. Fig. 4.5 se muestra un ejemplo de la variación de rendimiento de un sector en función de los "Datos Erlangs".

f) Porcentaje de utilización del TSL

Una medición de la cantidad de recursos de hardware (HW) están siendo utilizados por los servicios EDGE/GPRS viene dada por el concepto de utilización del TSL.

$$\text{Utilización de TSL (\%)} = \text{Datos Erlang} / \text{TSL EDGE/GPRS disponibles.}$$

(4.2)

La utilización del TSL tiene en cuenta el número medio de TSLs que están disponibles

para EDGE/GPRS. Se trata de una medida de hasta qué punto la red se carga con los servicios de datos. Redes que tienen la utilización de TSL con cerca valores cercanos al 100% están cerca de la saturación y el rendimiento del usuario final tiende a ser pobre. En la Fig. 4.5, la carga de la red de datos y el porcentaje de utilización de TSL se confrontan contra los “Datos Erlangs” típicos para una BTS.

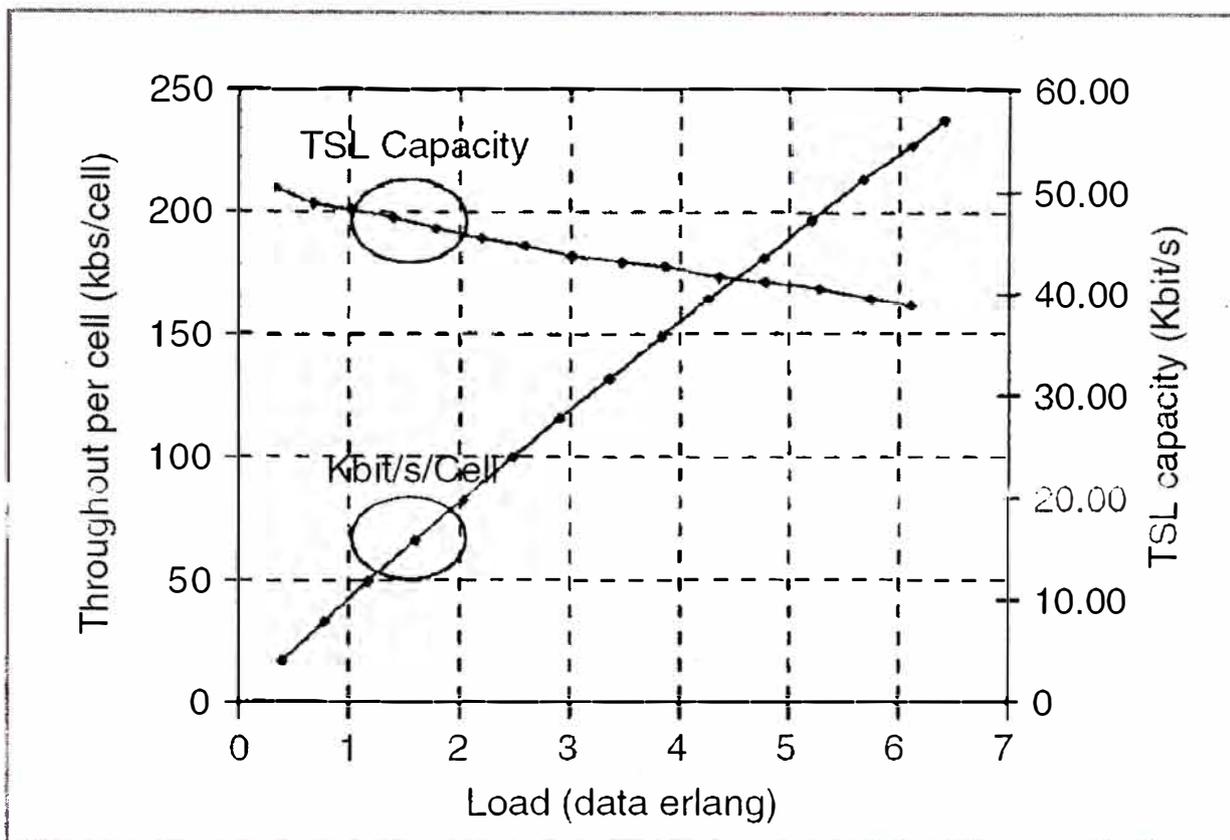


Fig. 4.5.- Variación del ancho de banda según la variación de la carga de la BTS

Fuente: GSM, GPRS and EDGE Performance Evolution towards 3G/UMTS

g) Capacidad de TSL

La capacidad del TSL es una medida de la cantidad de datos que la red EDGE/GPRS es capaz de transmitir con 1 “Dato Erlang”. Esta es una medida de cuan eficiente son los recursos HW que están siendo utilizadas para transmitir datos. La capacidad de TSL depende principalmente de los niveles de interferencia de red y también puede depender de la eficiencia del protocolo RLC. Se puede calcular como:

$$\text{Capacidad de TSL} = \text{Ancho de banda por BTS} / \text{Datos Erlang.}$$

(4.3)

La capacidad de TSL depende del diseño del algoritmo RLC (por ejemplo, el uso de la retransmisión preventiva, la estrategia de confirmación de la recepción de los mensajes, etc.) y las ráfagas de tráfico de datos. El factor de eficiencia RLC puede ser introducido como:

$$\text{TSL capacidad} = \text{factor de eficiencia RLC} \times \text{Ancho de Banda por BTS} / \text{Datos Erlang Óptimos}$$

(4.4)

Donde Data Erlang óptimos son los datos Erlang calculados excluyendo las retransmisiones no útiles de bloques ACK pendientes y asumiendo un comportamiento óptimo del protocolo RLC.

El factor de eficiencia RLC tiende a ser menor para GPRS (principalmente a causa del estancamiento de la ventana RLC) y en el caso de tráfico por ráfagas. EDGE sin tráfico por ráfagas tiene un factor de eficiencia RLC cerca de 1, ya que no sufren mucho de estancamiento.

En la Fig. 4.5 se puede observar la capacidad típico de un TSL, para valores altos en la carga de la red EDGE/GPRS los niveles de interferencia aumentan y disminuye la capacidad del TSL.

h) Probabilidad de Bloqueo del TBF

La probabilidad de bloqueo del TBF muestra cómo las BTS están cerca de la saturación. Cuando el bloqueo llega a un límite, los paquetes tienen que ser descartados por el centro de conmutación de la red EDGE/GPRS. El bloque cambia exponencialmente con la carga de red EDGE/GPRS, por lo que una vez que una red está experimentando el bloqueo, pequeños aumentos en la carga ofrecida se traduzca en mucho mayor probabilidades de bloqueo. Con altos valores de bloqueo del TBF, el rendimiento disminuye drásticamente, y los retardos a nivel LLC aumenta exponencialmente, como se muestra en la Fig. 4.6. Aunque hay siete TSLs disponibles para servicios en la red EDGE/GPRS, el máximo de "Datos Erlangs" nunca puede llegar a siete. La red EDGE/GPRS debe tener las dimensiones necesarias para asegurar una baja probabilidad de bloqueo del TBF. Esto es un concepto similar al diseño de bloqueo en circuitos de voz, en la que el número de TSLs son diseñados para lograr una máxima probabilidad de bloqueo del 2% (normalmente). En la práctica este indicador nos permite conocer de forma aproximada la cantidad de intentos de conexión que no han progresado debido a la congestión en la celda, usualmente los operadores móviles toman los históricos de este

indicador como referencia para realizar las ampliaciones de recursos de radio, por ejemplo si se observa que una BTS tiene una probabilidad de bloqueo igual al 30% se debe realizar una ampliación del 45% en los recursos de la BTS (cantidad de time slots en las TRXs existentes o en su defecto una nueva TRXs) de tal forma que la probabilidad de bloqueo este siempre un un margen menor al 15%.

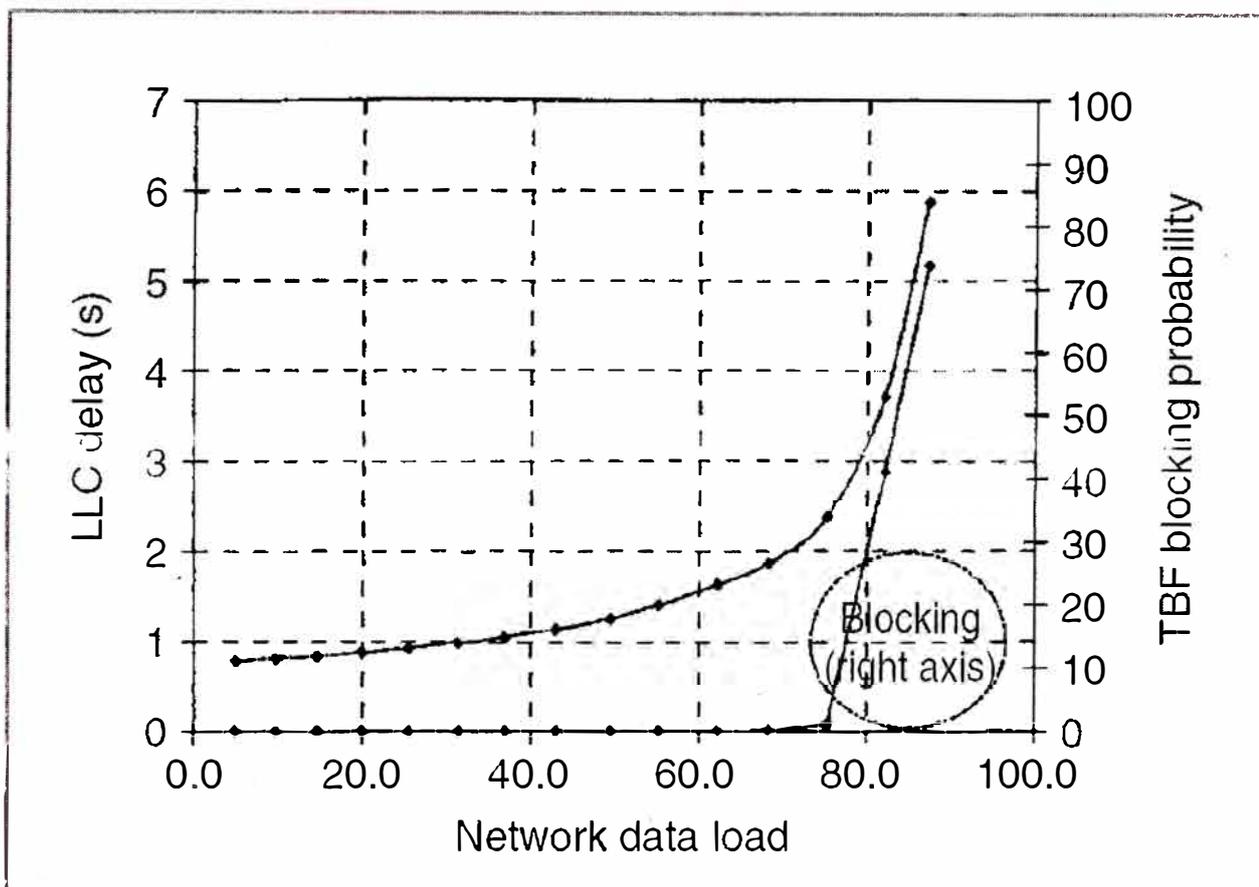


Fig. 4.6.- Variación del bloqueo del TBF según la variación de la carga de la BTS

Fuente: GSM, GPRS and EDGE Performance Evolution towards 3G/UMTS

i) Factor de reducción del ancho de banda

El Factor de reducción del ancho de banda es una medida de la forma en que el ancho de banda del TBF se reduce cuando los mismo TSLs son compartidos por más de un usuario. Conociendo la capacidad del TSL y su factor de reducción, es posible calcular la media del ancho de banda de los usuarios.

En la práctica, con un número limitado disponible TSLs y los algoritmos reales de asignación de canales, existen algunas diferencias. En cualquier caso, el factor de reducción es un concepto simple y constituye una útil herramienta para el diseño de la red EDGE/GPRS.

La Fig. 4.7 muestra los factores de reducción en una red EGPRS con ocho TSLs disponibles para EDGE/GPRS. Cuando el número de TSLs aumenta, los recursos disponibles se utilizan de manera más eficiente y los mismos factores de reducción se puede lograr con una mayor utilización de TSL.

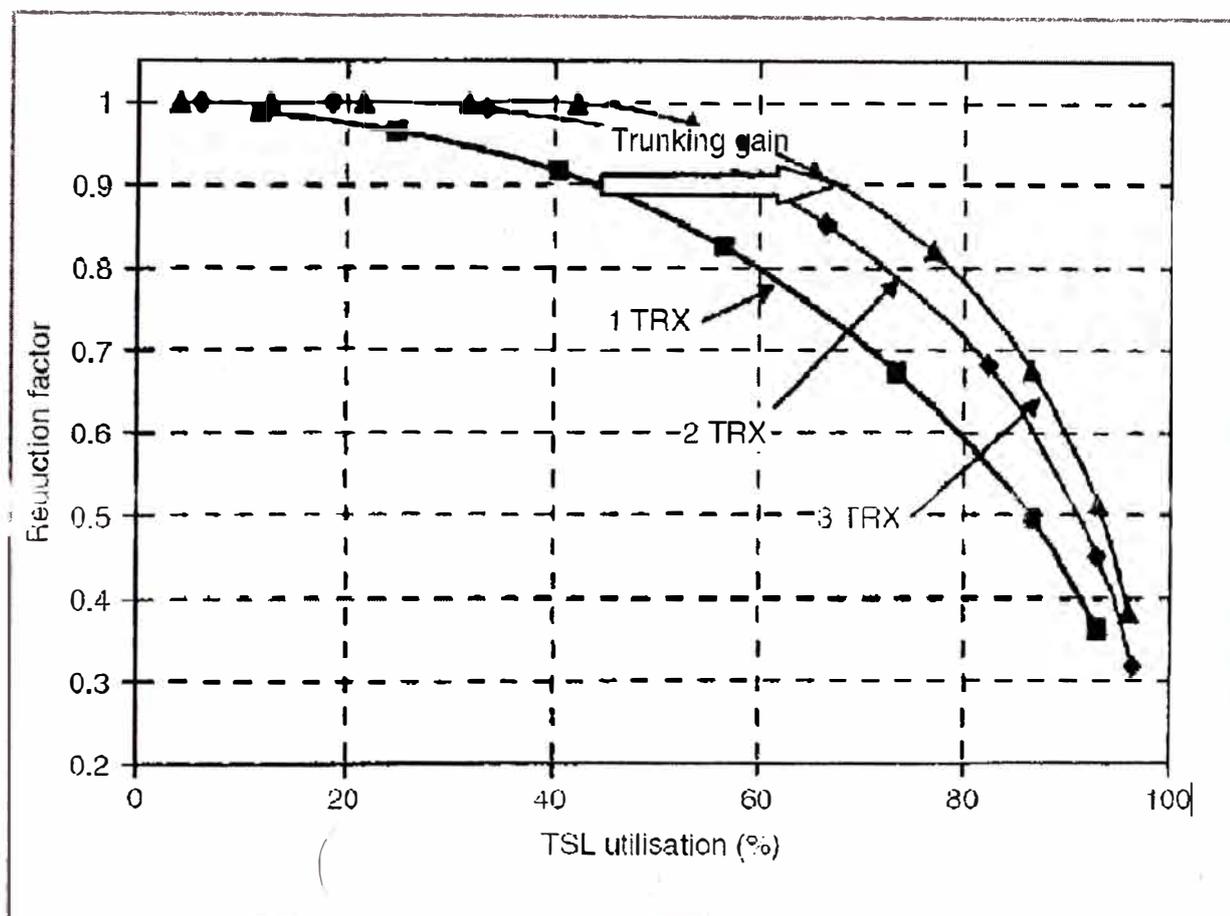


Fig. 4.7.- Variación del factor de reducción según la variación de la utilización del TSL

Fuente: GSM, GPRS and EDGE Performance Evolution towards 3G/UMTS

Una BTS con carga baja¹⁵ tienen un factor de reducción de cercano a 1, lo que significa que muy pocos TSLs son compartidos entre los usuarios. Idealmente, el factor de reducción no depende del número asignado TSLs.

$$\text{Ancho de banda del TBF} = \text{Capacidad del TSL} \times \text{Número de TSL asignados} \times \text{factor de reducción del TSL}$$

(4.5)

¹⁵ La carga de la BTS es baja cuando la utilización de TSLs es menor al 40 %, media cuando la utilización de TSLs se encuentra entre 40% y 70% y es alta cuando es mayor al 70%.

