



**TECNOLÓGICO
DE MONTERREY**®

TESIS

presentada al

**Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey
Campus Ciudad de México**

para la obtención del grado de

**MAESTRO EN ADMINISTRACIÓN DE LAS
TELECOMUNICACIONES**

por

Mayra Jeniffer Díaz de la Fuente Estrada



**TECNOLÓGICO
DE MONTERREY**

Biblioteca
Campus Ciudad de México

**Modelo probabilístico aproximado del
tráfico de señalización de redes de datos
celulares**

Defendida el de 02 de Mayo del 2012 ante el comité de tesis:

Asesor:

Dr. Francisco Javier Cuevas Ordaz

Profesor del ITESM-CCM

Coasesor:

Mtra. Martha De Gante

Profesor del ITESM-CCM

Sinodales:

Dr. Luis Jaime Neri Vitela

Profesor del ITESM-CCM

Dr. Víctor Manuel de la Cueva Hernández

Profesor del ITESM-CCM

Dr. Raúl Morales Salcedo

Profesor del ITESM-CCM

Trabajo efectuado al seno de la Escuela de Graduados en Ingeniería y Arquitectura del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Campus Ciudad de México.

Índice

Introducción.....	1
Capítulo I QoS VS QoE.....	4
1.1 Definiendo QoS.....	5
1.2 Evaluación de QoS en una red celular de datos.....	6
1.3 Definiendo QoE.....	10
Capítulo II Análisis de Cuello de Botella.....	12
2.1 Análisis de cuello de botella.....	13
2.1.1 Análisis de Transacciones por segundo para un equipo de 2G.....	18
2.1.2 Análisis de Transacciones por segundo para un equipo de 3G.....	23
Capítulo III QoS en LTE.....	27
3.1 Definiendo LTE.....	28
3.2 Beneficios de LTE.....	30
3.3 Arquitectura LTE/SAE.....	31
3.3.1 eNodeB.....	31
3.3.2 MME.....	32
3.3.3 S-PW y P-GW.....	33
3.4 LTE QoS.....	34
3.4.1 Estructura del QoS en EPS.....	36
3.4.2 Control de QoS en LTE.....	37
Capítulo 4 Modelo Matemático.....	41
4.1 Modelo Matemático.....	43
4.2 Modelo y simulaciones en Matlab.....	50
Conclusiones.....	54
Apéndices.....	56
Referencias.....	58

Introducción

El crecimiento de las redes celulares de datos en el mercado abre un área de interés en las telecomunicaciones, evaluar la experiencia diaria de los usuarios en el uso del servicio que las empresas de telefonía celular les brinda. Las personas hacen uso de las terminales o dispositivos móviles en su vida diaria para llamadas de voz, mensajes de texto, mensajes multimedia, envío y recepción de correo electrónico, acceso a Internet, redes sociales, etc. Es por ello que a los operadores y proveedores de equipo de red les sería de gran utilidad correlacionar la evaluación de la calidad de su servicio contra la evaluación de la experiencia del usuario.

El objetivo del presente trabajo de investigación es obtener un modelo matemático que permita representar cómo es afectada la calidad de experiencia de un usuario de una red móvil de datos en términos de tráfico de control (señalización).

El tráfico en las redes celulares se divide en tráfico de control y tráfico de usuario. El tráfico de usuario es el *throughput*¹ que el usuario utiliza en una descarga/carga de datos. Y el tráfico de control son los mensajes de señalización que el modem ó terminal utiliza para registrarse a la red, iniciar una sesión de datos y mantenerla activa incluso en movimiento geográfico del usuario.

La capacidad de un equipo se ha venido midiendo en términos de tráfico de usuario; sin embargo, con las tendencias que los mismos usuarios han venido introduciendo (movilidad, always on, etc...) ya no es suficiente medir esta capacidad en estos términos ya que los equipos pueden saturarse incluso antes de que el usuario obtenga la descarga/carga de datos, en la etapa del establecimiento del servicio ó incluso en el registro a la misma red.

¹ Medición de la velocidad de carga y descarga de datos en Mbps

El Capítulo I se enfocará en describir lo que son y cómo se miden QoS (*Quality of Service*) y QoE (*Quality of Experience*). En este capítulo se definirá QoS en términos generales y luego en específico aplicado a las redes celulares de datos. Posteriormente, se definirá QoE y la importancia de que los operadores evalúen su red tomando en cuenta este indicador.

El presente documento inicia con la definición de estos dos términos con la finalidad de poner en contexto al lector de la importancia que tiene el medir la calidad de los servicios brindados por los operadores a los usuarios y más relevante aún la importancia de medir la perspectiva de los usuarios que no siempre coincidirá con los parámetros reales de la red.

En el Capítulo II se analizan los factores que provocan cuellos de botella en las redes de datos celulares actuales y futuras. Para esto se hablará acerca del proceso para la generación de una llamada de datos, así podremos ver los elementos de red involucrados en él y mostrar cuál de estos es el potencial cuello de botella y por qué.

La importancia de encontrar el cuello de botella en las redes celulares actuales y futuras es el poder analizar en una perspectiva más real, desde el punto de vista del usuario final, cómo recibe el servicio el usuario. Con esto los operadores de red podrán dimensionar de mejor manera la capacidad del equipo que sea el responsable de la mala experiencia del servicio.

El Capítulo III contendrá la explicación de la red celular LTE (*Long Term Evolution*) y QoS de la misma. Se mencionarán los equipos que intervienen en una red LTE y sus funciones. Además, se revisará cómo es que se tendrá cuidado en la QoS que se ofrecerá al cliente y se hará un breve comparativo con el manejo de QoS ofrecido en 3G (Tercera Generación de las redes móviles).

Es importante notar que el tratamiento de QoS ha venido evolucionando conforme las exigencias de los usuarios han ido demandando de los servicios que se les proporciona. A través del tiempo los usuarios han exigido mayor movilidad, mayor disponibilidad de servicio, mayor velocidad de descarga y con esto los operadores han tenido que cambiar la forma de cuidar la calidad de servicio de su red.

El Capítulo IV se enfocará en el modelo probabilístico; es decir, la representación del tráfico en la red basado en Matlab y en sí es la aportación mayor de este trabajo de investigación. Se tomará el cuello de botella definido en el capítulo II y se incluirán gráficas y muestras tomadas aleatoriamente de un operador.

Finalmente se presentan las aportaciones de esta tesis y el apéndice que incluye el programa para la simulación en Matlab.

Capítulo I QoS vs QoE

En este primer capítulo se revisarán a detalle los términos QoS y QoE, y los indicadores KPIs (*Key Performance Indicators*) para la evaluación en una red celular. Se incluirá una explicación breve de los equipos que actualmente participan en la generación de una llamada de datos para una red 2G/3G (Segunda y Tercera Generación).

Evaluar QoS en una red de datos celulares es importante para mantener monitoreada la calidad del servicio brindada al cliente (usuario final). La calidad de servicio es evaluada en términos de parámetros de los equipos de la red. Contrario a esto QoE evalúa la calidad de experiencia del cliente con parámetros que se basan en las percepciones del usuario final.

Evalutando ambos (QoS y QoE) los proveedores de telefonía celular podrán mantener satisfechos a sus clientes y por lo tanto adquirir un diferencial en el mercado lo que les permitirá incluso diferenciales en las tarifas ofrecidas para sus servicios.

Una forma de evaluar el QoS en los elementos de una red celular es con los KPIs, estos no son más que indicadores del comportamiento de dichos elementos en la red, en este capítulo se describirán algunos de estos indicadores.

1.1 Definiendo QoS

Empezaremos definiendo el término calidad, término que puede tomar diversos atributos dependiendo el contexto en el que se encuentre.

Relacionado a las redes de datos, calidad es usualmente usado para describir el proceso de entrega de datos.

Calidad es también usado para hacer referencia a características específicas de cierta red, aplicación o protocolos y su nivel de constancia; por ejemplo, tiempo de respuesta en aplicaciones interactivas.

QoS (*Quality of Service*) es un término más específico, usado para medir un conjunto de atributos asociados con un cierto servicio. En el caso de IP (*Internet Protocol*), QoS se refiere al tratamiento que se les da a los paquetes en cuanto a catalogación y optimización de los mismos [1], [23].

El término calidad de servicio se define como “el efecto colectivo del desempeño (*performance*) del servicio, el cual determina el grado de satisfacción del usuario de dicho servicio” [1], [13].

El concepto de QoS se introdujo a las redes porque existen usuarios que pagan por obtener un mejor servicio. QoS separa el tráfico de las redes en diferentes clases y los proveedores de red tienen diferente trato para los diferentes tipos de tráfico. Para lograr esto, se han ido introduciendo diferentes mecanismos en los equipos de red para transportar el tráfico basados en prioridades para que las diferentes aplicaciones no sean afectadas por condiciones de congestión de la red.

1.2 Evaluación de QoS en una red celular de datos

Para evaluar QoS en las redes celulares se utilizan KPIs. Los KPIs son una medida de desempeño para parámetros predefinidos, miden el nivel de desempeño de un proceso, de forma que se pueda alcanzar el valor u objetivo fijado. Para el tema de redes de datos celulares se tienen ya KPIs establecidos para evaluar el desempeño de la red los cuales serán definidos dentro de los capítulos siguientes.

Algunos de estos KPIs utilizados en una red 2G/3G miden el desempeño y capacidad de la red y en la (Figura 1.1a y Figura 1.1b) se puede ver a detalle esta clasificación.

- **Desempeño**
 - Accesibilidad
 - ATTACH¹ SUCESS RATIO
 - PDP (*PACKET DATA PROTOCOL*) CONTEXT² SUCCESS RATIO
 - Retención
 - CUT OFF³ RATIO
- **Capacidad**
 - PAPU CPU LOAD
 - TPS (*TRANSACTIONS PER SECOND*)
 - THROUGHPUT
 - ATTACH & PDP CAPACITY

¹ Registro a la red de datos

² Adquisición de IP para navegación en la red de datos. apertura de la sesión de datos

³ Corte de la llamada de datos

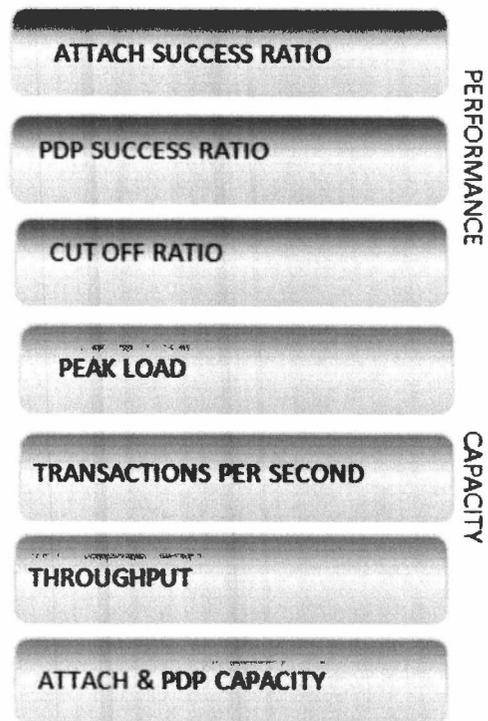


Figura 1.1a Clasificación de KPIs

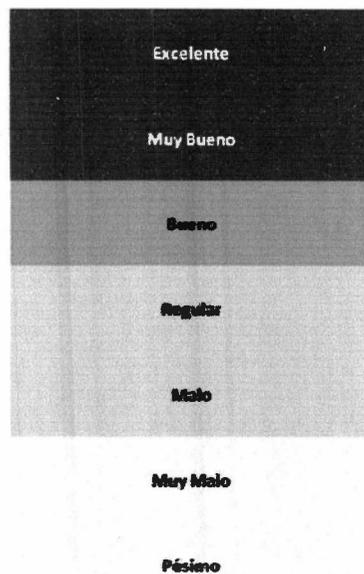


Figura 2.1b Clasificación de KPIs

En una red 2G/3G los equipos que intervienen en el proceso para que un usuario final tenga servicio de datos se muestran en la (Figura 1.3).

