

**DIMENSIONAMIENTO Y OPTIMIZACIÓN DE RED GPRS PARA
OFRECER SERVICIOS DE BANDA ANCHA Y PREPAGO**

MODALIDAD DE TITULACIÓN
Opción VI: Por Trabajo Profesional

Anaya Martín Marco Antonio
No. de Cuenta 09600091-5

Supervisor: Doctor Miguel Moctezuma Flores

Ingeniería en Telecomunicaciones
Facultad de Ingeniería
UNAM

Nombre de la Empresa: Radiomovil Dipsa S.A de C.V

Agradecimientos

Quiero agradecer a mi familia, por el amor y el apoyo incondicional que me han dado, sin el ejemplo de vida que he aprendido de todos y cada uno de ustedes no seria la persona que soy ahora.

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México, a la Facultad de Ingeniería y a todos los maestros que he tenido por haberme brindado una formación integral, brindándome las bases sólidas que me permitirán vencer cualquier reto en la vida.

A mis amigos, gracias por enseñarme lo que es realmente valioso en la vida.

A todas y cada una de las personas con las que defendí los colores de nuestra institución en el emparrillado, ya que de ustedes aprendí el significado del sacrificio y trabajo en equipo.

Por ultimo quiero agradecer a las personas con las que me he desarrollado profesionalmente durante los últimos 3 años, debido a ustedes es que me he obligado a ser mejor cada día.

“The knowledge has no value if it is not shared”

*“The life is short....., Play Hard
No Fear”*

Índice

Capitulo 1	Introducción	
1.1	Objetivo	9
1.2	Problemática	10
1.3	Aportaciones	10
Capitulo 2	Marco Teórico	
2.1	Descripción de servicios de datos	11
2.2	Descripción de Tecnologías de Acceso	12
2.2.1	GSM	12
2.2.2	WCDMA	13
2.3	Arquitectura de Red GPRS	14
2.3.1	MS	14
2.3.1.1	SIM	
2.3.2	BSS	15
2.3.2.1	Radio bases	
2.3.2.2	BSC	
2.3.3	Interfaz Gb	16
2.3.3.1	Frame Relay.	
2.3.3.2	BSSGP	
2.3.3.3	LLC y SNDCP	
2.3.4	RNS	18
2.3.4.1	Nodo B	
2.3.4.2	RNC	
2.3.5	Interfaz Iu	18
2.3.5.1	RANAP	
2.3.5.2	SCCP	
2.3.5.3	GTP	
2.3.6	Interfaz Gr y Gf	19
2.3.6.1	SS7	
2.3.7	HLR	20
2.3.8	EIR	21
2.3.9	SGSN	
2.3.9.1	Manejo de Sesión y Movilidad	
2.3.10	Interfaz Gn	21
2.3.11	DNS	22
2.3.12	GGSN	22
2.3.12.1	APN	
2.3.13	Interfaz Gi	23
2.3.14	Interfaz Gy	24
		5/59

2.3.14.1 Diameter	
2.3.14.2 Radius	
2.3.15 Border Gateway	24
2.3.16 Interfaz Gp	25
Capítulo 3	Dimensionamiento
3.1 Integración 3G	27
3.1.1 Dimensionamiento Iu	27
3.1.2 Dimensionamiento SGSN	28
3.1.3 Dimensionamiento Gn	30
3.1.4 Dimensionamiento GGSN	30
3.1.5 Dimensionamiento Gi	31
3.2 Aprovisionamiento de usuarios prepago para usar GPRS	32
3.2.1 Aumento de usuarios registrados	32
3.2.2 Dimensionamiento de Gb	33
3.2.3 Análisis de impacto de usuarios prepago en SGSN	33
3.2.4 Dimensionamiento Gr	35
3.2.5 Dimensionamiento GGSN para usuario prepago	37
3.2.6 Dimensionamiento Gy	39
Capítulo 4	Análisis de Red
4.1 Adecuaciones necesarias para 2G	42
4.1.1 Expansiones de Gb	42
4.1.2 Capacidad de usuarios registrados simultáneos	44
4.1.3 Capacidad de Interfaz Gr	44
4.1.3.1 SIGTRAN	
4.1.4 Capacidad interfaz Gy	48
4.1.5 Capacidad de RADIUS	49
4.2 Adecuaciones necesarias para 3G	
4.2.1 Arquitectura centralizada para servicio de Banda Ancha	50
4.2.2 Clusters regionales	51
4.2.3 Migración a nueva red de transporte	52
4.2.3.1 Análisis de Tráfico	
4.2.3.2 Cambio de configuración en Gn y Gi	
4.2.4 Direct Tunnel	55
Capítulo 5	CONCLUSIONES
	57
BIBLIOGRAFÍA	59
	6/59

Índice de Figuras

Capítulo 2

Marco Teórico

Figura 2.1	Arquitectura de Servicios de Datos	11
Figura 2.2	Asignación de circuitos en GSM	12
Figura 2.3	Utilización de frecuencia y tiempo por códigos ortogonales	13
Figura 2.4	Dominio de Movilidad y Sesión en GPRS	14
Figura 2.5	Protocolos utilizados en la interfaz Gb y Um	16
Figura 2.6	Protocolos utilizados en la interfaz Iu	18
Figura 2.7	Protocolos utilizados en la interfaz Gr y Gf, para SIGTRAN y TDM	20
Figura 2.8	Protocolos utilizados en la interfaz Gn	22
Figura 2.9	Interfaz Gi	23
Figura 2.10	Protocolos utilizados en la interfaz Gy	24

Capítulo 3

Dimensionamiento

Figura 3.1	Encabezado GTP	31
------------	----------------	----

Capítulo 4

Análisis de Red

Figura 4.1	Arquitectura de Red	41
Figura 4.2	Expansión de Gb	43
Figura 4.3	Configuración actual de Gr	45
Figura 4.4	Expansión de Gr	45
Figura 4.5	Conexión física en SIGTRAN para Nokia	46
Figura 4.6	Asociaciones M3UA para Nokia	46
Figura 4.7	Configuración SIGTRAN para Ericsson	47
Figura 4.8	Interacción con prepago a través del TA	48
Figura 4.9	Clusters Regionales	51
Figura 4.10	Configuración Gi para Cluster Regional	51
Figura 4.11	Nueva red de transporte	52
Figura 4.12	Análisis de tráfico local	53
Figura 4.13	Configuración IP Actual	53
Figura 4.14	Cambio de configuración IP	54
Figura 4.15	Señalización para Direct Tunnel	56

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

Los servicios de datos móviles han tenido un desarrollo muy importante en los últimos años, esto se ha visto reflejado en el gran número de servicios y aplicaciones que existen hoy en día, sin embargo siempre había existido una limitación en cuanto al ancho de banda ofrecido por los operadores celulares.

Hace un año el servicio de datos ofrecido por TELCEL estaba basado en EDGE con el cual llegábamos a 240_[kbps]. Esta tecnología fue utilizada desde el 2002 y cubría muy bien las necesidades de los usuarios, sin embargo los móviles mejoraron sus capacidades de procesamiento y memoria por lo que cada vez se requiere más ancho de banda para explotar estas nuevas capacidades. El servicio de banda ancha ya es ofrecido por operadores de televisión y telefonía fija sin embargo siempre tendrán la limitante de la infraestructura necesaria para cada cliente nuevo, por otro lado la infraestructura celular puede ofrecer este servicio con penetración más rápida por lo que es crucial realizar la migración a redes de tercera generación.

La transición de segunda a tercera generación se realiza primordialmente en la tecnología de acceso a radio ya que hay que implementar una algo totalmente distinto. En 2G se usa multiplexaje por división de frecuencia combinado con ventanas de tiempo, GSM, en 3G se utiliza WCDMA. Para esto es necesario instalar nuevos nodos, RNC's y Nodos B así como el backbone necesario para comunicarlos.

En lo que se refiere al Core de datos, SGSN y GGSN, simplemente necesitamos tener la capacidad suficiente para transportar y procesar el tráfico que requieren los usuarios, no hay nodos nuevos ya que GPRS ha sido diseñado de manera modular, separando el Radio del Core de datos de esta forma puede haber cambios en cualquier parte sin afectar a las demás, consiguiendo de esta forma que 2G y 3G convivan en la misma red.

Al poder ofrecer servicios de transmisión de datos de alta velocidad era necesario ampliar los servicios que se le ofrecían al usuario y esto implicó nuevos requerimientos como integración con el sistema de prepago para cobro en tiempo real y cobro diferenciado de acuerdo al tipo de tráfico del usuario. Esto repercute principalmente en las capacidades de los equipos ya que estas nuevas funcionalidades demandan mayor procesamiento.

Para poder afrontar estos nuevos retos es necesario modificar la filosofía que se utilizaba en el diseño de las redes. 2G tenía equipos encargados de administrar la movilidad y el acceso a la red de manera regional, SGSN's, estos equipos se comunicaban con las redes IP a través de un gateway central, GGSN. Esto era factible ya que lo importante era darles acceso a los usuarios, el tráfico necesario para cubrir sus necesidades era bajo y podía ser manejado y transportado de manera simple.

Al tener una demanda de tráfico mayor se presentan dos problemas con la arquitectura centralizada, la capacidad que el GGSN debe tener es muy grande y el costo de la infraestructura y enlaces necesarios para transporte es muy alto, por lo que el rediseño de la Red es necesario.

Para poder realizar esta tarea es necesario dimensionar nuestra red, el saber cual es la capacidad de los equipos y enlaces de transportes necesarios nos dará la visión necesaria para establecer un plan de trabajo que nos permita realizar las adecuaciones necesarias para ofrecer a nuestros clientes un buen servicio. Lo más importante es no dejar de realizar ingeniería proactiva por ingeniería reactiva.

1.1 Objetivo

Este reporte fue hecho para mostrar y explicar el proceso necesario para dimensionamiento y desarrollo de fórmulas, análisis de arquitectura de red y acciones correctivas necesarias.

1.2 Problemática

Para poder integrar correctamente servicios de 3G y prepago a la red es necesario realizar un dimensionamiento que involucre todas las interfaces y nodos que conforman nuestra red. Esto siempre había sido realizado por nuestros proveedores de manera individual, ya que nuestra red esta compuesta por equipos de distintas marcas es necesario realizar este ejercicio con una visión total de la red, es por eso que realizamos estas premisas de dimensionamiento.

1.3 Aportaciones

Como miembro del departamento de Optimización de Red GPRS/Packet Core mis principales aportaciones fueron el diseño de la formulas de dimensionamiento, análisis de impacto sobre la arquitectura de red actual y generar todos los procedimientos necesarios para implementar los cambios requeridos.

Capítulo 2 Marco Teórico

2.1 Descripción de servicios de datos

Los servicios de datos son fundamentales en nuestros días y se pueden definir como la comunicación entre dos aplicaciones en puntos remotos. El ejemplo más simple es el Internet ya que un usuario interactúa transmitiendo y recibiendo datos con el servidor donde se encuentra la pagina web que busca, otro ejemplo que se utiliza diariamente es la red que comunica a las computadoras en los lugares de trabajo permitiendo el intercambio de información entre ellas.

La telefonía celular ofrece una solución para un requerimiento que ha surgido en los últimos años, la movilidad de los usuarios (véase figura 2.1). Si en el ejemplo anterior el usuario no está en su casa y quiere acceder a Internet o un usuario corporativo requiere acceso a sus archivos o e-mail, se generan nuevos retos para poder hacerles llegar la información necesaria.

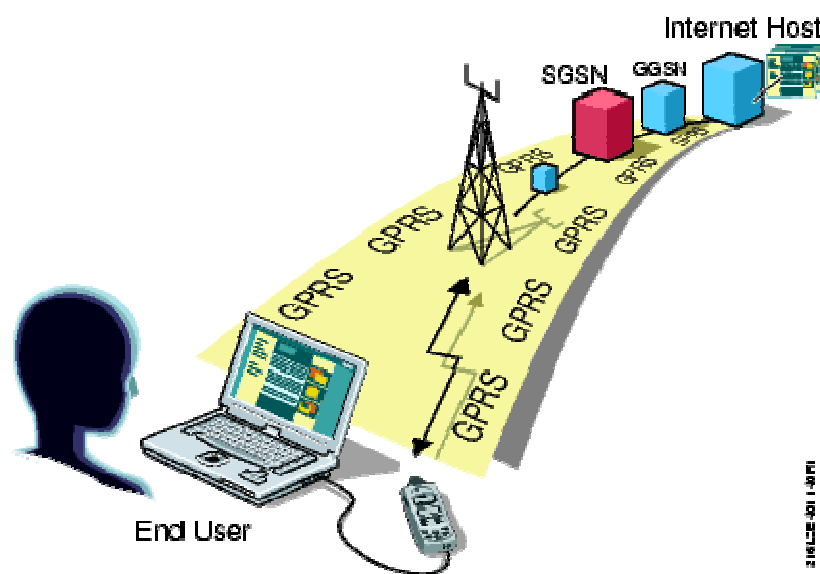


Figura 2.1 Arquitectura de Servicios de Datos

Aquí es donde existe una gran oportunidad de desarrollo ya que se puede utilizar la infraestructura celular ya instalada para transportar los datos de los usuarios.

2.2 Descripción de Tecnologías de Acceso

Actualmente las mayorías de las redes en el mundo utilizan 3 tipos de tecnologías de acceso GSM, CDMA y WCDMA. En la red que analizaremos se tienen conviviendo GSM y WCDMA, por lo que daremos una breve descripción de su funcionamiento.

2.2.1 GSM

Cuando se implementaron las primeras redes celulares con GSM lo que se hacía era asignar un circuito al usuario y se transmitía la voz. Estos circuitos se creaban en 2 dominios: frecuencia y tiempo. Primero se subdividía al espectro en canales de 250_[kHz] posteriormente se subdivide la utilización de este canal en 8 ventanas de tiempo en la que cada usuario puede transmitir utilizando el espectro asignado por completo (véase figura 2.2).

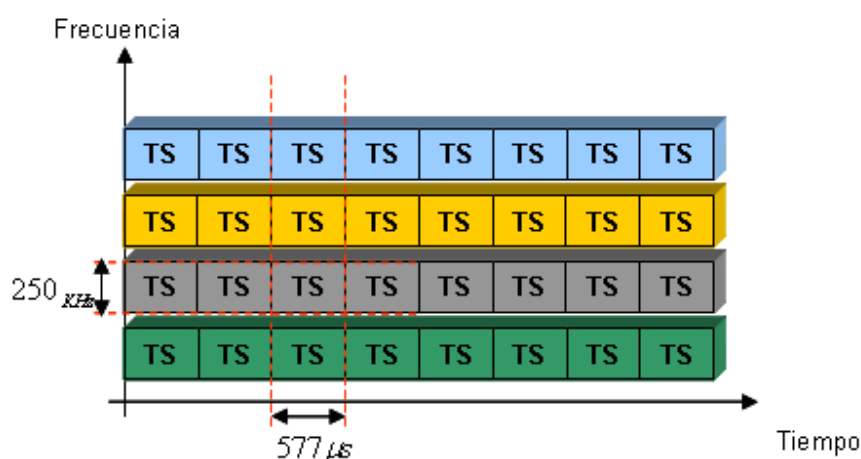


Figura 2.2 Asignación de circuitos en GSM

En esta tecnología se codifica la voz de manera digital con esto se logro principalmente hacer un uso más eficiente del espectro electromagnético, ya que mediante métodos de codificación, protección contra errores y algoritmos predictivos más complejos es posible trasmitir la voz humana con una tasa de transmisión más baja, lo importante es tener en cuenta que desde este momento ya se transmitían datos a los usuarios.

En GSM se han implementado varias soluciones para la transmisión de datos, la primera de ellas HSCSD (High Speed Circuit Switched Data) simplemente utilizo los canales dedicados de voz para transmitir datos, le estábamos dando un uso distinto al medio de transporte ya existente. Con esta tecnología podíamos transmitir hasta 14_[kbps] por cada canal asignado al usuario, esto representa un uso muy ineficiente de los recursos ya que la mayoría de las aplicaciones de datos transmiten en ráfagas por lo que tener un canal asignado todo el tiempo no era una solución viable.

El siguiente paso fue migrar la transmisión de datos de los circuitos conmutados hacia los paquetes conmutados, el principio es muy simple los recursos de transmisión serán asignados bajo demanda, con esto se administran mucho mejor los recursos de radio.

GPRS implementado sobre GSM utiliza como tecnología de acceso la misma que la voz, las ventanas de tiempo utilizadas para voz ahora son asignados bajo demanda para transmitir el tráfico de los usuarios, la modulación utilizada es GMSK alcanzando un máximo teórico de $20_{\text{[kbps]}}$ por TS . En EDGE (Enhanced Data for GPRS Evolution) principalmente se mejoro el tipo de modulación a 8PSK y con esto se alcanzaron velocidades 3 veces mayores, $60_{\text{[kbps]}}$ teóricos.

La velocidad de transmisión que alcanza un usuario está dictada por cuantas ventanas de tiempo soporta la terminal del usuario y cuantas les pueda asignar la red, así como las condiciones de radio.

2.2.2 WCDMA

En las redes de tercera generación se utiliza una nueva tecnología de acceso en radio, espectro disperso. La información se codifica con vectores matemáticos ortogonales, estos códigos tienen una característica muy especial ya que si son mezclados entre ellos siempre será posible separarlos mediante algoritmos.