4.5.2 Cálculo de la cantidad de TSLs necesarios para tráfico de voz

a) Procedimiento para el cálculo

Ahora que manejamos claramente los KPIs de la red EDGE/GPRS podemos continuar con los cálculos de diseño. Para calcular la capacidad de tráfico de voz se deberá realizar los siguientes pasos:

- Realizar la proyección del tráfico de voz cursado que se tendrá en la hora pico.
- Aplicar la fórmula de Erlang-B para cada una de las BTSs del BSC para obtener la cantidad de tráfico ofrecido de cada BTSs y realizar la suma de todos esos pequeños tráficos ofrecidos para obtener el tráfico ofrecido total del BSC.
- Revisar si cantidad de tráfico ofrecida por el BSC puede “satisfacer” la demanda de tráfico cursado en hora pico, de no ser así se deberá aumentar TSL en el territorio de voz de cada BTS hasta que se consiga satisfacer este valor.

Para satisfacer la demanda de tráfico se debe dimensionar la cantidad de TRXs de tal forma que el máximo tráfico de voz y datos cursado debe ser el 85% de la capacidad total de tráfico ofrecido, este 15% de tráfico ofrecido que se deja de reserva sirve para garantizar la capacidad de tráfico en situaciones que no han sido considerado en este análisis, por ejemplo que la distribución real del tráfico no es homogénea en toda la cobertura de un BSC.

$$0.85 * \text{Tráfico Ofrecido en hora pico} = \text{Tráfico cursado estimado}$$

(4.6)

La TABLA 4.1 muestra la recomendación para relacionar el # TRX, # CCCH, y #TCH de una BTS, de tal forma que no se tengan alarmas de baja capacidad de señalización en la BTS. Se ha elaborado teniendo en cuenta la cantidad máxima de canales de tráfico que puede contener una estación base, se debe tener en cuenta que la estación base siempre debe tener una cantidad de TSLs destinados a la señalización ya sea para Broadcast Control Channel (BCCH) o para Stand alone Dedicated Control Channel (SDCCH), en la práctica se tiene que estos canales se asignan estáticamente siempre en los primeros TSLs de la primera TRXs de cada sector. En el siguiente punto analizaremos que cantidad de tráfico de voz permiten cursar estos TSLs para lo cual usaremos la fórmula de Erlang B, para el cálculo de la cantidad de tráfico de datos que se usará las fórmulas probabilidad de bloqueo y factor de reducción

TABLA 4.1.- Recomendación de asignación de TSL en un BTS

# Traseiver (TRX)	# Time slots (TSL)	# Time slots para tráfico (TS-TCH)	# Time slots para señalización (TS-CCCH)
1	8	7	1
2	16	14	2
3	24	22	2
4	32	30	2
5	40	37	3
6	48	44	4
7	56	52	4
8	64	60	4

b) Fórmula de Erlang B

Según la fórmula de Erlang-B se tiene que conociendo la cantidad de tráfico de conmutación de circuitos ofrecido, y definiendo una probabilidad de bloqueo se puede determinar la cantidad de TS-CSj necesarios, la fórmula de Erlang B queda descrita por la siguiente expresión

$$Blocking\ Probability(B) = \frac{A^N N!}{\sum_{i=0}^N A^i i!}$$

(4.7)

B = Probabilidad de bloqueo (BP) grado de servicio ofrecido a los usuarios

A = Tráfico ofrecido en Erlangs durante la hora pico (BH)

N= # TS_CS en la celda j

Al ejecutar la fórmula de Erlang para una estación base se observa que estas tienen una baja cantidad de canales de tráfico por lo tanto la eficiencia es pobre y conforme la cantidad de TRXs de la estación base se incrementa se observa una mejora en la eficiencia, tal como muestra la Fig. 4.8, por ejemplo para una estación base de 1 sola TRX se tiene una eficiencia de 41% y para una estación base de 8 TRX se tiene una eficiencia de 83%.

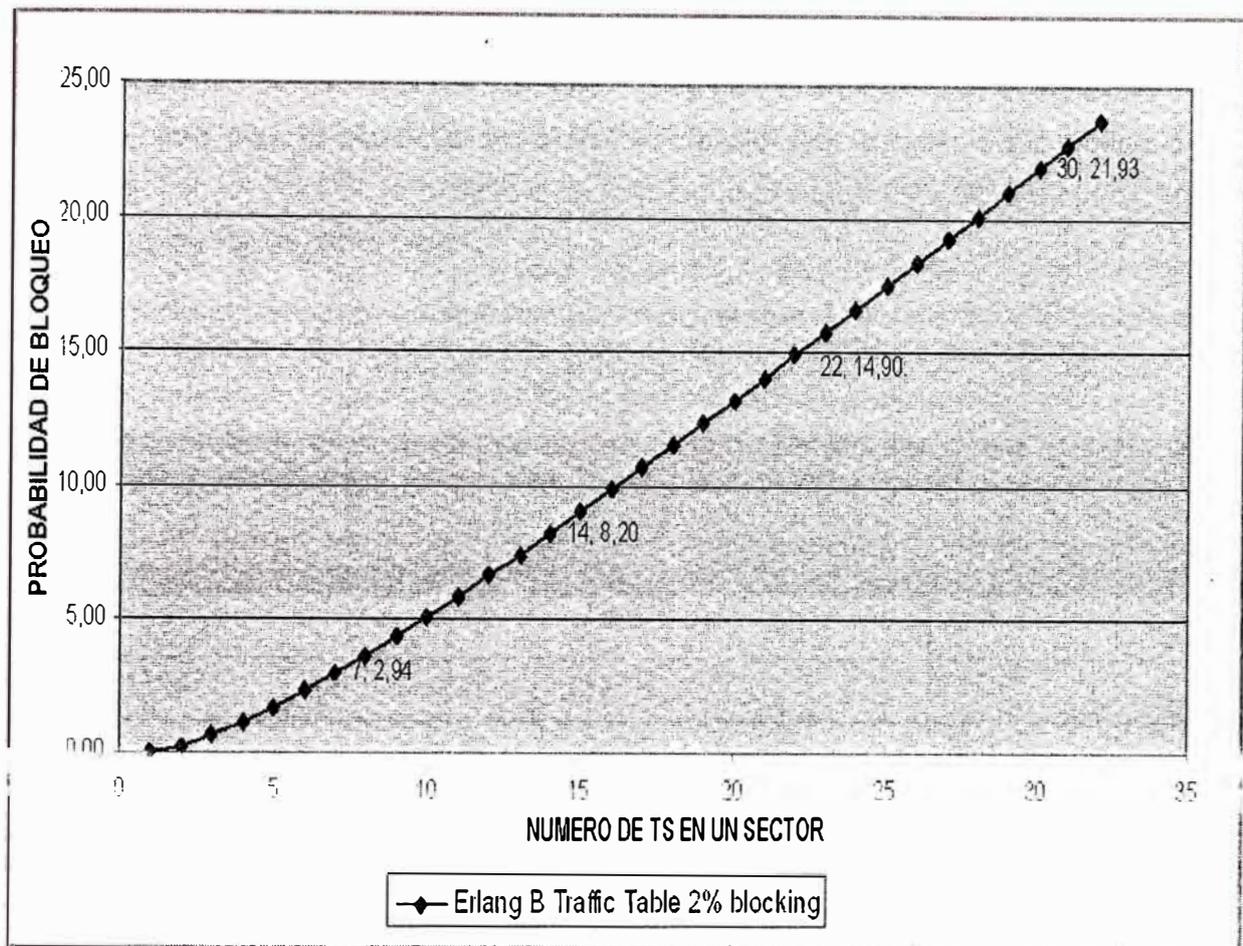


Fig. 4.8.- Tráfico ofrecido en una BTS por TS usando la fórmula de Erlang B, BP = 2%

c) Resultados de la fórmula de Erlang para distintos escenarios

- Tráfico de voz actual ofrecido:

Es importante notar que el valor obtenido de estos cálculos difiere en gran medida del valor de Tráfico ofrecido que se obtendría al ejecutar la fórmula de Erlang-B a todos TS-CS contenidos en el BSC (**3453 Erlangs**), esto se debe a que cuando un usuario esta bajo la cobertura de una BTS solo puede acceder a los recursos de time slots (un time slot equivale a un recurso de radio por donde viaja una única llamada en un espacio de tiempo) de esta BTS y no a todos los TSLs del BSC.

Según los datos obtenidos en el capítulo 2 (pagina 30) se observa que cantidad de tráfico para voz ofrecido por el BSC0001 es de **2293.2 Erlangs** tal como se muestra en la TABLA 4.3, de los resultados obtenidos en el Capítulo 3 se observa que el máximo de tráfico voz estimado en hora pico para el 2008 es de **2096,51 Erlangs**, teniendo en cuenta la consideración de usar solo el 85% de capacidad ofrecida se debió ofrecer **2466.48 Erlangs**, por lo tanto podemos decir que la configuración actual de TRX esta subdimensionada.

De los resultados obtenidos en el Capítulo 3 (pagina 48) se tiene que el tráfico de voz en hora pico meta para el año 2009 es **2410,99 Erlangs**. Por lo tanto es necesario realizar una ampliación de los TSL actuales de tal forma que el tráfico ofrecido solo para voz sea mayor igual que **2836,46 Erlangs**.

TABLA 4.2.- Tráfico de voz ofrecido por el BSC0001 para el 2008

# Tranceiver (TRX)	Estaciones Base (BTS)	Canales de Control (CCCH)	Canales de tráfico (TCH)	Erlangs Ofrecidos por cada BTS (2% de probabilidad bloqueo)	Erlangs Ofrecidos totales (2% de probabilidad bloqueo)
2	9	2	14	8,2	73,8
3	147	2	22	14,8	2175,6
4	2	2	30	21,9	43,8
TOTAL					2293,2

- Tráfico de voz ofrecido luego de aumentar 2 TSLs en cada BTS

En la TABLA 4.4 se observa que la cantidad de tráfico ofrecido es de **2717.1 Erlangs** lo cual es insuficiente para satisfacer la demanda de **2836.46 Erlangs**.

TABLA 4.3.- Tráfico de voz ofrecido luego de aumentar 2 TSLs en cada BTS

Tranceiver (TRX)	Estaciones Base (BTS)	Canales de Control (CCCH)	Canales de tráfico (TCH)	Erlangs Ofrecidos por cada BTS (2% de probabilidad bloqueo)	Erlangs Ofrecidos totales (2% de probabilidad bloqueo)
3	9	2	17	10,6	95,4
4	147	2	25	17,5	2572,5
5	2	3	33	24,6	49,2
TOTAL					2717,1

- Tráfico de voz ofrecido luego de aumentar 4 TSLs en cada BTSs

En la TABLA 4.5 se observa que el tráfico ofrecido es de **2843.7 Erlangs** lo cual logra satisfacer la demanda de **2836,46 Erlangs**, por lo tanto se decide incrementar en 4 TSLs cada BTS.

TABLA 4.4.- Tráfico de voz ofrecido luego de aumentar 4 TSLs en cada

#Tranceiver (TRX)	Estaciones Base (BTS)	Canales de Control (CCCH)	Canales de trafico (TCH)	Erlangs Ofrecidos por cada BTS (2% de probabilidad bloqueo)	Erlangs Ofrecidos totales (2% de probabilidad bloqueo)
3	9	2	18	11,4	102,6
4	147	2	26	18,3	2690,1
5	2	3	34	25,5	51
TOTAL					2843,7

4.5.3 Cálculo de la cantidad de TSLs necesarios para tráfico de Datos

a) Procedimiento para el cálculo

Para calcular la capacidad de tráfico de voz se deberá realizar los siguientes cálculos:

- Realizar la proyección del tráfico de datos cursado que se tendrá en la hora pico en el BSC y según esto estimar el valor máximo de tráfico de datos cursado en una celda.
- Establecer los niveles de calidad de servicio para un usuario en función de ancho de banda máximo por usuario, cantidad promedio de uso de TSL por usuario y el retardo máximo en la BTS.
- Asumir un valor promedio de Capacidad de Tráfico del TSL en la BTS, y según esto calcular la cantidad de Datos Erlang en hora pico, el factor de Utilización de la celda y su correspondiente factor de reducción.
- Calcular el ancho de banda por usuario y revisar si logra "satisfacer" la calidad de servicio establecida, de no ser así se debe aumentar TSLs en el territorio de datos de cada BTS hasta que se consiga satisfacer este valor.

b) Fórmulas de Factor de Reducción y Probabilidad de Bloqueo del TBF

Se tiene las siguientes fórmulas para el cálculo del factor de reducción y la probabilidad de bloqueo del TBF. En ellas se observa que bajo condiciones ideales estos resultados solo dependen del factor de utilización (U), de la cantidad de TSLs utilizados del sistema (Nu) y de la cantidad de TSLs disponibles del sistema (Ns). De esto se tiene que:

$$\begin{aligned} \text{Data Erlangs} &= U \times N_s \\ N &= N_s / N_u \end{aligned}$$

(4.8)

N ; Factor de disponibilidad de TSLs del sistema

$$\text{Reduction factor} = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{(U \cdot N)^i}{i!} + \sum_{i=N+1}^{\infty} \frac{(U \cdot N)^i}{N! \cdot N^{(i-N)}} \left(\frac{N}{i}\right)}{\sum_{i=1}^N \frac{(U \cdot N)^i}{i!} + \sum_{i=N+1}^{\infty} \frac{(U \cdot N)^i}{N! \cdot N^{(i-N)}}} \quad (4.9)$$

$$\text{Blocking probability} = \frac{\sum_{i=N+1}^{\infty} \frac{(U \cdot N)^i}{N! \cdot N^{(i-N)}}}{\sum_{i=0}^N \frac{(U \cdot N)^i}{i!} + \sum_{i=N+1}^{\infty} \frac{(U \cdot N)^i}{N! \cdot N^{(i-N)}}} \quad (4.10)$$

En la TABLA 4.6 se muestra el resultado del factor de reducción para distintos valores del factor de disponibilidad de TSLs del sistema (N).

TABLA 4.5.- Factor de Reducción versus el factor de disponibilidad de TSLs (N)

		Factor de Reducción								
		0.95	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2
N=NS / Nu	1	0.0967	0.1871	0.35	0.4911	0.6123	0.7153	0.8019	0.8731	0.9301
	5/4	0.1707	0.2831	0.4548	0.5861	0.6911	0.7763	0.8457	0.9016	0.9458
	4/3	0.1947	0.3112	0.4826	0.6101	0.7104	0.791	0.8561	0.9084	0.9496
	3/2	0.2398	0.3615	0.53	0.65	0.7421	0.8148	0.8729	0.9193	0.9556
	5/3	0.2807	0.4046	0.5686	0.6818	0.7669	0.8333	0.8859	0.9277	0.9602
	7/4	0.2996	0.4239	0.5854	0.6953	0.7773	0.8411	0.8914	0.9312	0.9622

En la Fig. 4.9 se observa que el factor de reducción decrece cuando aumenta la utilización del TBF esta reducción puede ser atenuada incrementando los recursos en la BTS es decir aumentando N. En la Fig. 4.10 se observa que la probabilidad de bloqueo se incrementa exponencialmente al aumentar la utilización del TBF, la probabilidad de bloqueo se ve atenuada al incrementar los recursos en la BTS es decir aumentando N.