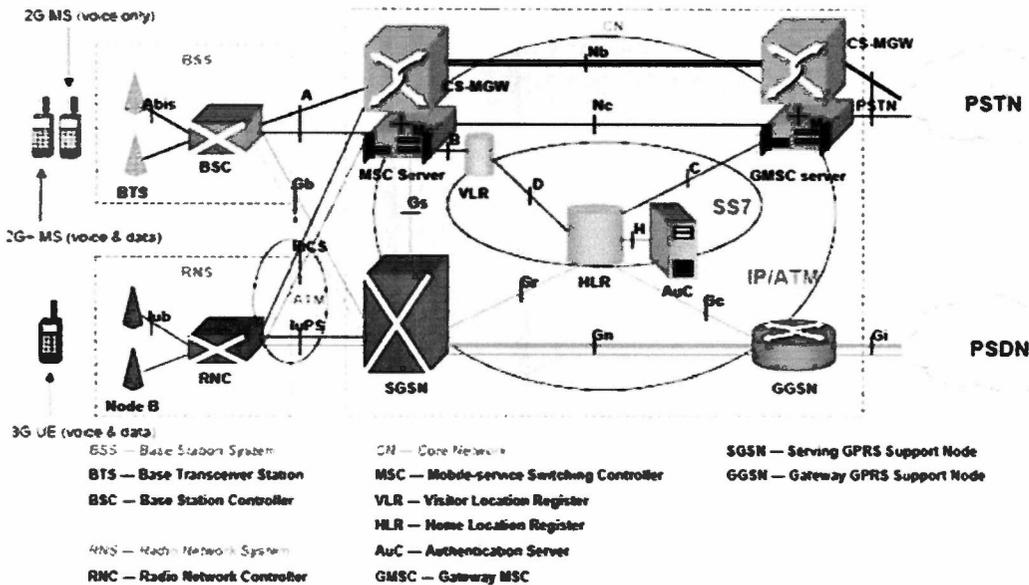


Figura 1.3 Equipos que intervienen el proceso de una llamada de datos para una red [tomada de 28]

El SGSN (*Service General Packet Radio Service Support Node*) es el responsable de conectar la parte de acceso/radio con el *packet core*, específicamente el GGSN (*Gateway GPRS Support Node*) para que éste último de acceso al móvil a la red de datos externa (ej.: internet). Además el SGSN realiza procesos de autenticación del usuario.

Ya que el SGSN es el nodo que da acceso al *packet core*, revisaremos los KPIs mencionados arriba en este nodo.

El SGSN cuenta con diferentes unidades, algunas de ellas con CPU. De estas unidades con CPU, existen algunas (servidores) que se encargan del procesamiento de datos y conversión de protocolos entre la parte de acceso y el *packet core*. Además maneja los procesos de MM (*Mobility Management*) y SM (*Session Management*).

Dos de los KPIs que afectan directamente al desempeño del SGSN, en términos de capacidad, son TPS y carga en el CPU. Si estos dos KPIs no se encuentran en valores óptimos afectarán el resto de los KPIs de *performance* del equipo.

Las TPS se definen como transacciones por segundo que realiza el usuario y recibe el SGSN (en específico los servidores). Estas TPS son la sumatoria de eventos de movilidad y de sesión. Las transacciones de movilidad incluyen *attach*, *detach* y RAU⁴ (*Relocation Area Update*). Las transacciones de sesión incluyen activación, desactivación y modificación de PDP *context*.

$$\text{TPS}_{\text{TOT}} = \text{TPS}_{\text{MM}} + \text{TPS}_{\text{SM}}$$

$$\text{TPS}_{\text{MM}} = \text{ATTACH} + \text{DETACH} + \text{RAU}$$

$$\text{TPS}_{\text{SM}} = \text{PDP CTXT ACT} + \text{PDP CTX DEACT} + \text{PDP CTXT MOD}$$

Estas transacciones son tráfico de control o señalización ya que no manejan el tráfico de usuario lo cual involucraría que el usuario baje o suba información o descargue datos de una página de internet.

Si estos eventos de señalización sobrepasan un límite recomendado establecido por SGSN o unidad de procesamiento (dependiendo del tipo de hardware, versión software, *mix* de tráfico 2G o 3G o 2G/3G) el CPU de estas unidades se incrementará hasta llegar al 100% de su capacidad.

Llegando a este punto, la unidad empezará a rechazar peticiones de inicio de sesión de los usuarios aunque en la red aun se tengan recursos suficientes para atender estas solicitudes, creando un “cuello de botella”.

La carga en el CPU de las unidades es afectada principalmente por las TPS, como se explicó anteriormente, y por algunos otros procesos que maneja la unidad.

En el siguiente capítulo se evaluarán mas a detalle estos KPIs y cómo afectan al desempeño del SGSN provocando un “cuello de botella” y por lo tanto, una mala experiencia para el usuario final.

⁴ Reubicaciones solicitadas cuando el móvil cambia de área de cobertura

1.3 Definiendo QoE

La QoE (*Quality of Experience*) a diferencia de la QoS, que evalúa parámetros objetivos, se enfoca en evaluar la percepción del usuario del servicio que está usando, es decir parámetros subjetivos [14], [15], [17].

QoE, por ejemplo para redes celulares de datos, evalúa qué tan satisfecho se encuentra el usuario final de un dispositivo móvil con la tecnología del mismo: rapidez de establecimiento de llamada, calidad de la voz (en caso de llamada), tiempo de transferencia de datos, desconexiones imprevistas, etc. Experiencia del usuario es enfocarse en cómo los individuos son intrínsecamente motivados a usar la tecnología en el móvil; es decir, cómo un usuario dependiendo del buen o mal servicio recibido se motiva a seguir usando éste [2], [3].

Comúnmente para evaluar la QoE de un servicio se utilizan mediciones de percepción como excelente, muy bueno, bueno, regular, malo, muy malo y pésimo [10], [4], [5]. Estas mediciones son convertidas a escalas numéricas [11]. Para obtener un resultado de la QoE de cierto servicio, se utilizan métodos como encuestas y/o cuestionarios aplicados a cierta muestra significativa de personas como el MOS (*Mean Opinion Score*) que se utiliza para evaluar la calidad de la voz [12], [16], [19], [20], [21].

La evaluación de QoE es muy complicada ya que involucra además de parámetros de la red [9], [18], factores ajenos a ella como lo son las emociones de los individuos que están haciendo uso del servicio; es decir, involucra aspectos subjetivos en su evaluación. El concepto de QoE puede incluir cuatro elementos principales:

- el usuario
- el producto y/o servicio (comprendiendo aspectos técnicos)
- el proceso de uso
- el contexto [8]

“QoE son sensaciones, percepciones y opiniones de las personas que interactúan con un servicio” [1]. “QoE es una medida de desempeño (*performance*) de los niveles *end-to-end* (extremo a extremo) desde la perspectiva del usuario” [1].

Evaluar dicha experiencia del usuario es importante debido a que “QoE es la única forma de evaluar lo que el cliente realmente quiere y/o necesita del servicio y si éste se lo está brindando” [1]. Con los resultados de una buena evaluación o forma de medir QoE se pueden tener importantes acercamientos para diseño, desarrollo y evaluación tecnológica [2].

Actualmente la satisfacción del usuario se ha vuelto uno de los puntos más importantes para los proveedores de servicio de redes celulares. Sin embargo, las mediciones para evaluar la calidad de la red están definidas en términos de capacidad y parámetros de red (QoS), no en términos de satisfacción del usuario (QoE) [7].

Si bien es cierto que los operadores en conjunto con los proveedores de redes celulares tienen ya establecidos los KPIs para la medición de QoS de su red, tienen dificultad para correlacionar los valores de los KPIs contra la percepción del usuario final. Lo deseable sería que los operadores y proveedores pudieran evaluar lo que quieren decir los valores de los KPIs en términos no técnicos medibles por el cliente o usuario final del servicio.

Algunos operadores basan sus cálculos de la capacidad de la red, sólo en el tráfico de usuario, sin tomar en cuenta que en estos días el movimiento continuo del usuario y las aplicaciones que se utilizan actualmente generan una cantidad considerable de tráfico de señalización o de control.

Capítulo II Análisis de Cuello de Botella

En este capítulo se analizará el cuello de botella en las redes celulares actuales y futuras. Entendemos por cuello de botella el fenómeno en donde el rendimiento ó capacidad de un sistema completo está severamente limitado por uno o varios componentes. El componente es generalmente llamado cuello de botella.

Se dará una explicación del elemento que en nuestro caso es el identificado como cuello de botella, mostrando gráficas de los KPIs vistos en el capítulo anterior que nos representan dicho fenómeno.

2.1 Análisis del cuello de botella

En la actualidad los usuarios de equipos móviles, realmente son usuarios móviles; es decir, llevan consigo dispositivos para envío y recepción de sus correos en sus teléfonos inteligentes, tabletas, utilizan tarjetas de conexión a *Internet* para sus *Lap Tops* y hacen uso de aplicaciones durante su trayecto diario, por ejemplo, de la casa a la oficina y/o escuela y de regreso.

Todos estos equipos generan una gran cantidad de tráfico de señalización entre la terminal y la estación base, así como en otros puntos de control en la red, específicamente el SGSN para 2G /3G (**Figura 2.1**) y su evolución el MME para LTE (**Figura 2.2**). Estos equipos de red hacen todo lo posible para tener a la terminal en sincronía con la red, para mantener el estatus y la ubicación del usuario y para conectarlo y reconectarlo a la red. Las configuraciones abajo mostradas, son las típicas generales para los proveedores de equipo de red.

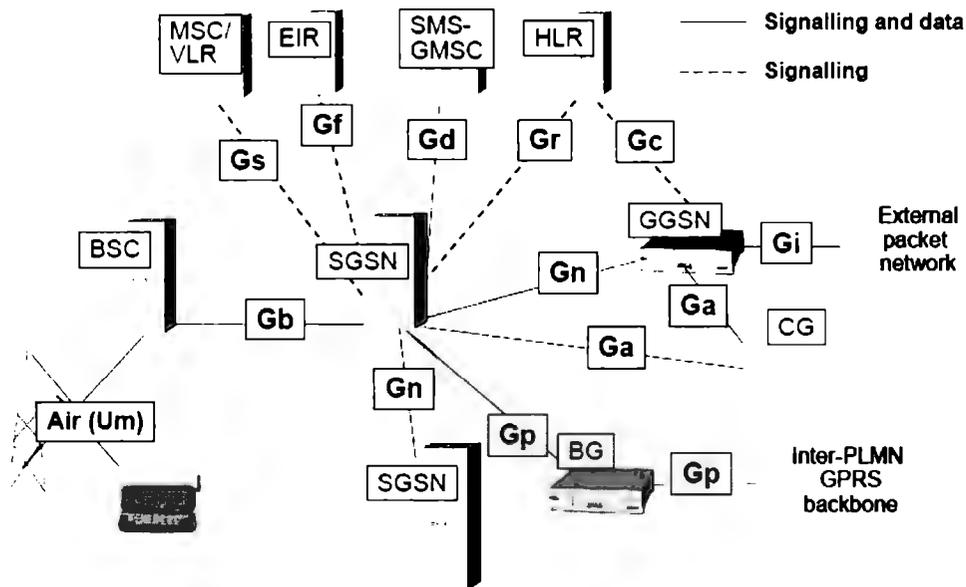


Figura 2.1 Arquitectura 2G. Para 3G se cambia BSC (*Base Station Controller*) por RNC [tomada de 28]

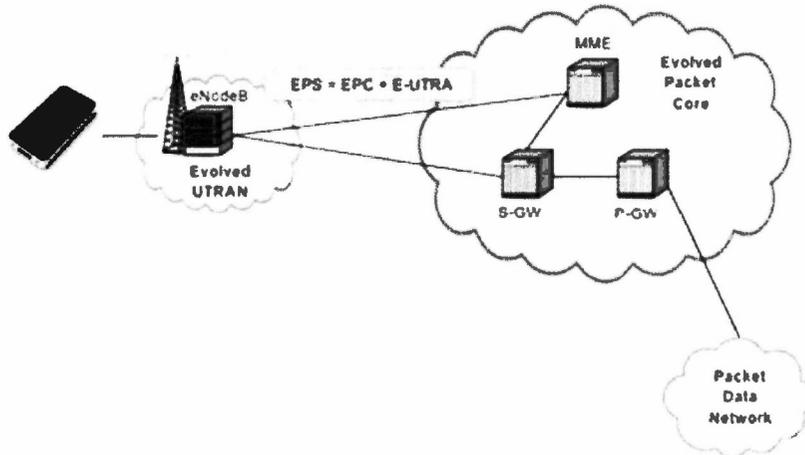


Figura 2.2 Arquitectura LTE EPS (*Evolved Packet System*) [tomada 22]

Algunos de estos dispositivos, como las tarjetas para *Internet*, permanecen conectadas hasta que el usuario termina la sesión; no importando que no esté utilizando los datos.