Si dos o más usuarios requieren transmitir al mismo tiempo utilizando todo el ancho de banda del mismo canal de frecuencia solamente tenemos que codificar la información de cada uno con un código ortogonal distinto (véase figura 2.3). El detalle más importante es cuidar que todos los usuarios transmitan y reciban a una potencia similar, ya que si alguno lo hace con demasiada provocara que las demás señales sean indistinguibles.

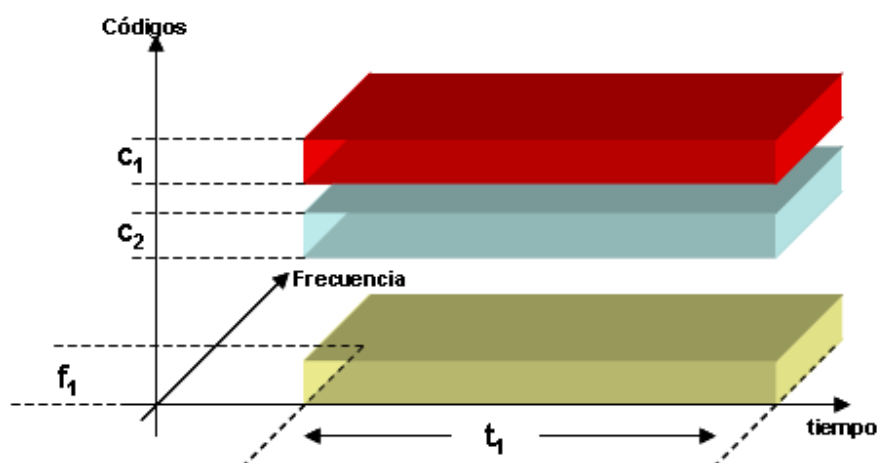


Figura 2.3 Utilización de frecuencia y tiempo por códigos ortogonales

Debido a que los usuarios pueden utilizar todo el ancho de banda y nuevas técnicas de modulación utilizadas es posible alcanzar velocidades de transmisión superiores a los 7_[Mbps].

2.3 Arquitectura de Red GPRS

GPRS puede ser dividido en dos grandes dominios (vease figura 2.4):

El dominio de movilidad se encarga de saber físicamente donde están los usuarios y proveer las funciones de seguridad necesarias para mantener todo tiempo la confidencialidad del usuario. El SGSN (Serving GPRS Service Node) se encarga de administrar estas tareas.

En el dominio de Sesión lo importante es comunicar al usuario con la red IP que desee, es necesario saber a dónde quiere comunicarse y como enviarle la información de regreso. Esto lo hace el GGSN (Gateway GPRS Support Node) este nodo funciona como un Gateway de salida hacia los diferentes servicios que ofrecemos.

GPRS tiene que hacer converger la movilidad de una red celular con el acceso a cualquier red ip, para entender esto es necesario tener un panorama general de los nodos involucrados en el proceso y de los protocolos que los comunican.

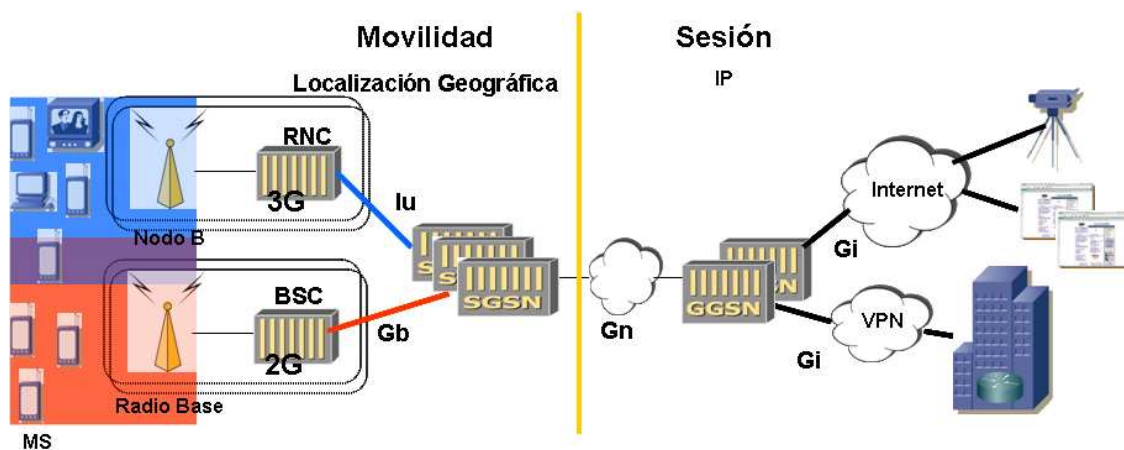


Figura 2.4 Dominio de Movilidad y Sesión en GPRS

2.3.1 MS

El “Mobile Station” está compuesto por el “Mobile Terminal”, el equipo con el cual el usuario accesa a la red este puede ser un teléfono celular o un modem, y el “Terminal Equipment” que es la aplicación que utiliza el usuario para interactuar con la red de

datos a la que desea llegar, puede estar contenida en una laptop, un cajero ATM o un equipo de localización satelital.

En GSM la interacción de los MS con la Red puede ser de 3 formas:

- Clase A: Los MS están registrados en ambos dominios PS y CS, pueden utilizar ambos servicios simultáneamente
- Clase B : Los MS están registrados en ambos dominios PS y CS , pero solo pueden utilizar un servicio a la vez
- Clase C : Los MS están registrados solamente a GPRS.

En WCDMA estos modos de operación se simplifican de la siguiente forma:

- PS/CS : Los MS están registrados en ambos dominios y utilizan ambos servicios.
- PS : Los MS solo se registran en GPRS.

2.3.1.2 SIM

El “Subscriber Identity Module” es una tarjeta inteligente que almacena la identidad del usuario. Este modulo cumple con funciones muy básicas como son:

- Seguridad: mantener la información del usuario protegida mediante claves que solamente él conoce
- Autenticación: permitirle a la red el poder identificar al usuario utilizando el IMSI y las llaves de cifrado almacenadas.
- Memoria: almacenando datos del usuario y ciertas aplicaciones del proveedor mismo.

La principal diferencia entre la sim’s de GSM y las de WCDMA es que estas últimas deben almacenar llaves de cifrado más grande así como tener una capacidad de memoria mayor.

2.3.2 BSS

En GSM la parte de acceso se llama BSS “Base Station Subsystem”, esto está compuesto por la Radio base y la BSC.

2.3.2.1 Radio bases

Las radio bases son el equipo encargado de transmitir y recibir información sobre la interfaz de radio, permitiendo la comunicación entre el MS y la. Un grupo de radio bases está controlado por una BSC. En este primer punto es donde se hace la separación de tráfico en CS y PS.

2.3.2.2 BSC

La BSC “Base Station Controller” se encarga de establecer, supervisar y desconectar a nivel de radio las sesiones de voz y datos. Esto lo hace controlando los procesos de

Handover, asignación de canales, controlando los parámetros de configuración en las celdas, etc. La BSC es quien direcciona el trafico a través de diferentes interfaces hacia las MSC's si es de voz o al SGSN si son datos.

2.3.3 Interfaz Gb

La Gb es la interfaz que comunica al SGSN con la BSC, permitiendo el intercambio de señalización entre estos elementos y a su vez permite la transferencia de datos y señalización directa entre el SGSN y los MS's. La Gb le permite al SGSN recibir información de diferentes usuarios sobre el mismo medio físico.

Los protocolos utilizados en la interfaz Gb se pueden dividir en 2 (véase figura 2.5), aquellos que comunican a la BSC con el SGSN y los que comunican a los móviles directamente con el SGSN.

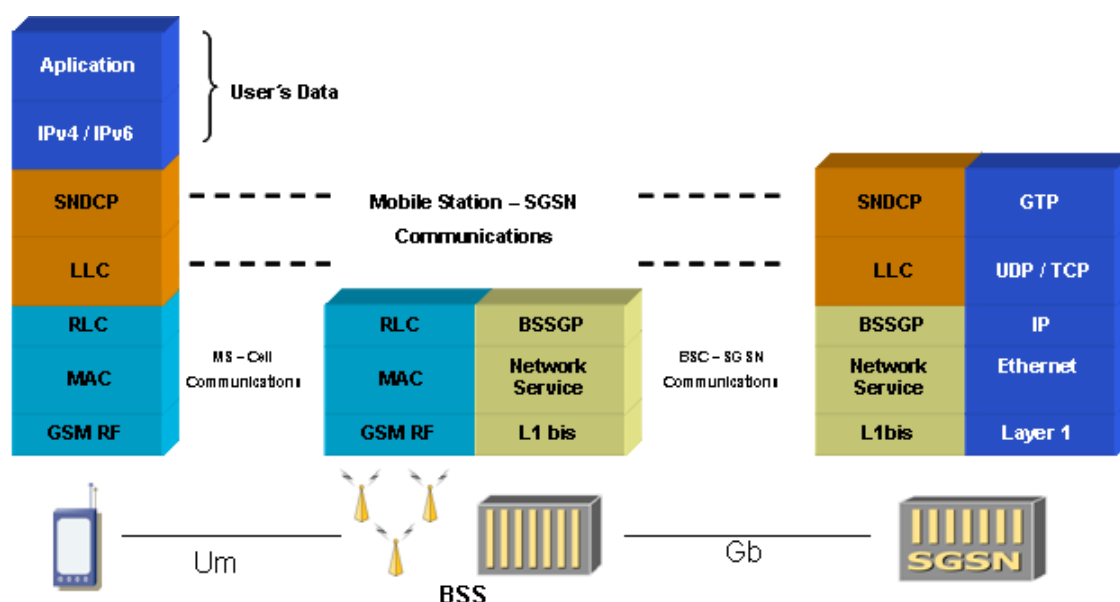


Figura 2.5 Protocolos utilizados en la interfaz Gb y Um

Para transmitir la información del usuario se utilizan caminos de transmisión llamados NSVC " Network Service Virtual Connections ", los cuales pueden ser transportados por redes IP o FR. Ambas tecnologías de transporten pueden coexistir en el mismo SGSN, esto permite que las migraciones tengan un impacto menor en el servicio. En el caso de Telcel la tecnología utilizada es Frame Relay.

2.3.3.1 Frame Relay.

Frame Relay es un protocolo de transmisión de datos simple para obtener una gran velocidad en la conmutación de paquetes. Frame Relay es un servicio orientado a conexión, en GPRS este protocolo es utilizado para proveer comunicación entre dos

puntos remotos en la capa de Enlace a través de circuitos virtuales. El path de transmisión físico consiste en Timeslots en un circuito PCM entre el SGSN y la BSC

Utilizando esta tecnología como transporte la BSC es configurada como usuario y el SGSN como servidor. En la BSC cada PCU “Packet Control Unit” representa un NSE “Network Service Entity” como un identificador propio, en el caso de Telcel cada BSC tiene un PCU y esta etiqueta se utiliza en toda la información proveniente de esa BSC. Cada celda tiene un BVC propio “BSSGP virtual connection” y de esta forma es identificada en el SGSN. La PCU en cada BSC se encarga del multiplexaje de los BVC’s en NSVC “Network Service Virtual Circuits”, estos son los circuitos de FR en sí, y de la distribución de carga entre estos canales.

2.3.3. 2 BSSGP

Base Station Subsystem GPRS Protocol provee calidad de servicio relacionada a la interfaz aire, la información de ruteo necesaria para transportar la información del usuario al SGSN, Paging de los usuarios y controla todos los procesos necesarios para coordinar el transporte de la información del usuario, ya sea tráfico o señalización. Una función extra de este protocolo es el intercambio de información de radio entre distintas BSC’s, al no haber una interfaz que las comuniquen directamente utilizan a la Gb para esto mediante el proceso “Inter-BSC Network Assisted Cell Change”, esto es muy importante ya que con esto se reduce el tiempo necesario para realizar Handover ayudando a un mejor desempeño de aplicaciones sensibles a los retrasos como POC y videostreaming.

2.3.3.3 LLC y SNDCP

El propósito del protocolo LLC “Logical Link Control” es el transporte de información entre entidades de capa 3 en el móvil y en el SGSN. El protocolo LLC opera encima de las capas RLC y BSSGP, de esta forma puede proveer un enlace confiable. El protocolo SNDCP “Subnetwork Dependent Convergence Protocol” está por encima del LLC y está encargado de controlar la transferencia de la información del usuario, en N-PDU’s.

Las principales funciones del protocolo LLC son :

- Proveer una o más conexiones lógicas diferenciadas por el DLCI
- Mantener un control en la secuencia de las tramas enviadas
- Detección y corrección de errores en la transmisión, formato y operación en las conexiones lógicas.
- Notificar cuando no es posible corregir los errores
- Cifrado

Las principales funciones de SNDCP:

- Transferir y recibir datos desde el protocolo GTP hacia LLC
- Multiplexar todos los N-PDU’s de un mismo usuario en una conexión LLC
- Establecer, controlar y eliminar las conexiones punto a punto en la capa LLC
- Compresión de la información de los usuarios, encabezados y payload.

- Segmentación y re ensamble de la información del usuario.

Lo más importante aquí es entender cómo llega la información al usuario, mediante los identificadores SAPI (LLC) y TLLI (BSSGP). El TLLI es el indicador utilizado en los mensajes de señalización Mobility Management y Session Management.

2.3.4 RNS

La RNS “Radio Network System” es la parte que nos da acceso a través de WCDMA. Cuando existe una conexión entre un MS y la red de WCDMA a la RNS que la atiende se llama servidora sin embargo es posible que otra RNS le aporte una segunda conexión, esta se llama “Drift RNS”, de esta forma el usuario cuenta con el doble de recursos de radio.

2.3.4.1 Nodo B

La radiobase utilizada en los sistemas de WCDMA se llama nodo B, este es el equipo responsable por la recepción y transmisión desde y hacia los móviles, la tecnología que utiliza esta basada en lo sistemas de Espectro Disperso.

2.3.4.2 RNC

La RNC “Radio Network Controller” esta encargada de controlar la utilización e integridad de los recursos de radio, control y coordinación de los recursos de los nodos B bajo su cobertura para ofrecer Macro diversidad al usuario, control de los Handovers que realiza el móvil, realizar el control de potencia de los móviles,etc.

2.3.5 Interfaz Iu

Esta interfaz es la que comunica al SGSN con la RNC, esta interfaz tiene dos funciones principales establecer los medios de transporte necesarios para la señalización entre el SGSN y el MS así como el trafico en sí, manejar los procesos de seguridad y asignación de recursos entre el SGSN y la RNC. Esto lo hace mediante dos protocolos principalmente RANAP y GTP (véase figura 2.6).

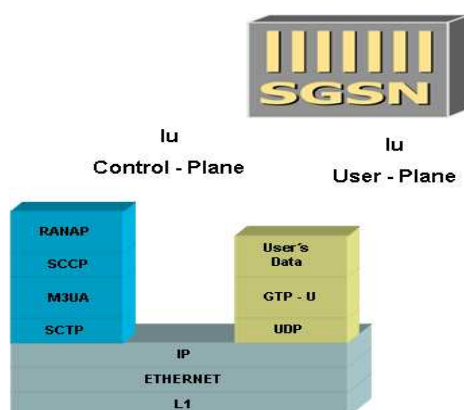


Figura 2.6 Protocolos utilizados en la interfaz Iu

2.3.5.1 RANAP

Ranap es el usuario directo de SCCP. Este protocolo utiliza señalización orientada a conexión para cada MS, también maneja señalización no orientada a conexión para transmitir los mensajes entre el SGSN y la RNC. Las funciones de RANAP incluyen el manejo total de los procesos necesarios para establecer, borrar y modificar los RAB's de los usuarios en la interfaz Iu, Paging de usuarios, manejo de los procesos "security mode control y common id", y el manejo de los mensajes de señalización necesarios para la reasignación de la RNC durante los cambios de cobertura. RANAP también es capaz de transportar de forma transparente entre el MS y SGSN todos los mensajes necesarios para Mobility y Session Management.

Toda la comunicación entre el SGSN y la RNC está basada en IP, debido a eso RANAP utiliza SIGTRAN (SS7 sobre IP) como medio de transporte.

2.3.5.2 SCCP

SCCP (Signaling Connection Control Part) es la capa de transporte de SS7. Sus funciones principales son el manejo del direccionamiento necesario para hacer llegar los mensajes entre puntos terminales de señalización, en nuestro caso el SGSN y la RNC, y la traducción de direcciones entre MTP-L3 y M3UA. SCCP provee transporte tanto para servicios orientados o no a conexión, en nuestro caso utilizamos el orientado a conexiones de esta forma podemos distinguir la señalización de cada móvil.

El tráfico de señalización en la Iu C esta direccionado mediante un DPC y un SSN, de esta forma se tiene enrutamiento directo a través del medio de transporte ya sea MTP-L3 (circuitos TDM) o M3UA (SIGTRAN, señalización sobre IP).

2.3.5.3 GTP

GTP (GPRS Tunneling Protocol) encapsula el tráfico y lo envía a través canales virtuales de datos que se establecen entre los nodos en cuestión, en este caso entre la RNC y el SGSN. Cada túnel GTP en la Iu es establece durante la asignación de RAB, aquí es donde cada punto del túnel (SGSN - RNC) envía los TEIDs (GTP Tunnel End point Identifiers), de esta forma se identifica para que usuario es la información recibida sin revelar la identidad.