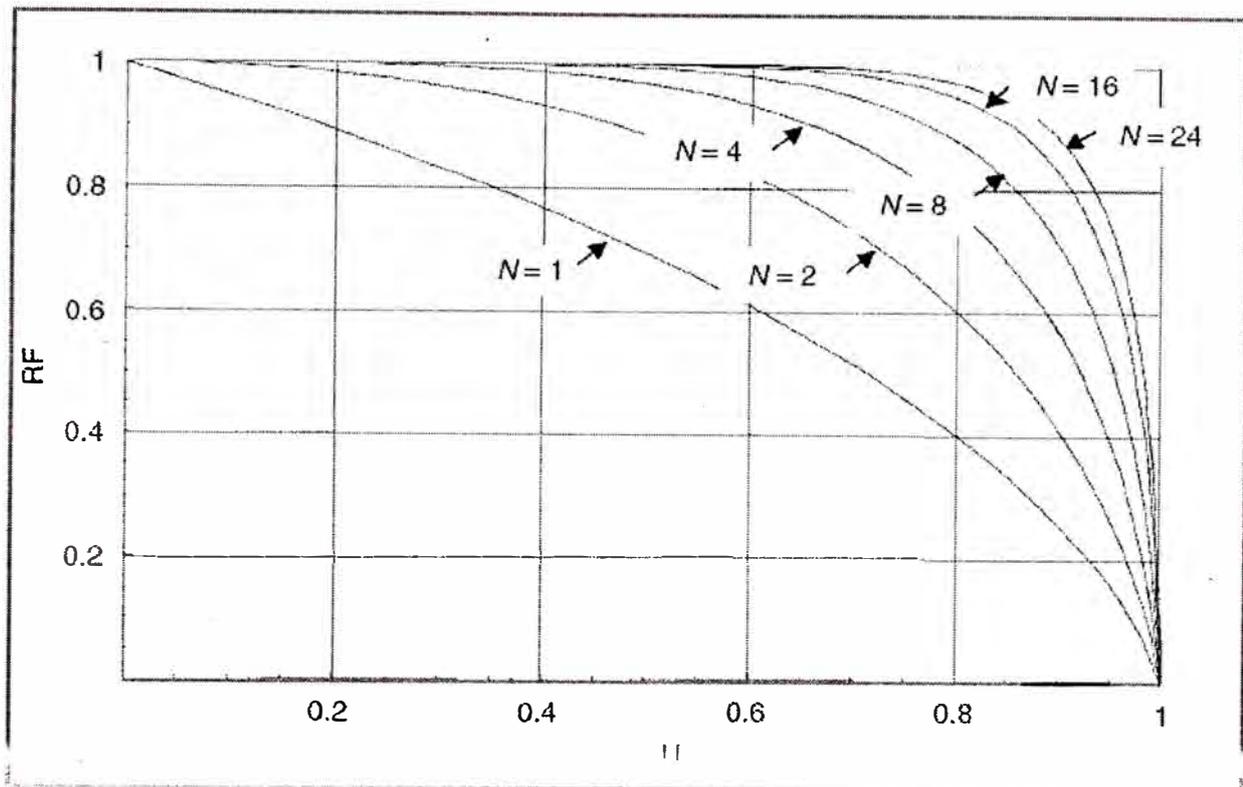


Fig. 4.9.- Factor de Reducción vs. Utilización del TBF

Fuente: GSM, GPRS and EDGE Performance Evolution towards 3G/UMTS

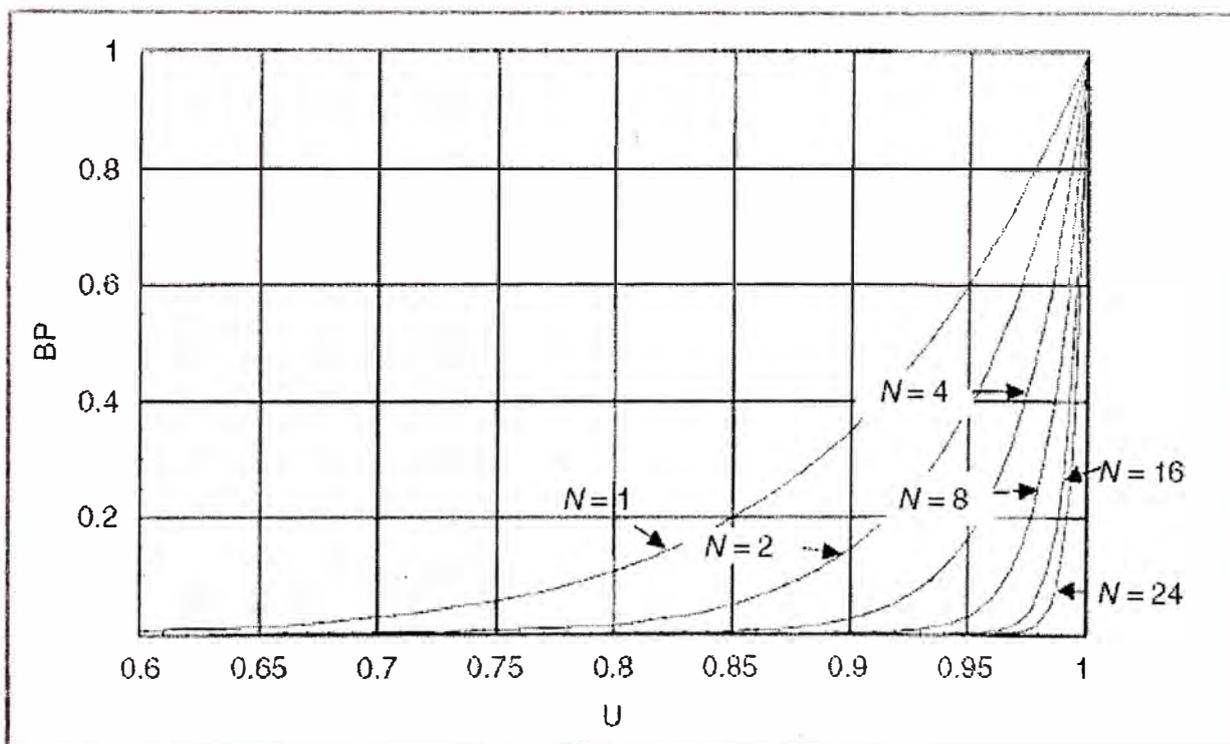


Fig. 4.10.- Probabilidad de Bloqueo vs. Utilización del TBF

Fuente: GSM, GPRS and EDGE Performance Evolution towards 3G/UMTS

c) Resultados de la fórmula de factor de reducción para distintos escenarios

De los resultados obtenidos en el Capítulo 3 se tiene que el tráfico de datos en hora pico meta para el año 2009 es de **4527 kbps**. Se ha considerado que para satisfacer la demanda el tráfico cursado debe representar el 85% del tráfico ofrecido por el BSC. Se ha decidido brindar a los usuarios brindarles una buena calidad de servicio de datos EDGE/GPRS por lo tanto el ancho de banda máximo que el usuario debería lograr debe ser mayor de 100 kbps y una probabilidad de bloqueo menor al 2%.

Se ha considerado que un pico de descarga una celda por un momento podría llegar hasta el triple de su tráfico promedio y que en promedio un TSL de EDGE/GPRS trabaja a 48 kbps, estos valor fue obtenido en pruebas experimentales de otras redes.

En resumen se tiene los siguientes datos

- Tráfico de datos en hora pico: 4527 kbps
- Tráfico de datos ofrecido en hora pico: $4527/0.85$ kbps = 5658,75 kbps
- Tráfico de datos promedio por celda en hora pico = 35,81 kbps
- Tráfico de datos máximo por celda en un pico de descarga = 3 (promedio) = 107,44 kbps.
- Capacidad promedio de un TSL EDGE/GPRS: 48 kbps
- Data Erlang en la celda = $107.44/48 = 2.24$ data Erlang

Observemos la evolución del Tráfico ofrecido al aumentar la cantidad de TSLs

Tráfico ofrecido luego de asignar 3 TSLs en el territorio de datos cada BTSs

- Data Erlang = 2.24
- Factor de utilización = $U = 2.24/3 = 0.75$
- Factor de disponibilidad de TSLs del sistema = $N = 3/3 = 1$
- Factor de reducción = $R = 0.45$
- De la Fig. 4.4 y 4.5 se observa que el retardo aproximado es de 2 seg. y la probabilidad de bloqueo es mayor al 2%.
- Ancho de banda máximo por usuario = $48*3*0.45 = 65.23$ kbps.

Se observa que el ancho de banda por usuario es de 65.23 kbps lo cual no satisface la calidad de servicio requerida de 100 kbps.

Tráfico ofrecido luego de asignar 4 TSLs en el territorio de datos cada BTSs

- Data Erlang = 2.24
- Factor de utilización = $2.24/4 = 0.56$
- Factor de disponibilidad de TSLs del sistema = $N = 4/3$
- Factor de reducción = $R = 0.75$
- De la Fig. 4.4 y 4.5 se observa que el retardo aproximado es de 2 seg. y la probabilidad de bloqueo menor al 2%

- Ancho de banda máximo por usuario = $48 \times 3 \times 0.75 = 108,59$ kbps.

Se observa que el ancho de banda por usuario es de 108.59 kbps lo cual satisface la calidad de servicio requerida por usuarios que se en este caso es de 100 kbps. Por lo tanto se decide usar la opción con 4 TSL

4.5.4 Cálculo de la cantidad de TRXs necesarios.

Para realizar exitosamente esta labor es necesario tomar en consideración tanto la demanda de canales de tráfico proyectada para GSM y EDGE/GPRS de manera conjunta. El resultado de este proceso debe ser:

- Número de TRX requerido para soportar la demanda de tráfico.
- Número de TSLs que deben ser dedicados para transferencia de datos.

En las BTS usualmente los primeros TSLs de la primera TRX son usados para contener el canal de control CCCH (MBCCH o SDCCH), luego los recursos de los canales de tráfico de las TRXs restantes se divide en dos zonas o territorios, territorio para conmutación de circuitos y territorio para conmutación de paquetes los cuales tienen una frontera dinámica, esto quiere decir que puede aumentar o disminuir según la demanda de canales de circuitos y paquetes. Adherir un TRX extra en la red de acceso radio puede crear 7 u 8 canales de tráfico, dependiendo de la cantidad de canales que sean definidos como canales de tráfico y control, para este punto debemos recordar la distribución de canales que se definió en el capítulo 2 para las BTSs dependiendo de la cantidad de TRXs que contienen, en la Fig. 4.11 podemos observar la asignación de recursos de radio en equipamiento NOKIA para una BTS en la cual se observa como los recursos con los que cuenta la plataforma EDGE/GPRS son aquellos que la plataforma GSM no usa en ese momento. Analicemos las siguientes fórmulas y consideraciones específicas para el diseño de la interfaz aire:

- El número total de TSLs en una celda j ($\#TS_j$).
- El número de TRX en una celda j ($\#TRX_j$).
- El número de TSLs en la celda j para canales de control ($\#TS_CCCH_j$)
- El número de TSLs en una celda j para canales de tráfico ($\#TS_TCH_j$)
- El número de TSLs en una celda j para conmutación de circuitos ($\#TS_CS_j$).
- El número de TSLs para conmutación de circuitos de paquetes ($\#TS_GPRS_j$).

$$\begin{aligned} \#TS_j &= \#TS_CCCH_j + \#TS_TCH_j \\ \#TS_TCH_j &= \#TS_CS_j + \#TS_GPRS_j \\ \#TS_j &= \#TRX_j * 8 \end{aligned}$$

(4.11)

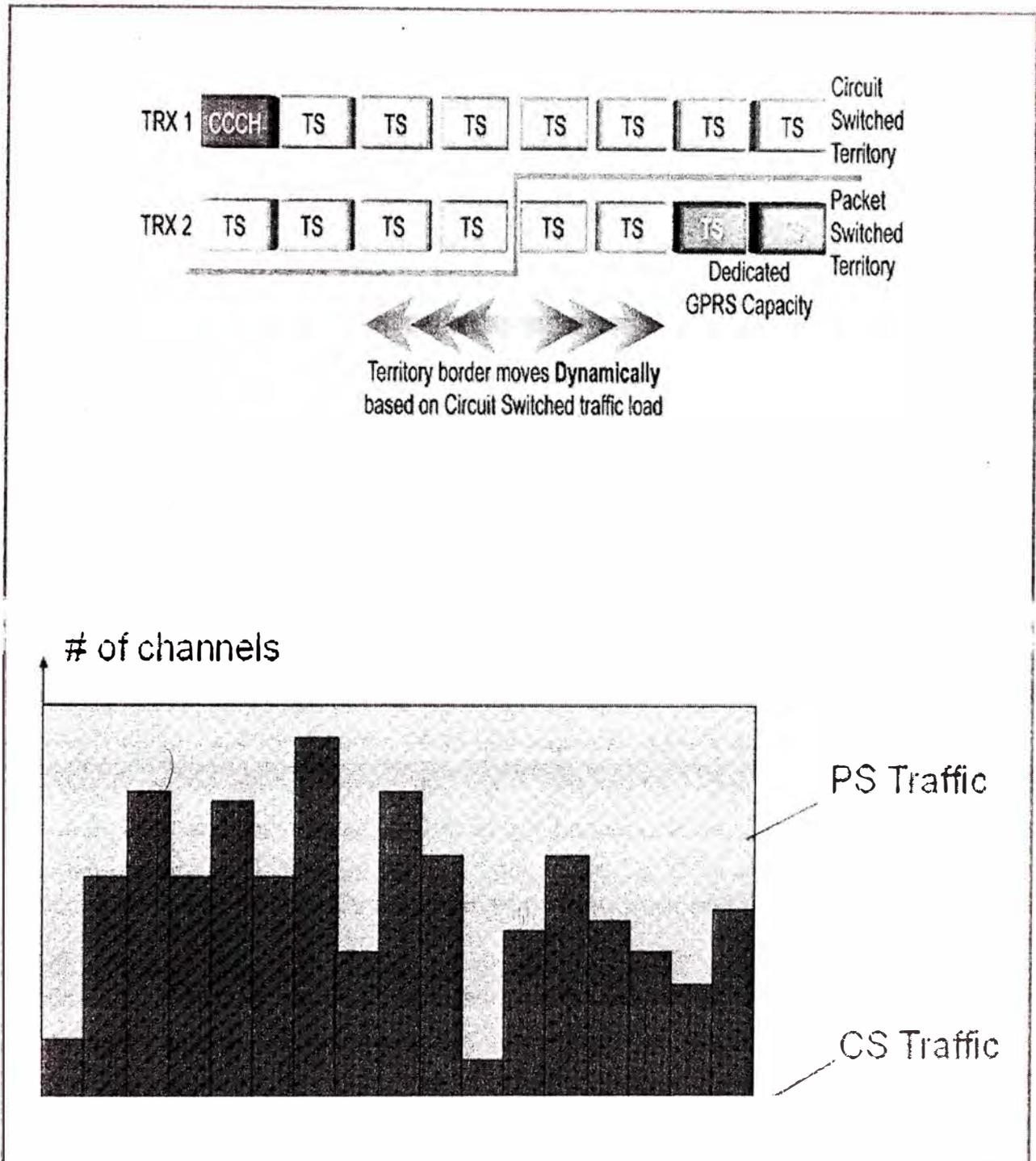


Fig. 4.11.- Distribución del territorio de voz y datos en una BTS

Se ha demostrado que para satisfacer la demanda de tráfico de voz se requiere incrementar como mínimo 4 TSLs y para satisfacer la demanda de tráfico de datos se requiere incrementar 4 TSLs como mínimo, por lo tanto será necesario incrementar como mínimo 1 TRX (8 TCH) en cada sector en total serian 158 TRXs, todos estos cálculos son valido hasta el final del 2009. Debido a que el tráfico de voz tiene prioridad con respecto

al tráfico de datos se debe configurar un parámetro en el BSC que garantice que la cantidad mínima de TSLs para datos será 4 por BTS. En el caso de equipos NOKIA se usar el parámetros CDED (dedicated GPRS capacity) igual al 50% lo cual garantiza que siempre la capacidad del 50% de la TRX estará disponibles para transmisión de datos EDGE/GPRS.

4.6 Diseño de la interfaz Abis

La interfaz Abis es la interfaz encargada de transportar toda la información de señalización, voz y datos desde la BTS hasta la BSC, es una interfaz cerrada, esto quiere decir que solo es compatible entre equipos de la misma marca y comúnmente esta constituida por un enlace microonda con capacidad para un E1 (2 Mbps dividido en 32 TSL). En el proceso de su configuración se realizar un mapeo estático de cada uno de los canales de las TRXs a un Sub-TSL (16 kbps) dentro del E1, sin embargo debido a que el sistema EDGE provee velocidades de Radio TSL hasta los 59.2 kbps dependiendo de la modulación y esquema de código (MCS) que se este usando es necesario incluir un nuevo grupo de TSLs dentro de la interfaz Abis que tendrán la función de asistir dinámicamente a los TSLs de las TRXs que requieran transportar mas de 16 kbps (en la practica es menos por los overheads), por lo tanto se tiene que cuando un usuario usa un MCS alto este incrementa su ancho de banda gracias a que esta usando mas recursos dentro de la interfaz Abis, a este grupo de TSLs que puede ser asignado dinámicamente se les conoce como DAP (Dinamic Abis Pool).

En el Fig. 4.12 podemos observar la asignación de canales según el esquema de codificación y modulación MCS, el cuadro verde representa el canal maestro que se encarga de controlar los cuadros azules que representan los canales esclavos del DAP, todo el proceso de asignación es dinámico y es controlado por las PCUs del BSC lo cual garantiza que cuando los recursos del DAP que ya no se estén usando sean inmediatamente reasignados a otros usuarios que requieran incrementar su ancho de banda, se debe recordar que el usuario experimentara un ancho de banda ligeramente menor debido a los overheads introducidos por las capas inferiores.

En la Fig. 4.12 se observa como se realiza el mapeo de los TSLs dentro del Abis para cada uno de los diferentes MCS de EDGE, los cuadros verdes representan TSLs configurados estáticamente para las TRX (maestros) y los cuadros azules representan TSLs que pertenecen al DAP (esclavos), una vez se desocupen quedaran libres para que puede asistir a cualquier otro TSL de TRX. Se observa que cuando mayor es el MCS mayor es el requerimiento de de TSLs en el Abis ya que mayor es el ancho de banda a

transportar. Para el proceso de implementación de la red EDGE/GPRS es necesario definir la ubicación DAP dentro de la interfaz Abis.