Cada vez que una terminal se registra en la red o se desconecta genera tráfico de señalización; así como las peticiones de sesión, cancelaciones y modificaciones de 2G a 3G o viceversa. También generan tráfico de señalización las reubicaciones del usuario llamadas RAU (*Relocation Area Update*) para 2G/3G [31] y TAU (*Tracking Area Update*,) para LTE [32]. Existen además mensajes de señalización para terminar una sesión. Y además los mensajes de *keep alive* usados para aplicaciones de cajeros automáticos para mantener viva la sesión.

Todos estos mensajes son mensajes de señalización que suceden en el plano de control y no de usuario y que deben ser tomados en cuenta para el dimensionamiento de la red en términos de capacidad de los equipos y sus procesadores o servidores. Estos mensajes generan una carga en los equipos de red que se encargan de la parte de control, y en un momento de saturación (p.e. hora pico de tráfico) podrían generar sobrecarga en las unidades de estos. Los resultados de esta sobrecarga se reflejan en el rechazo de peticiones de contexto y por ende en mala calidad del servicio ofrecido que experimenta el usuario.

Por ejemplo, rechazo al abrir una página de internet por el tiempo expirado en el intento. Es decir, la QoS ofrecida no se respetará en este momento de “cuello de botella” y el usuario experimentara un QoE deficiente.

Por lo tanto, para tener una red eficiente y ofrecer el QoS prometido a cada usuario y éste experimente el QoE esperado, se debe asegurar que las unidades que se encargan del plano de señalización para realizar el *Mobility Management (Attach, Detach y RAU)* y de *Session Management (PDP activation, modification y deactivation)* no alcancen valores altos de CPU y por ende se saturan y rechacen peticiones de los usuarios.

El *Attach* (Figura 2.3) es el primer mensaje que tiene que ser enviado de la terminal móvil al SGSN cuando un usuario quiere conectarse a la red y ésta ejecuta acciones para verificar quién es la estación móvil, autenticar al usuario con el HLR (*Home Location Register*) y notificar qué le está permitido hacer. El mensaje de PDP contiene el tipo de contexto, una dirección de PDP, el nombre del punto de acceso (APN) y QoS.

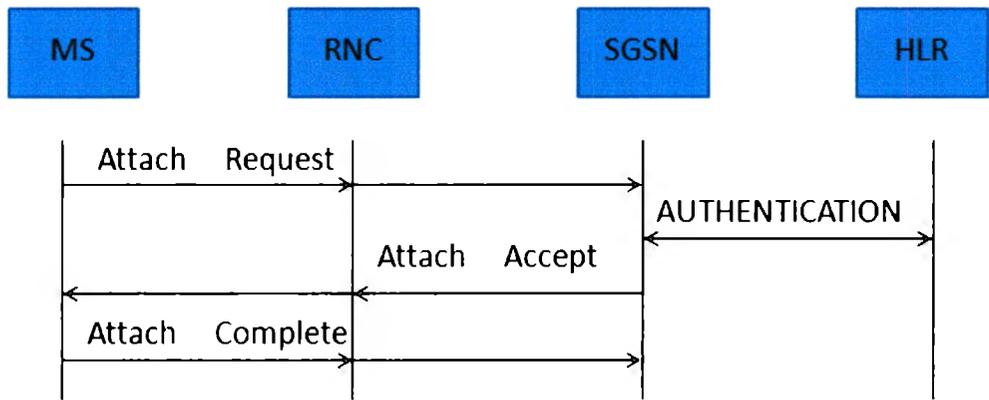


Figura 2.3 Proceso de Attach [tomada de 29]

El *PDP context activation/deactivation* (**Figura 2.4**) se da una vez que el usuario está *attachado* o registrado en la red, así puede entonces acceder a una red IP externa después de activar su contexto. La activación y desactivación de contexto son usadas para este propósito.

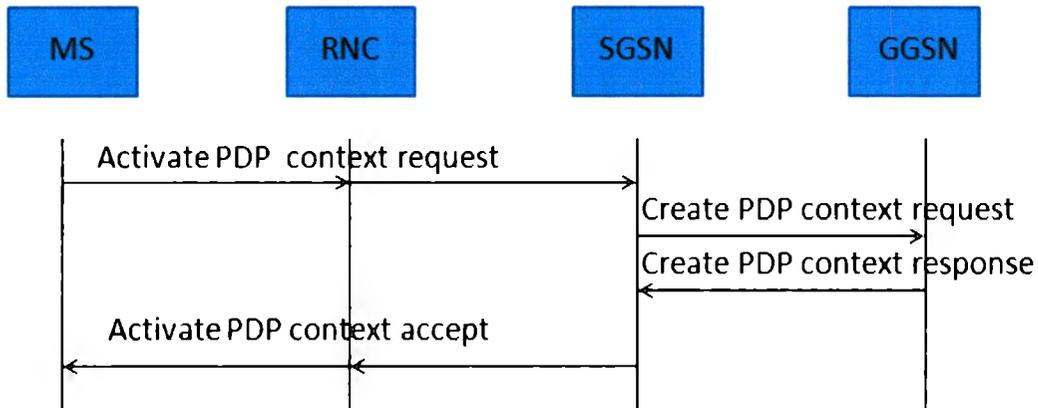


Figura 2.4 Proceso de PDP context activation [tomada de 29]

El proceso de RAU (**Figura 2.5**), puede ser generado entre diferentes SGSNs de la misma o diferente tecnología 2G o 3G o entre unidades del SGSN, ya que cada unidad puede atender a una o más BSC o RNC[30].

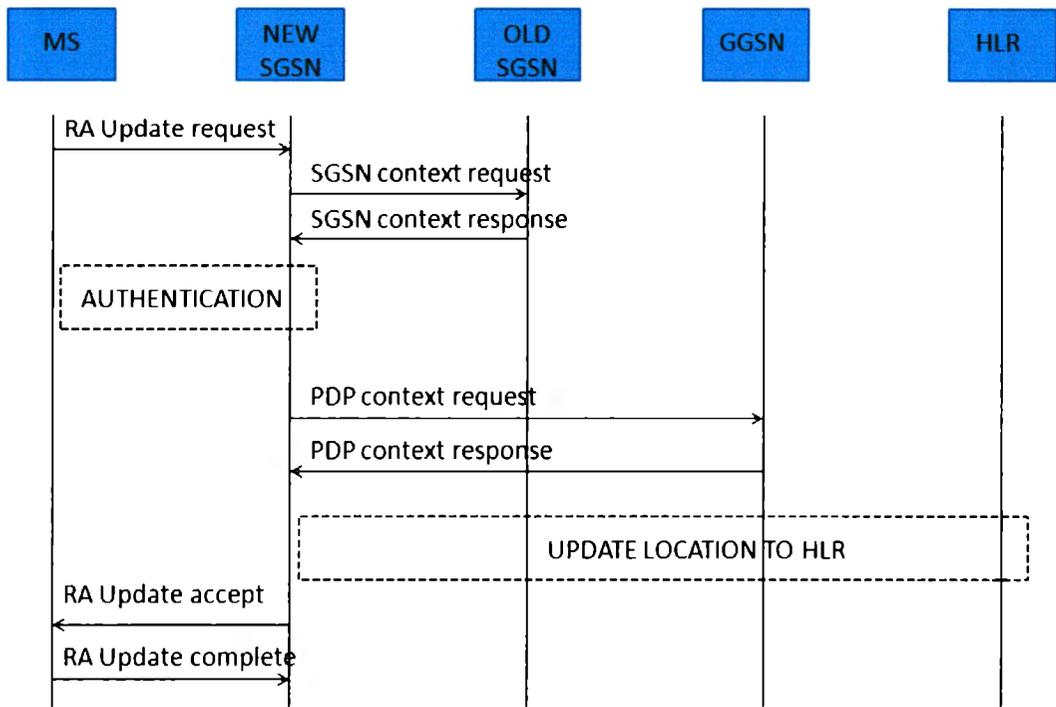


Figura 2.5 Proceso de RAU [tomada de 29F]

La carga en el CPU de estas unidades que se encargan de estos procesos de movilidad y sesión, depende de ciertas variables como son: la cantidad de usuarios attachados por cada unidad (capacidad) y las transacciones por segundo de Mobility Management y Session Management que estos usuarios contabilicen en la unidad (TPS).

A continuación se tomarán los datos reales de un operador para graficar las transacciones de 2G y 3G.

2.1.1 Análisis de Transacciones por segundo para un equipo de 2G

A continuación tomamos un equipo SGSN de una red 2G de un proveedor (las muestras son por periodos de una semana, por hora, del 24 de Febrero del 2011 al 2 de Marzo del 2011), dicho proveedor en las horas pico de tráfico reporta fallas en navegación de ciertos usuarios. Si analizamos las TPS de las unidades que les dan servicio a los usuarios de 2G en una de esas horas pico, podemos ver en la **(Figura 2.6)** que el número de TPS sobrepasa el máximo recomendado por SGSN de 1901 TPS [34]¹, recomendación basada en la versión de hardware y software que tenga el equipo. Estas TPS totales se dividen en procesos de movilidad y sesión, y estos a su vez se subdividen en *attach*, *detach* y *RAU* para movilidad y *pdp context activation*, *modification* y *deactivation* para sesión, como se había mencionado anteriormente.

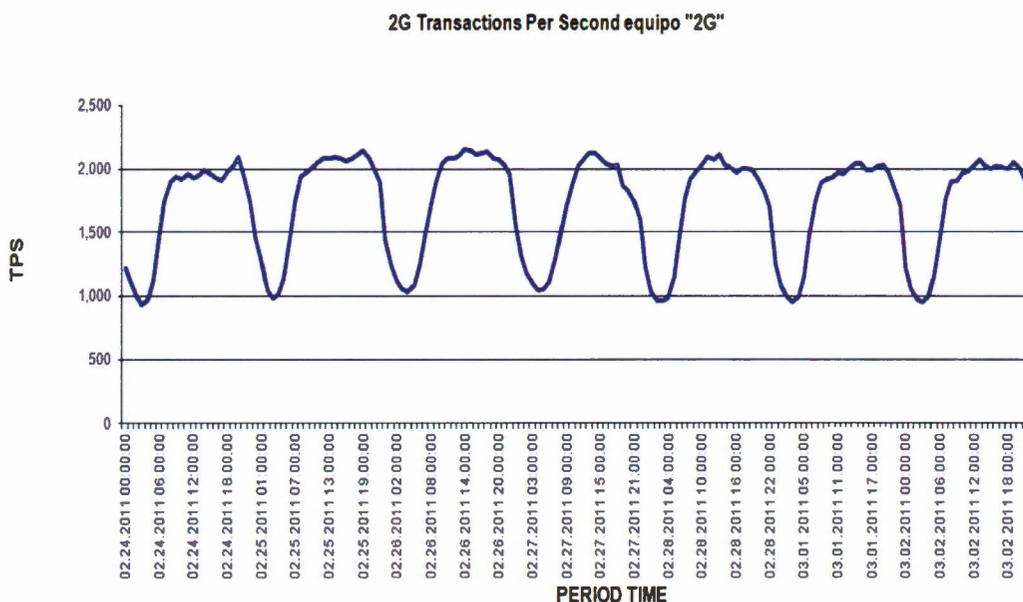


Figura 2.6 TPS para un SGSN 2G

¹ El número de TPS recomendado para Este equipo depende de la versión de HW (Hardware) y SW (Software)

Las TPS totales se obtienen sumando los eventos de MM más los eventos de SM. En (Figura 2.7) podemos observar que los eventos de sesión son mayores que los de movilidad.