Una vez que el encabezado GTP encapsula el tráfico del usuario, se llama GTP-PDU, esta información se transporta hacia la RNC mediante UDP / IP

Lo más importante es comprender las ventajas de utilizar el mismo protocolo de transporte en la interfaz Iu - U y la Gn, ya que esto nos permitirá utilizar una configuración de red llamada Direct Tunnel.

2.3.6 Interfaz Gr y Gf

La principal función de estas interfaces es la comunicación entre del HLR y el EIR con el SGSN. Ambas interfaces utilizan MAP como protocolo de comunicación y SS7 como transporte (véase figura 1.7).

2.3.6.1 SS7

SS7 nos permite tener señalización punto a punto o a través de un STP. El direccionamiento en esta interfaz se hace a través un SPC (Signalling Point Code), que identifica a cada elemento dentro de nuestra red, y un SSN (Subsystem number) que identifica a cada proceso dentro del nodo al que queremos llegar, de esto se encarga MTP L3 o M3UA dependiendo la tecnología de transporte. Los elementos finales de nuestra red como SGSN y HLR son identificados por un GT (Global Title), este identificador esta formado por el código del país al que pertenece el usuario y el DPC del HLR nativo. La traducción de este identificador a un DPC y un SSN es realizada por la capa de SCCP, sin embargo es configurable que esta traducción la haga el SGSN o los subsiguientes STP's.

Para los mensajes originados por el SGSN el protocolo TCAP es quien provee la dirección que representara a nuestro nodo en la red de señalización codificado como una dirección estándar.

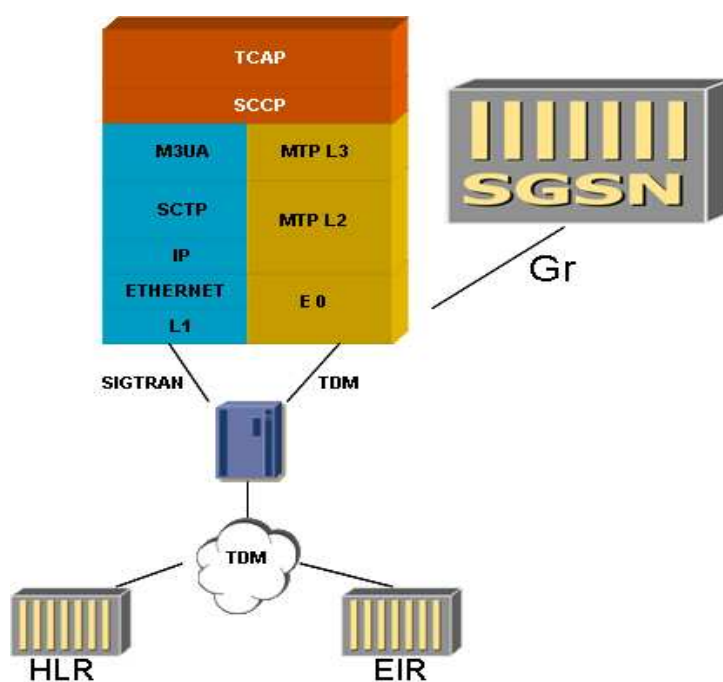


Figura 2.7 Protocolos utilizados en la interfaz Gr y Gf, para SIGTRAN y TDM

2.3.7 HLR

El HLR es la base de datos que almacena la información de los usuarios, aquí se guardan todos los datos relacionados con el perfil del subscritor. Los datos más importantes es la relación IMSI-MSISDN ya que con ella podemos identificar a los usuarios en la red y la última localización geográfica conocida del usuario, en cuanto a PS aquí se almacenan

las llaves de autenticación necesarias para corroborar al usuario y también podemos saber a qué tipos de servicios de datos tienen acceso los usuarios.

2.3.8 EIR

El EIR “Equipment Identity Register” es una base de datos que contiene la información de todas las terminales de usuario utilizadas en el país, almacenando su identificador universal o IMEI. El fin de tener esta base de datos es poder identificar cuando un móvil ha sido reportado como robado por un usuario, de esta forma cada vez que un usuario se registra en nuestra red primero se revisa el status de su terminal para saber si le debemos o no proporcionar el servicio.

2.3.9 SGSN

El SGSN maneja la comunicación con los usuarios así como el establecimiento de la conexión entre estos y la Red. El SGSN les da servicio a todos los usuarios que se encuentren dentro de su área geográfica de cobertura, sin importar el tipo de tecnología de acceso que estén utilizando, 2G o 3G. El SGSN conecta al móvil con la red IP al enviar y recibir los paquetes con el GGSN.

2.3.9.1 Manejo de Sesión y Movilidad

La información del usuario se maneja de dos formas distintas:

Mobility Management es el proceso que se encarga de mantener rastreado físicamente al usuario, saber en qué Routing Area se encuentra, esto nos permite registrar al usuario y minimizar la pérdida de servicio debido a los cambios de cobertura realizados, los procesos de señalización principales en esta parte son el Registro y la Actualización del Área Geográfica.

La conexión del usuario con las redes IP se hace mediante el proceso de Session Management, aquí se establece un túnel entre el SGSN y el GGSN mediante el Contexto PDP “Packet Data Protocol Context”.

El hecho de que el SGSN maneje los datos de suscripción del usuario nos permite como operador identificar y autorizar el acceso a los usuarios así como el cobro correcto de los diferentes servicios, esto no lleva a la diferenciación de servicios mediante la QoS aplicada.

El SGSN también puede realizar funciones de cobro mediante la generación de CDR's, estos registros nos dicen cuál fue el volumen de datos transmitido y recibido para cada usuario, de esta forma se realiza el cobro del servicio a los usuarios de postpago.

2.3.10 Interfaz Gn

Esta interfaz es la que comunica a los nodos GSN, ya sea comunicación SGSN – GGSN o SGSN – SGSN, el protocolo de transporte es GTP y está encargado tanto de transmitir tanto la señalización como el tráfico de los usuarios (véase figura 2.8).

Durante el proceso de activación de contexto PDP se establecen los túneles GTP, estos túneles son diferenciados para cada usuario a través del indicador Tunnel ID (TEID) uno para señalización y otro para tráfico de usuario, estos indicadores se utilizaran de aquí en adelante como la única forma de identificar a que usuario pertenecen los paquetes a través de la interfaz Gn y dentro de cada elemento GSN.

El transporte en esta interfaz es IP utilizando UDP. El tipo de tráfico en esta interfaz, señalización o tráfico de usuarios, se identifica por el puerto UDP utilizado. El direccionamiento se basa en las tablas que contiene cada nodo. Ambas puntas deben de saber el TEID del usuario y en que nodo GSN esta, después GTP encapsula el paquete agregando un encabezado IP donde la dirección destino es la del siguiente nodo, un SGSN o GGSN.

Algo muy importante que hay que entender es el hecho de todos los usuarios son iguales aquí, sin importar la tecnología de radio que estén utilizando.

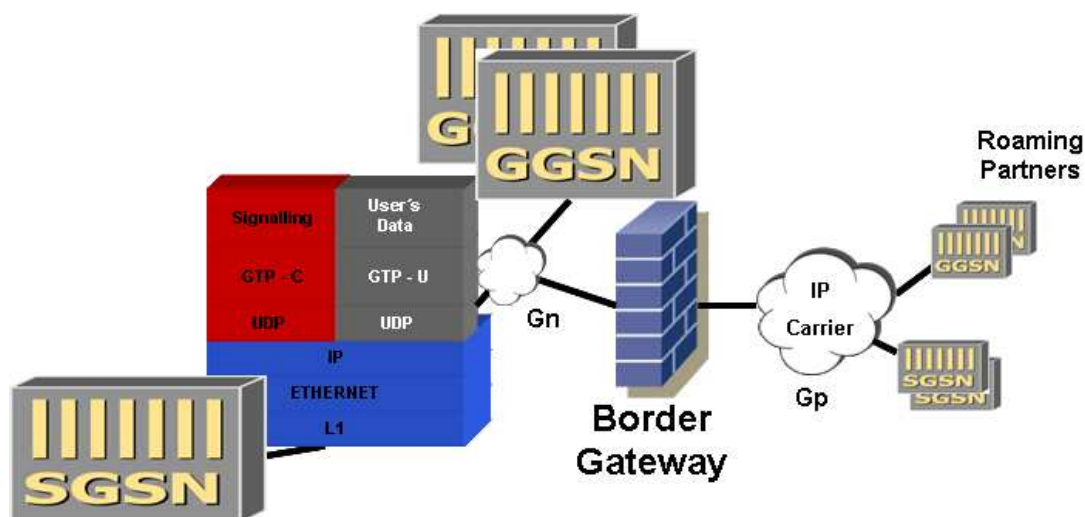


Figura 2.8 Protocolos utilizados en la interfaz Gn

2.3.11 DNS

El DNS (Domain Name Server) es un equipo utilizado para traducir dominios en direcciones IP, en GPRS es necesario para dos escenarios principalmente: la traducción de LAC's (Location Area Code) y de APN's (Access Point Name).

Cuando un usuario cambio de cobertura, ya sea una RNC o BSC, el móvil lo detecta mediante la LAC de la nueva zona geográfica, por lo que solicita al SGSN que actualice su información, si el SGSN no reconoce la LAC de la que proviene el usuario no esta dentro de su cobertura geográfica, por lo que tendrá que consultar al DNS para saber a que nodo GSN pedir la información del usuario.

En el caso de la activación de PDP el SGSN no sabe que GGSN tiene el servicio solicitado por el usuario, APN, para saber esto consulta al DNS.

2.3.12 GGSN

El GGSN envía y recibe paquetes IP entre el SGSN y las redes a las que este conectado. Podemos ver al GGSN como un router, depende del servicio que el usuario requiera su información será enviada hacia distintas redes. A través de los procesos de Session Management , creación, modificación y borrado de contexto PDP, el GGSN recolecta la información necesaria para hacer llegar la información a los usuarios, asignando una IP al usuario así como varios identificadores de túneles GTP para saber a que SGSN se debe de enviar la información recibida.

Ahora el GGSN puede realizar otras funciones de cobro como son la integración con los sistemas de Prepago, generación de CDR's, etc. Aunque las mas importante es el DPI "Deep Packet Inspection", para poder realizador un cobro diferenciado de acuerdo a los servicios es necesario poder saber que es lo que esta haciendo el usuario y la única forma de hacer es analizar el contenido de todos los paquetes que envía y recibe, de esta forma podremos cobrarle distinto de acuerdo a la dirección web que pide o al tipo de servicio ya sea FTP, mail, video streaming, etc.

2.3.12.1 APN

Un APN (Access Point Name) se puede definir como la configuración necesaria en el GGSN para ofrecer un cierto servicio al usuario, como son el rango de direcciones ip que se le asignaran a los móviles, si se permitirá comunicación entre ellos dentro de nuestra red, si utilizaremos algún protocolo AAA, si utilizaremos algún protocolo de encriptación al enviar su información y hacia donde enviaremos su información.

2.3.13 Interfaz Gi

La interfaz Gi puede ser cualquier red IP a la que necesite acceder el usuario (véase figura 2.9), dependiendo del servicio que requiera, ya sea internet, wap, mms, poc, blackberry o servicios corporativos, su información puede ser enrutada por caminos distintos.

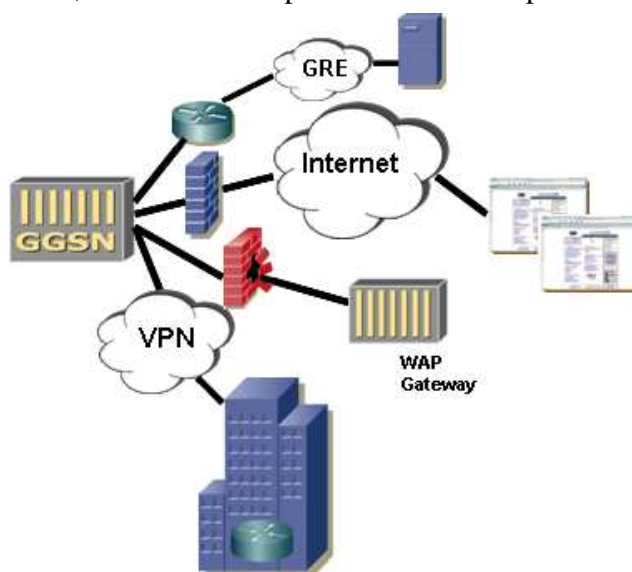


Figura 2.9 Interfaz Gi

2.3.14 Interfaz Gy

Esta interfaz es la que nos comunica con el sistema de prepago (véase figura 2.10), a través de ella se realiza todo el intercambio de información necesario para saber si un usuario tiene crédito y para realizar el cobro de servicios en tiempo real.

2.3.14.1 Diameter

Esta interfaz utiliza el protocolo diameter (DBP), este es un protocolo AAA (Authentication, Authorization y Accounting), aquí solamente lo utilizaremos para “Accounting” iniciando las sesiones mandándole al sistema de prepago la información del usuario necesaria como son imsi, msisdn, ip asignada, apn, etc. Una vez se ha establecido la sesión se realiza el cobro en línea mediante el protocolo DCCA (Diameter Control Credit Aplication).

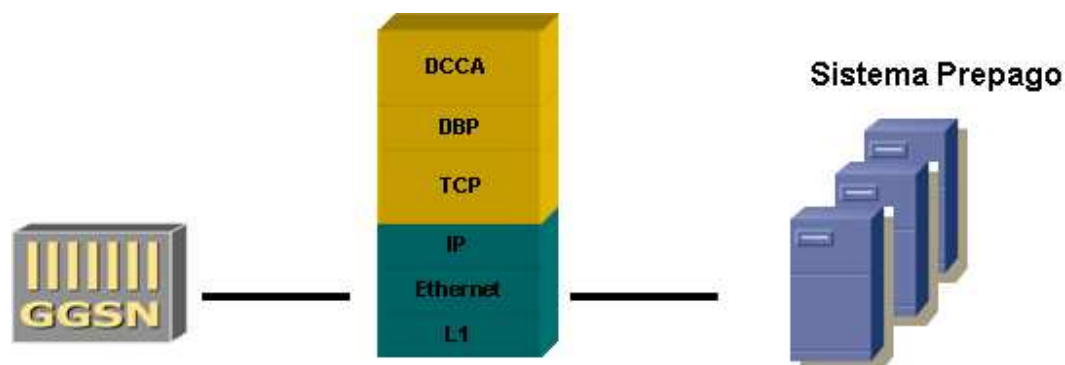


Figura 2.10 Protocolos utilizados en la interfaz Gy

2.3.14.2 Radius

Es el protocolo AAA (Authentication, Authorization y Accounting) antecesor de diameter, en nuestra red lo utilizamos para enviarle la información de los usuarios al WAP Gateway ya que este nodo se comunica con el sistema de prepago para el cobro de contenidos como ringtones, juegos, etc.

Una de las principales diferencias entre Radius y Diameter es en el transporte, Radius utiliza UDP por lo que no hay retransmisiones en caso de pérdida de información.

2.3.15 Border Gateway

Este equipo es un firewall que se encuentra en el perímetro de nuestra Red, el direccionamiento en la Gn de todos los SGSN's y GGSN's debe de ser público ya que es la única forma de que un nodo GSN en otra red pueda localizarnos. La principal función de este equipo es permitir que accedan a nuestra red solamente los rangos de ip's que tienen nuestros socios de Roaming.

2.3.16 Interfaz Gp

Esta es la interfaz que comunica a nuestros nodos GSN con los nodos GSN de otras redes, es la interfaz que utilizan los usuarios de roaming. Los procesos de señalización y transporte de tráfico de usuarios son los mismos que la Gn con la diferencia de que el transporte es hecho por un tercero, por lo que el ancho de banda es una gran restricción.

Dimensionamiento

Para esta tarea es necesario analizar los nuevos requerimientos realizados por las áreas comerciales, para esto tendríamos 2 factores principales:

- Integración de 3G
- Aprovisionamiento de usuarios existentes de prepago para usar GPRS

Cada uno de estos puntos tendrá un impacto muy importante y distinto en la red. Si lo analizamos un poco podremos identificar los efectos que tendremos en cada nodo e interfaz de la red.

3.1 Integración de 3G

La integración de 3G esta abocada a una sola cosa, la velocidad de transmisión que se le pueda ofrecer al usuario. El poder ofrecer un buen servicio implica el dimensionar la Iu, SGSN, Gn, GGSN y Gi. En este documento no implicaremos el diseño de la parte de radio ya que escapa al enfoque del mismo.

3.1.1 Dimensionamiento Iu

Para poder estimar el tráfico primero tendremos que estimar cuantos usuarios esperamos tener. La gente que se encarga de dimensionar la parte de radio tiene un estimado de cuantos usuarios esperan tener en cada RNC y cuantos de ellos utilizando servicios de datos simultáneamente:

$$\begin{aligned}X_{PDP} * K &= T_{Total} \\ X_{Att} &= Usuarios_esperados_PDP \\ K &= Throughput_por_PDP \\ T_{Total} &= Trafico_total\end{aligned}$$

Tenemos que entender ciertas consideraciones realizadas:

Como el único servicio comparable de banda ancha es el ofrecido por los operadores de cable y telefonía fija utilizaremos de referencia el factor de ellos 15 [kbps / usuario activo], pero como lo que se quiere es ofrecer un mejor servicio sugiero que se dimensione con el doble.