En la práctica para la implementación del DAP se utilizan los time slots sobrantes del E1 que transporta el ABIS de la celda, de esta forma se utiliza de una forma mas eficiente el ancho de banda en el enlace microonda que conecta la celda con el BSC, usualmente la limitante en la implementación del DAP es la capacidad en la PCU y no el medio de transmisión en el ABIS.

Coding scheme	Data rate	Abis PCM allocation (fixed + pool)
MCS-1	8.8 kbit/s	
MCS-2	11.2 kbit/s	
MCS-3	14.8 kbit/s	
MCS-4	17.6 kbit/s	
MCS-5	22.4 kbit/s	
MCS-6	29.6 kbit/s	
MCS-7	44.8 kbit/s	
MCS-8	54.4 kbit/s	
MCS-9	59.2 kbit/s	

Fig. 4.12.- Asignación dinámica de TSLs dentro de la interfaz Abis

En el capítulo 2 (página. 30) se observa que las BTSs del BSC0001 no contienen mas de 9 TRXs sin embargo lo configuración máxima para una BTS es de 12 TRXs, en los casos que se tengan menos TRXs se debe dejar espacios vacíos de tal forma que queda capacidad reservada para ampliaciones futuras, la interfaz Abis para una BTS sin EDGE/GPRS activado se debe configurar según muestra la Fig. 4.13. De la configuración anterior se observa que la máxima cantidad de TSLs que se puede asignar para creación del DAP es de 4 TSLs, estos se asignaran en la parte inferior del E1, la interfaz Abis para una BTS con EDGE/GPRS activado se debe configurar según muestra la Fig. 4.14.

SUB TSL						
	0	1	2	3		
TS0	E1_SIG					
TS1	TRX_SIG01	TCH02	TCH03	TCH04	TRX01	SECTOR01
TS2	TCH05	TCH06	TCH07	TCH08		
TS3	TCH01	TCH02	TCH03	TCH04	TRX02	
TS4	TCH05	TCH06	TCH07	TCH08	TRX03	
TS5	TCH01	TCH02	TCH03	TCH04		
TS6	TCH05	TCH06	TCH07	TCH08	TRX04	
TS7	TCH01	TCH02	TCH03	TCH04		
TS8	TCH05	TCH06	TCH07	TCH08		
TS9	TRX_SIG05	TCH02	TCH03	TCH04	TRX05	SECTOR02
TS10	TCH05	TCH06	TCH07	TCH08	TRX06	
TS11	TCH01	TCH02	TCH03	TCH04		
TS12	TCH05	TCH06	TCH07	TCH08	TRX07	
TS13	TCH01	TCH02	TCH03	TCH04		
TS14	TCH05	TCH06	TCH07	TCH08	TRX08	
TS15	TCH01	TCH02	TCH03	TCH04		
TS16	TCH05	TCH06	TCH07	TCH08		
TS17	TRX_SIG09	TCH02	TCH03	TCH04	TRX09	SECTOR03
TS18	TCH05	TCH06	TCH07	TCH08	TRX10	
TS19	TCH01	TCH02	TCH03	TCH04		
TS20	TCH05	TCH06	TCH07	TCH08	TRX11	
TS21	TCH01	TCH02	TCH03	TCH04		
TS22	TCH05	TCH06	TCH07	TCH08	TRX12	
TS23	TCH01	TCH02	TCH03	TCH04		
TS24	TCH05	TCH06	TCH07	TCH08		
TS25	TRX_SIG02	TRX_SIG03	TRX_SIG04			
TS26	TRX_SIG06	TRX_SIG07	TRX_SIG08			
TS27	BCF_SIG	TRX_SIG10	TRX_SIG11	TRX_SIG12		
TS28						
TS29						
TS30						
TS31						

Fig. 4.13.- Asignación de TSLs en la interfaz Abis para una BTS sin EDGE/GPRS

SUB TSL									
					0	1	2	3	
TS0	E1_SIG								
TS1	TRX_SIG01	TCH02	TCH03	TCH04	TRX01	SECTOR01			
TS2	TCH05	TCH06	TCH07	TCH08					
TS3	TCH01	TCH02	TCH03	TCH04					TRX02
TS4	TCH05	TCH06	TCH07	TCH08					
TS5	TCH01	TCH02	TCH03	TCH04					TRX03
TS6	TCH05	TCH06	TCH07	TCH08					
TS7	TCH01	TCH02	TCH03	TCH04					TRX04
TS8	TCH05	TCH06	TCH07	TCH08					
TS9	TRX_SIG05	TCH02	TCH03	TCH04	TRX05	SECTOR02			
TS10	TCH05	TCH06	TCH07	TCH08					
TS11	TCH01	TCH02	TCH03	TCH04					TRX06
TS12	TCH05	TCH06	TCH07	TCH08					
TS13	TCH01	TCH02	TCH03	TCH04					TRX07
TS14	TCH05	TCH06	TCH07	TCH08					
TS15	TCH01	TCH02	TCH03	TCH04					TRX08
TS16	TCH05	TCH06	TCH07	TCH08					
TS17	TRX_SIG09	TCH02	TCH03	TCH04	TRX09	SECTOR03			
TS18	TCH05	TCH06	TCH07	TCH08					
TS19	TCH01	TCH02	TCH03	TCH04					TRX10
TS20	TCH05	TCH06	TCH07	TCH08					
TS21	TCH01	TCH02	TCH03	TCH04					TRX11
TS22	TCH05	TCH06	TCH07	TCH08					
TS23	TCH01	TCH02	TCH03	TCH04					TRX2
TS24	TCH05	TCH06	TCH07	TCH08					
TS25	TRX_SIG02	TRX_SIG03	TRX_SIG04						
TS26	TRX_SIG06	TRX_SIG07	TRX_SIG08						
TS27	BCF_SIG	TRX_SIG10	TRX_SIG11	TRX_SIG12					
TS28					DAP				
TS29									
TS30									
TS31									

Fig. 4.14.- Asignación de TSLs en la interfaz Abis para una BTS con EDGE/GPRS.

4.7 Diseño de la cantidad de Unidades de Control de Paquetes (PCU)

Las PCU son la unidades encargadas de realizar todas las funciones de la red EDGE/GPRS dentro de la BSC, en los BSCs Nokia las PCU están ubicadas dentro de las unidades BCSU y cada BSC puede estar equipado con un máximo de 7 + 1 PCUs, esto quiere decir que de las 8 PCUs existentes solo siete están activas y una queda pasiva a la espera de que alguna de las activas falle, en el proceso de configuración se debe para realizar un mapeo estático de las celdas dentro de las Entidades de Servicio de Red (NSE) los cuales son controlados por una misma PCU, tal como se observa en la Fig. 4.15, de esta manera se crean pequeñas áreas de cobertura EDGE/GPRS dentro del mismo BSC, se suele colocar BTS contiguas dentro de una misma NSE de tal forma que la señalización por movilidad sea mínima.

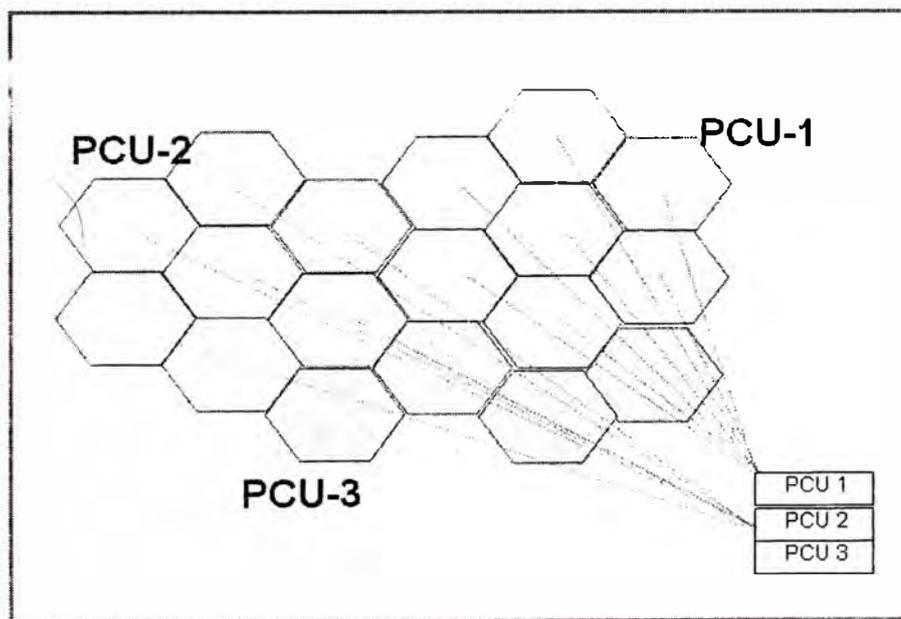


Fig. 4.15.- Ejemplo de distribución de celdas por PCU dentro de un BSC

Para el proceso de diseño de las PCUs se deben tomar el mínimo valor entero que cumpla las siguientes restricciones.

- a) Cada PCU tiene un máximo de ancho de banda de 2 Mbps, se debe considerar que como máximo se debe usar el 85% de la capacidad de la PCU

$$\#PCUs \text{ activas} = \frac{\text{Tráfico total de datos en hora pico}}{(0.85 * 2 \text{ Mbps})}$$

(4.12)

b) Cada PCU soporta un máximo de 256 canales EDGE/GPRS.

$$\#PCUs \text{ activas} = \#TSL \text{ asignados a Datos} / 256$$

(4.13)

c) Cada PCU soporta un máximo de 64 BTSs.

$$\#PCUs \text{ activas} = \#BTS \text{ con Datos Habilitados} / 64$$

(4.14)

4.8.1 Cálculo de la cantidad de PCUs necesarias en el BSC

a) De la primera restricción se obtiene que se necesitan 4 PCUs activas para satisfacer el requerimiento:

- Tráfico de datos en hora pico/0.85 = 4.527 Mbps
- 4527 Mbps / (0.85*2 Mbps) = 3.13

b) De la segunda restricción se obtiene que se necesitan 6 PCUs activas para satisfacer el requerimiento,

- # BTSs = 158
- # EDAPs = # CELDAS = 52
- TSLs asignados a Datos = 4 TSL x # BTSs + 16 TSL x # EDAP.
- $4*158 + 16*52 = 1464$ TSLs
- $1464/256 = 5.76$

c) De la tercera restricción se obtiene que se necesitan 3 PCUs activas para satisfacer el requerimiento.

- # BTSs = 158
- $158/64 = 2.47$

Se elige el mayor de los resultados del número de PCU activas y se le suma una PCU que sería la pasiva. Por lo tanto se obtiene que necesitaríamos 7 PCUs en el BSC0001.

4.8 Diseño de la interfaz Gb (Conexión entre BSC y SGSN)

La interfaz Gb es la interfaz encargada de enviar toda la información de EDGE/GPRS desde los BSCs hacia el SGSN, en la arquitectura Nokia la interfaz Gb es la

interconexión entre las unidades PCU del BSC y las unidades PAPU en el SGSN, tal como se observa en la Fig. 4.16. Para realizar la implementación de la Gb se pueden usar varias tecnologías de transmisión de datos tales como ATM, IP o Frame Relay sobre E, en las redes antiguas la tecnología predominante para esta interfaz es la de Frame Relay.

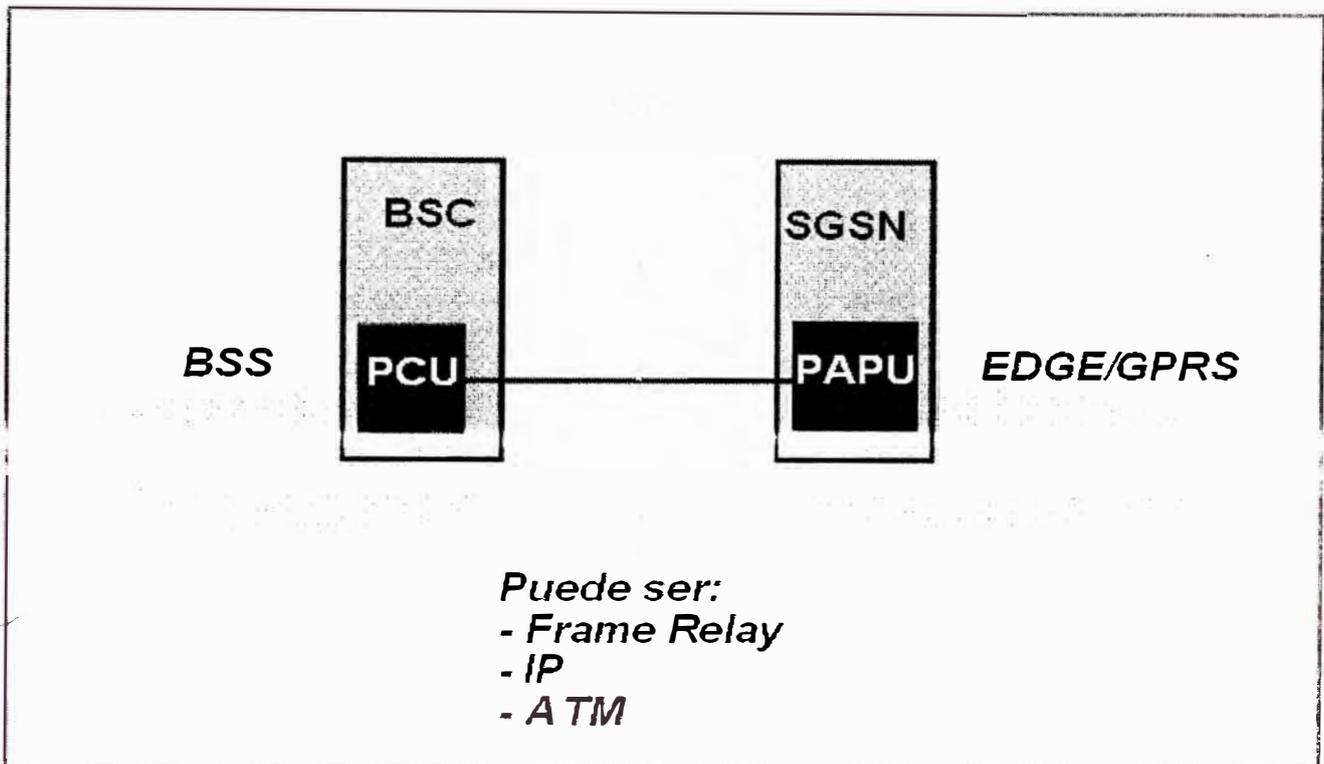


Fig. 4.16.- Interfaz Gb

4.8.1 Diseño del medio de transmisión

En este caso se utilizarán enlaces Frame relay debido a que no se cuenta con una red ATM disponible, ni tampoco infraestructura para conexiones IP desde los BSC hasta el SGSN además para que los BSCs soporte Gb sobre IP se requiere la instalación de licencias adicionales, lo cual incrementaría el costo del proyecto. Para la interfaz Gb de cada BSC se utilizarán enlaces E1s independientes ha excepción de los BSC satelitales o aquellos que tengan medio de transmisión arrendado los cuales solo dispondrán de uno cuantos TSLs de un E1 esto debido al elevado precio del medio de transmisión, en estos casos el E1 será canalizado a través del MSC.

En la Fig. 4.17 se muestra un ejemplo de red EDGE/GPRS con una interfaz Gb implementada con enlaces Frame Relay sobre E1.