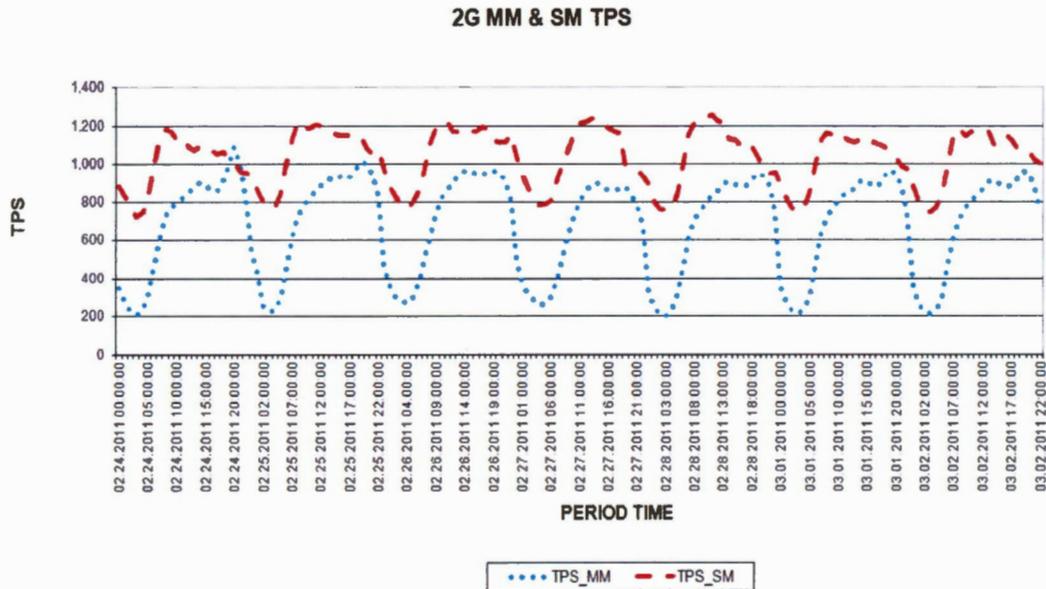


Figura 2.7 TPS para un SGSN de 2G separadas por movilidad y sesión

Las TPS de MM se obtienen sumando los eventos de *attach*, *dettach* y RAU, en la (Figura 2.8) podemos ver que los eventos de RAU son predominantes, esto quiere decir que los usuarios se mueven considerablemente y que casi no se realizan eventos de encendido o apagado del dispositivo correspondiente a *attach* y *dettach*, respectivamente.

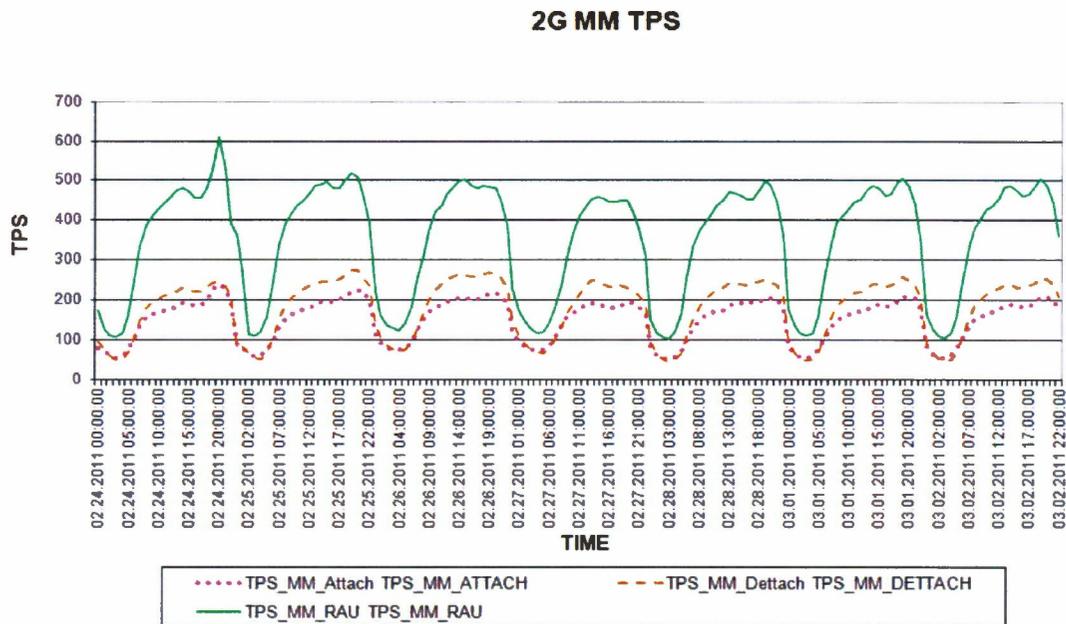


Figura 2.8 TPS de MM para un SGSN de 2G por evento

Las TPS de SM se obtienen sumando los eventos de *PDP context activation*, *PDP context modification* y *PDP context deactivation*. En una red 2G no existen modificaciones de contexto; por lo tanto no se ven eventos de éste tipo en la muestra. En la **(Figura 2.9)** podemos ver que los eventos de activación de contexto son por mucho dominantes sobre los de desactivación de contexto.

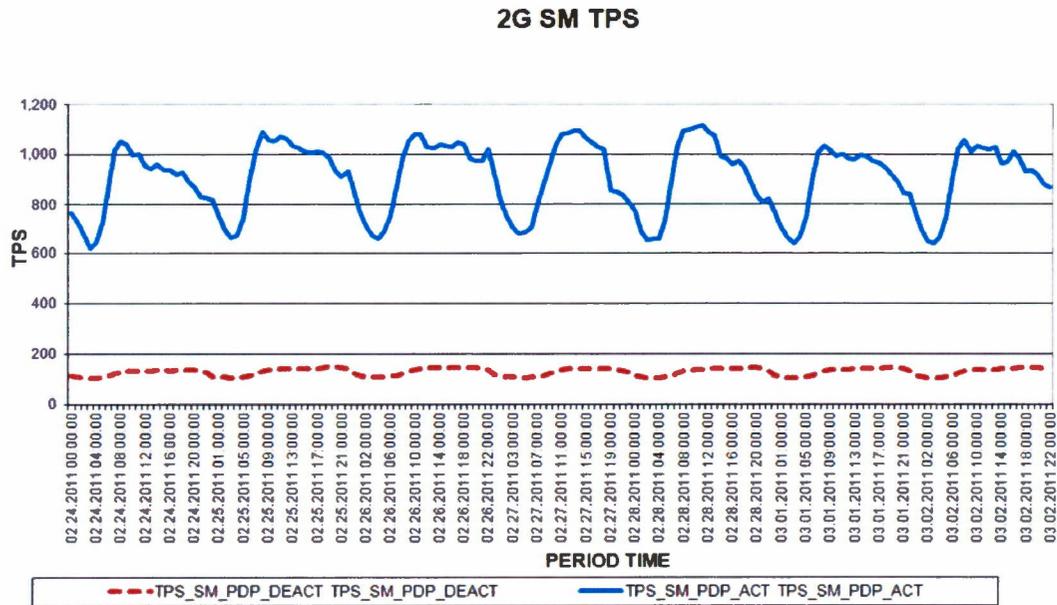


Figura 2.9 TPS de SM para un SGSN de 2G por evento

Una vez que hemos visto que el SGSN de 2G analizado anteriormente presenta un elevado número de TPS (por encima de los niveles mencionados), vamos a revisar cómo se encuentra el CPU de los procesadores de éste equipo. Este SGSN cuenta con 16 procesadores², uno de ellos se encuentra de respaldo y los 15 restantes se encuentran activos. Por lo tanto, el número de TPS recomendadas por servidor sería:

$$\text{TPS}_{\text{por servidor}} = 1901 / 15 = 126.73 \text{ [6]}$$

En la (**Figura 2.10**) podemos ver las TPS de uno de los servidores sobrepasando las 126.76 recomendadas y por tanto, el CPU alcanza picos de 100% de carga. Cuando las unidades llegan al 100% de la carga del CPU, empiezan a rechazar peticiones de contexto aunque el usuario esté registrado en la red.

² Se mencionan 16 servidores debido al proveedor del equipo; sin embargo éste número es variable dependiendo del mismo.

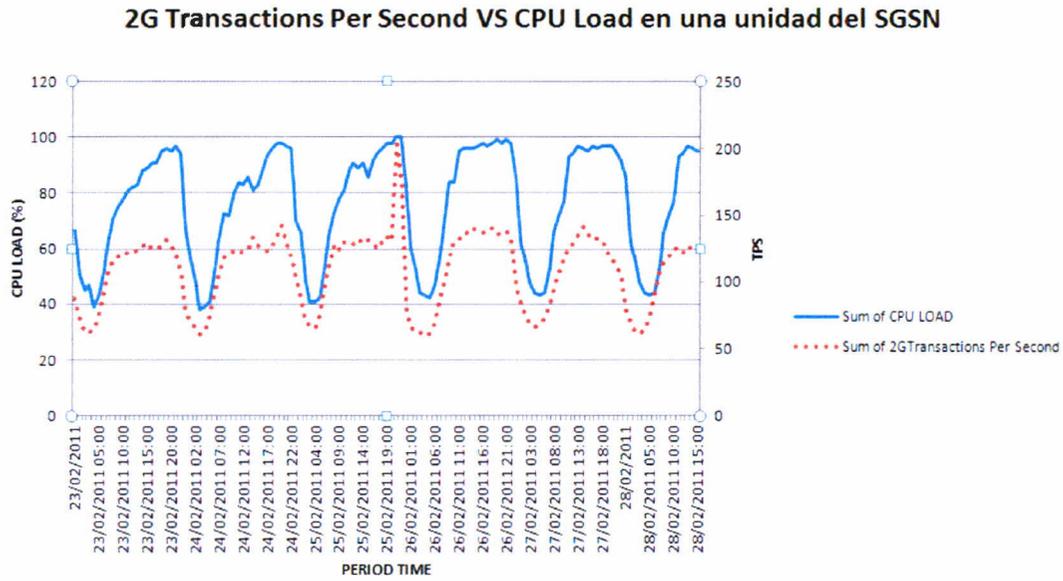


Figura 2.10 TPS vs CPU LOAD en un servidor del SGSN de 2G

2.1.2 Análisis de Transacciones por segundo para un equipo de 2G

De la misma forma que para 2G, analizaremos los datos pero ahora para un SGSN de 3G. En la (Figura 2.11) se muestra el comportamiento de TPS (las muestras se toman en intervalos de una hora por un periodo de una semana del 24 de Febrero del 2011 al 2 de Marzo del 2011) para un equipo SGSN con tráfico sólo de 3G, este equipo no se encuentra sobrecargado y de acuerdo a su versión de HW y SW maneja un recomendado de 4400 TPS³ [34].