Un contexto PDP activo, significa que el SGSN y GGSN tienen toda la información necesaria para transmitir y recibir la información del usuario sin embargo esto no implica que el usuario este realmente recibiendo o transmitiendo datos. Recordemos que la mayoría de los servicios de Internet transmiten y reciben por ráfagas. También

consideramos que todos los usuarios transmiten a la misma velocidad, esto es necesario ya que no conocemos la distribución por servicio que tendrá el tráfico.

Una vez teniendo una aproximación del tráfico esperado en cada Iu debemos de revisar los enlaces intra regionales que transportan la información entre cada RNC y el SGSN, dimensionándolos por debajo del 40%, la experiencia nos ha enseñado que un enlace en la hora pico de tráfico tiene el doble de tráfico que su promedio por día.

3.1.2 Dimensionamiento SGSN

El siguiente nodo es el SGSN este nodo es quien recibe la información de la red ip y debe reenviarla hacia la RNC correcta, esta caja recibe los GTP-PDU del usuario a través de la Gn y los procesa. Aquí es donde se apreciara el beneficio de que en la interfaz Iu - U se utilice el mismo protocolo en la interfaz Gn ya que el SGSN solamente tiene que cambiar el encabezado GTP, a diferencia de 2G donde el SGSN realiza funciones de compresión y fragmentación de la información, esto nos lleva a que las mismas tarjetas pueden procesar hasta 3 veces mas tráfico en 3G que en 2G.

El SGSN no es dimensionado pensando en el tráfico en si, no podemos decir que una caja es capaz de soportar 1 [Gbps]. Como habíamos dicho lo importante es la capacidad de procesamiento, cuantos paquetes por segundo es capaz la caja de cambiar de protocolo en 2G o de cambiar el encabezado en 3G. Para poder medir esto utilizaremos la siguiente formula :

$$\frac{T_{Total}}{C} = Z$$

$$T_{Total} = \text{Trafico}_{total} [Bytes/sec]$$

$$C = \text{Tamaño}_{promedio}_{por}_{paquete} [Bytes]$$

$$Z = \text{Paquetes} [Paquetes/sec]$$

El tráfico se obtuvo del ejercicio anterior y el tamaño promedio por paquete es un factor que se debe obtener estadísticamente. Los datos necesarios para esto pueden provenir de varias fuentes como las estadísticas del SGSN, medir el tráfico directamente en las interfaces de los switches, el firewall que nos da salida hacia internet, etc. Aquí surge la primer discrepancia de criterio ya que con cada proveedor de SGSN's las estadísticas que ofrecen son distintas y siempre sujetas a su interpretación y por otro lado los switches no ofrecen un sistema de estadísticos en sí, por lo que es necesaria una tercer plataforma que este solicitando y almacenando esta información, esta hubiera sido la mejor solución ya que hubiéramos podido tener la mayor granularidad al obtener el factor para cada interfaz pero un problema de licenciamiento en este sistema no nos permitió tener una muestra estadísticamente significativa. El tomar la medición en el Firewall fue la mejor opción sin embargo hay que estar concientes de que el factor obtenido de esta forma es para una red 2G por lo que es necesario decidir cuantas veces esperamos que el tamaño del paquete aumente en 3G.

Una vez teniendo el numero de paquetes esperado viene la primer gran diferencia entre el funcionamiento de los SGSN's Nokia y Ericsson. La caja de los suecos funciona como una sola unidad subdividida por tareas:

- IBAS - estas tarjetas son la interfaz fisica del SGSN hacia la red, funcionan como routers dentro del mismo SGSN. Son quienes redistribuyen la información recibida dependiendo del proceso requerido GTP-C, GTP-U, RANAP, Charging, O&M, etc.
- GPB - Estas tarjetas que se encargan de la señalización, sigtran o TDM, y de procesar el tráfico de los usuarios sin importar si son 2G o 3G.
- NCB – Esta es una tarjeta GPB que toma las funciones de una tarjeta central, se encarga de controlar todos los procesos y redistribuir la carga entre las GPB's

Es decir este SGSN funciona como una gran caja negra simplemente tienes que conectar y configurar correctamente sus interfaces y tendrás una capacidad total de procesamiento. Aquí la capacidad depende de cuantas tarjetas GPB se tengan instaladas en el SGSN.

El SGSN finlandés funciona de forma distinta ya que tiene tarjetas que realizan funciones generales como:

- SMMU- Esta tarjeta realiza manejo toda la señalización entre SGSN y los HLR's, ya sea SIGTRAN o TDM.
- MCHU – Esta tarjeta controla la generación de estadísticas y CDR's
- OMU – Esta tarjeta controla todo lo relacionado con la gestión del equipo y O&M

Y tarjetas que manejan tareas específicas de forma independiente:

- PAPU- Esta tarjeta maneja la señalización y el tráfico de los usuarios entre el SGSN y la BSC, 2G, así como señalización entre el SGSN y RNC mediante RANAP, 3G.
- IOCPE - Esta tarjeta maneja específicamente el protocolo GTP. En el caso de 2G recibe el tráfico de la PAPU y lo encapsula enviándolo a la Gn, para 3G simplemente cambia el encabezado GTP.

Cada PAPU esta asociada con una IOCPE y cada una de estas parejas esta directamente conectada a la Gn teniendo un direccionamiento único.

Lo más importante que debemos entender es que este nodo hacia la red se ve como varios SGSN pequeños e independientes. La capacidad del SGSN Nokia no solamente esta en función del numero de tarjetas sino que a partir de esto se puede decidir como distribuir las tarjetas para 2G, 3G o mixto. Esto nos ofrece flexibilidad en el diseño de la red ya que podemos diferenciar de que tarjeta proviene el tráfico y manipular otros elementos de la red, como DNS, para que respondan de acuerdo a la dirección ip del SGSN y enviar el tráfico a GGSN's distintos, a diferencia del SGSN de Ericsson donde todo el tráfico es

mezclado y no es posible hacer este tipo de arreglos . También tenemos que estar concientes de las consecuencias de esta forma de operar ya que el hecho de que cada tarjeta tenga su propia interfaz físicas hacia la red aumenta increíblemente el numero de puertos ha gestionar en los switches, mientras con Ericsson no manejamos mas de 8 interfaces físicas con su contraparte son casi 90.

3.1.3 Dimensionamiento Gn

Una vez que hemos visto que los SGSN´s soportarán el tráfico esperado por Región es necesario verificar que los enlaces Inter Regionales que transportaran a la interfaz Gn tengan la capacidad necesaria.

Debido a que en la red se espera que el grueso de trafico en la Gn será el tráfico de los usuarios de 3G podemos despreocupar la señalización y el trafico de los usuarios de 2G y podremos decir lo siguiente:

$$\text{Tráfico Gn} \approx \text{Tráfico Iu User Plane}$$

Con esto podemos saber cuanto tráfico viajara entre los SGSN´s y GGSN´s. El hecho de que la interfaz Gn se sature implica la perdida de paquetes y esto trae como consecuencia retransmisiones lo que al final de día es percibido por el usuario como una velocidad de transmisión muy baja. Sin embargo el hecho de perder paquetes en esta interfaz puede traer problemas mas graves ya que si uno de los SGSN´s cree perder la comunicación con alguno GGSN o viceversa, por protocolo ambas cajas deben de borrar todos los contextos de PDP establecidos entre ellas, una afectación al servicio de esta magnitud siempre es apreciada por los usuarios ya que deben reconectar sus aplicaciones a la red.

3.1.4 Dimensionamiento GGSN

El GGSN debe de ser dimensionado de acuerdo a los paquetes por segundo que necesitamos que procese. Como ya sabemos cuanto tráfico tendremos por región simplemente debemos de sumar todas las regiones a las que cada GGSN dará servicio. Aquí tenemos que considerar en el diseño de nuestra red que el GGSN es un nodo que diferenciaremos por los servicios que proporciona. Un ejemplo muy claro es la comparación de POC o Blackberry contra el servicio masivo como internet. POC ofrece servicio de voz sobre IP, esto no requiere mucho ancho de banda sin embargo todos los usuarios deben de estar conectados con los servidores todo el tiempo, esto se traduce en un gran numero de PDP activos y una tasa de transmisión muy baja por usuario, Blackberry es muy parecido pero en vez de ofrecer voz sobre ip se realiza descarga de mails directo al móvil. El servicio masivo de Internet es distinto ya que los usuarios ocupan un ancho de banda mayor y se conectan solamente cuando están realmente utilizando el servicio, esto nos da una relación de trafico por usuario muchos mas alta. Es muy importante que comprendamos esto ya que la capacidad de cada GGSN que se tiene en la red esta determinada por factores distintos. La caja de Nokia tiene una capacidad determinada por el numero de tarjetas que tenga, todas hacen las mismas funciones, manejan la señalización y el trafico, el GGSN de Ericsson esta basado en una

función modular, todas las tarjetas son iguales “Phoenix II”, cada una de ellas es configurada para procesar señalización o trafico de usuario, por lo que la capacidad del GGSN en si esta determinada por cuantas tarjetas son avocadas a señalización y cuantas a trafico de usuario.

Un dato sobre como dimensionar el GGSN y el SGSN que creo les será muy útil es saber como interpretar las unidades que nos dan los proveedores. Ellos nos dan la capacidad de las cajas en cuantos paquetes por segundo pueden procesar, el detalle aquí es que no importa la dirección del paquete, al final es un paquete procesado. Hay que considerar la capacidad de las caja como trafico total, sumando Uplink mas Downlink en las interfaces.

3.1.5 Dimensionamiento Gi

La siguiente interfaz es la Gi, en este caso será la interfaz que nos de salida a Internet conectándoos con nuestro proveedor de Internet. Aquí esta involucrado el transporte hasta donde el proveedor nos entrega el enlace, el firewall en el que lo recibimos y la capacidad de la salida a Internet en si. Para saber cuanto es el tráfico que cursaremos podemos partir del hecho de que GTP todo lo que hace es agregar un encabezado a la información del usuario, también hay que agregar el encabezado del transporte, y usar la siguiente formula:

$$T_{Gn} = T_{Gi} \left(1 + \frac{62_{[bytes]}}{C} \right)$$

$$T_{Gn} = \text{Trafico}_{Gn}$$

$$T_{Gi} = \text{Trafico}_{Gi}$$

$$C = \text{Ta\~namo}_{promedio}_{por}_{paquete}_{[bytes]}$$

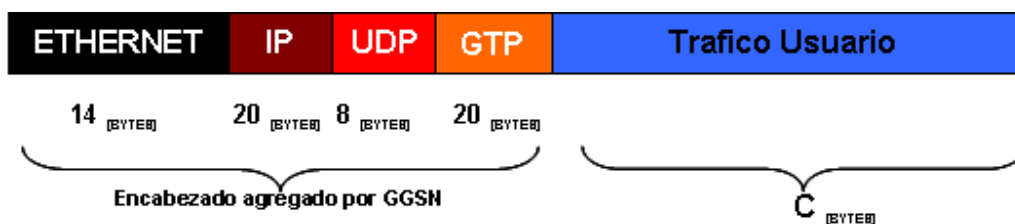


Figura 3.1 Encabezado GTP

Aquí estamos considerando que el tráfico de señalización en la Gn es estadísticamente despreciable.

Con el dato de cuanto tráfico de Internet esperamos tener hay que considerar que este tráfico también tiene que ser procesado por el firewall, pero dimensionar ese nodo escapa del enfoque de este documento.

3.2 Aprovisionamiento de usuarios prepago para usar GPRS

El siguiente punto a analizar es el hecho de que integraremos a los usuarios a de prepago a GPRS, es muy importante que podamos medir los impactos de esto.

En un principio GPRS solamente podía ser utilizado por los usuarios de pospago, con esto ellos podían navegar libremente y el cobro se realizaba mediante los registros que generaba el SGSN, estos CDR's son post procesados posteriormente por el departamento de facturación. Ahora que es necesario integrar un sistema de cobro en tiempo real y les demos servicio a estos nuevos usuarios se tiene que considerar lo siguiente :

- Analizar el impacto en el SGSN que representan los nuevos usuarios registrados simultáneos
- Analizar el impacto en el SGSN y GGSN debido al incremento en contextos PDP
- Analizar el aumento en el trafico de 2G
- Dimensionamiento de las interfaces que nos comunican con el sistema de Prepago y WAP Gateway.

3.2.1 Aumento de usuarios registrados

El primer paso para tener idea del impacto que esto representa es estimar el número de usuarios que realmente tendremos. Partiremos del hecho de que todos los usuarios serán aprovisionados para usar GPRS, prepago mas post pago. Este dato lo podemos obtener de los HLR's en si y obtener un número de usuarios por cada Región.

Es necesario saber que porcentaje de usuarios con acceso a GPRS realmente utiliza el servicio, podemos obtener este factor de la siguiente forma:

$$\frac{U_{Att}}{H_R} = A$$

$$U_{Att} = \text{Usuarios_registrados_SGSN}$$

$$H_R = \text{Usuarios_con_acceso_a_datos_en_HLR_por_Region}$$

Lo siguiente es saber como distribuiremos este crecimiento en cada BSC de la región, lo más sensato seria obtener la proporción estadística de usuarios registrados por BSC pero existe una limitación en la granularidad de las estadísticas de los SGSN's y esto no será posible.

La solución más viable si consideramos un tráfico homogéneo en todos los usuarios en la región, es obtener cuanto tráfico de datos cursa cada BSC y saber que proporción representa del total de la región.

$$\left(\frac{T_{BSC}}{T_{TR}} \right) (X_{Att_R}) A = X_{Att_BSC}$$

$$T_{BSC} = \text{Trafico_BSC}$$

$$T_{TR} = \text{Trafico_total_por_region}$$

$$X_R = \text{Nuevos_usuarios_registrados_region}$$

$$X_{Att_BSC} = \text{Nuevos_usuarios_registrados_BSC}$$

3.2.2 Dimensionamiento de Gb

Sabiendo cuantos usuarios mas tendrá cada BSC es necesario saber cuanto tráfico mas representan, por lo que debemos de obtener el factor de tráfico en la hora pico por cada BSC.

$$\left(\frac{T_{TR}}{U_{Att}} \right) (X_{Att_BSC}) = \Delta T_{BSC}$$

$$T_{TR} = \text{Trafico_total_por_region}$$

$$U_{Att} = \text{Usuarios_registrados_SGSN}$$

$$X_{Att_BSC} = \text{Nuevos_usuarios_registrados_BSC}$$

$$\Delta T_{BSC} = \text{Aumento_de_trafico_BSC}$$

Como el dimensionamiento debe de ser realizado pensando en las peores condiciones, recomiendo que estos cálculos se realicen con los datos den la hora pico de tráfico regional.

Con el dato de cuanto trafico esperar en cada BSC es necesario realzar las adecuaciones necesarias, la mas importante es aumentar la capacidad de la GB tanto en el medio de transporte como en la capacidad de procesamiento de la BSC.

3.2.3 Análisis de impacto en SGSN

La siguiente caja que tenemos que analizar es el SGSN, antes solamente habíamos mencionado la capacidad de la caja en cuantos paquetes por segundo puede procesar. Ahora tenemos que tomar en cuenta dos factores más, el primero es el número de usuarios simultáneos a los que el SGSN puede dar servicio, tanto registrados como con contexto activo, y el segundo es la cantidad de transacciones por segundo que puede procesar, cuantas peticiones de registro y cuantas de activación de contexto por segundo puede atender.

El numero de usuarios que el SGSN puede soportar esta relacionado con la capacidad del hardware y con las licencias comerciales adquiridas, por lo que una vez obtenido el dato de cuantos usuarios esperas tener hay que analizar la situación.

Un SGSN que ya esta funcionando cerca del limite de su capacidad y no hay posibilidad de una expansión ni de hardware o de licencias se convierte en un cuello de botella muy grande, ya que simplemente no dará servicio a ningún usuario nuevo. Esto debe de ser previsto con la mayor anticipación posible ya que la implementación de un nuevo SGSN implica mucho tiempo y un rediseño de la red.

Los usuarios registrados que esperamos por región es un dato que se obtuvo en ejercicios anteriores, de aquí tendremos que derivar cuantos de ellos tendrán un contexto PDP activo. Para esto obtendremos la relación que mantienen estos indicadores en la red actual, mediante la formula:

$$\frac{U_{PDP}}{U_{Att}} = R_{AttPDP}$$

$$U_{PDP} = Usuarios_contexto_PDP_SGSN$$

$$U_{Att} = Usuarios_registrados_SGSN$$

Multiplicando esto por el número de usuarios registrados que esperamos, obtendremos cuantos usuarios con contexto PDP esperamos:

$$R_{AttPDP} * X_{Att} = X_{PDP}$$

$$X_{Att} = Usuarios_esperados_registrados_SGSN$$

Para saber cuantas transacciones por segundo esperamos obtendremos de nuevo un factor de la red actual, necesitamos saber cuantas transacciones por segundo generan nuestros usuarios actuales:

Para el proceso de registro tenemos:

$$\frac{N_{Att}}{U_{Att}} = R_{Att}$$

$$U_{Att} = Usuarios_registrados_SGSN$$

$$N_{Att} = Numero_procesos_de_registro_iniciados_MS$$

Activación de Contexto PDP:

$$\frac{N_{PDP}}{U_{PDP}} = R_{PDP}$$

$$U_{PDP} = \text{Usuarios_con_contexto_PDP_SGSN}$$

$$N_{PDP} = \text{Numero_procesos_de_activacion_contexto_iniciados_MS}$$

Nótese que no estamos discriminando si el resultado del proceso es exitoso o no, esto nos será útil cuando dimensionemos el SGSN.