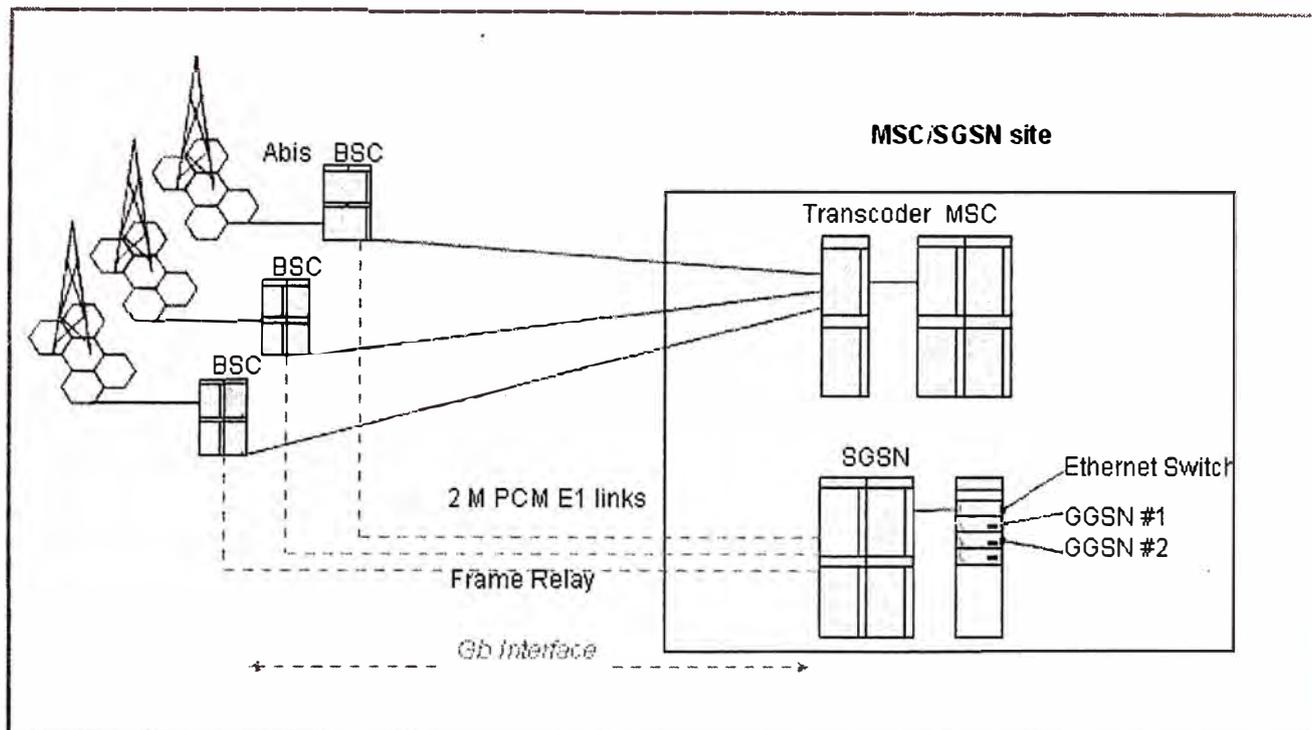


Fig. 4.17.- Conectividad de Interfaz Gb a través de E1

En la Fig. 4.18 se muestra un ejemplo de red EDGE/GPRS con una interfaz Gb implementada con enlaces Frame Relay sobre E1 para un BSC con transmisión limitada se observa que se reutiliza la interfaz A para transportar la Gb.

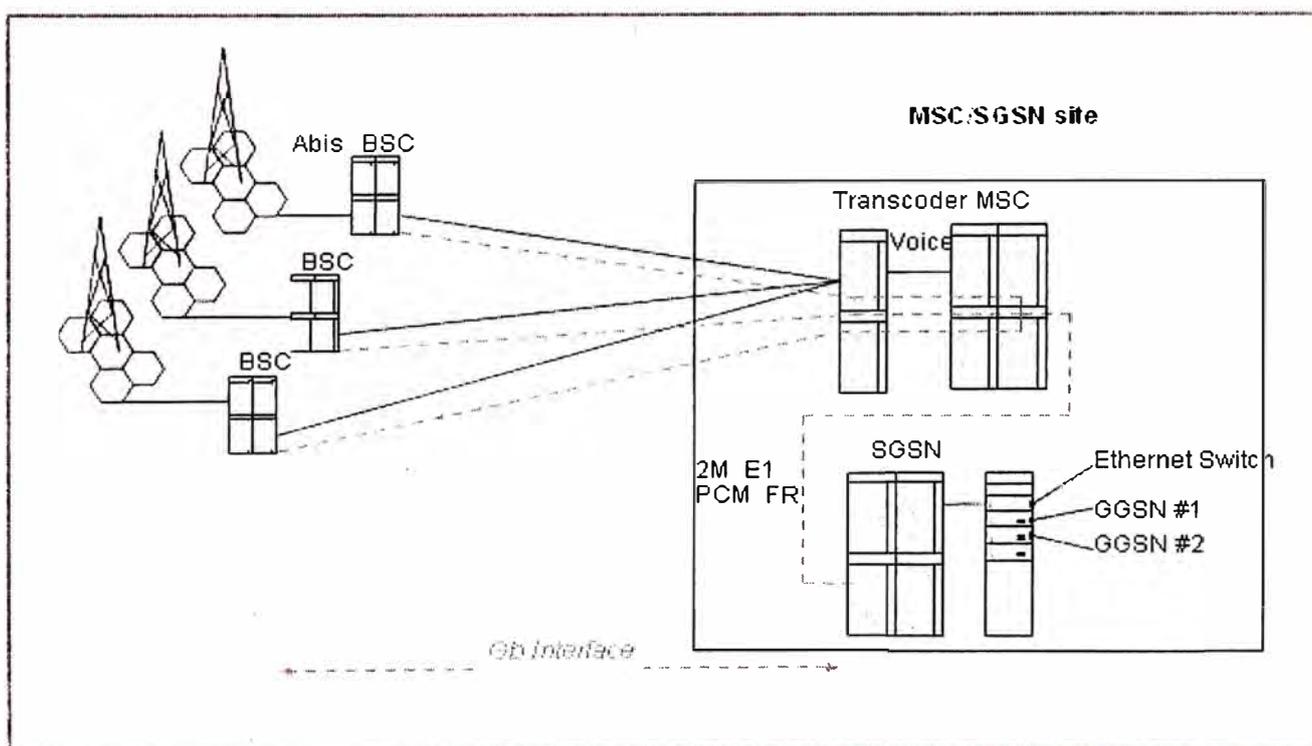


Fig. 4.18.- Conectividad de Interfaz Gb a través de E1 para BSC satelitales

4.8.2 Diseño del enlace Frame Relay

En general cualquier protocolo que realice encapsulación de paquetes introduce una disminución de la eficiencia del ancho de banda debido a la introducción de cabeceras (headers), en este caso se tienen un apilamiento de protocolos por lo tanto se debe considerar la suma de las cabeceras de cada una de las capas en el momento de la planificación, En la Fig. 4.19 se observa el tamaño de las cabeceras que en promedio introduce cada una de las capas involucradas.

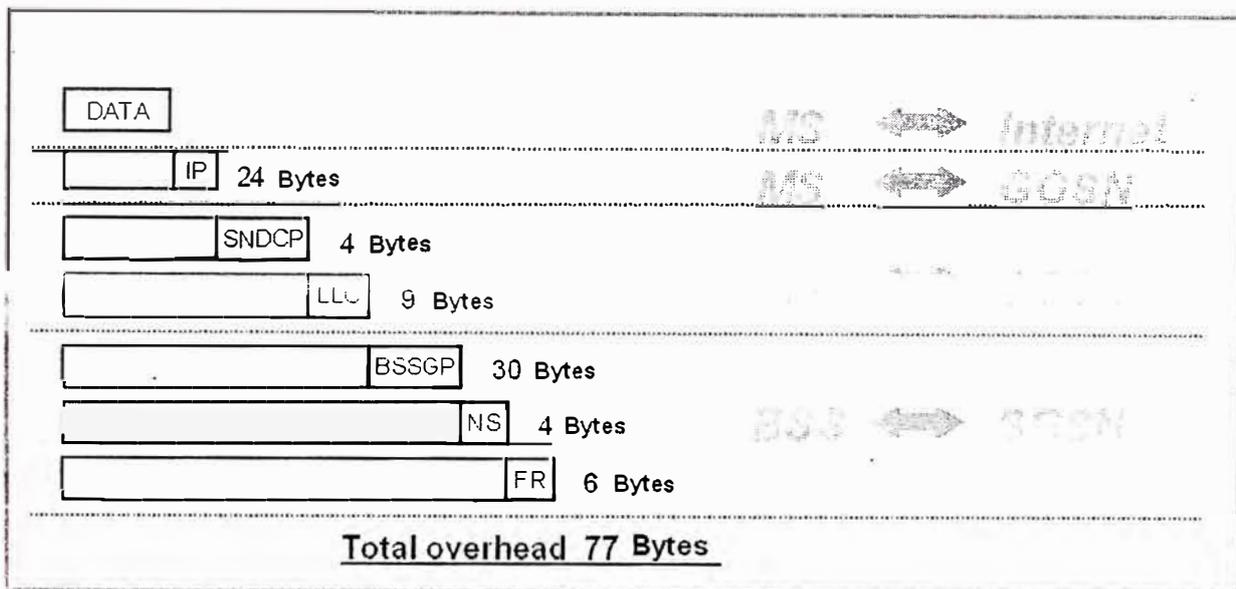


Fig. 4.19.- Conectividad de Interfaz Gb a través de E1 para BSC satelitales

$$\% \text{ Factor de corrección} = \frac{\text{Tamaño de la Cabecera}}{\text{Tamaño de la Cabecera} + \text{Tamaño del paquete}}$$

(4.15)

En el proceso de diseño se busca determinar la cantidad de E1 y enlaces Frame Relay que son necesarios configurar entre el BSC0001 y el SGSN. Se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Cada conexión de Frame Relay lógica tiene una capacidad de $n \cdot 64$ kbps donde n es el número de PCM-TSLs que se configuren y esta en el rango de 1 a 31, el ancho de banda en un enlace Frame Relay esta en el rango de 64 kbps hasta 1.984 Mbps.
- Adicionalmente al factor de corrección se debe dimensionar considerando que el

máximo ancho de banda alcanzado no debe ser mayor que el 85% de la capacidad del enlace.

- Cada PCU puede manejar hasta 16 PCM-TSL.
- El paquete promedio para las conexiones de datos EDGE/GPRS se considera en promedio 600 Bytes.

4.8.3 Cálculo de la cantidad de E1s y enlaces Frame Relay

- El ancho de banda máximo en hora pico para el 2009 era de 4527 Kbps según los cálculos realizados en el capítulo 3 (pagina 46).
- Existen 6 PCUs activas en el BSC0001
- El factor de corrección por cabeceras= $77/(77+600) = 11.37 \%$.
- El ancho de banda máximo corregido teniendo en cuenta las cabeceras y la consideración de usar como máximo el 85% de la capacidad total es = $4527*(1+16.14 \%)/(85\%) = 5931.63 \text{ Kbps}$.
- Número de PCM-TSL = $5931.63 \text{ kbps} / 64 \text{ kbps} = 92.68 \Rightarrow 93 \text{ PCM-TSL}$
- Cada E1 puede transportar hasta 31 PCM-TSLs $\Rightarrow 96/31 = 3 \text{ E1s}$
- Debido a que se tiene 6 PCUs activas estas se deben configurar con 12 Enlaces de 512 kbps.

4.9 Diseño del Core EDGE/GPRS

Para realiza el proceso de diseño del core de la red EDGE/GPRS se tendrá en cuenta las siguientes consideraciones:

- La red GSM en Lima tiene un total de 10 BSC y se ha decidido que todos ellos tendran la capacidad de transmisión de datos. Lo correcto seria realizar el análisis de los capítulos anteriores en cada uno de los BSCs pero para simplificar los cálculos se asumirá que todos los BSCs tienen las mismas características que el BSC0001.
- Normalmente los productos a nivel de centro de conmutación vienen asociados a soluciones a largo plazo y por lo tanto los fabricantes proponene soluciones considerando redes pequeñas, medias o grandes ha diferencia a la red de acceso¹⁶ en donde se tienen mayor libertad y granularidad en el momento del diseño, el objetivo en este punto del diseño es realizar el cálculo de la capacidad

¹⁶ Red de acceso es la parte externa de la red, se encarga de interactuar con el usuario final

total de la red EDGE/GPRS y decidir en cual de las soluciones del fabricante funcionaria mejor, a priori para este caso sabemos que el fabricante será NOKIA pero en una situación real se tendria un proceso de evaluación de las ventajas y desventajas de varios fabricantes.

4.9.1 Diseño del Nodo servidor de soporte GPRS (SGSN)

Para determinar la capacidad y número de los SGSNs que son necesarios para satisfacer la demanda se requiere conocer los siguientes datos de toda la red EDGE/GPRS.

- Cantidad maxima de usuarios registrados
- Tráfico maximo de paquetes de usuarios
- Cantidad maxima de activaciones de contextos PDP.
- Tráfico maximo de paquetes en la interfaz Gb
- Cantidad maxima de tráfico en la interfaz Gn
- Cantidad maxima de tuneles GTP que pueden ser creados

Un SGSN NOKIA versión 2 completamente equipado tiene las siguientes caracterisiticas y restricciones, tal como se resume en la Fig. 4.20.

16 unidades PAPUs activas y 1 PAPU en espera, esta es la unidad encargada de realizar todo el procesamiento de datos del SGSN.

- 4 unidades SMMU activas y 1 SMMU activa, esta es la unidad encargada de realizar toda el manejo de la señalización del SGSN.
- 240 000 usuarios registrados a la red EDGE/GPRS y cada uno puede tener hasta 4 contextos PDP activos, se debe considerar que como máximo se debe usar el 85% de la capacidad

$$\# \text{ SGSN} = \text{Cantidad máxima de usuarios de toda la red} / (0.85 * 240\ 000)$$

(4.16)

- Capacidad de procesamiento de datos es igual a 100 Mbps, debe considerar que como máximo se debe usar el 85% de la capacidad

$$\# \text{ SGSN} = \text{Tráfico máximo de datos de toda la red} / (0.85 * 100 \text{ Mbps})$$

(4.17)

- 1024x64 kbps enlaces Frame Relay para interfaces Gb, 64 en cada PAPU.

$$\# \text{ SGSN} = \text{Cantidad de enlaces de 64 kbps FR} / 1024$$

(4.18)

- 300 000 mensajes de texto cortos por hora.
- Soporta hasta 16000 areas de ruteo (1000 RA por PAPU)
- Soporta hasta 2000 areas de localizaion LA
- 96 interfaces de señalización SS7 (24 en cada SMMU)

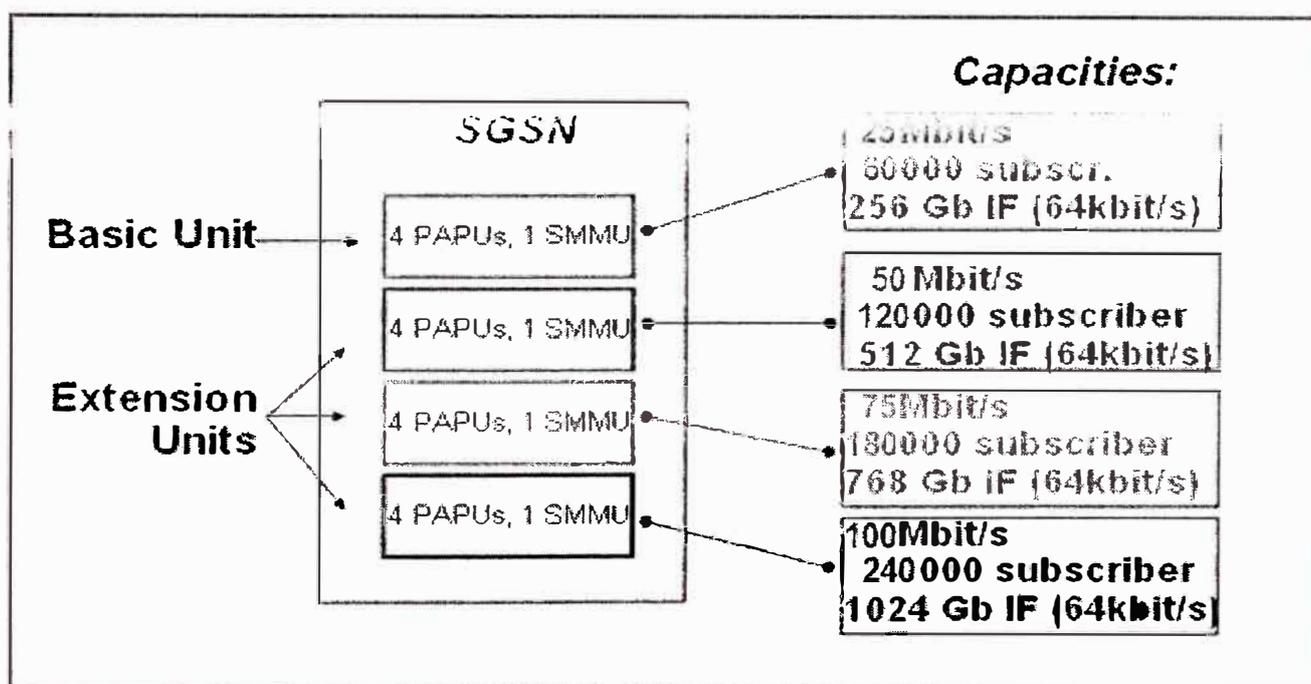


Fig. 4.20.- Pasos de configuración del SGSN

4.9.2 Cálculo de la cantidad de Nodos servidor de soporte GPRS necesarios

a) Evaluando la cantidad de usuarios estimada para la red EDGE/GPRS en diferentes configuraciones del SGSN se obtiene que se requiere un SGSN con 12 PAPUS y 3 SMMU activas.