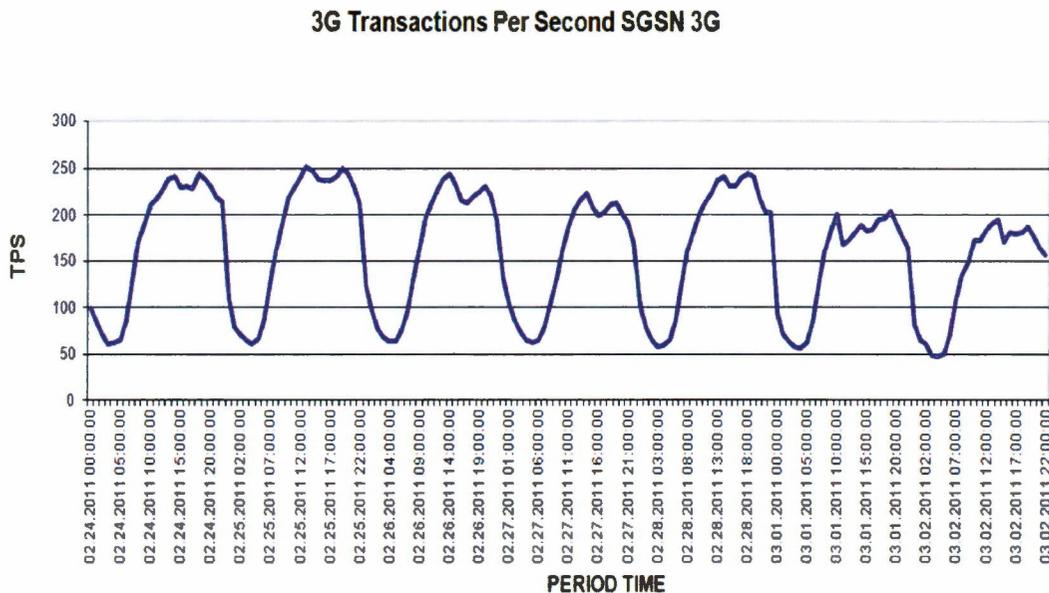


Figura 2.11 TPS para un SGSN de 3G

En la (Figura 2.12) podemos ver que los eventos de MM suceden en mayor cantidad que los eventos de SM; esto debido a que, en 3G los usuarios presentan una mayor movilidad. Dentro de los eventos de MM, el mayor número de transacciones son realizadas por RAU debido al movimiento de usuarios como se ve en la (Figura 2.13) y dentro de los eventos de sesión el mayor número de transacciones son realizadas por activación de contexto y modificación del mismo como se ve en la (Figura 2.14).

³ Ídem

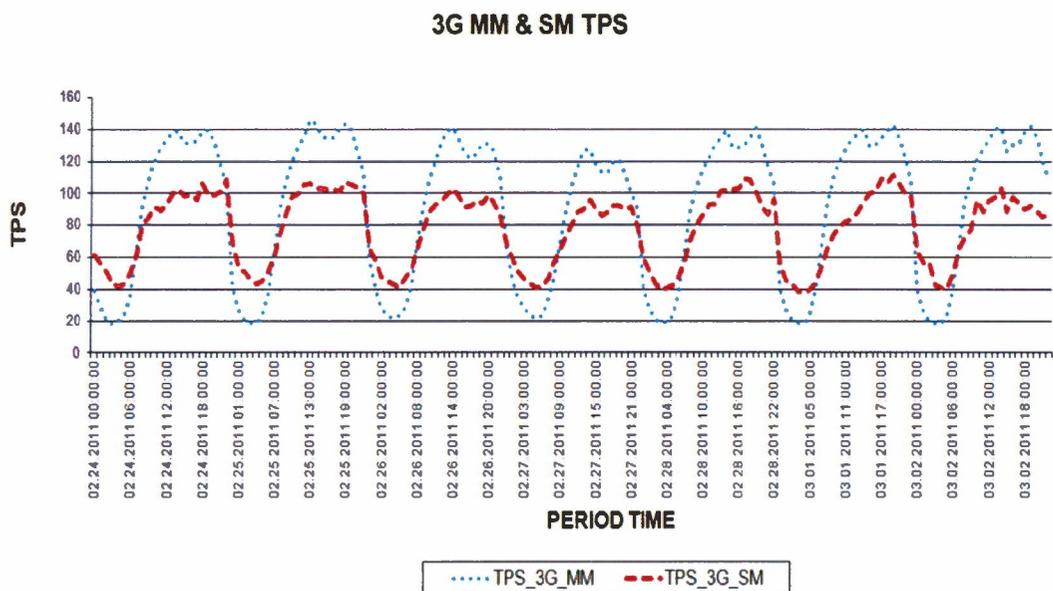


Figura 2.12 TPS para un SGSN de 3G separadas por movilidad y sesión

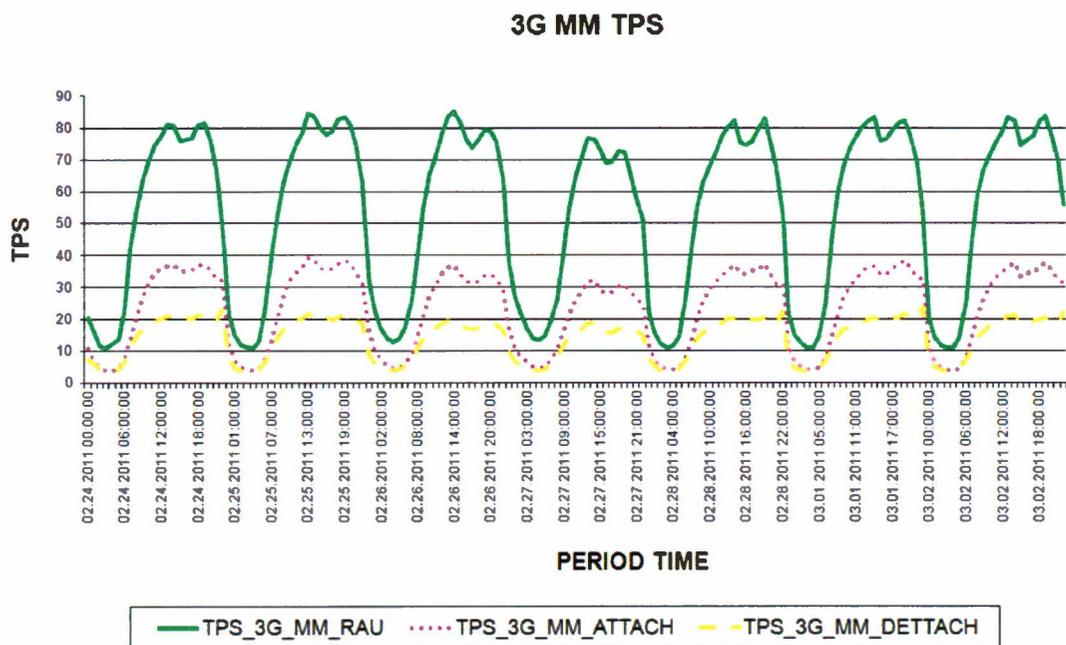


Figura 2.13 TPS de MM para un SGSN de 3G por evento

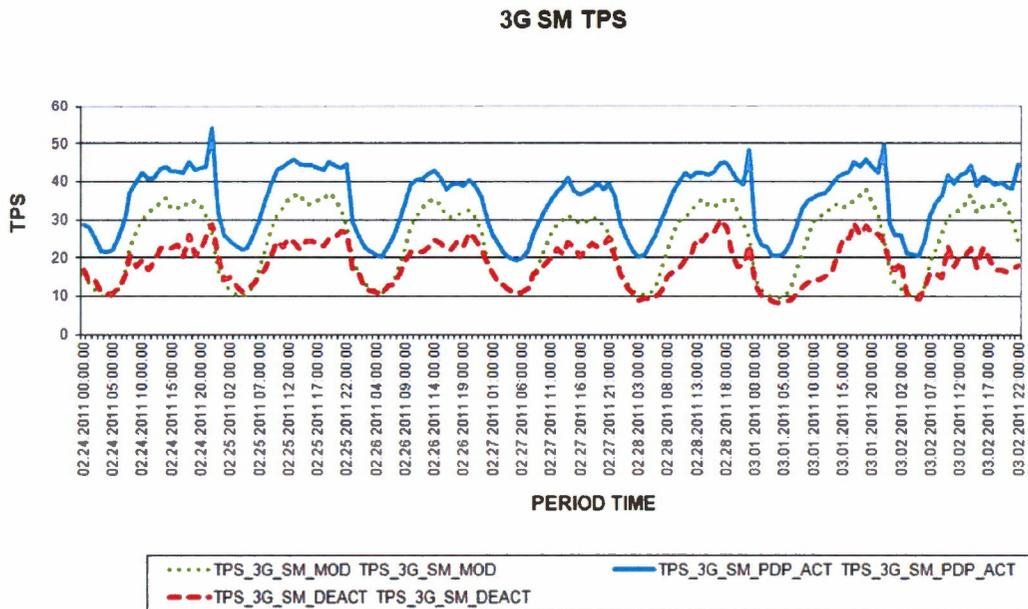


Figura 2.14 TPS de SM para un SGSN de 3G por evento

Finalmente si realizamos la comparativa entre el las TPS vs el CPU en uno de los servidores del SGSN de 3G (Figura 2.15), podemos ver que las TPS no sobrepasan el número recomendado y que la carga en el mismo no rebasa el 40%.

$$\text{TPS}_{\text{por servidor}} = 4400 / 15 = 293.3 \text{ [6]}$$

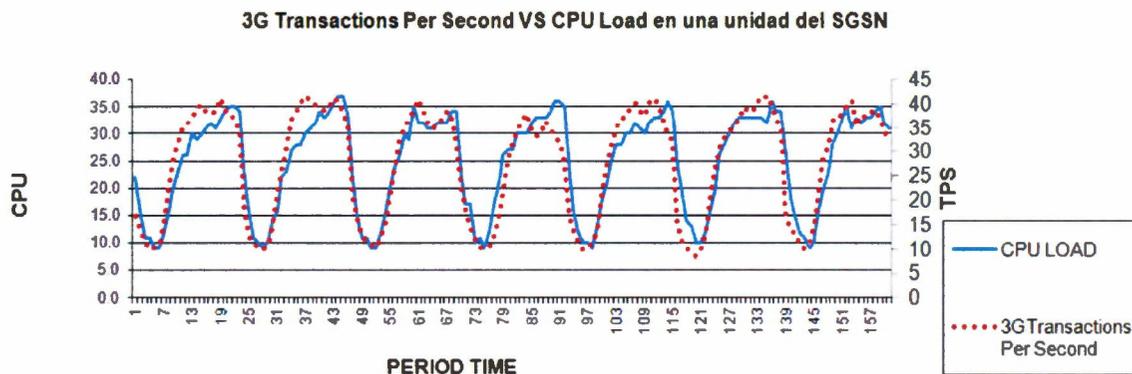


Figura 2.15 TPS vs CPU LOAD en un servidor del SGSN de 3G

Según lo observado, el tráfico de señalización es el cuello de botella para permitir o rechazar más peticiones de llamadas de datos. El CPU de los servidores en el SGSN se correlaciona directamente con el número de TPS, o interrupciones que recibe cada unidad. Debemos recordar que cada TPS dependiendo del tipo de transacción ocupa un porcentaje de CPU [34]; pero además, cierto porcentaje del CPU se utiliza en las conexiones directas a las BSC o RNC según sea el caso y que también el CPU tiene funciones como el comunicarse con otras unidades para por ejemplo traspaso de estadísticos que nos permiten obtener estos gráficos.

Capítulo III QoS en LTE

Este capítulo explicará el funcionamiento de los equipos para redes LTE (*Long Term Evolution*), el nuevo estándar para redes celulares de 4ª generación. Se incluirá un capítulo para mostrar cómo es que se llevará a cabo el QoS (*Quality of Service*) y además un comparativo con el tratamiento del QoS en las redes 3G.

El cambio evolutivo en las redes celulares ha hecho que no sólo los elementos de red cambien en capacidad y funcionalidades; sino que también el manejo del QoS haya tenido que evolucionar a medida que cambian los requerimientos de los usuarios y la demanda en calidad de servicio.

3.1 Definiendo LTE

UTRAN LTE (*UMTS Terrestrial Radio Access Network Long Term Evolution*) hace referencia a la evolución de la tecnología de acceso en el estándar 3GPP (siglas) y es considerada sucesora del sistema UMTS. LTE en el estándar 3GPP está alineada con SAE (*System Architecture Evolution*) en el estándar 3GPP [27].