Una vez obtenidos los factores, obtenemos las transacciones de la siguiente forma:

$$(X_{Att} * R_{Att}) \left(\frac{1}{P} \right) = Z_{Att}$$

$$(X_{PDP} * R_{PDP}) \left(\frac{1}{P} \right) = Z_{PDP}$$

$$X_{Att} = \text{Usuarios_esperados_registrados_SGSN}$$

$$X_{PDP} = \text{Usuarios_esperados_contexto_PDP_SGSN}$$

$$P = \text{Periodo_muestreo}$$

Es necesario que el SGSN pueda procesar el numero de peticiones que acabamos de obtener de lo contrario es necesario tomar las medidas necesarias, ya sea expansión o implementación de una nueva caja.

3.2.4 Dimensionamiento Gr

La interfaz Gr es la que nos comunica con los HLR's utilizando SS7, esta interfaz puede tener dos medios de transporte E0's mediante TDM o SIGTRAN mediante IP.

En nuestro caso todos los SGSN's están conectados con los STP's mediante E0's, para nosotros esta interfaz es muy importante ya que cada vez que un usuario quiere registrarse en la red es necesario que obtengamos su perfil y las llaves de seguridad necesarias para autenticarlo y darle el servicio, toda esta información esta almacenada en el HLR. Si presentamos problemas de congestión con esta interfaz tendremos una degradación de servicio importante ya que los usuarios recibirán mensajes de error de conexión en sus móviles y esto deja una mala impresión.

SS7 es un protocolo con varias limitaciones cuando es implementado con E0's como medio de transporte, la que mas nos afecta es el hecho de que los enlaces no pueden estar a mas de un 20 % de ocupación en los SGSN's y 40% de lado de los STP's.

Para poder predecir el impacto que tendremos con el aumento de usuarios que esperamos

tenemos que entender en que procesos de señalización esta implicada la comunicación con el HLR.

Durante el proceso de registro el SGSN envía los mensajes “sendAuthenticationInfo” o “sendParameters” solicitando la información necesaria para la autenticación, para pedir la información del perfil se envían “updateGprsLocation” o “insertSubscriberData” respectivamente.

Cuando un usuario cambia de cobertura geográfica entre SGSN’s es necesario que se realice el proceso de “Inter SGSN Routing Area” para mantener el servicio, en este proceso el SGSN que recibe al usuario le pide al SGSN proveniente la información del usuario transfiriendo los contextos de movilidad y sesión, también se realizan actualizaciones en el HLR generando los mensajes “sendAuthenticationInfo” o “sendParameters” en caso de que autenticación sea requerida y el proceso de actualización de perfil genera “updateGprsLocation” o “insertSubscriberData”.

Cuales mensajes son enviados depende de que tan seguido el usuario usa los servicios de GPRS y de cómo esta configurada la autenticación en cada proceso de señalización, ya que el SGSN almacena durante cierto tiempo la información de cada usuario. Debido ha esto la única forma de obtener un factor es mediante las estadísticas del SGSN y los STP’s.

Como primer paso obtendremos la relación entre los usuarios registrados simultáneos y la cantidad de mensajes de SS7 enviados en los enlaces de señalización, lo mejor es obtener este dato por SGSN y en la hora pico de tráfico.

$$\left(\frac{N_{Att}+N_{Int}}{U_{Att}}\right)\left(\frac{S}{N_{Att}+N_{Int}}\right)\left(\frac{1}{P}\right) = Z_{SS7}$$

$$N_{Att} = \text{Numero_procesos_de_registro_iniciados_MS}$$

$$N_{Int} = \text{Numero_procesos_de_Inter_SGSN_RAU_iniciados_MS}$$

$$U_{Att} = \text{Usuarios_registrados_SGSN}$$

$$S = \text{Mensajes_de_SS7}$$

$$P = \text{Periodo_de_muestreo}$$

Con la constante anterior podemos obtener en bps el impacto que representaran los nuevos usuarios:

$$Z_{SS7} * (X_R) * 272_{[Bytes]} * 8_{[bit/Byte]} = T_{SS7}$$

$$Y = \text{Relacion_mensajes_SS7_por_usuario_por_segundo}$$

$$X_R = \text{Usuarios_esperados_region}$$

$$T_{SS7} = \text{Trafico_señalizacion}$$

En la formula anterior consideramos el tamaño máximo para un mensaje de SS7 272_[bytes], con el resultado anterior ya tendremos una idea del trafico promedio que tendrán nuestros enlaces.

Existe otro escenario que se tiene que considerar, el reinicio de un SGSN es un proceso critico para la señalización ya que todos usuarios quieren reactivar los servicios de datos al mismo tiempo. Con este tipo de estrés hay que considerar el número de transacciones de señalización máximas por segundo que el SGSN pueda procesar, esto nos dará el tiempo mínimo que le tomara al nodo reestablecer el servicio a los usuarios, dependerá del ancho de banda de la Gr si podremos alcanzar este tiempo o no. Una vez concientes de nuestras limitaciones es necesario configurar en el SGSN los procesos de control de congestión en los enlaces de señalización, en la mayoría de los nodos es posible configurar un limite de transacciones por segundo transmitidas por estos enlaces, así podremos poner un tope antes de que comencemos a perder mensajes.

3.2.5 Dimensionamiento GGSN

En la interfaz Gn no se espera un gran impacto, ya que el tráfico generado por los usuarios de 2G no es comparable con el de los usuarios de servicios de banda ancha de 3G. Lo mejor es seguir analizando la capacidad del GGSN para procesar las peticiones de activación de PDP recibidas. Durante este proceso de señalización los nodos que intervienen dependen de que servicio se esta solicitando y si el usuario es prepago o pospago. Por ejemplo si un usuario de pospago quiere tener acceso a Internet solamente están involucrados el SGSN y el GGSN.

Para obtener cuantas activaciones de contexto esperamos es necesario entender correctamente como funciona esto. Cuando el SGSN recibe la petición de activación de contexto lo primero que hace es revisar que apn esta solicitando el usuario, si el usuario pide un APN que no tiene en su perfil, si el apn no esta definida en el DNS o incluso si no tiene APN alguna dada de alta en su perfil del HLR, la petición de contexto es rechazada directamente por el SGSN y no involucra al GGSN, esto se puede medir estadísticamente ya que la mayoría de los SGSN separan los contadores de fallas por causas especificas, este tipo de fallas son el reflejo de problemas de configuración en las terminales, problemas de aprovisionamiento en el HLR o problemas de configuración en el DNS. Para la discriminación de estos eventos buscaremos el contador con la causa 27 (Unknown or missing access point name), esto de acuerdo a los estándares 3GPP de señalización capa 3.

Obteniendo la relación entre este proceso y los usuarios con contexto PDP esperados, ya que no sabremos cual será el comportamiento de los nuevos usuarios lo mejor será obtener este dato de la red actual:

$$\left(\frac{N_{PDP-27}}{U_{PDP}} \right) \left(\frac{1}{P} \right) = Y_{PDP_SGSN}$$

$$N_{PDP_APN} = \text{Numero_activaciones_PDP_iniciadas_MS_menos_causa_27_SGSN}$$

$$U_{PDP} = \text{Usuarios_contexto_PDP_SGSN}$$

$$P = \text{Periodo_muestreo}$$

Si queremos desglosar el factor anterior por APN tendremos que cambiar de fuente de información, la estadística anterior se baso totalmente en lo que es capas de darnos el SGSN pero si volteamos a los GGSN's podemos obtenerlo con la granularidad deseada además ya discriminando las causas de falla antes mencionadas.

$$\left(\frac{N_{PDP-GGSN}}{U_{PDP-GGSN}} \right) \left(\frac{1}{P} \right) = Y_{PDP_APN}$$

$$N_{PDP_APN} = \text{Numero_activaciones_PDP_iniciadas_MS_GGSN_APN}$$

$$U_{PDP} = \text{Usuarios_contexto_PDP_GGSN}$$

$$P = \text{Periodo_muestreo}$$

Con este factor por apn podremos obtener un factor distinto para cada GGSN, si es que transportan servicios diferentes.

Durante la señalización necesaria para realizar un Inter SGSN RAU es necesario actualizar al GGSN sobre el cambio de SGSN, esto también deberá ser considerado en caso de que la red este diseñada para ello, un ejemplo muy claro es cuando 2 SGSN's dan cobertura en la misma ciudad, la formula para esto será la siguiente.

$$\left(\frac{N_{Int}}{U_{PDP}} \right) \left(\frac{1}{P} \right) = Y_{Int}$$

$$N_{Int} = \text{Numero_Inter_SGSN_iniciados_MS}$$

$$U_{PDP} = \text{Numero_usuarios_contexto_activo_SGSN}$$

$$P = \text{Periodo_muestreo}$$

Con estos dos factores ya podemos obtener el número de transacciones que esperamos reciba el GGSN:

$$X_{PDP} (Y_{PDP_APN} + Y_{Int}) = Z_{PDP}$$

$$X_{PDP} = \text{Usuarios_esperados_contexto_activo}$$

3.2.6 Dimensionamiento Gy

Si un usuario requiere acceder a wap o mms y es prepago tiene un proceso mas complicado ya que se involucra al wap gateway y al sistema de prepago. Interactuando con otras 2 interfaces, la comunicación con el wap gateway se hace mediante radius y con la parte de prepago se utiliza diameter. Cada una de estas nuevas interfaces puede representar un punto de falla

El impacto de estas dos interfaces sobre el desempeño de la red se puede ver de la siguiente forma, ya que todos los usuarios que agregaremos en nuestra red son prepago el sistema de prepago tiene que ser capaz de procesar un numero de transacciones por segundo por lo menos igual al numero de activaciones de contexto que tendremos, todo dependerá de cómo este configurado el GGSN para interactuar con este sistema.

Esta parte es muy importante ya que el primer detalle que se tiene que resolver es el como saber si un subscriptor es prepago o postpago, para esto la solución mas simple es tener esta información en el perfil del usuario que contiene el HLR, sin embargo esta integración fue algo que no se tenia previsto por lo que esta adecuación en los HLR's no estará lista rápidamente. La solución fue configurar al GGSN para que se comunicara con el sistema de prepago y realizara una consulta para cada usuario, si lo encontraba en su base de datos entonces sería un prepago y se realizaría el cobro en línea de lo contrario el usuario es un postpago y se cobrara mediante los registros generados (CDR's). Esto complica el dimensionamiento de esta interfaz ya que ahora debe ser capaz de soportar una transacción por cada petición de activación de contexto que reciba el GGS además de las necesarias para realizar el cobro en tiempo real de los usuarios de prepago.

Para poder saber cuantas transacciones cursa esta interfaz es necesario saber como funciona, una vez hecha la consulta inicial se establece una sesión de cobro mediante tokens. El sistema de prepago le indica al GGSN que el usuario tiene suficiente crédito para navegar cierta cantidad de bytes, una vez terminado este crédito el GGSN realiza una nueva consulta y así sucesivamente hasta que el usuario termine su sesión de datos o se termine su crédito.

Al comportamiento descrito anteriormente tenemos que agregarle una variable mas, ya que las áreas comerciales quieren re lanzar el portal wap y toda la navegación en este punto sera gratuita. Por lo que será necesaria obtener una relación de cuanto trafico en wap se cursa en el portal y cuanto fuera de el, en cuanto ha Internet no lo tomaremos en cuenta en este dimensionamiento inicial ya que en su mayoría las terminales prepago que obtendrán acceso a los servicios de datos tendrán configurada el apn de wap.itelcel.com como default.

La formula seria la siguiente:

$$Z_{PDPT} + \frac{T_{OW}}{(W_T)(P)} = \text{Transacciones_por_segundo}$$

$$Z_{PDPT} = \text{Activaciones_contexto_esperadas_Total}$$

$$T_{OW} = \text{Trafico_WAP_fuera_Portal}$$

$$W_T = \text{Tamaño_Token}$$

$$P = \text{Periodo_muestreo}$$

La interacción con el wap gateway es un poco menos complicada, el protocolo Radius solamente lo utilizaremos para “accounting” es decir para enviar los datos del usuario como son el IMSI, MSISDN, IP asignada, si es Prepago o Postpago, etc. Esta interfaz deberá de ser capaz de procesar todas las activaciones de contexto que esperamos para wap y mms.

Estas dos interfaces son fundamentales en la interacción del usuario con los servicios masivos ya que si presentamos saturación en alguna de ellas comenzaremos a tener tiempos de repuesta muy alto entre los sistemas y esto lo ve reflejado el usuario como mensajes de error directamente en su terminal.

Capítulo 4 Análisis de Red

La red no estaba diseñada para los cambios esperados (véase figura 4.1), ya que siempre habíamos ofrecido servicios de baja velocidad y a pospago.

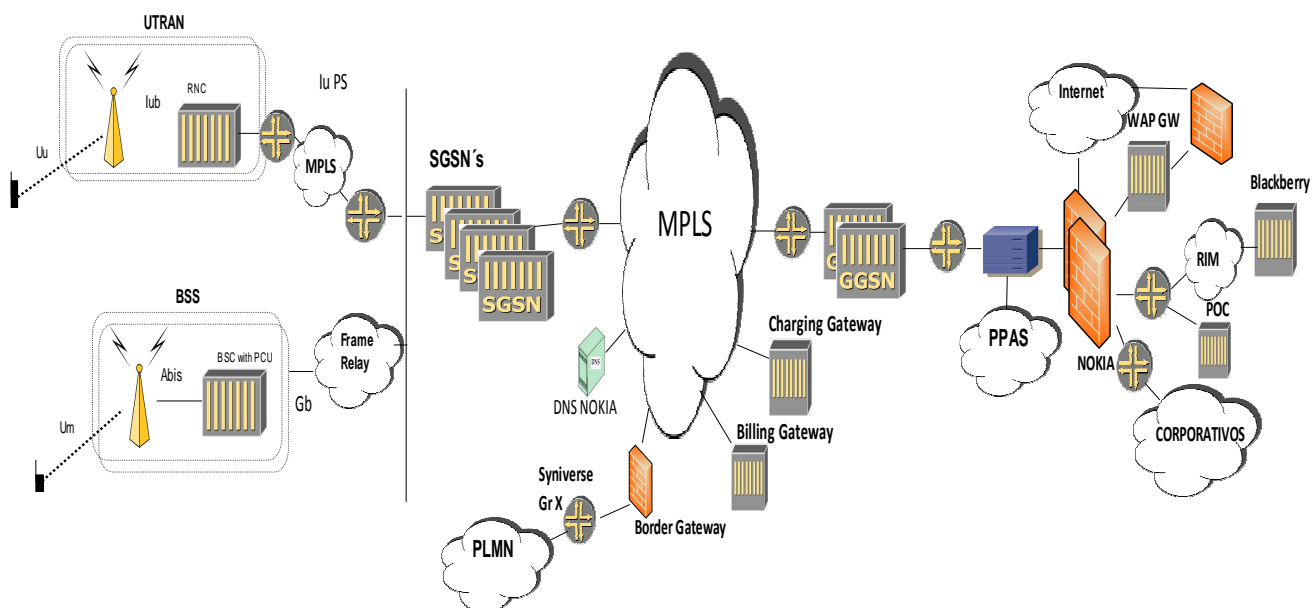


Figura 4.1 Arquitectura de Red

Una vez que realizamos los cálculos explicados en el capítulo anterior, se encontraron varios puntos críticos en la red:

- Capacidad interfaces Gb insuficiente en mas de 100 BSC
- Capacidad en usuarios registrados simultáneos cerca de 100% en R9
- Capacidad de interfaz Gr insuficiente
- Capacidad en transacciones por segundo hacia prepago insuficiente
- Capacidad de transacciones por segundo en wap Gateway insuficiente
- Capacidad de enlaces en interfaz Iu insuficiente
- Capacidad de SGSN Nokia en procesamiento de paquetes insuficiente
- Capacidad de enlaces Gn insuficiente
- Capacidad de GGSN en procesamiento de paquetes insuficiente
- Capacidad de Firewall en la salida a internet insuficiente
- Capacidad salida internet insuficiente.

Ya que se ha identificado cuales son los posibles puntos de falla, hay que saber identificar en cuales de ellos llegaremos mas rápido al limite de la capacidad con la configuración actual.

Ahora es necesario ver cual será la velocidad con la que nos afectaran los 2 factores que nombramos al principio. La integración de 3G implica una carga enorme en cuanto al trafico que esperamos tener, sin embargo no tendremos gran numero de usuarios al principio por lo que tenemos cierto tiempo para hacer las adecuaciones necesarias. El integrar usuarios de prepago a los servicios de datos será mas rápido, el aprovisionamiento en el HLR se hace de manera casi automática y la configuración de las terminales se puede realizar mediante campañas publicitarias y mensajes de texto por lo que esta parte nos afectara más rápido.