- Para un SGSN con 16 PAPUs y 4 SMMU
 $4527 \cdot 10 / (0.85 \cdot 100000) = 0.53$
- Para un SGSN con 12 PAPUs y 3 SMMU
 $4527 \cdot 10 / (0.85 \cdot 75000) = 0.71$

- Para un SGSN con 8 PAPUs y 2 SMMU se observa que se necesitaría más de un SGSN.

$$4527*10/(0.85*75000) = 1.07$$

- b) Evaluando el consumo de ancho de banda estimado para la red EDGE/GPRS en diferentes configuraciones del SGSN se obtiene que se requiere un SGSN con 8 PAPUs y 2 SMMU activas:

- Para un SGSN con 16 PAPUs y 4 SMMU activas

$$6935*10/(0.85*240000) = 0.34.$$

- Para un SGSN con 12 PAPUs y 4 SMMU activas

$$6935*10/(0.85*180000) = 0.45$$

- Para un SGSN con 8 PAPUs y 2 SMMU activas

$$6935*10/(0.85*120000) = 0.68$$

- Para un SGSN con 4 PAPUs y 1 SMMU activas se observa que se necesitaría más de un SGSN.

$$6935*10/(0.85*60000) = 1.36$$

- d) Evaluando la cantidad de enlaces FR estimada para la red EDGE/GPRS en diferentes configuraciones del SGSN se obtiene que se requiere un SGSN con 16 PAPUs y 4 SMMU activas.

- Para un SGSN con 16 PAPUs y 4 SMMU activas

$$93*10/(0.85*1024) = 0.91$$

- Para un SGSN con 12 PAPUs y 3 SMMU activas se observa que se necesitaría más de un SGSN. $93*10/(0.85*768) = 1.42$

Se elige el mayor de los 3 resultados para el número de PAPUs y SMMUs activas y se le adiciona una que sería la pasiva. Por lo tanto se obtiene que necesitaríamos 17 PAPUs y 5 SMMUs en el SGSN001, es decir la configuración máxima. Es importante indicar que aunque el dimensionamiento del SGSN se basa en la cantidad de PAPUs y SMMUs existen otras unidades imprescindibles para su funcionamiento las cuales son la OMU que se encarga de todo el manejo de la parte de operación y mantenimiento del SGSN y las MCHU encargadas del control de la matriz de conmutación y la generación de CDRs.

4.9.3 Dimensionamiento del Nodo de Soporte de GPRS de Puerta de Enlace necesarios

El GGSN Rel 2 completamente equipado puede venir en 2 diferentes plataformas de hardware IP650 e IP740 con sistema operativo IPSO, las cuales tienen las siguientes restricciones principales

- Para un GGSN con plataforma IP740 la máxima cantidad de contextos PDP que se pueden manejar simultáneamente es de 1000 000 y la máxima cantidad de contextos PDP que se pueden abrir por segundo es de 500, además se puede cursar hasta un ancho de banda máximo de 240 Mbps, claro que esto depende del tamaño de los paquetes.
- Para un GGSN con plataforma IP650 la máxima cantidad de contextos PDP que se pueden manejar simultáneamente es de 100 000 y la máxima cantidad de contextos PDP que se pueden abrir por segundo es de 500, además se puede cursar hasta un ancho de banda máximo de 100 Mbps, claro que esto depende del tamaño de los paquetes.
- Estas plataformas por sí mismas no tienen redundancia por lo tanto si se desea considerar este aspecto se deberá integrar un GGSN adicional al core Network, debido a la restricción de realizar el proyecto con el menor costo posible en un primer momento no se contará con redundancia en este equipo.

4.9.4 Cálculo de la cantidad de Nodos de Soporte de GPRS de Puerta de Enlace necesarios

Evaluando las restricciones anteriores con los valores estimados de consumo de ancho de banda y usuarios para la red EDGE/GPRS se obtiene que será necesario un GGSN con plataforma IP650.

- Para un GGSN con plataforma IP650
 - $4527 \cdot 10 / (0.85 \cdot 100000) = 0.53$
 - $6935 \cdot 10 / (0.85 \cdot 100) = 0.82$
- Para un GGSN con plataforma IP740
 - $4527 \cdot 10 / (0.85 \cdot 1000000) = 0.05$
 - $6935 \cdot 10 / (0.85 \cdot 240) = 0.34$

4.9.5 Diseño del Charging Gateway (CG) y el Domain Name Server (DNS)

El Charging Gateway y el Domain Name Server están basados en la plataforma de servidores HP HP9000 con sistema operativo UNIX HP-UX y corriendo una aplicación específica diseñada para cumplir la función de CG o DNS.

El CG se encarga de realizar el procesamiento de todos los archivos CDRs (call detail record) generados por el SGSN y el GGSN los cuales contienen la información necesaria para que se calcule el cobro respectivo a los usuarios por el uso de los servicios de datos. El CG puede manejar hasta un total de 10 millones de CDRs por día.

El DNS se encarga de realizar las traducciones de nombres de APNs a direcciones del GGSN en el cual han sido creados, de tal forma que el SGSN puede conocer con que GGSN debe crear el tunel GTP para iniciar una sesión. El DNS puede manejar hasta 5000 traducciones por segundo.

Las capacidades de estos equipos son mas que suficiente para nuestra red EDGE/GPRS por lo tanto será necesario adquirir uno de cada uno y debido a la restricción de realizar el proyecto con el menor costo posible, se debe adquirir la minima cantidad de equipos necesarios para satisfacer la demanda proyectada para el primer año) en un primer momento no se contará con redundancia para estos equipos.

4.9.6 Diseño del Firewal (FW) y Border Gateway (BG) GPRS

El Firewall y el Borde Gateway estan basados en la plataforma IP740 con un sistema operativo IPSO y corriendo una apliación de firewall diseñada por Check Point. El Firewall se encarga de permitir o denegar el tráfico entre los elementos del Core EDGE/GPRS y los servidores que brindan los servicio de datos , estos pueden estar ubicados en redes externas conectados a traves de la Internet proporcionando servicios como WEB, FTP¹⁷, POP3¹⁸, etc. o pueden ser internos de la operadora proporcionando servicios como WAP¹⁹, MMS²⁰, PoC²¹, etc.

El Borde Gateway se encarga de permitir o denegar el tráfico entre el Core EDGE/GPRS y las demas operadores a traves del servicio de roaming.

El Firewall y el Borde Gateway pueden manejar una cantidad de 1500 sesiones simultaneas, las capacidades de estos equipos son mas que suficiente para nuestra red EDGE/GPRS por lo tanto será necesario adquirir uno de cada uno y debido a la restricción de realizar el proyecto con el menor costo posible en un primer momento no se contará con redundancia para estos equipos.

¹⁷ FTP File Transfer Protocol o Protocolo de Transferencia de Archivos es un protocolo de red para la transferencia de archivos entre sistemas conectados a una red TCP

¹⁸ POP3 Post Office Protocol es un protocolo que permite obtener los mensajes de correo electrónico almacenados en un servidor remoto

¹⁹ WAP Wireless Application Protocol es un estándar abierto internacional para aplicaciones que utilizan las comunicaciones inalámbricas, p.ej. acceso a servicios de Internet desde un móvil

²⁰ MMS Multimedia Messaging System o sistema de mensajería multimedia es un estándar de mensajería que le permite a los teléfonos móviles enviar y recibir contenidos multimedia,

²¹ PoC Push To Talk over Cellular o pulsar para hablar sobre el celular es similar a una característica de walkie-talkie que se proporciona a través de una red de telefonía celular

4.9.7 Diseño del Backbone GPRS (Switch EDGE/GPRS)

El backbone de la red EDGE/GPRS esta constituido por un switch cisco el cual debe proporcionar conectividad a todos los equipos del core EDGE/GPRS. Se requiere definir la cantidad de puertos y vlans que seran necesarios para lograr la correcta conectividad de todos los equipos involucrados, en el TABLA 4.7 se muestra el inventario de puertos del switch EDGE/GPRS. De lo detallado será necesario adquirir un único switch con 2 tarjetas de 48 puertos, debido a que se requiere una alta disponibilidad de la plataforma se seleccióno el modelo Cisco 6500 fast Ethernet el cual proporcionan velocidades de hasta 100 Mbps por interfaz. En la Fig. 4.21 se puede apreciar la distribución final de los equipos que se conectan al backbone EDGE/GPRS, y en la TABLA 4.7 se muestra el detalle de la distribución de los puertos y vlans configurados en el switch

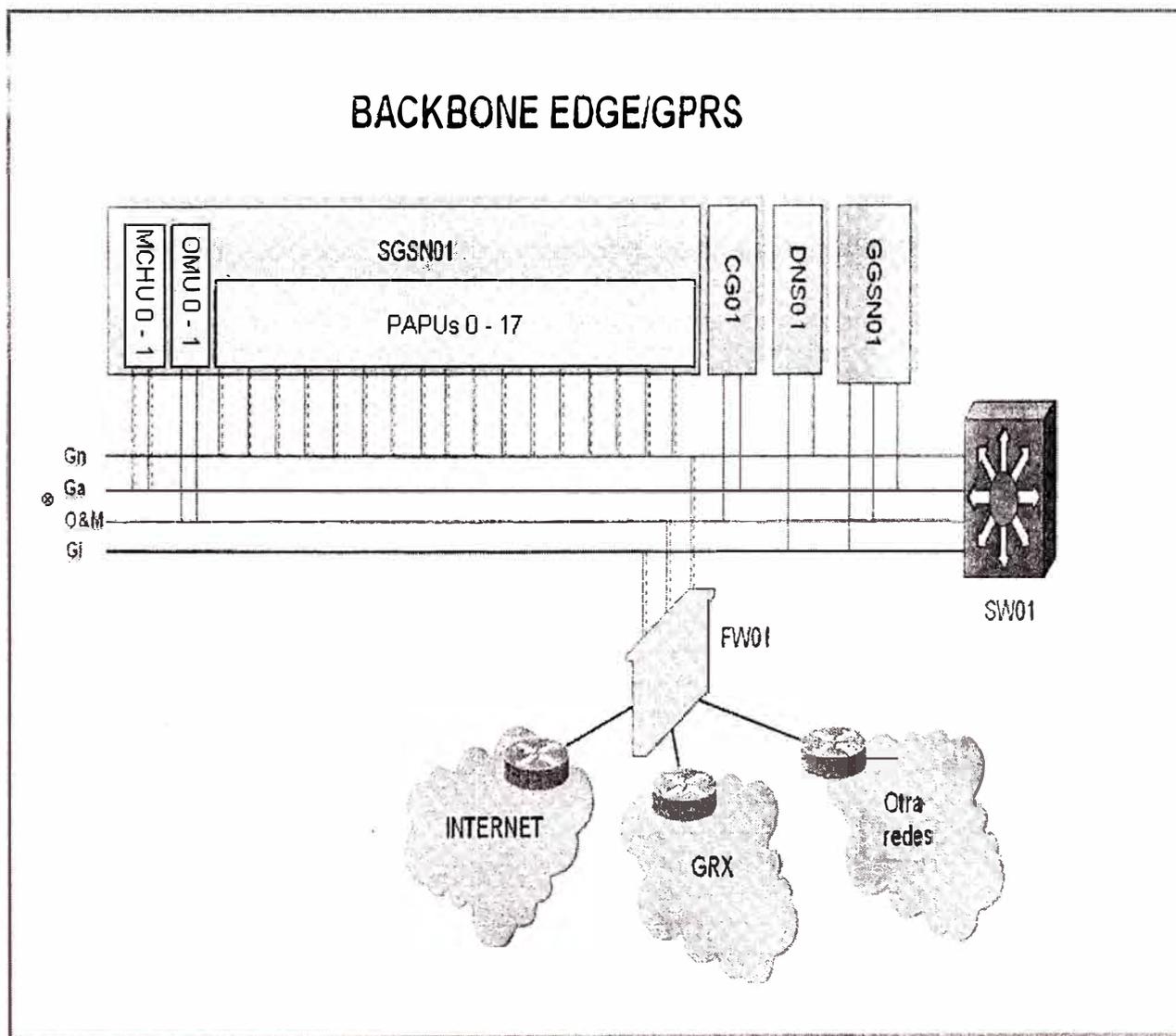


Fig. 4.21.- Configuración de vlans e interfaces del backbone EDGE/GPRS

TABLA 4.6.- Configuración de vlans e interfaces en el SW

EQUIPO	NOMBRE	VLAN	INTERFAZ
SGSN	PAPU 00 E0	GN	3/1
SGSN	PAPU 01 E0	GN	3/2
SGSN	PAPU 02 E0	GN	3/3
SGSN	PAPU 03 E0	GN	3/4
SGSN	PAPU 04 E0	GN	3/5
SGSN	PAPU 05 E0	GN	3/6
SGSN	PAPU 06 E0	GN	3/7
SGSN	PAPU 07 E0	GN	3/8
SGSN	PAPU 08 E0	GN	3/9
SGSN	PAPU 09 E0	GN	3/10
SGSN	PAPU 10 E0	GN	3/11
SGSN	PAPU 11 E0	GN	3/12
SGSN	PAPU 12 E0	GN	3/13
SGSN	PAPU 13 E0	GN	3/14
SGSN	PAPU 14 E0	GN	3/15
SGSN	PAPU 15 E0	GN	3/16
SGSN	PAPU 16 E0	GN	3/17
SGSN	PAPU 17 E0	GN	3/18
SGSN	MCHU 00 E0	GA	3/19
SGSN	MCHU 01 E0	GA	3/20
SGSN	OMU 00 E0	O&M	3/21
SGSN	OMU 01 E0	O&M	3/22
GGSN	GGSN GI	GI	3/23
GGSN	GGSN GN	GN	3/24
GGSN	GGSN O&M	O&M	3/25
DNS	DNS GN	GN	3/26
DNS	DNS O&M	O&M	3/27
CG	CG GA	GA	3/28
CG	CG GA	GA	3/29
FW	FW GI	GI	3/30
FW	FW GN	GN	3/31
FW	FW O&M	O&M	3/32
SGSN	PAPU 00 E1	GN	4/1
SGSN	PAPU 01 E1	GN	4/2
SGSN	PAPU 02 E1	GN	4/3
SGSN	PAPU 03 E1	GN	4/4
SGSN	PAPU 04 E1	GN	4/5
SGSN	PAPU 05 E1	GN	4/6
SGSN	PAPU 06 E1	GN	4/7
SGSN	PAPU 07 E1	GN	4/8
SGSN	PAPU 08 E1	GN	4/9
SGSN	PAPU 09 E1	GN	4/10
SGSN	PAPU 10 E1	GN	4/11
SGSN	PAPU 11 E1	GN	4/12
SGSN	PAPU 12 E1	GN	4/13
SGSN	PAPU 13 E1	GN	4/14
SGSN	PAPU 14 E1	GN	4/15
SGSN	PAPU 15 E1	GN	4/16
SGSN	PAPU 16 E1	GN	4/17
SGSN	PAPU 17 E1	GN	4/18
SGSN	MCHU 00 E1	GA	4/19
SGSN	MCHU 01 E1	GA	4/20
SGSN	OMU 00 E1	O&M	4/21
SGSN	OMU 01 E1	O&M	4/22

CAPÍTULO V

CASO DE APLICACIÓN DE UNA RED EDGE/GPRS

5.1 Servicios empresariales de transmisión de datos EDGE/GPRS

Los servicios de transmisión de datos EDGE/GPRS para empresas tiene como objetivo principal proporcionar conectividad IP móvil, continua, segura y rápida a los usuarios autorizados dentro de la zona de cobertura EDGE/GPRS, entre ellos o hacia los recursos de su empresa; se pueden dar los siguiente escenarios:

- Usuarios móviles que requieren información de su red de servidores tales como correo electrónico interno, consultas a bases de datos para verificación de productos en almacén, acceso a intranet, etc.
- Usuarios móviles que envían información a su red de servidores tales como coordenadas de un GPS, mediciones de sensores remotos (temperatura, humedad, presión, etc.), datos de transacciones financieras, etc.
- Usuarios móviles que puedan comunicarse entre si de tal forma que puedan simular una LAN o para intercambien información para telemetría.

Las soluciones empresariales de transmisión de datos son diseñadas según los requerimientos específicos solicitados por cada empresa, a diferencia de los servicios de datos masivos tales como MMS, WAP o PoC en los cuales el usuario final no propone ninguna modificación al servicio existente.

Los principales beneficios de esta tecnología son los siguientes:

- Proporciona mayores beneficios a los usuarios finales ya que reúne las características de las conexiones de datos y de la telefonía móvil en un solo equipo, además de soportar una gran variedad de servicios de valor agregado.
- Permite a los usuarios estar permanentemente conectados en modo “always on” por lo tanto no se necesita iniciar una nueva conexión cada vez que se quiera transmitir.
- Reduce el costo para el usuario ya el cobro se realiza por data transmitida y no por tiempo de conexión como en GSM.

- Aumenta la eficiencia de la red del proveedor ya que puede usar de forma dinámica el exceso de capacidad que no es usado para tráfico de voz en la red GSM.
- La transmisión de datos a través de la red EDGE/GPRS logra mayores niveles de tasa de transferencia que los obtenidos con GSM.
- El costo de los terminales es menor que el de otras tecnologías ya que se soporta sobre la plataforma GSM (Global System for Mobile) que mundialmente es el sistema de comunicación móvil más usado en la actualidad.