La interfase aérea en LTE ofrece una gran gama de anchos de banda y soporta tanto FDD (*Frequency Division Multiplexing*) como TDD (*Time Division Multiplexing*). Además hace uso de tecnologías como OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) y MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) y gracias a ellas LTE ofrece velocidades de hasta 173Mbit/s en DL (*Downlink*) y hasta 58Mbit/s en UL (*Uplink*) dependiendo de la configuración MIMO empleada (10 MHz, 20MHz).

La red de acceso de LTE es llamada Evolved UTRAN, ésta incluye un solo elemento de red, el eNodeB (*Evolved Node B*) o eNB, como se muestra en la (Figura 3.1). Este elemento de red realiza las funciones de *packet-switched* de una RNC (*Radio Network Controller*) en una red tradicional 3G.

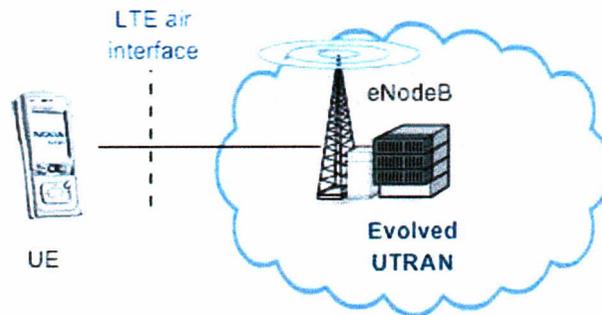


Figura 3.1 Red de acceso LTE [tomada de 22]

SAE en el estándar 3GPP está relacionado con la arquitectura de red del EPC (*Evolved Packet Core*). La unión LTE/SAE en las especificaciones del estándar 3GPP versión 8 define la arquitectura del EPS (*Evolved Packet System*). El EPS incluye el EPC y el E-UTRAN (*Evolved UTRAN*), como se muestra en la (Figura 3.2).

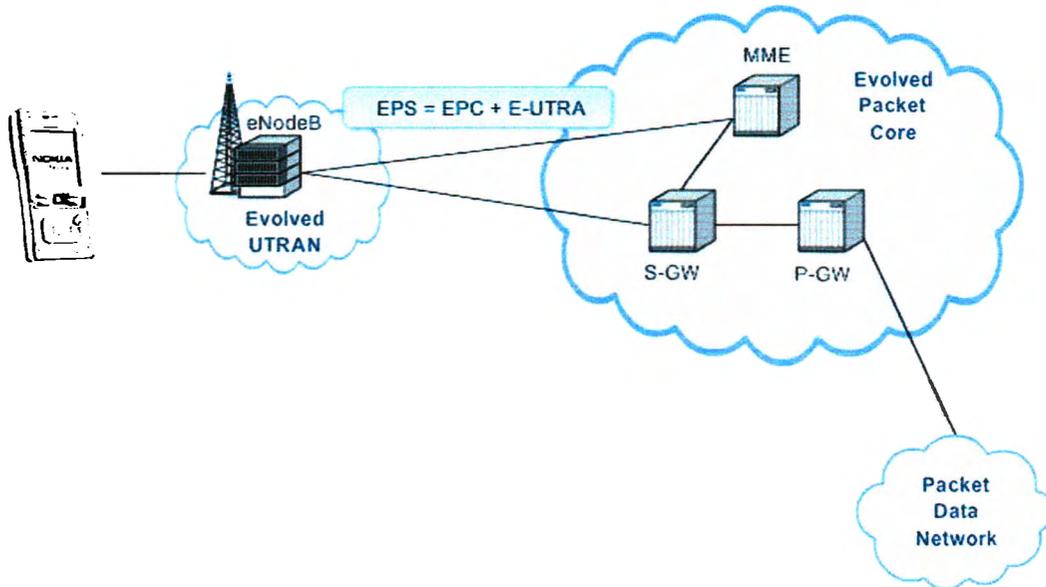


Figura 3.2 EPS, Evolved Packet Core y EUTRAN [tomada de 22]

El EPC incluye principalmente 3 entidades, una para la parte de control MME (*Mobility Management Entity*) y dos para la parte de usuario S-GW (*Serving Gateway*) y P-GW (*Packet Data Network Gateway*).

La arquitectura de red del EPC está basada únicamente en IP; por lo tanto, el EPC no está involucrado con la tecnología *circuit-switched*. Debido a esto los servicios de voz están basados en VoIP (*Voice over IP*). Para este caso, como alternativa, las terminales que sean multimodo podrán cambiar el acceso a 2G/3G en el caso de una llamada de *circuit-switched*.

3.2 Beneficios de LTE

EPS ofrece beneficios tales como:

- Flexibilidad para el uso de bandas de frecuencia, lo cual permite *re-farming* del espectro de 2G
- Reducción de costos, debido a la reducción en tipos y números de nodos en la red , menor número de interfaces en la red de acceso de radio y el transporte basado en IP
- Incremento notable en las tasas de DL y UL comparando con HSPA (*High Speed Packet Access*), gracias al uso de OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) y MIMO (*Multiple Input Multiple Output*)
- Opciones de movilidad entre tecnologías , por ejemplo *handovers* a/desde otras redes de acceso como 3GPP2, WLAN (*Wireless Local Area Network*) o WIMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*)
- Baja o casi nula pérdida de paquetes durante los *handovers*
- Baja latencia, debido al número reducido de nodos en la parte de usuario, beneficiando los servicios en tiempo real

3.3 Arquitectura LTE/SAE

3.3.1 eNodeB

El eNB es la interfase aérea de LTE y además provee la funcionalidad de red de una RNC, es por ello que E-UTRAN no requiere un elemento adicional como la RNC.

El eNB es responsable de la transmisión hacia el UE (*User Equipment*) y de la recepción desde el UE. Esto involucra las siguientes funciones:

- RRM (*Radio Resource Management*)
- Control de admisión
- Control de canal
- Ordenamiento de información de usuario
- Control de la señalización sobre la interfase aérea
- Cifrado de la información de usuario en la interfase aérea
- Compresión del encabezado de paquetes IP sobre la interfase aérea

El área cubierta por un solo eNB puede ser dividida en una o más celdas, siendo 3 el número usual.

La interfase X2, la cual se encuentra entre dos eNB, soporta los inter-eNodeB *handovers*, estos *handovers* pueden configurarse de manera ineficiente sin hacer uso de la interfase X2, como se muestra en la (**Figura 3.3**).

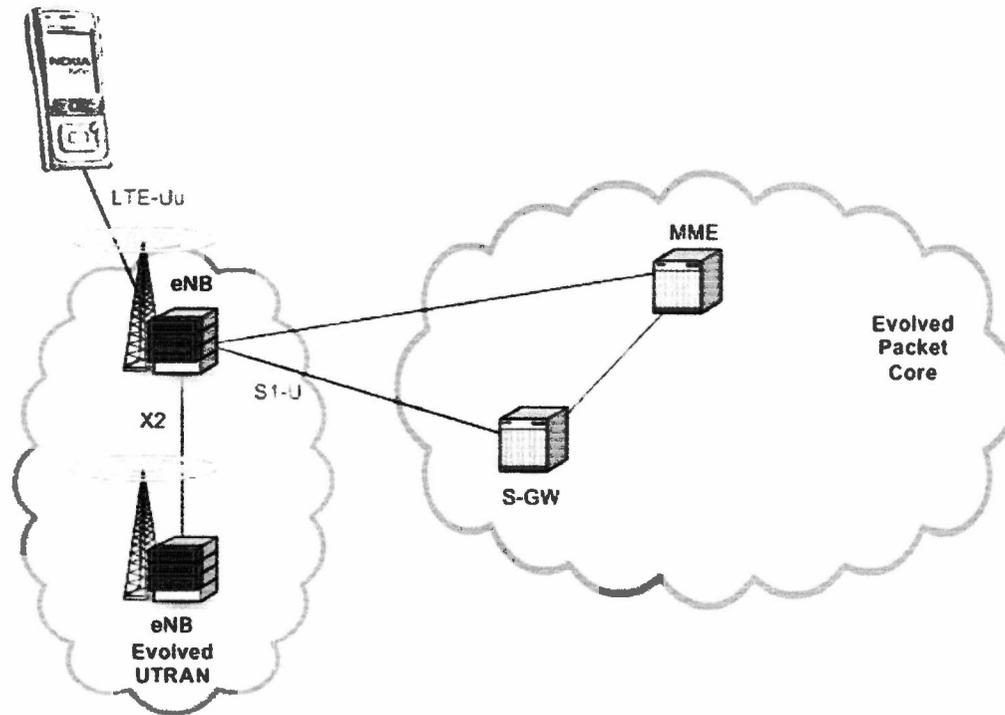


Figura 3.3 E-UTRAN [tomada de 22]

3.3.2 MME

La entidad de administración de movilidad MME (*Mobility Management Entity*) provee las funcionalidades del plano de control en el EPC.

Este elemento de red:

- Genera identidades temporales y las aloja en UE (*User Equipment*)
- Se asegura de que los usuarios en estado IDLE sean alcanzados
- Administra y controla la señalización durante los *handovers*
- Autentica al usuario, basado en la información obtenida del HSS (*Home Subscriber Server*)
- Administra los canales en el plano de usuario
- Administra la señalización NAS (*Non-Access Stratum*) y la seguridad

Es importante notar que ningún tipo de tráfico de usuario pasa por el MME. En la (Error! Reference source not found.) se puede observar el MME dentro del EPC.

3.3.3 S-PW Y P-GW

El S-GW (*Service Gateway*) y el P-GW (*Packet Data Network Gateway*) proveen la conectividad en el plano de usuario entre la red de acceso y la red de paquetes de datos PDN (*Packet Data Network*), Internet o servicios IMS (*IP Multimedia Subsystem*).

El S-GW es responsable de:

- Recenvío de paquetes
- Ruteo
- Almacenamiento y descarga de datos de UEs que están en IDLE
- Sirve de punto de anclaje durante eNB *handovers* o *handovers* a o desde 3GPP non-LTE *network*
- Sólo es posible un S-GW por usuario

El P-GW es responsable de:

- Dar direcciones IP a los usuarios
- Políticas
- Cobro (*Charging*)
- Sirve de punto de anclaje (non-3GPP)
- Es posible usar varios P-GW por usuario

En la Error! Reference source not found. podemos ver al S-GW y al P-GW dentro del EPS.

3.4 LTE QoS

En el sistema EPS (*Evolved Packet System*), las entidades básicas son llamadas canales EPS y estas son usadas para transportar los datos de usuario entre el UE (*User Equipment*) y el PDN (*Packet Data Network*) Gateway o P-GW y como otra opción entre el UE y el S-GW (*Serving Gateway*).

En la primera opción el túnel GTP asociado se extiende entre el eNB (*Evolved Node B*) y el P-GW. En la segunda opción, el túnel GTP se extiende sólo al S-GW. Cada canal EPS puede sostener uno o más flujos de paquetes o flujos de datos. Un flujo de paquete está definido por: una quinteta de dirección IP fuente y destino, puerto fuente y destino y protocolo de capa 4 (TCP, UDP o SCTP).

Todos los flujos de paquetes pertenecen a cierto canal EPS asociado con un cierto nivel de QoS. Este flujo de paquetes con diferente nivel de canal y requerimientos de QoS deben ser llevados por diferentes canales EPS. Cuando un UE se conecta con una red de paquetes de datos PDN (*Packet Data Network*) un llamado canal *default* es permanentemente establecido para proveer una conectividad *IP always-on* con la PDN. Adicionalmente, canales dedicados EPS deben ser establecidos para el transporte del tráfico de datos de usuario con diferentes niveles de canal y requerimientos de QoS.