4.1 Adecuaciones necesarias para 2G

4.1.1 Expansiones de Gb

El primer punto será realizar las expansiones en Gb, para esto es necesario comprender cuales son los servicios que ofrecemos que podrían presentar una sensibilidad mayor a los retrasos que provocaría la congestión de esta interfaz. Los servicios en tiempo real como video streaming y voz sobre IP (Push to talk over celular phone) son en los que el usuario percibirá mas fácilmente un mal servicio por lo que revisar en que áreas del país estos servicios se utilizan mas es un buen comienzo, los servicios como blackberry y navegación en internet utilizando 2G realizan descargas grandes pero el usuario no podrá percibir problemas en el servicio tan fácilmente.

El realizar esta diferenciación no es tan sencillo desde nuestro punto de vista, los SGSN's nos pueden dar estadísticos sobre el proceso de activación de contexto PDP pero no con la granularidad necesaria, no hay SGSN que nos de estas estadísticas por APN, seria impractico ya que el SGSN es quien filtra que peticiones de contexto son realizados a APN's que no existen o a las que el usuario no tiene acceso. Tomando como partida el GGSN tendremos estadísticos por APN pero no podemos saber cual es el SGSN origen por lo que no podremos obtener una distribución geográfica de los usuarios de cada servicio.

Existen otros métodos que podríamos utilizar para obtener esta información, todos basados en capturas de señalización en la Gn de cada SGSN, estos procesos no son factibles en corto plazo ya que toman mucho tiempo en la implementación, por lo que lo mas sencillo es pedir la distribución regional de subscriptores a las áreas comerciales ya que estos servicios son pospago.

El siguiente criterio será saber cuales Gb's tienen una mayor velocidad de crecimiento actualmente con esto podremos detectar cuales presentaran problemas primero mas allá de los nuevos usuarios esperados, esto se puede ver en un reporte histórico de trafico por segundo máximo que han alcanzado cada BSC. Por ultimo pero terminara siendo el criterio mas importante es el saber que BSC's son consideradas "VIP" por las áreas comerciales, en que zonas geográficas se encuentran nuestros clientes mas importantes.

Ya que tenemos nuestra lista de prioridades, lo siguiente es pedir los medios de transmisión que necesitaremos, el transporte de la interfaz Gb utiliza Frame Relay como transporte por lo que el área de transmisión nos entregara los medios de transmisión en punta del lado del SGSN y de la BSC.

Del lado de la central donde se encuentra el SGSN estos medios de transmisión no se conectan directamente al SGSN sino a un arreglo de paneles de cross conexiones, el principal motivo de esto es el poder tener puertos de monitoreo no intrusivos en esta interfaz, esto facilita mucho la conexión de analizadores de protocolo.

Una vez que tenemos el medio de transmisión, el proceso para configurar la expansión varía un poco para cada SGSN (véase figura 4.2), sobre todo en la configuración del medio físico:

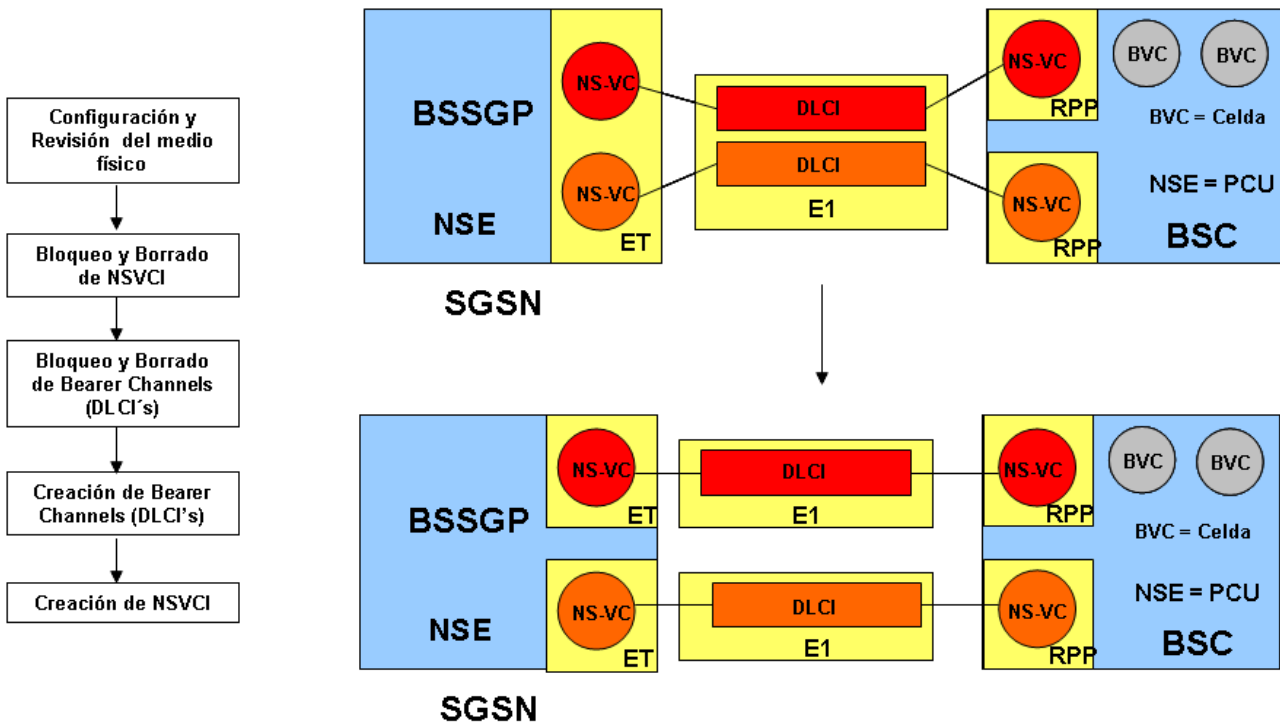


Figura 4.2 Expansión de Gb

El proceso de configuración consiste en hacer entender al SGSN y a la BSC que utilizaremos nuevos y más grandes medios de transmisión para los canales de Frame Relay. Con este diseño obtenemos redundancia en los medios de transmisión y en las tarjetas tanto del SGSN como de la BSC.

4.1.2 Capacidad de usuarios registrados simultáneos

El SGSN maneja el contexto de movilidad de los usuarios, tiene la función de saber en donde se encuentran los usuarios y como llegar a ellos, la capacidad de cuantos usuarios puede manejar el SGSN esta determinado por el hardware y las licencias comerciales compradas. La predicción que obtuvimos en el capítulo anterior mostraba que tendríamos un numero mayor de usuarios al que el SGSN podría manejar.

Una terminal que quiere acceder a nuestra red primero se registra y después activa el contexto pdp, una vez que termina de utilizar los servicios de datos desactiva el contexto pdp pero no todas las terminales terminan su registro, es decir estas terminales están en estado inactivo aunque el SGSN mantiene un rastreo de su posición geográfica. Esto no es conveniente para nosotros ya que estas terminales ocupan una licencia del SGSN sin producirnos beneficio alguno esto se puede atacar reduciendo 2 timers:

Detach Timer : este temporizador nos da el tiempo que un usuario puede estar registrado en la red sin activar un contexto PDP, una vez terminado el tiempo se elimina al usuario del SGSN.

MS Reachabilty Timer: este temporizador involucra al proceso de señalización “Periodical Routing Area Update”. Cuando un usuario se registra en la red se le envía cada cuanto tiempo tiene que realizar un “Periodical RAU”, sin importar el estado del móvil este debe de reportarse con la red, si no lo hacen se activa este temporizador. Si se termina el tiempo y el móvil no ha realizado ningún proceso de señalización su registro será eliminado del SGSN.

Estos temporizadores nos ayudaran con dos casos distintos. El “Detach Timer” se aplica a las terminales que siempre buscan estar registradas en la red aunque no vayan a transmitir o recibir nada, generalmente estos son modelos de terminales antiguos. El “MS Reachabilty Timer” ayuda con los problemas de cobertura, generalmente un móvil que no ha realizado el “Periodical RAU” es porque ya no tiene radio, muy pocos son los casos de malfuncionamiento de las propias.

La primera vez que se reducen estos temporizadores provocara una disminución importante en el número de usuarios registrados simultáneos.

4.1.3 Capacidad de Interfaz Gr.

La capacidad de esta interfaz esta dada por el SGSN en si, existe un limite de trafico que puede procesar, utilizando E0's ambos SGSN's tienen un restricción del 20% por cada enlace. Ya que se ha determinado que la capacidad actual (véase figura 4.3) no será suficiente es necesario decidir si seguiremos utilizando TDM como transporte o migraremos a SIGTRAN, la gran ventaja de SIGTRAN es que la capacidad máxima del sistema esta disponible desde el principio, no va en función de cuantos enlaces TDM tenemos, sin embargo es necesario tener la infraestructura IP para comunicar al SGSN y los STP's.

Se tomo la decisión de una expansión a la máxima capacidad en TDM para los nodos con mayor crecimiento esperado y en cuanto la infraestructura este lista migaríamos todos los SGSN´s a SIGTRAN.

La expansión TDM se realizo de la siguiente forma:

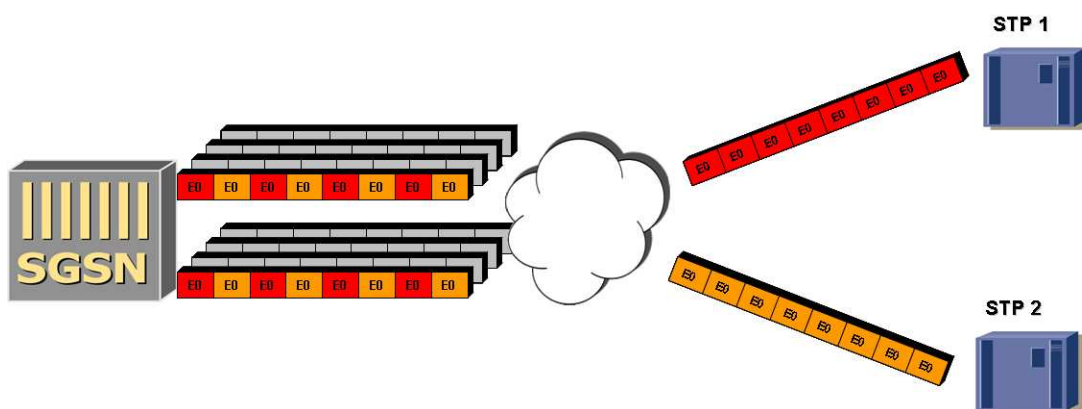


Figura 4.3 Configuración actual de Gr

Es necesario reconfigurar el numero de E0's que componen a cada link set's, ya que contamos con 2 E1's comunicando al SGSN es necesario intercalar a que link set pertenece cada E0 (véase figura 4.4), de esta forma obtenemos protección contra fallas en el hardware v en el medio de transmisión.

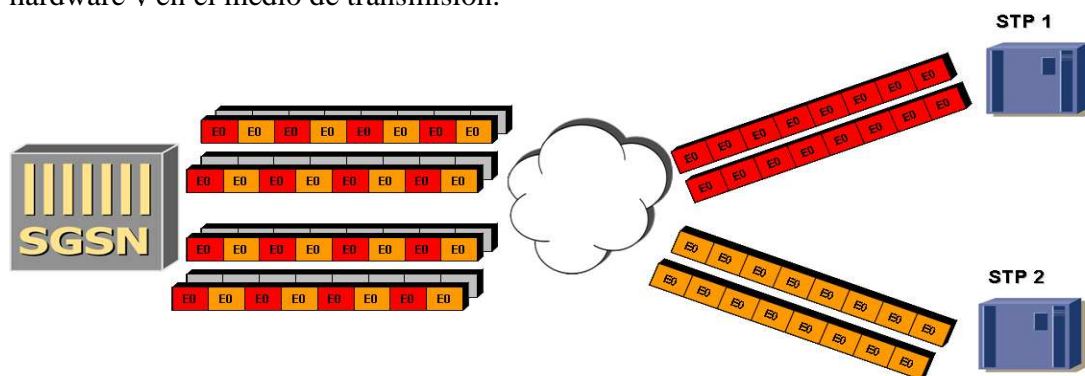


Figura 4.4 Expansión de Gr

4.1.3.1 SIGTRAN

Una vez que la infraestructura para IP esta lista se procederá con la migración, el diagrama de conexión varía para cada SGSN:

Para el nodo NSN la redundancia se alcanza tanto física como lógicamente, la redundancia física se tiene con 2 dos interfaces para cada tarjeta (véase figura 4.5), se debe conectar cada interfaz a un quipo distinto:

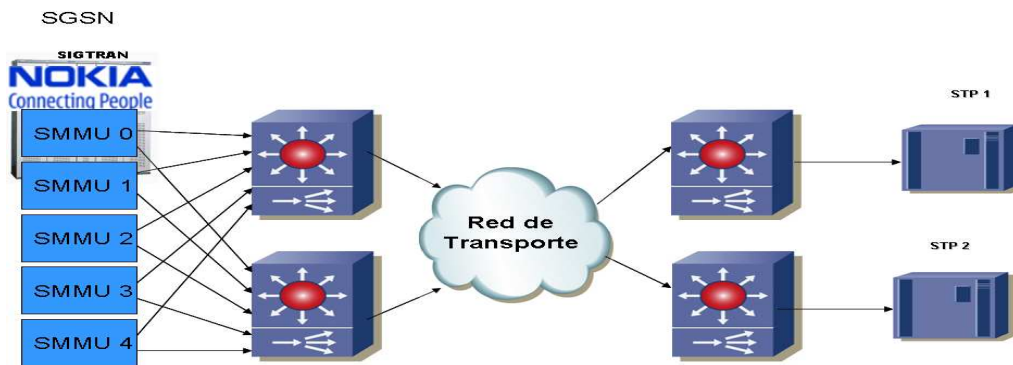


Figura 4.5 Conexión física en SIGTRAN para Nokia

La redundancia lógica se configura conectando 2 tarjetas por cada link set (véase figura 4.6), todas con ip distintas y manteniendo la asociación arriba todo el tiempo.

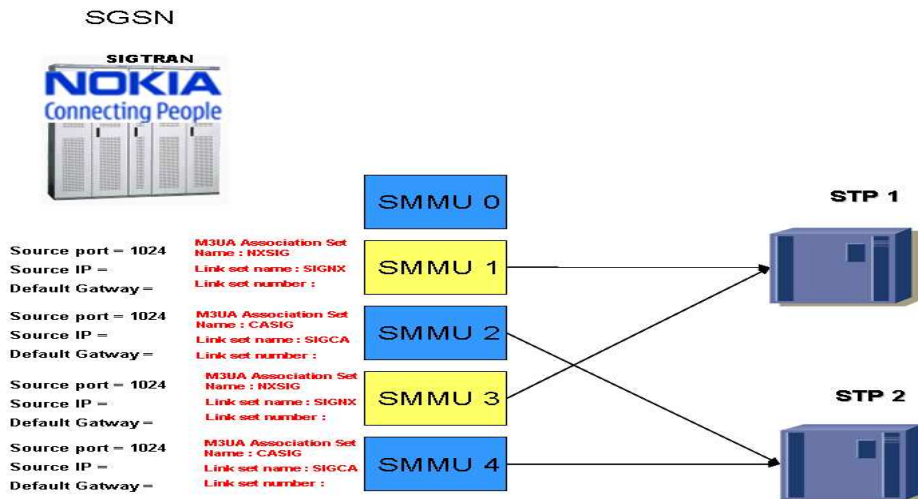


Figura 4.6 Asociaciones M3UA para Nokia

Aquí tanto la conectividad física como los procesos de señalización son ejecutados en la misma tarjeta.

En la caja de Ericsson la redundancia se alcanza de forma distinta, lo primero que debemos tomar en cuenta es que la conectividad física y el servicio de señalización en sí están en tarjetas distintas.

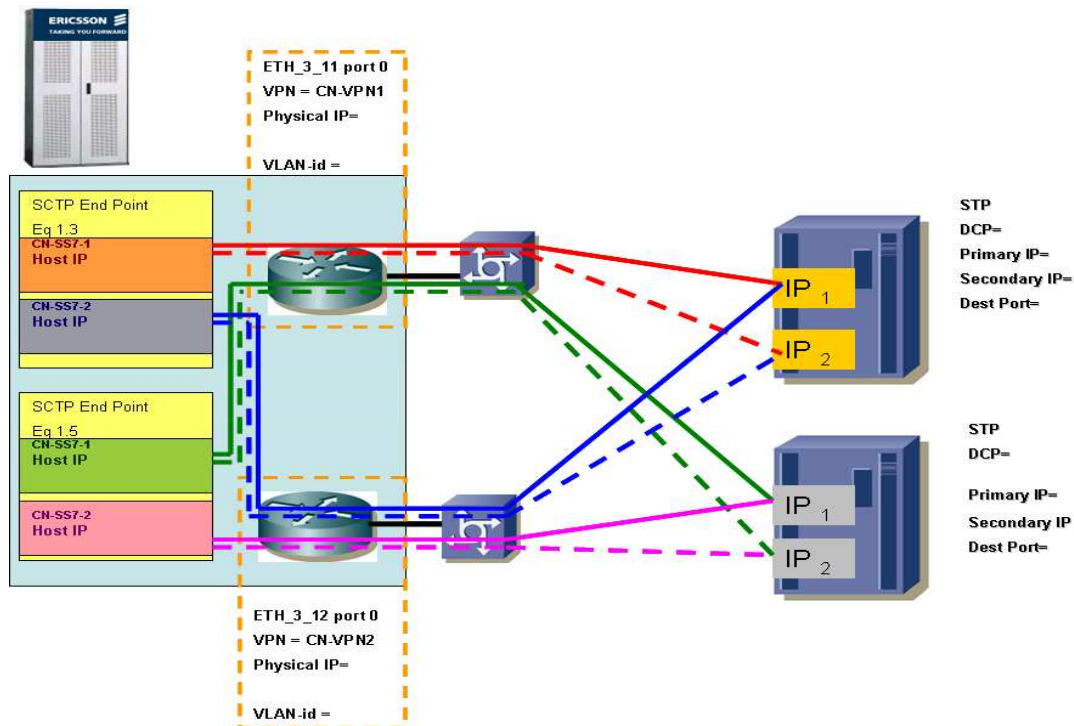


Figura 4.7 Configuración SIGTRAN para Ericsson

Para la redundancia física tenemos dos tarjetas que funcionan como routers conectadas a la red de transporte en equipos distintos (véase figura 4.7), todo el tráfico irá por una sola tarjeta pero si esta falla el sistema está configurado para que el tráfico conmute hacia la otra. El servicio de señalización, si está corriendo en 2 tarjetas independientes, se establecen asociaciones primarias y secundarias con los STP's en cada una de ellas, si perdemos una tarjeta de servicio la otra podrá mantener comunicación sin problemas (véase figura 4.7).