5.2 Servicio AVL (Localización Automática de Vehículos) EDGE/GPRS

La tecnología AVL tiene por objetivo la localización remota de vehículos en tiempo real dentro de la zona de cobertura de la red EDGE/GPRS y por lo tanto constituye una herramienta poderosa en aplicaciones de administración y seguridad de flotas de transporte, asignación de vehículos de emergencia, sistemas de transporte público, etc. especialmente si se integra con otras aplicaciones relacionadas como sistemas de Call Center, Central de Monitoreo, planificadores de ruta, sistemas de bodega, sistemas de despacho entre otras.

En la actualidad la mayoría de las personas cuando piensa en GPS en realidad está pensando en AVL ya que un equipo GPS es parte de la tecnología AVL pero no implica transmitir los datos de posición hacia un lugar remoto, sino utilizarlos localmente, como podría hacerlo un escalador de montañas o un competidor de rally en el desierto.

5.3 Principales usos y ventajas del servicio AVL EDGE/GPRS

El sistema AVL EDGE/GPRS es una herramienta que puede optimizar la cadena de suministro, ya que nos permitirá tener una mejor logística pudiendo controlar tiempos y movimientos de los operarios de los camiones, recopilar tiempos de transporte, marcar rutas definidas y así evitar pérdidas de tiempo.

El sistema de Localización Automática de Vehículos puede reducir tiempos de entrega utilizando una hoja de recolección de datos, y así analizar la velocidad con la que su flotilla avanza, el tiempo y lugar en la que se encuentra, bloqueos, retrasos, optimizando sus entregas, por lo tanto contar con itinerarios exactos, ofreciendo mejor servicio a su cliente. El otro uso común del AVL es el de asegurar el cargamento que se transporta considerando que este tiene un valor considerable, ya que el sistema permite en caso de robo encontrar el vehículo, hay proveedores que ofrecen asesoría legal y prometen recuperar el vehículo en poco tiempo.

5.4 Arquitectura del Servicio AVL EDGE/GPRS

El servicio de AVL EDGE/GPRS consta de 2 zonas bien definidas cada una de las cuales es responsabilidad del cliente o del proveedor, tal como se observa en la Fig. 5.1.

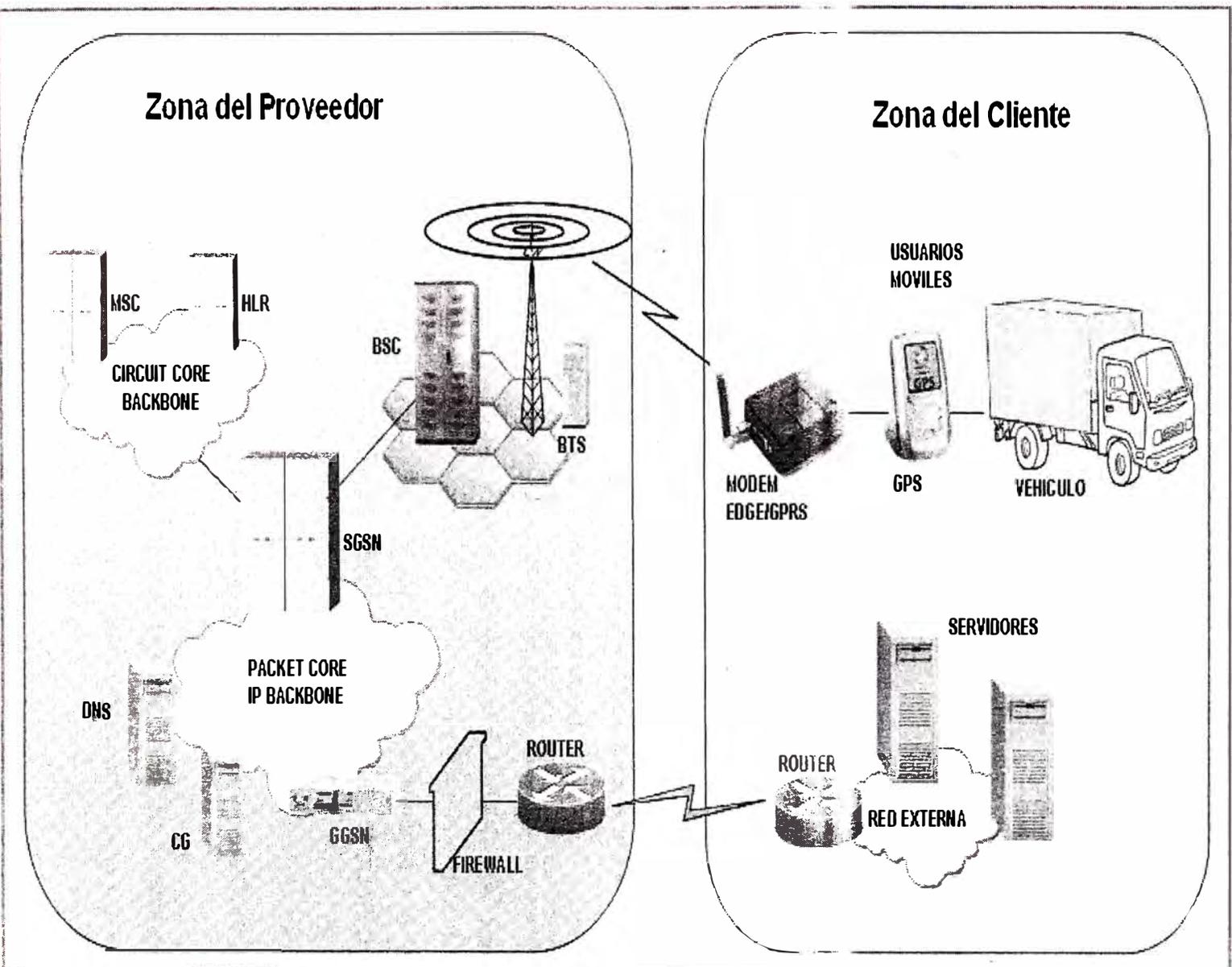


Fig. 5.1.- Arquitectura del sistema AVL EDGE/GPRS

5.4.1 Zona del Cliente

La zona del cliente está constituida por los siguientes partes:

- Un equipo GPS (Sistema de posicionamiento Global) en cada uno de los vehículos, el GPS deberá estar equipado con una interfaz serial de tal forma que a través de un modem se le pueda realizar consultas automáticas de la ubicación del vehiculo.
- Un módem EDGE/GPRS en cada uno de los vehículos, el cual debe tener instalada un chip con saldo y el servicio de transmisión de datos respectivamente activado. El modem tiene incluido un programa que se encargará de realizar las siguientes tareas:
 - Periódicamente consultar la ubicación del vehiculo al GPS²²
 - Verificar si se tiene una conexión EDGE/GPRS activa sino deberá abrir una
 - Realizar el envío de la información a través de la red a los servidores respectivos.
- En aplicaciones mas completas estos modems pueden estar conectados a sensores instalados dentro del vehiculo de tal forma que se pueda enviar información adicional tal como la velocidad, el nivel de aceite, el número de paradas realizadas, etc.
- Los servidores en donde se recibe toda la información de ubicación de los vehículos en forma automática y que además deberán contar con diversas aplicaciones que le permitan al cliente por ejemplo graficar la posición de los vehículos en un mapa, almacenar un histórico de coordenadas de los vehículos para graficar la ruta que tomo cada vehículo, realizar inventarios de los vehículos, etc.
- Un router pequeño con un enlace hacia zona del proveedor, por este enlace se enviará toda la información de los móviles desde la red EDGE/GPRS hacia los servidores del cliente, en este punto se tienen varias opciones dependiendo del costo del proyecto, del nivel de seguridad con la que viajara la información y el nivel de fiabilidad que se decida brindar a esta aplicación, las opciones menos seguras y menos fiable son las mas económicas así podemos tener en orden de precio descendente.
 - Una comunicación a través de Internet y el uso de un usuario y contraseña en el servidor.
 - Una comunicación a través de Internet pero con un cliente de firewall en cada extremo de tal forma que se cree una VPN y toda la información viaje cifrada.

²² Global Positioning System o Sistema de Posicionamiento Global es un Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) que permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una persona, un vehículo o una nave, con una precisión hasta de centímetros

- Un enlace dedicado punto a punto entre ambas zonas.

Para este caso se usará la tercera opción ya que el cliente desea contar con el máximo nivel de seguridad y fiabilidad, para este caso el enlace deberá ser arrendado por el cliente a una tercera empresa que promocione el medio de transmisión desde su sede del cliente hasta la sede de la empresa proveedora del servicio de AVL EDGE/GPRS.

5.4.2 Zona del Proveedor

La zona del proveedor contiene un router para la interconexión con la zona cliente, y toda la infraestructura de una red EDGE/GPRS que permitirá transportar la información de los usuarios móviles hacia los servidores de su empresa.

La empresa proveedora se compromete a brindar un mínimo de calidad de servicio al cliente lo cual debe quedar especificado en el SLA (Service Level Agreement) firmado por ambas partes, los parámetros a considerar en el SLA son cobertura de la red EDGE/GPRS, disponibilidad de la red EDGE/GPRS y ancho de banda mínimo garantizado para cada móvil, En la figura. 5.1 se muestra la arquitectura completa del servicio de AVL EDGE/GPRS.

5.5 Configuraciones necesarias para implementar el servicio AVL EDGE/GPRS.

En este punto se presenta una descripción general de las configuraciones necesarias en la zona del proveedor para poder implementar el servicio AVL en una red EDGE/GPRS ya operativa, las configuraciones en la zona del cliente no serán cubiertas en el presente informe. Iniciaremos indicando que no se requiere realizar ninguna configuración en la red a nivel de acceso debido a que las BSCs y BTSs solo se encargan de enviar la información de los usuarios sin entender a que servicio pertenecen, en el SGSN, BG ni en el CG tampoco se requiere realizar cambios ya que su configuración es general para todos los servicios de transmisión de datos, los equipos que si requieren configurar son los siguientes:

5.5.1 Nodo de Soporte de GPRS de Puerta de Enlace (GGSN)

Se deberá crear el APN para lo cual se deberá ingresar el valor de los todos los parámetros que se usarán en el servicio AVL, los principales parámetros son:

- a) Nombre

Es la identificación del APN y en su creación solo es necesario colocar el nombre corto

(avl.empresa.pe) ya que el SGSN automáticamente coloca la parte final del dominio (mnc999.mcc716.gprs) el cual lo transforma en una dirección única en el mundo, este mismo valor los usuarios deben tenerlo configurado en sus equipos móviles

b) Estado

Es el parámetro que indica si el APN está operativo en el GGSN.

c) Cantidad máxima de contextos PDP

Indica la máxima cantidad de PDP que pueden estar abiertos simultáneamente con este APN este valor debe ser configurado cuidadosamente según el número de usuario proyectado, para este caso el cliente indica que tendrá más de 60000 unidades con el sistema de AVL EDGE/GPRS.

d) Cantidad máxima de IP dinámicas

Indica la máxima cantidad de direcciones que pueden ser asignadas a los usuarios que están usando este servicio, cuando todo el direccionamiento es dinámico este valor debe ser mayor o igual con la máxima cantidad de contextos PDP.

e) Método de generación de IP

Se define que el GGSN será el encargado de asignar la IP a cada usuario, en otros casos podría ser un servidor DHCP u otros mecanismos, en la práctica lo que más usual es que la IP sea asignada únicamente por el GGSN de tal forma que simplifique y centralice el manejo de los rangos IPs.

f) Rango de IP dinámica y máscara

Indica el rango de IPs de donde se asignará una a cada usuario, para este caso se usará una clase A privada subneteadas con máscara 16 para lograr más de 65 000 posibles IPs.

g) DNS

Es la dirección del servidor DNS que usarán los usuarios para realizar sus búsquedas, estos DNSs no se deben confundir con los DNSs de la red EDGE/GPRS que son usados por los SGSNs para resolver los nombres de APNs.

h) Perfil de cobro

Este parámetro indica el equipo que almacenará los valores que se usarán para generar el cobro a los usuarios del servicio.

Finalmente en la TABLA 5.1 se puede observar todos los parámetros configurados en el GGSN para este servicio, la cantidad máxima de PDPs que este servicio es la máxima permitida por el rango de red asignado, sin embargo este valor puede ser menor y conforme la empresa va adquiriendo más líneas se puede aumentar gradualmente, todos los móviles de la empresa se deberán configurar con el APN avl.empresa.pe para que puedan hacer uso de servicio de transmisión de datos, los valores de DNS, IP, máscara IP se le asignarán dinámicamente cada vez que acceda al servicio.

TABLA 5.1.- Configuración en el GGSN para el servicio AVL EDGE/GPRS

Configuración del APN en el GGSN	
Nombre	avl.empresa.pe
Estado	ACTIVO
Máxima cantidad de contextos PDP	65534
Máxima cantidad de IP dinámicas	65534
Método de generación de IP	GGSN
Rango de IP dinámica	10.10.0.0
Máscara	255.255.0.0
DNS	200.100.100.1
Perfil para cobro	HLR

5.5.2 Servidor de Nombres de dominio (DNS)

Se debe crear la regla de traducción del nombre del APN a la dirección IP del GGSN (en la interfaz Gn), se debe usar el nombre del APN indicando el dominio completo (indicar el Mobile Network Code y el Mobile Country Code) de tal forma que cuando cualquier SGSN (local o extranjero) realice la consulta al DNS este informe que la ubicación del GGSN correcto, la regla configurada en el DNS para este servicio es la que se muestra en la TABLA 5.2.

TABLA 5.2.- Configuración en el DNS para el servicio AVL EDGE/GPRS

Nombre	Dirección
avl.empresa.pe.mnc999.mcc716.gprs	200.100.100.5

5.5.3 Cortafuegos (FIREWALL)

Se debe crear las reglas que permitan que el tráfico entre los usuarios móviles y los servidores de la empresa se establezca en ambos sentidos, para lo cual el cliente debe indicar el rango de IPs en el que se encuentran sus servidores (para este ejemplo la red de servidores será 172.19.1.0/24), además se debe crear una ruta estática de tal forma que Firewall encamine el tráfico hacia esta red usando como siguiente salto el router con el enlace a la sede del cliente. Por lo tanto se obtiene que las configuraciones en el

Firewall para este servicio se deberán realizar según las tablas 5.3 y 5.4

TABLA 5.3.- Elementos creados en el FW para el servicio AVL EDGE/GPRS

Nombre de Red	Rango IP	Máscara
RED_USUARIOS_AVL	10.10.0.0	16
RED_SERVIDORES_AVL	172.19.1.0	24

TABLA 5.4.- Reglas creados en el FW para el servicio AVL EDGE/GPRS

Origen	Destino	Servicio	Acción
RED_USUARIOS_AVL	RED_SERVIDORES_AVL	Cualquiera	Permitir

5.5.4 Enrutador (ROUTER)

Se debe crear el enlace punto a punto contra el router de la zona del cliente usando autenticación chap, y una ruta estática para alcanzar la red de servidores, en este caso se tienen un enlace serial E1, la configuración en el router para este servicio será la siguiente:

```
username usuario password servicio_avl
!
interfaz Serial2/0/0:8
description Enlace a Servidores AVL
ip address 172.16.1.1 255.255.255.252
encapsulation ppp
ppp authentication chap
!
ip route 172.19.1.0 255.255.255.0 172.16.1.2
```

5.5.5 Registro general de abonados (HLR)

Se requiere realizar el aprovisionamiento del APN respectivo para cada uno de los usuarios móviles, los principales parámetros son:

a) PDP CONTEXT ID

Identifica este APN dentro de otros que pueda tener creado este usuario en su perfil.

b) PDP TYPE

Indica si el APN usará direcciones IP versión 4 o versión 6

c) PDP ADDRESS

Indica si la IP asignada al usuario será dinámica o estática

d) VPLMN ALLOWED

Indica si el APN puede ser alcanzado desde otras PLMNs en caso de que el usuario sea un roamer este parámetro debe ser activado.

e) ALLOCATION CLASS y QUALITY OF SERVICES PROFILE

Definen el nivel de calidad de servicio y prioridad que tendrá este usuario.

f) APN

Indica el nombre del APN que se esta configurando en el perfil del usuario.