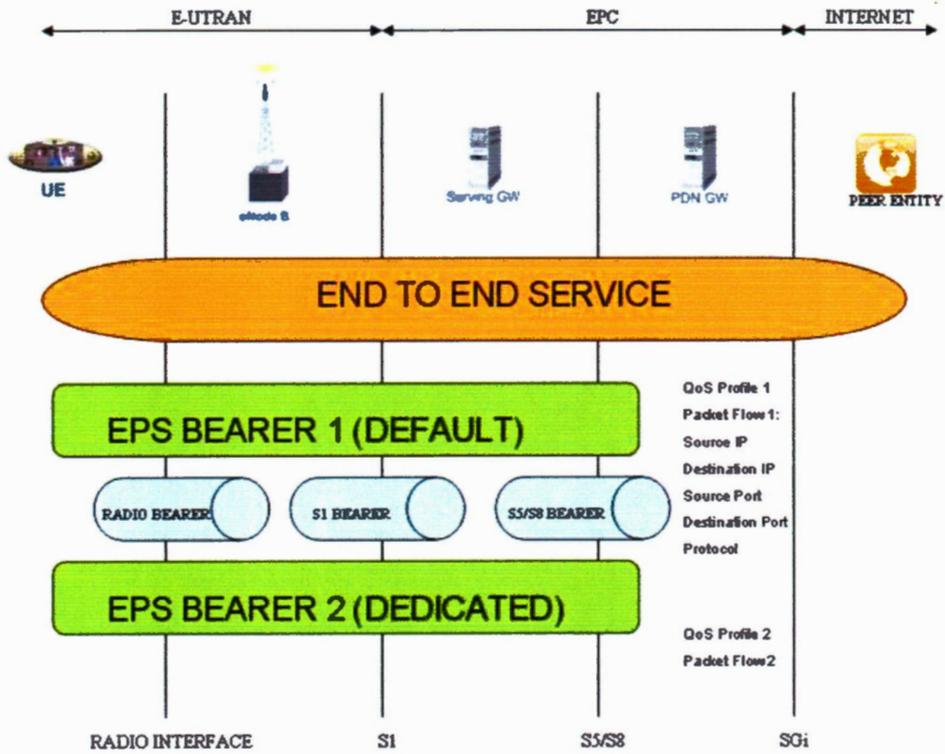


Figura 3.4 EPS bearers [tomada de 22]

3.4.1 Estructura QoS del EPS

A diferencia de 3G, en donde para establecer un QoS se asignaban varios campos, en LTE se asignan 4 valores: un valor llamado QCI (*QoS Class Identifier*), un ARP (*Allocation and Retention Priority*) y dependiendo si es un servicio de GBR (*Guaranteed Bit Rate*) o non-GBR (*no Guaranteed Bir Rate*) se asignan los dos últimos valores.

En la (Tabla 3.1) podemos apreciar las diferencias entre 3G y EPS para el QoS. En la (Tabla 3.2) podemos ver los nueve valores definidos para el QCI dependiendo del tipo de tráfico y en la (Tabla 3.3) podemos ver los 15 valores de ARP.

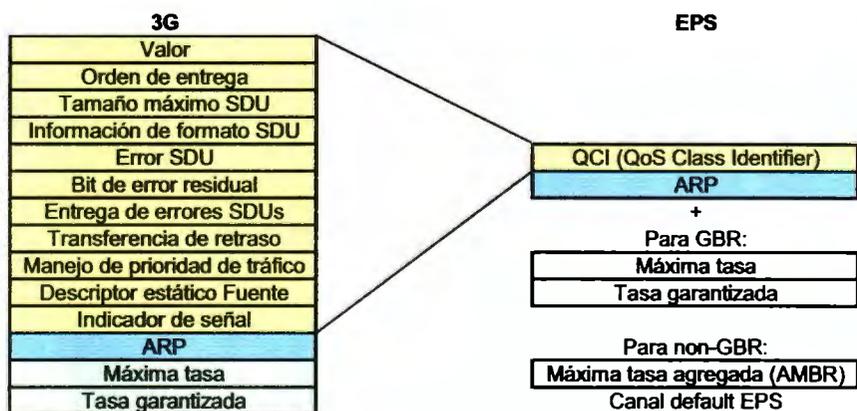


Tabla 3.1 QoS 3G vs. QoS EPS [tomada de 22]

QCI	Resource type	Priorty	Packet delay budget	Packet error loss rate	Example Application
1	GBR	2	100 ms	1e-2	Conversation voice
2	GBR	4	150 ms	1e-3	Conversational video
3	GBR	3	50 ms	1e-3	Real-time gaming
4	GBR	5	300 ms	1e-6	Non-conversational video
5	Non-GBR	1	100 ms	1e-6	IMS signalling
6	Non-GBR	6	300 ms	1e-6	Video, www, email, ftp
7	Non-GBR	7	100 ms	1e-3	Interactive gaming
8	Non-GBR	8	300 ms	1e-6	Video, www, email, ftp
9	Non-GBR	9	300 ms	1e-6	Video, www, email, ftp

Tabla 3.2 QCI [tomada de 22]

Prioridad	Grupos de usuarios		Canal Non-GBR		Canal GBR		
			Puede adelantarse	Vulnerable	Puede adelantarse	Vulnerable	
1	-	-	si	no	si	no	Reservado para servicios de red
2	home A		si	no	si	no	Prioridad 1 usuario de no trafico de video
3	home B		si	no	si	no	Prioridad 1 usuario de trafico de video Prioridad 2 usuario de no trafico de video
4	home C		si	no	si	no	Prioridad 2 usuario de trafico de video Prioridad 3 usuario de no trafico de video
5	home D	visitante A	si	no	si	no	Prioridad 3 usuario de trafico de video Prioridad 4 usuario de no trafico de video
6	PS home A	visitante B	no	si	si	no	Prioridad 4 usuario de trafico de video Prioridad 5 usuario de no trafico de video
7			no	si	si	no	E911
8	PS home B		no	si	si	no	GBR (llamadas de voz)
9	PS home C		no	si	si	no	GBR (no llamadas de voz y señalización IMS)
10	Ps otro A	PS visitante A	no	si	no	si	Subscriber general de datos y señalización IMS
11	PS otro B	PS visitante B	no	si	no	si	Llamadas de voz
12			no	si	no	si	Reservado para servicios de red
13			no	si	no	si	Reservado para servicios de red
14	Usuario comercial		no	si	no	si	Priority 1 usuarios comerciales de no trafico de video
15	Usuario comercial		no	si	no	si	Prioridad 1 usuarios comerciales de trafico de video Prioridad 2 usuarios comerciales de no trafico de video

Tabla 3.3 Mapeo ARP [tomada de 24]

3.4.2 Control QoS en EPS

El control del QoS en EPS puede ser implementado en varios nodos de red en diferentes niveles, el control de QoS toma lugar en el nodo PDN (Packet Data Network) *Gateway* y en el nodo eNB (*Evolved Node B*). En el caso de los canales non-GBR, valores separados de DL (*Downlink*) y UL (*Uplink*) son usados para el flujo de tráfico en el P-GW y en el eNB. En otras palabras, el perfil QoS incluye en total 4 valores AMBR (Aggregate Max Bit Rate). A nivel de transporte, el control QoS está basado en mapear el valor QCI asociado con el canal EPS en los seis bits del campo DSCP (*Differentiated Service Code Point*) contenido en el encabezado del paquete IP. Los routers en la red IP toman esta información en cuenta cuando enrutan los paquetes a su destino. Los paquetes marcados con alta prioridad son encolados en filas de alta prioridad por lo que experimentan menos tiempo en los routers. El mapeo QCI-DSCP está especificado en el P-GW para el tráfico de DL y en el eNB para el tráfico de UL.

El control QoS también puede ser aplicado en la interface de radio. Esto requiere mapeo entre los parámetros QoS y la prioridad en el eNB.

En resumen, el control de QoS puede ser aplicado en tres niveles:

A nivel de canal

A nivel de transporte

A nivel de interfase de radio

El mecanismo de aprovisionamiento de QoS puede ser dividido en procesos de señalización del plano de control y funciones del plano de usuario.

Procesos de señalización en el plano de control: El controlador de políticas (usa reglas de control de políticas y “*charging*”) en la red determina el manejo de cada flujo de paquetes para cada suscriptor concordando con los parámetros de QoS asociados. El PPC (*Policy and Charging Control*) envía las reglas al Gateway para establecer un nuevo canal o modificar uno ya existente o para sostener un flujo específico de paquetes o modificarlo. El flujo de paquetes es descrito por los filtros de paquetes de UL (*Uplink*) y DL (*Downlink*). El nivel de petición del canal es reenviado a la parte de radio LTE y a todos los nodos involucrados hasta la terminal. En suma a estos procesos de señalización dinámicos de plano de usuario, el operador debe hacer una configuración semi-estática de las funciones de QoS directamente en los nodos.

Funciones en el plano de usuario: La configuración de los nodos de red los habilita para las funciones de QoS en el plano de usuario.

El éxito de la estandarización de un QCI con sus correspondientes características, es asegurarse de que las aplicaciones y/o servicios mapeadas a ese QCI, reciban el mismo mínimo nivel de QoS en redes *multivendor* y en el caso de *roaming*.

Mientras que el QCI especifica el tratamiento que deben recibir los paquetes dentro del canal en el plano de usuario, el ARP (*Allocation and Retention Priority*) especifica el tratamiento que deben recibir los canales en el plano de control.

ARP habilita el sistema EPS para diferenciar el tratamiento en el plano de control relacionado con el *setting up* y la retención de canales.

El ARP es usado para decidir cuando una petición de modificación de canal puede ser aceptada o debe ser rechazada debido a limitación de recursos.

El ARP puede ser usado para decidir qué canal liberar mientras existan limitaciones excepcionales de recursos.

El ARP debe contener un número escalar, el cual da la información a cerca del nivel de prioridad, una bandera de *pre-emption*¹ de capacidad y una bandera de *pre-emption* de vulnerabilidad. El principal propósito del ARP es decidir el establecimiento o modificación de un canal; esto es, decidir cuándo puede ser aceptada o rechazada la petición por causas de limitación en los recursos (normalmente en radio en caso de canales GBR). El nivel de información del ARP es usado para asegurarse de que el canal con más alto nivel de prioridad tiene la preferencia.

El ARP puede ser usado también por el eNB para decidir qué canales desechar durante ocasiones excepcionales de limitaciones de recursos como por ejemplo en un *handover*. La información de la bandera de capacidad del ARP puede decidir cuando un canal con un bajo nivel de prioridad puede ser desechado para liberar los recursos requeridos. La información de la bandera de vulnerabilidad define cuando un canal puede ser elegido para desecharse por la bandera de capacidad por un canal con un valor de ARP con mayor prioridad. Cuando un canal se establece exitosamente, el ARP no debe tener ningún impacto en el nivel del tratamiento del canal (por ejemplo: tasa de control y *scheduling*).

¹ Bandera de aviso

El tratamiento de ese canal debe ser determinado por los parámetros de QoS: QCI, GBR, MBR y AMBR. El ARP no está incluido en el perfil enviado al UE.

El ARP debe ser entendido como “*Priority of Allocation and Retention*” y no como “*Allocation and Retention Priority*”.

En este capítulo hemos cubierto la red LTE y los equipos que harán que esta red celular funcione. Además vimos como se dará el trato al QoS en comparación a la red 3G. También incluimos el proceso de QoS en un canal LTE y la importancia del parámetro ARP para brindar el QoS y así el usuario final perciba un QoE bueno.

Capítulo IV Modelo Matemático

En éste capítulo culminaremos con la investigación, y ya que tenemos definido que la señalización es el cuello de botella de las redes celulares actuales y lo será para las redes celulares futuras, modelaremos el comportamiento de estos mensajes de señalización con datos reales.

Se han realizado diversas investigaciones y modelos del comportamiento del tráfico de redes celulares, muchos de ellos basados en la teoría de colas como el caso del artículo de F. Huebner [26] y en el de Kumudu. S [37], ambos definen el modelo del tráfico de datos basados en procesos aleatorios.

Existen también modelos realizados basados en cadenas de Markov [25], que muestran el movimiento de los usuarios y la saturación que existe en la parte de radio.