Una vez que los SGSN's tienen comunicación con los STP's por SIGTRAN la migración de las rutas de los HLR's se puede hacer de manera gradual. Primero configuraremos ambas tecnologías para cada HLR's con la misma prioridad, compartiendo carga. Poco después se puede cambiar la prioridad de TDM por una más baja, con esto todo el tráfico tendrá como primera opción SIGTRAN contando como respaldo TDM. Una vez que se haya probado la estabilidad de SIGTRAN las rutas de TDM pueden ser eliminadas.

Es necesario entender que la comunicación en SIGTRAN es solamente entre el SGSN y los STP's, el STP funciona como un gateway de señalización, la forma en que la red de señalización transporte el tráfico más allá de este punto no nos afecta.

4.1.4 Capacidad interfaz Gy

La interacción con el sistema de prepago se implemento primero a través de un tercer equipo el “Analizador de trafico” (véase figura 4.8). Este equipo se conectaba al GGSN y al sistema de prepago. Cada vez que el GGSN recibía una petición de activación contexto establecía una sesión de RADIUS con el TA, este a su vez iniciaba una consulta a prepago para saber si el usuario era prepago o pospago, si el usuario era prepago el cobro se realizaba en tiempo real.

Para poder realizar estas funciones el TA tendría que controlar todas las activaciones de contexto y filtrar el tráfico de los usuarios, esto lo convirtió en un punto muy sensible ya que cualquier falla afectaría a la red completa.

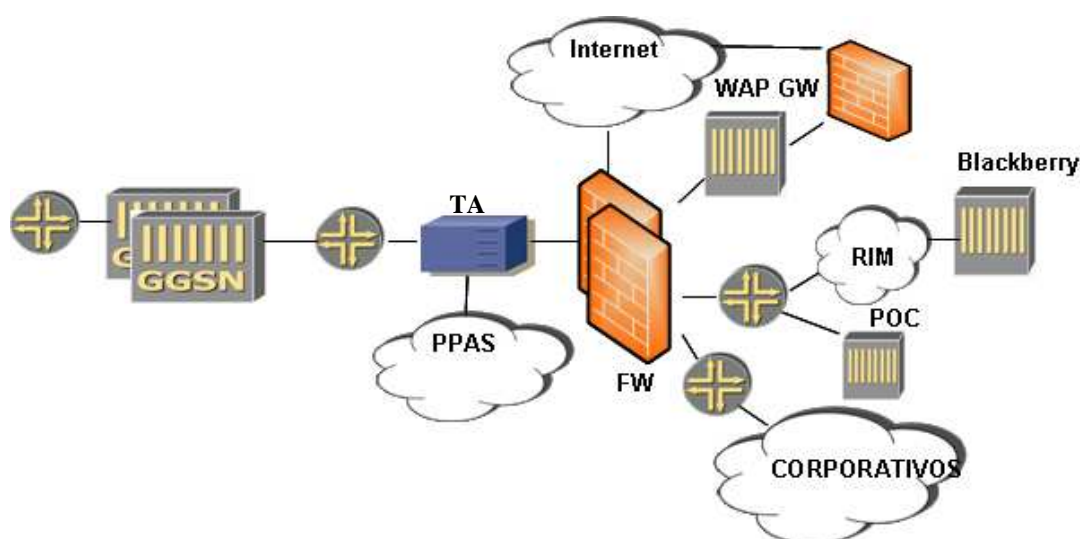


Figura 4.8 Interacción con prepago a través del TA

La cantidad de transacciones por segundo que esperábamos sobrepasaba por mucho la capacidad de este nodo por lo que fue necesario separar sus funciones. La primera de ellas era la consulta necesaria para saber si un usuario era prepago o pospago. Esto se puede solucionar desde el HLR, en el perfil del usuario es posible configurar un campo para saber si es prepago o pospago, la configuración de esta bandera para cada usuario llevo algunos meses. Esta solución no implicaría un aumento en las transacciones de señalización ya que el perfil lo obtenemos durante el proceso de registro. Simplemente hay que habilitar en el SGSN una función que se llama “Charging Characteristics”, con esto el SGSN envía este dato en la petición de activación de contexto PDP que envía al GGSN.

El cobro en tiempo real de los usuarios de prepago se mejoro comunicando directamente al GGSN con el sistema de prepago mediante la interfaz Gy, utilizando como protocolo diameter. La gran diferencia entre diameter y radius es el transporte que utilizan, radius utiliza UDP y diameter utiliza TCP, cuando había congestión en RADIUS los mensajes

simplemente se pierden diameter tiene muchas mas tolerancia a estos problemas ya que TCP maneja las retransmisiones de los mensajes perdidos.

En esta parte tenemos que involucrar una nueva funcionalidad en los GGSN's , DPI "Deep Packet Inspection". Al principio se menciona que las áreas comerciales querían realizar un cobro diferenciado, ciertas paginas web deberían ser gratis, la única forma de hacer esto es clasificar el tráfico de los usuarios. Esta clasificación se puede realizar por ip destino, puerto utilizado, dirección web navegada, etc. La forma en que esto funciona es realmente simple, el GGSN debe de revisar el encabezado de capa 3 y capa 7 de cada uno de los paquetes que transporta, obtener de ellos los datos que necesita y compararlos con las reglas que tenga configuradas, clasificando y cobrando el paquete de acuerdo a ellas.

El gran inconveniente de esto es la gran cantidad de recursos que consume este análisis, esto es muy importante ya que se tiene que dimensionar el impacto que tendrá esto en la capacidad total del GGSN. Esto presenta una disyuntiva en cuanto al diseño de la red, mantener la inspección de tráfico dentro de los GGSN's con todas las limitaciones de capacidad que esto implica o integrar una caja que realice exclusivamente esta función, esto liberaría los recursos del GGSN pero traería nuevos posibles puntos de falla a la red.

4.1.5 Capacidad de RADIUS

La función principal del WAP Gateway es adecuar el contenido de las páginas de internet a las capacidades técnicas de los móviles, un celular no tiene la misma capacidad de memoria o procesamiento que una computadora. También interactúa con otros sistemas, como el sistema de cobro de contenidos, ringtones o video juegos es un ejemplo, el sistema de mensajes multimedia, etc. Para poder realizar sus funciones correctamente necesita tener la relación de los usuarios y la dirección ip que utilizan, esto datos los obtiene del GGSN mediante sesiones de RADIUS. El WAP Gateway debe de ser capaz de procesar tantas sesiones de RADIUS provenientes del GGSN como activaciones de contexto para el apn de wap tengamos, de lo contrario tendremos problemas en la activación de contexto PDP reflejándose como tiempos de espera muy elevados en las respuestas entre los elementos de la red.

Una vez obtenidos los cálculos y vista superada la capacidad del WAP Gateway será necesaria una expansión en este nodo, sin embargo en caso de problemas muy serios de congestión se pueden realizar algunas adecuaciones en el GGSN que nos ayudaran a disminuir la carga.

En el GGSN se pueden configurar como se establecen las sesiones de RADIUS, cuando recibimos una petición de activación de contexto PDP para WAP el GGSN inicia la sesión de RADIUS y envía los datos del usuario, depende de la forma de configuración en modo "Acknowledge" o "Unacknowledge", si esperamos o no a que el WAP nos envíe una confirmación de que recibió los datos del usuario para que el GGSN le active el contexto PDP al usuario. Utilizando el modo "Unacknowledge" reducimos un poco la carga de señalización entre ambos nodos ya que no haríamos ningún reintento por establecer la sesión de RADIUS, no expiraran los tiempo de espera entre los nodos y se reducen los mensajes de error que recibe el usuario final, sin embargo si activamos el

contexto de un usuario y el WAP Gateway no recibió sus datos simplemente no tendrá tráfico.

4.2 Adecuaciones necesarias para 3G

4.2.1 Análisis de arquitectura centralizada para servicio de Banda Ancha

Como vimos en los primeros capítulos 3G afecta directamente a la capacidad de transporte de la Red, analizando el estado actual de la red se llegó a las siguientes conclusiones:

- Capacidad de enlaces en interfaz Iu insuficiente
- Capacidad de SGSN Nokia en procesamiento de paquetes insuficiente
- Capacidad de enlaces Gn insuficiente
- Capacidad de GGSN en procesamiento de paquetes insuficiente
- Capacidad de Firewall en la salida a internet insuficiente
- Capacidad salida internet insuficiente.

Lo que tenemos que hacer simplemente es aumentar la capacidad de transporte de toda nuestra red. Si mantenemos la arquitectura actual, centralizando los servicios es necesario aumentar la capacidad de todos nuestros nodos y de los enlaces que los comunican.

Los puntos de acción necesarios son :

- Aumento de capacidad de enlaces intra regionales, interfaz Iu.
- Implementación de nuevos SGSN's, capacidad de procesamiento de tráfico de usuario.
- Aumento de capacidad de enlaces inter regionales, interfaz Gn
- Implementación de nuevos GGSN's , capacidad de inspección de tráfico de usuario.
- Incremento en capacidad de Firewall e integración de nuevas salidas a internet, interfaz Gi.

Revisando la arquitectura de red actual se encontraron posibles puntos de falla:

- El mantener los servicios masivos centralizados implica grandes costos en el transporte, ya que la interfaz Gn viaja desde todas las regiones del país hacia el centro.
- Existe una gran dependencia de los enlaces que comunican al DF con todo el país, si estos enlaces fallan afectaremos al tráfico de toda la red.
- La cantidad de GGSN y FW's necesarios hacen que el espacio físico y la fuerza que requieren no sea factible en una sola central, una oscilación en la fuerza del sitio repercutiría de forma general.

4.2.2 Clusters regionales

Esto puede ser resuelto si dejamos la arquitectura centralizada y diseñamos pequeños clusters regionales. Dividiremos a la red en celdas, cada una de ellas tendrá sus propios GGSN's, Firewalls y salida propia a Internet (véase figura 4.9).

Para poder implementar una solución como esta será necesario integrar los nodos de la red GPRS a una red de transporte nueva, switches y routers con gran capacidad.

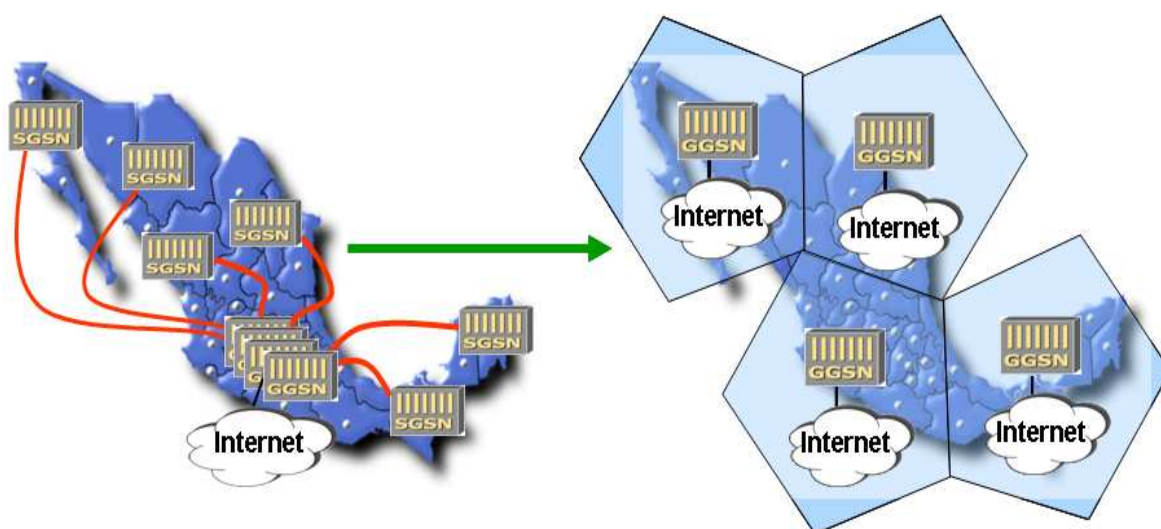


Figura 4.9 Clusters Regionales

Cada cluster estará compuesto 2 GGSN's, 2 Firewall's y 2 salidas a Internet, separadas geográficamente (véase figura 4.10).

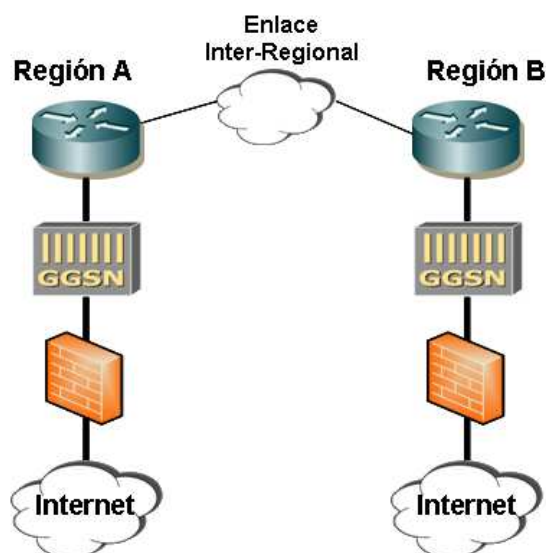


Figura 4.10 Configuración Gi para Cluster Regional

Con esta configuración ambos GGSN's darán servicio a ambas regiones, esto se logra configurando el DNS para que resuelva con la dirección de ambos nodos cada vez que algún SGSN realice una consulta, de esta forma si perdemos un GGSN simplemente el otro tomara toda la carga. En cuanto al Firewall y la salida a Internet también tenemos redundancia ya que si perdemos cualquiera de estos elementos mediante ruteo se puede redireccionar el tráfico hacia la otra región. Es importante que el enlace inter-regional que los comunica este dimensionado para soportar la Gn completa de cualquiera de las regiones. La cantidad de GGSN requeridos en cada cluster depende de la cantidad de tráfico que esperamos y de la capacidad de los nodos que utilizaremos.

4.2.3 Migración a nueva red de transporte

Para que esta configuración sea posible es necesario migrar los nodos de la red a equipos de transporte con mayor capacidad.

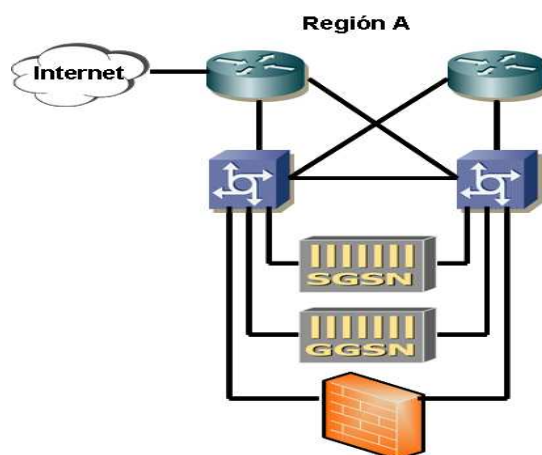


Figura 4.11 Nueva red de transporte

Con este diseño tenemos un alto grado de resistencia a las fallas físicas, como lo son las fallas en cables o tarjetas de red, sin embargo aquí hay que tener en cuenta la diferencia entre interfaces físicas y lógicas (véase figura 4.11).

La interfaz que existe entre los nodos y los switches debe tener la capacidad suficiente para transportar todo el tráfico de cada caja, no importa si se escoge compartir la carga o mandar todo el tráfico por una sola interfaz.

4.2.3.1 Análisis de Tráfico

El siguiente punto es crítico, la interfaz que comunica al router con el switch tendrá que soportar todo el tráfico de las interfaces lógicas de todas las cajas, Iu (SGSN - RNC), Gn (SGSN-GGSN), Gi (GGSN-Firewall) y Gi (Firewall - Internet). Esto se debe a que todo el tráfico debe llegar al router y de ahí ser enrutado hacia el siguiente nodo. Si decidimos utilizar una sola rama del transporte, es decir que todo el tráfico vayan por el switch y el router uno la interfaz que comunica a estos elementos deberá de ser dimensionada a 3 veces la Gn de ese SGSN (véase figura 4.12).