La configuraron en el HLR para este servicio es la que se muestra en la TABLA 5.5

TABLA 5.5.- Parámetro de configuración en el HLR para el servicio AVL EDGE/GPRS

Configuración del APN en el HLR	
PDP CONTEXT ID	1
PDP TYPE	IPv4
PDP ADDRESS	DINÁMICA
VPLMN ALLOWED	N
ALLOCATION CLASS	1
QUALITY OF SERVICES PROFILE	1
APN	avl.empresa.pe
FUNCTIONAL STATUS	A

Finalmente en este capítulo hemos mostrado en detalle la implementación de un servicio AVL que tienen el objetivo de obtener la posición de vehículos que estén bajo la cobertura de la red EDGE/GPRS diseñada en los capítulos anteriores, los servicios de AVL en la actualidad son muy populares ya que son usados con bastante éxito como sistema de seguridad de flotas de transporte público y de carga pesada, se debe recordar que este es sólo un ejemplo de la gran cantidad de diferentes tipos de servicios que se pueden implementar usando la plataforma EDGE/GPRS tales como los de telemetría, solución de voz IP a través de la red móvil, servicios de valor agregado como MMS, WAP y otros.

CAPÍTULO VI

EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO

Luego de haber determinado en los capítulos anteriores la cantidad de equipos necesarios para implementar la red EDGE/GPRS se procede a analizar el CAPEX y OPEX del proyecto considerando únicamente la fase de lanzamiento que comprende la puesta en servicio de la red EDGE/GPRS la cual estará compuesta por una red de acceso que contiene 10 BSCs y 520 celdas y un centro de conmutación que contiene un solo SGSN y un solo GGSN.

En el presente capítulo se procederá a demostrar que el proyecto es económicamente rentable hasta este punto no se presentaran mayores problemas para el despliegue de las fases siguientes de expansión. Para realizar la evaluación económica del proyecto se ha procedido a considerar precios referenciales actualizados al año 2008 para los costos de equipos y los gastos de servicios prestados por los proveedores

6.1 Costos de la Red de Acceso

Los costos relacionados con la red de acceso están orientados a la compra de equipos y software para las celdas, BSCs y nuevos enlaces de transmisión (solo para los casos en los que la capacidad de los enlaces de transmisión existente de las celdas no sea suficiente), en resumen son los siguientes:

- Nuevas TRXs para las celdas.
- PCUs para los BSCs.
- Licencias de software para actualizar los BSCs y celdas.
- Nuevos enlaces de transmisión.
- Otros (conectores, cables, herramientas, etc.).

6.2 Costos del Centro de Conmutación

Los costos relacionados con el centro de conmutación están destinados a la compra de los siguientes equipos y software:

- SGSN.
- GGSN.
- CG.
- DNS.
- FW.
- Switches IP.
- Licencias de software para el HLR.
- Licencias de software para actualización del sistema gestor.
- Local y obras civiles.
- Sistema de energía y aire acondicionado para todos los equipos de Centro de conmutación.
- Otros (conectores, cables, herramientas, etc.).

5.3 Gastos de Operación

Los gastos relacionados a la operación y mantenimiento de toda la red EDGE/GPRS son los siguientes:

- Instalación de los equipos de la red de acceso y del centro de conmutación e integración con la red GSM.
- Mantenimiento preventivo y correctivo.
- Repuestos.
- Gastos por operación de la red.
- Gastos generales y administrativos.

6.3 CAPEX y OPEX del proyecto

El CAPEX (CApital EXpenditures) son erogaciones de capital que crean beneficios. Una erogación de capital se realiza cuando un negocio gasta dinero tanto para comprar un activo fijo como para añadir valor a un activo existente, en este caso corresponde a todos los costos de la puesta en producción de la red EDGE/GPRS tal como se puede visualizar en la TABLA 6.1:

El OPEX (Operating expense) es una herramienta para el cálculo de gastos operativos, en este caso corresponde a los gastos que se realizan en el transcurso de la vida útil de la red y son necesarios para que este funcione correctamente.

Para la determinación de todos los componentes del OPEX se ha tomado como referencia porcentajes del ingreso bruto del año 1, para el caso del mantenimiento correctivo y preventivo se asignó un 3% considerando que en los primeros 3 años se hará uso de las

garantías de los equipos, dentro de los gastos generales y administrativos están incluidos los gastos de ventas, marketing, soporte técnico a usuarios, según se muestra en la TABLA 6.2.

TABLA 6.1 CAPEX del proyecto

Detalle	Cantidad	Costo Unitario	Total \$
Red de Acceso			3695000,00
TRXs para celdas	1580	1500,00	2370000,00
PCUs para BSCs	70	15000,00	1050000,00
Licencias de software para BSCs y celdas	10	2500,00	25000,00
Enlaces de Transmisión	10	25000,00	250000,00
Centro de Conmutación			1032000,00
SGSN	1	420000,00	420000,00
GGSN	1	100000,00	100000,00
CG	1	145000,00	145000,00
DNS	1	13000,00	13000,00
FW	1	196000,00	196000,00
Switch IP	1	68000,00	68000,00
Licencias de software para el HLR	2	10000,00	20000,00
Licencias de software para el Sistema Gestor.	1	15000,00	15000,00
Local y obras civiles.	1	35000,00	35000,00
Sistema de energía y aire acondicionado	1	20000,00	20000,00
Otros			238200,00
Margen de error del CAPEX	1	5%	236350,00
TOTAL CAPEX			4 965 200,00

Tabla. 6.2 OPEX del Proyecto

Detalle	Referencia	Gasto Mensual \$	Gasto Anual \$
Gastos de Explotación			1070726,04
Mantenimiento preventivo y correctivo	3%	13384,08	160608,91
Gastos por operación de la red	10%	44613,59	535363,02
Gastos generales y administrativos.	6%	26768,15	321217,81
Repuestos	1%	4461,36	53536,30
Otros			
Margen de error del OPEX	5%	446136%	53536,30
TOTAL OPEX			1124262,34

El ingreso bruto de la red EDGE/GPRS se calculó asumiendo que se tendrá un tráfico promedio de datos igual al 20% del valor de tráfico de datos en hora pico y que el costo en promedio es de 0.001 dólares por Kbyte usando las estimaciones de tráfico en hora pico calculados en capítulos anteriores y asumiendo que el lanzamiento comercial es al iniciar el 2009 y que no se va a cobrar al usuario por derecho de uso de la red una tarifa plana se tienen el siguiente ingreso bruto por cada año de operación según se muestra en la TABLA 6.3.

Tabla. 6.3 Ingreso Bruto Proyecto por año de operación

Detalle	2009	2010	2011
Tráfico máximo en hora pico (Kbps)	4527,00	5461,00	5984,00
Ingreso Bruto para cada año de operación	5 353 630,20	6 458 178,60	7 076 678,40

6.4 Estado de ganancias y pérdidas

Es un estado financiero que suministra información de las causas que generaron el resultado de una organización durante un período (ejercicio económico), sea bien este un resultado de ganancia o pérdida.

El estado de ganancias y pérdidas incluye en primer lugar el total de ingresos provenientes de las actividades principales del ente y el costo incurrido para lograrlos. La diferencia entre ambas cifras indica el resultado bruto o margen bruto sobre ventas que constituye un indicador clásico de la información contable

En la la TABLA 6.4 y la Fig. 6.1 se presenta el estado de ganancias y pérdidas para este proyecto del cual se observa que en el primer año existe pérdida y es recién en el segundo año es donde se comienza a recuperar la inversión, el objetivo de realizar estos cálculos es que el proyecto es rentable a partir de un plazo mayor a 2 años.

Tabla. 6.4 Estado de ganancias y pérdidas

	AÑO 0 (2008)	AÑO 1 (2009)	AÑO 2 (2010)	AÑO 3 (2011)
INGRESOS	0,00	5353630,20	6458178,60	7076678,40
EGRESOS	4965200	1124262,34	1356217,51	1486102,46
SALDO DEL PERIODO	-4965200,00	4229367,86	5101961,09	5590575,94
VALOR ACUMULADO	-4965200,00	-735832,14	4366128,95	9956704,89

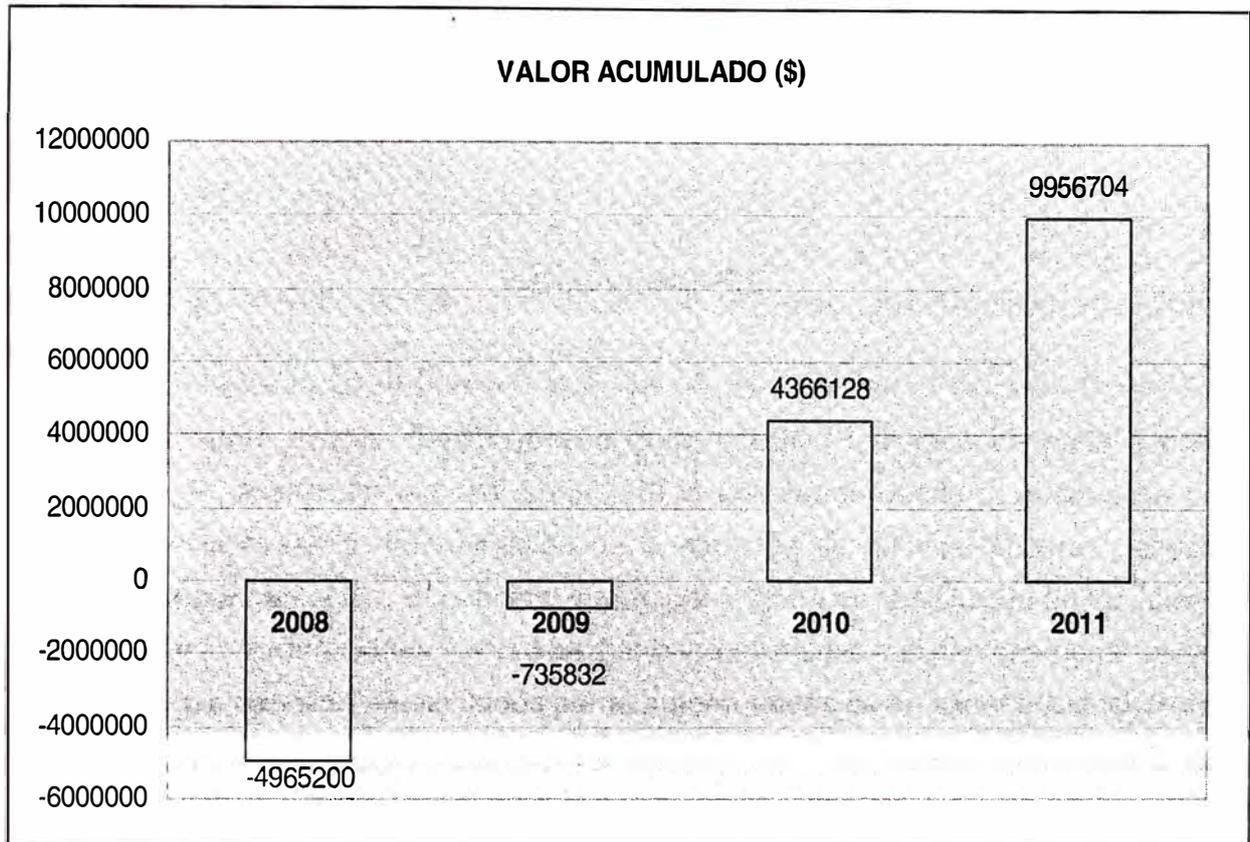


Fig. 6.1 Valor acumulado de la red EDGE/GPRS para los primeros 4 años

CONCLUSIONES

1. En el presente trabajo constituye una guía didáctica que muestra paso a paso el proceso de diseño de una red EDGE/GPRS abarcando desde el análisis de la red GSM previa hasta la determinación de la cantidad de nuevos recursos necesarios para la implementación. El principal aporte del informe es la inclusión de las fórmulas, criterios y consideraciones los cuales han sido probados satisfactoriamente en redes reales y que han sido recolectados por el autor a través de su experiencia laboral.
2. En el proceso de diseño de la red EDGE/GPRS en la etapa de implementación se debe utilizar como principal referencia la proyección de tráfico de paquetes, asimismo el criterio de cobertura no es relevante ya que la red EDGE/GPRS se monta sobre una red GSM operativa en donde la ubicación de las celdas y su orientación ya es un valor definido. La proyección de tráfico de paquetes se calcula en función del tráfico de voz existente en la red GSM y el factor de penetración EDGE/GPRS. En la práctica luego del proceso de implementación las operadoras celulares ingresan en un proceso continuo de revisión de KPI y pruebas de campo con el fin de optimizar la red.
3. La cantidad de recursos red requeridos es la suma de los recursos necesarios para satisfacer la demanda de tráfico de voz calculado en base a la fórmula de Erlang B y los recursos necesarios para satisfacer la demanda de tráfico de paquetes calculado en base a la fórmula del factor de reducción del ancho de banda.
4. La revisión del servicio AVL EDGE/GPRS muestra la estructura y funcionamiento de un servicio empresarial de transmisión de datos implementado satisfactoriamente en una red real como muestra una de las muchas aplicaciones prácticas.
5. El estudio económico del proyecto demuestra que la implementación de la red EDGE/GPRS diseñada en el presente trabajo es rentable a partir del segundo año.

ANEXO A
GLOSARIO DE TÉRMINOS

ACK	Acknowledgement
APN	Access Point Name
AVL	Automatic Vehicle Location
BCCH	Broadcast Control Channel
BER	Bit Error Rate
BH	Busy Hour
BLER	Block Error Rate
BSC	Base Station Controller
BSS	Base Station Subsystem
BTS	Base Transceiver Station
BTS	Base Transceiver Station
CAMEL	Customer Application Part
CCCH	Common Control Channel
CG	Charging Gateway
CS	Circuit-Switched, Coding Scheme
CSW	Circuit-Switched
DAP	Dinamic Abis Pool
DL	Downlink (Data Path towards the MS)
DLCI	Data Link Connection Identifier
DNS	Domain Name Server
EDGE	Enhanced Data rates for GSM of Evolution
FH	Frequency Hopping
FR	Full Rate
FTP	File Transfer Protocol
FTP	File Transfer Protocol
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile communications
GTP	GPRS Tunneling Protocol
HLR	Home Location Register
HO	Hand Over
HR	Half Rate
IMSI	International Mobile Subscriber Identity

IP	Internet Protocol
KPI	Key Performance Indicator
LA	Location Area
LAC	Location Area Code
LAN	Local Area Network
LLC	Logical Link Control
LSA	Localised Service Area
MCS	Modulation Coding Scheme
MMS	Multimedia Messaging System
MO	Mobile Originating
MS	Mobile Station
MSC	Mobile Switching Center
MT	Mobile Terminating
NMS	Network Management System
O&M	Operations & Maintenance
PACCH	Packet Associated Control Channel
PAPU	Packet Processing Unit (SGSN Unit)
PBCCH	Packet Broadcast Control Channel
PCCCH	Packet Common Control Channel
PCH	Paging Channel
PCU	Packet Control Unit (BSC Unit)
PDP	Packet Data Protocol
PDTCH	Packet Data Traffic Channel
PI	Performance Indicator
PLMN	Public Land Mobile Network
PM	Performance Management
POC	Push To Talk over Cellular
POP3	Post Office Protocol
PPCH	Packet paging Channel
PS	Packet Switched
PSW	Packet Switched
QoS	Quality of Service
RA	Routing Area
RACH	Random Access Channel
RAT	Resource Allocation (TSLs, TFI, TA, TAI, USFs) for a TBF
RF	Radio Frequency

RLC	Radio Link Control
SDCCH	Stand alone Dedicated Control Channel
SGSN	Serving GPRS Support Node
SMMU	Sesión & Mobility Management Unit (SGSN Unit)
TBF	Temporary Block Flow
TCH	Traffic Channel
TCP	Transmisión Control Protocol
TCSM	Transcoder/Submultiplexer
TRAU	Transcodification Unit
TRX	Trasceiver
TSL	Timeslot
UL	Uplink (Data path towards BSS from MS)
VLR	Visitor Location Register.
VPN	Virtual Private Network
WAP	Wireless Application Protocol

BIBLIOGRAFÍA

1. Group GERAN-3GPP, "General Packet Radio Service (GPRS), Overall description of the GPRS radio interfaz - Technical Specification TS 43.064 V4.5.0" , 2004.
2. Group GERAN-3GPP, "General Packet Radio Service (GPRS), Service description - Technical Specification Group Services and System Aspects TS 23.060 V4.11.0", 2006-12
3. Rafael Ayuso, Blanca Ceña, Mar Fernández, Berta Millán y Saturnina Torre, "Comunicaciones Móviles GSM", Fundación Airtel, 1999
4. Gunnar Heine, Holger Sagkob, "GPRS: Gateway to Third Generation Mobile Networks", Artech House Inc, 2003
5. Timo Halonen, Javier Romero and Juan Melero, "GSM, GPRS and EDGE Performance Evolution towards 3G/UMTS Second Edition", John Wiley & Sons Ltd., 2003
6. Nokia Networks, "General Packet Radio Service (GPRS) Solution Description", 2000
7. Nokia Networks, "GPRS Release 2 Planning and Performance Guidelines", 2002
8. Nokia Networks, "Presentación Power Point "Dimensióning the GPRS Network", 2001