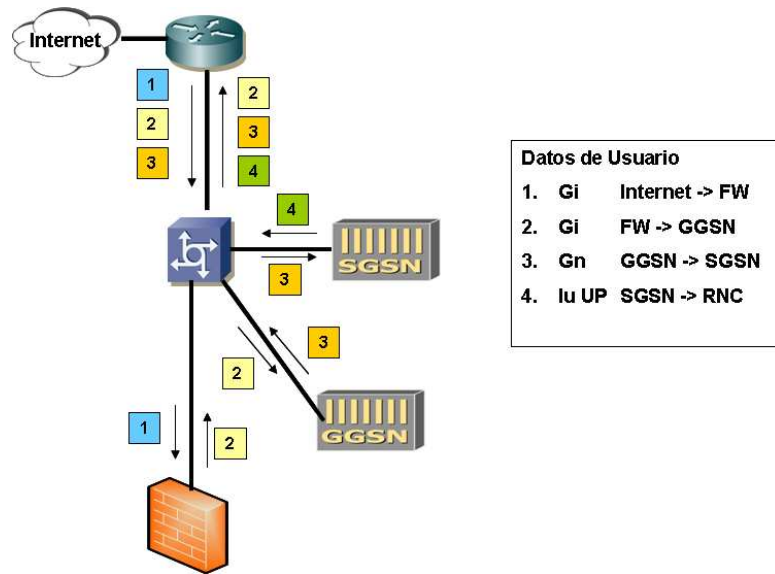


Figura 4.12 Análisis de tráfico local

El esquema anterior nos muestra el flujo del tráfico de datos de un solo usuario utilizando una rama del transporte como primaria, este sería el peor escenario. Con los esquemas de redundancia implementados entre los switches y routers no es relevante si distribuimos el tráfico o no entre ellos mientras las interfaces estén dimensionadas para soportar el caso descrito anteriormente.

4.2.3.2 Cambio de configuración en Gn y Gi

El caso anterior representa un uso muy ineficiente de recursos cuando los nodos se encuentran en el mismo sitio, pero puede ser resuelto rediseñando la configuración de las interfaces Gn (SGSN - GGSN) y Gi (GGSN - Firewall).

La configuración actual es la siguiente:

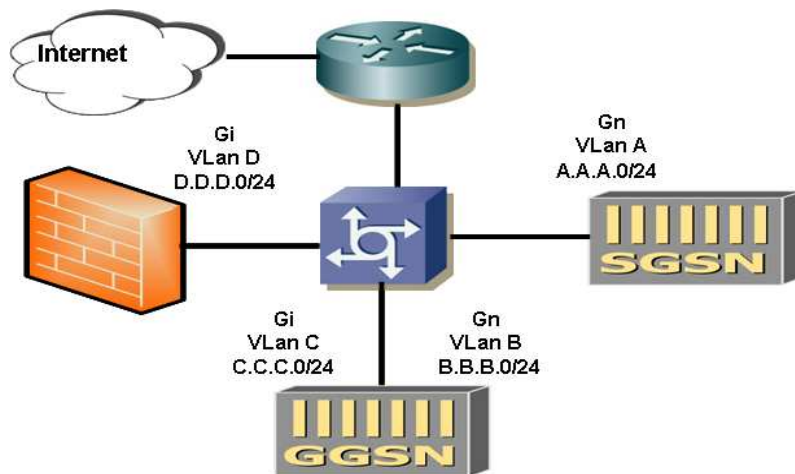


Figura 4.13 Configuración IP Actual

Como podemos observar la interfaz de Gn y Gi de cada nodo tiene tanto vlan's como direccionamiento físico perteneciente a subredes distintas debido a esto es necesario que todo el tráfico suba al router para ser direccionado al destino correcto.

Esto se puede solucionar si logramos que todos los elementos involucrados en cada interfaz pertenezcan a la misma VLAN y tengan direccionamiento perteneciente a la misma subred.

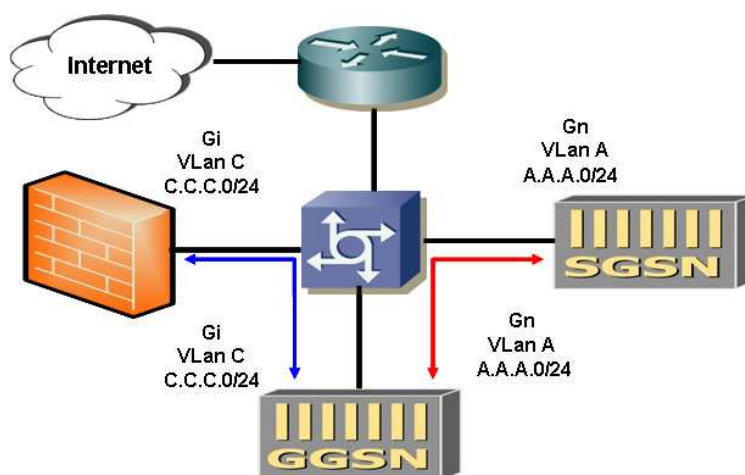


Figura 4.14 Cambio de configuración IP

Una vez que hemos conseguido conectividad física sin tener que pasar por el router, lo siguiente será el enrutamiento entre los elementos que conforman cada interfaz.

Para esto hay que entender como funciona cada modelo de SGSN y GGSN.

Los SGSN's Nokia utilizan la misma ip para la conectividad física como para ofrecer los servicios de Gn, sin embargo el SGSN Ericsson utiliza ip's distintas, una ip para la conectividad física y una para ofrecer el servicio de Gn, estas ip's no pueden pertenecer al mismo segmento de red.

Todos los GGSN's y Firewalls que tenemos utilizan direccionamiento distinto tanto para las interfaces físicas como para los servicios de Gn y Gi,

Existen otras limitaciones en cuanto a los protocolos de enrutamiento que pueden manejar los nodos, todos los nodos de nuestra red pueden manejar protocolos de enrutamiento dinámicos, el ejemplo mas simple es OSPF, a excepción de los SGSN's Nokia, con ellos solamente podremos utilizar enrutamiento estático.

Para la interfaz Gn utilizaremos dos soluciones, dependiendo de que SGSN tengamos, en el caso de Nokia utilizaremos rutas estáticas:

0.0.0.0	Sub interfaz Gn Router
Servicio Gn GGSN	IP Interfaz Física del GGSN

Para los SGSN's de Ericsson estableceremos 2 vecindades de OSPF, una con la sub interfaz Gn del router y otra con el GGSN, la tabla de enrutamiento quedara de la misma forma que en el ejemplo anterior, con la ruta de default apuntando hacia el router y la ruta

de los servicios de Gn del GGSN apuntando a las ip's de las interfaces físicas del GGSN. La principal ventaja entre los protocolos de enrutamiento estáticos y los dinámicos es que en estos últimos los cambios en el direccionamiento se propagan en automático, con las rutas estáticas es necesario reescribirlas con cada cambio.

La tabla de enrutamiento en el GGSN para Gn quedará de la siguiente forma:

SGSN Nokia

0.0.0.0	Sub interfaz Gn Router
Servicio Gn SGSN	IP Gn SGSN

SGSN Ericsson

0.0.0.0	Sub interfaz Gn Router
Servicio Gn SGSN	IP Interfaz física SGSN

Para la conexión en la Gi los GGSN's establecerán dos vecindades de OSPF, una hacia la subinterfaz Gi del router y otra con el firewall, la tabla de enrutamiento será:

Gi	
0.0.0.0	Firewall
0.0.0.0	Sub interfaz Gi Router

Lo importante aquí es entender la diferencia entre la Gn y la Gi, el tráfico de Gn es siempre entre el SGSN y el GGSN, las direcciones de estos elementos no cambian. La dirección de default que observamos en las tablas de Gn se utilizara cuando los nodos se tengan que comunicar con algún SGSN o GGSN en otra región del país. En la Gi la comunicación es entre las ip's de los usuarios e Internet, cada usuario visitara una pagina web diferente y como no tenemos una ruta específica para cada sitio web todo es enrutado hacia la ruta default. A través de las vecindades de OSPF el GGSN esta recibiendo dos rutas default, cual tomara como primaria esta dado por el costo de la ruta que cada nodo le anuncia, este costo de OSPF es configurado en cada nodo, lo que haremos será configurar al firewall para que anuncie la ruta con menor costo.

Ahora que ya no hay problemas con las interfaces que comunican a los nodos es necesario implementar una solución al procesamiento de los nodos, como hablamos al principio tanto el SGSN como el GGSN tienen una capacidad limitada de paquetes por segundo que pueden cursar.

4.2.4 Direct Tunnel

En el SGSN existe una opción, como se menciona anteriormente las interfaces Gn e Iu UP utilizan el mismo protocolo de transporte GTP por lo que es posible enviar directamente el trafico del GGSN hasta la RNC, a esta configuración se le llama "Direct Tunnel".

El principio bajo el que funciona es muy simple, cuando realizamos el proceso de señalización de Activación de Contexto PDP todos los nodos involucrados tienen el Tunnel Id del nodo al que deben enviar la información:

El GGSN tiene la dirección ip del SGSN y un Tunnel Id para señalización y otro para tráfico de usuario

El SGSN por su parte tiene la dirección ip del GGSN y los Tunnel Id de señalización y tráfico, así como el tunnel id del RNC para el tráfico de usuario

La RNC tiene el tunnel Id del SGSN para el tráfico de usuario

Cuando un usuario requiera transmitir algo lo primero que se hace es asignarle recursos de radio en la RNC, cuando esto ocurra realizaremos un proceso de señalización llamado Actualización de Contexto PDP “engañando” al GGSN diciéndole que el usuario ha cambiado de SGSN y que estos son los nuevos datos, le enviaremos los datos de la RNC con esto se debe de establecer un nuevo tunnel GTP – U entre estos nodos.

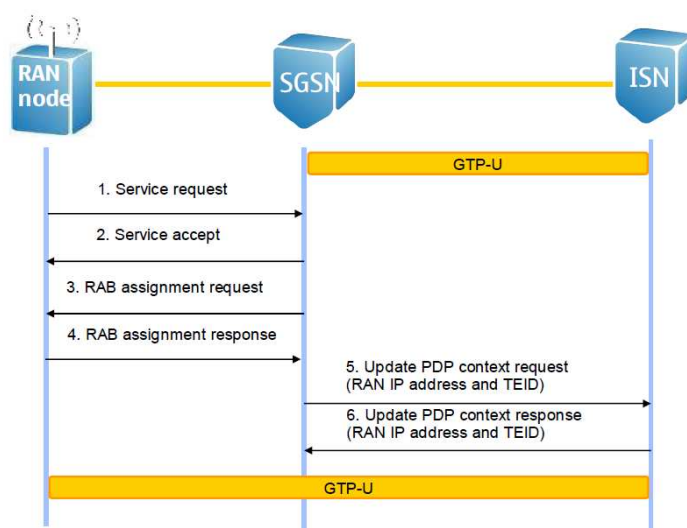


Figura 4.15 Señalización para Direct Tunnel

Este proceso se basa en la señalización de la interfaz Gn por lo que no es necesaria ninguna modificación en la RNC o el GGSN, sin embargo es necesario asegurar que haya comunicación ip entre el GGSN y las RNC's. Hay que tomar en cuenta que la señalización entre el SGSN y el GGSN va a aumentar ya que por cada petición de recursos de radio en 3G abra una Actualización de Contexto PDP.

Con la introducción de esta nueva funcionalidad el SGSN dejara de procesar todo el tráfico de la APN para la que se configure “Direct Tunnel”. El objetivo es implementar esto para las apn's masivas, internet es un ejemplo, de esta forma el SGSN ya solo se hará cargo de la señalización con el GGSN y la RNC.

Capítulo 5

CONCLUSIONES

El dimensionamiento realizado al inicio de la integración de la red 3G nos dio una idea del impacto que tendría esta nueva tecnología en los nodos que integran la red de datos así como en los nodos utilizados en el transporte. Esto nos dio la pauta y las prioridades en las actividades que debimos realizar para poder un brindar un excelente servicio a nuestros clientes durante este proceso de integración.

El primer ejercicio de dimensionamiento se realizo con datos proporcionados por las áreas comerciales, cuantos usuarios esperábamos de 3G, cuantos usuarios nuevos de prepago tendríamos, etc. Una vez que tengamos una tendencia de crecimiento estable lo mejor es volver a realizar el dimensionamiento con los datos que vayamos recolectando de usuarios reales. Se tiene que tomar en cuenta que el comportamiento de los usuarios no será lineal, muchísimos son los factores que afectan esto principalmente comerciales. Los ejemplos más sencillos son las bajas en las tarifas de cobro o algún modelo de teléfono nuevo que llega al mercado, por lo que realizar ejercicios de dimensionamiento periódicamente y mantener un monitoreo constante sobre los porcentajes de ocupación en nuestras plataformas nos evitara sorpresas.

Las formulas presentadas aquí fueron diseñadas en base al análisis realizado de los protocolos de señalización de GPRS, funcionamiento de los nodos involucrados y la experiencia adquirida.

El cambio de arquitectura de centralizada a clusters regionales mejora significativamente el desempeño de la red, disminuyendo los tiempos de respuesta y latencia entre nodos. Un beneficio adicional fue la reducción de los costos de transporte.

La implementación de nuevas tecnologías como son SIGTRAN y Direct Tunnel disminuirán significativamente la carga de trabajo del SGSN, esto significa un tiempo de vida mayor para este nodo, por otro lado los requerimientos de las áreas comerciales hacen mandatorio la implementación de la inspección de trafico en el GGSN reduciendo significativamente la capacidad de estos nodos, por lo que integrar nuevos nodos de gran capacidad será imperativo de ahora en adelante.

Sin embargo mas allá de que tan precisas sean las predicciones realizadas es necesario tener comunicación constante con todas las áreas involucradas ya que siempre hay factores inesperados durante el diseño, implementación, integración, operación, etc. Para poder sortear estos inconvenientes es necesario que todas las áreas tengan un alto grado de compromiso y disposición, de esta forma cualquier detalle que surja durante este proceso podrá ser analizado y en consecuencia resuelto desde varios puntos de vista y de manera mucho más rápida.

Participación:

Como analista del departamento de Optimización de Red GPRS/Core Datos mis funciones principales fueron:

- Analizar el comportamiento de los protocolos de señalización involucrados y correlacionarlo con los posibles impactos en el funcionamiento de los nodos.
- Diseño de formulas de dimensionamiento.
- Dimensionamiento de los nodos SGSN y GGSN.
- Dimensionamiento del tráfico esperado en las interfaces Gb, Iu, Gn , Gr, Gy y Gi.
- Diseño e implementación de SIGTRAN.
- Expansión de interfaces Gb e Iu.
- Coordinación de los trabajos necesarios para la implementación de nuevos nodos así como las migraciones de tráfico hacia ellos.
- Coordinación de las migraciones hacia la nueva red de transporte.
- Trouble shooting necesario durante las afectaciones de servicio ocurridas durante o después de las actividades antes mencionadas.

Si bien los conocimientos necesarios para todas estas actividades los he adquirido durante mi experiencia profesional, la educación recibida en la UNAM me dio las bases para hacerlo. Lo primero que se nos enseña como ingenieros es a asumir la responsabilidad de todas las actividades que realizamos, para esto es necesaria una total comprensión del trabajo a realizar y de las variables que lo afectaran, disminuyendo la probabilidad de posibles eventualidades. El trabajo en equipo es fundamental para realizar un buen trabajo de ingeniería, para que esto funcione debemos de saber y comprender el trabajo que realizan los miembros de nuestro equipo, de esta forma podemos entender como nos afecta su trabajo y como podemos ayudarlos a ellos. Una buena coordinación disminuirá el tiempo de respuesta hacia los retos más difíciles que enfrentemos. Sin duda alguna los hábitos de estudio y trabajo inculcados durante la carrera me han dado una visión distinta de la ingeniería y gracias a ello he podido desempeñarme exitosamente en mi vida profesional.

BIBLIOGRAFÍA

3GPP, TS 24.008 “*Mobile radio interface Layer 3 specification*”, Rel 7.

3GPP, TS 29.060 “*GPRS Tunnelling Protocol (GTP) across the Gn and Gp interface*”, Rel 99.

3GPP, TS 23.107 “*QoS Concept and Architecture*”, Rel 99.

3GPP, TS 23.016 “*Subscriber data management; Stage 2*”, Rel 99.

3GPP, TS 23.060 “*Service description; Stage 2*”, Rel 5.

3GPP, TS 25.413 “*UTRAN Iu interface RANAP signalling*”, Rel 99.

3GPP, TS 29.202 “*SS7 Signalling Transport in Core Network*”, Rel 4.

Andersson ,Christoffer, “*GPRS and 3G Wireless Applications*”, John WILEY & Sons, 2001.

Sanders, Geoff, “*GPRS Networks*”, John WILEY & Sons, 2003.

Hillebrand, Friedhelm , “*GSM and UMTS*”, John WILEY & Sons, 2001.

Kreher, Ralf, “*UMTS Performance Measurement*”, John WILEY & Sons, 2001.

Guoyou, He, “*UMTS Procedure Examples*”, Special Course in Data Communications, 2003