Además Perera [33], nos muestra en su artículo la modelación de tráfico para el caso de la señalización de Twitter y ejemplifica cómo es que la llegada de la mensajería (señalización) son arribos exponenciales aleatorios.

Basados en estos artículos, tendremos como premisa principal que la red de datos celulares y en particular el cuello de botella, identificado en los capítulos anteriores, se comporta como un servidor con cierta capacidad de atención y por lo tanto se aplicará la teoría de filas para modelar el tráfico que llega a este servidor y es atendido por él.

4.1 Modelo Matemático

Vamos a iniciar el modelo partiendo de que las TPS (Transacciones Por Segundo) son las gráficas que vamos a estar tomando en cuenta; ya que como habíamos visto en capítulos anteriores, las TPS miden las transacciones por segundo de la señalización o de control mismas que hemos definido como el cuello de botella.

El modelo que proponemos es en base a la fórmula de las TPS:

$$\text{TPS}_{\text{TOTALES}} = \text{TPS}_{\text{MM}} + \text{TPS}_{\text{SM}}$$

$$\text{TPS}_{\text{MM}} = \text{EVENTOS ATTACH} + \text{EVENTOS DETTACH} + \text{EVENTOS RAU}$$

$$\text{TPS}_{\text{SM}} = \text{EVENTOS PDP CONTEXT ACTIVATION} + \text{EVENTOS PDP CONTEXT MODIFICATION} + \text{EVENTOS PDP CONTEXT DEACTIVATION}$$

Imaginemos que el SGSN en 2G/3G o el MME en LTE es una caja con “n” servidores a la que le llegan “m” transacciones de movilidad y de sesión en una fila, como se muestra en la **(Figura 4.1)**. Vamos a basar el modelo en la teoría de filas/tráfico, la cual permite analizar el comportamiento de un sistema con filas. Las redes telefónicas de datos pueden trabajar con bloqueo de llamadas o a la utilizar colas en espera. El SGSN/MME hace uso del bloqueo de llamadas (rechazo de llamadas de datos).

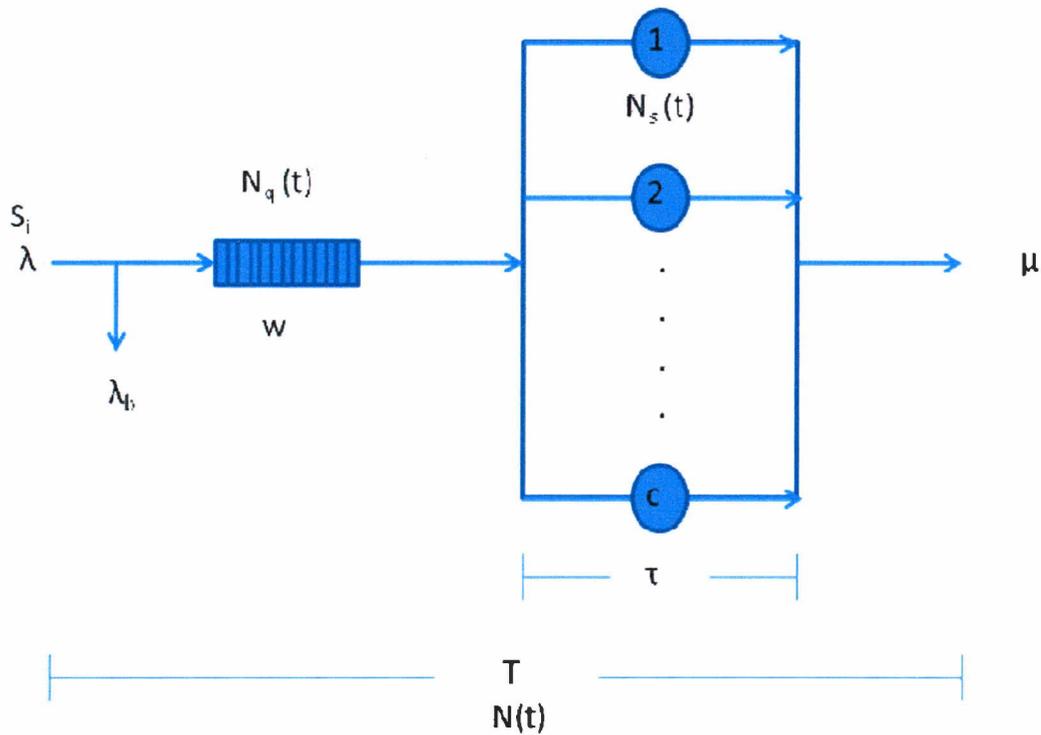


Figura 4.1 Modelo de Filas para “n” servidores [tomada de 35]

S_i = tiempo de arribo del la i -ésimo transacción

λ = tasa de arribo (transacciones/segundo)

μ = tasa de atención

τ = tiempo de servicio

λ_b = tasa de bloqueo

w = tiempo de espera en la fila

T = tiempo total del i -ésimo cliente en el sistema

$N(t)$ = número de clientes en el sistema en el tiempo t

$N_q(t)$ = número de clientes en la fila en el tiempo t

La notación de Kendall [36] para un sistema general de formación de filas es:

$A/B/C/D$

En donde:

A – distribución de llegada

B – distribución de servicio

C – número de servidores

D – capacidad de los servidores

Para nuestro modelo, tomaremos en cuenta que:

A = M, que quiere decir que las transacciones llegan de acuerdo a una distribución de Poisson y los tiempos de interarribo son variables aleatorias exponenciales independientes, idénticamente distribuidas (*iid*).

B = M, que quiere decir que los tiempos de servicio son variables aleatorias y exponenciales (*iid*).

C = m, 0...16, que es el número de servidores con los que cuenta actualmente el SGSN

D = c, 275 Transacciones por segundo, por servidor

La disciplina de filas especifica el orden en el cual los clientes, en este caso transacciones, son atendidos. Las siguientes disciplinas pueden ser usadas:

- a) FIFO (*First In First Out*) – Primero en llegar, primero en salir
- b) LIFO (*Last In First Out*) – Último en entrar, primero en salir
- c) RSS (*Random Selection Service*) – Selección aleatoria

El SGSN/MME utiliza la disciplina FIFO.

El modelo de acuerdo a la notación de Kendall, quedaría de la siguiente manera:

$$\text{M/M/m/c}$$

De acuerdo a lo anterior y a la (**Figura 4.1**), el tiempo de total del servicio es la suma del tiempo de atención más el tiempo en espera.

$$T_i = w_i + \tau_i$$

Desde la perspectiva del cliente, el desempeño (*performance*) del sistema está dado por:

- a) Las estadísticas del tiempo de espera (w)
- b) El retardo/tiempo total del sistema (T)
- c) El porcentaje/porción de clientes que son bloqueados o rechazados (λ_b/λ)

Desde la perspectiva de la asignación de los recursos, el desempeño (*performance*) del sistema está dado por:

- a) La porción de tiempo que cada servidor es utilizado
- b) La tasa a la cual los clientes son servidos por el sistema ($\lambda_d = \lambda - \lambda_b = \mu$)
- c) Número de clientes en el sistema en el tiempo t ($N(t)$)

Para este tipo de modelo, están han establecido las siguientes relaciones de acuerdo a la Teoría de Little [35][36]:

$$N = \lambda T$$

$$NQ = \lambda W$$

N - promedio de TPS (peticiones) en el sistema

T - promedio del tiempo de las TPS (peticiones) en el sistema

λ - tasa de arribo

NQ - promedio de TPS (peticiones) rechazadas

W - promedio de tiempo de espera de rechazo

De las variables arriba mencionadas conocemos N , λ y NQ ; por lo tanto nuestro interés está en obtener el modelo para T y W .

Para sistemas que alcanzan el estado estable [36]:

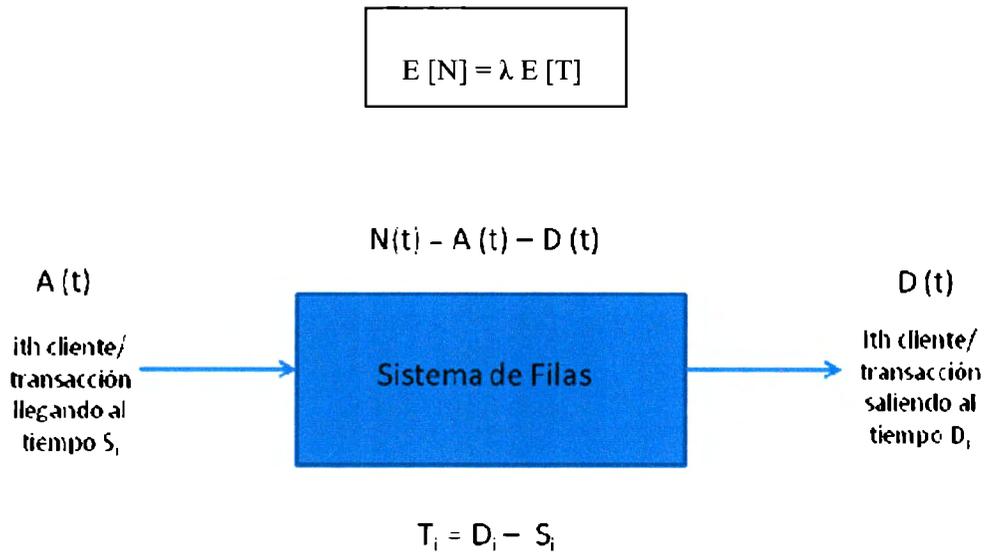


Figura 2 Diagrama del Sistema de Filas [tomada de 35]

De la (Figura 2),

$$N(t) = A(t) - D(t)$$

Considerando el número de clientes en el sistema evaluado en el intervalo $[0, t]$ [36],

$$N_t = 1/t \int N(t) dt, \text{ evaluada en el intervalo de } 0 \text{ a } t$$

Evaluando en el tiempo instantáneo $t = t_0$, para el cual $N(t) = 0$ [36],

$$\langle N \rangle_t = (1/t) \sum T_i, \text{ desde } i = 1 \text{ hasta } A(t), \text{ número de clientes en el sistema}$$

La tasa promedio de arribo [36],

$$\langle \lambda \rangle_t = A(t) / t$$

Utilizando la fórmula de Little [36].

$$\langle N \rangle_t = \langle \lambda \rangle_t [1/A(t)] [\sum T_i], \text{ desde } i = 1 \text{ hasta } A(t)$$

Para que se cumpla la condición de estado estable $t \rightarrow \infty$; entonces [36],

$$\langle N \rangle_t \rightarrow E[N]$$

$$\langle \lambda \rangle_t \rightarrow \lambda$$

$$\langle T \rangle_t \rightarrow E[T]$$

$E[N] = \lambda E[T]$, número de clientes/transacciones promedio en el sistema

$E[N_q] = \lambda_b E[w]$, número de clientes promedio en la fila /bloqueados o rechazados, ya que no tenemos fila

$E[N_s] = \lambda_b E[\tau]$, número de servidores ocupados en el sistema en estado estable = número promedio de clientes en servicio

Para un solo servidor tenemos que, está libre o está ocupado (0,1); así que, $E[N_s]$ representa la porción de tiempo que el servidor está ocupado. Si $P_0 = P[N(t) = 0]$ denota la probabilidad de que el sistema esté vacío en estado estable [36].

$$1 - P_0 = E[N_s] = \lambda E[\tau]$$

$$P_0 = 1 - \lambda E[\tau]$$

$1 - P_0$ denota la porción de tiempo en el que el servidor está ocupado, Por ésta razón se define [36],

$$\rho = \lambda E[\tau], \text{ utilización del sistema con un solo servidor}$$

$$\rho = (\lambda E[\tau]) / c, \text{ utilización del sistema con } c \text{ servidores}$$

Empezando con un modelo M/M/1; es decir, procesos de arribo de Poisson a una tasa λ y tiempo de interarribo $1/\lambda$, tiempo de servicio exponencial de variable aleatoria iid con media $1/\mu$ y un servidor con fila infinita; debe cumplirse que [36],

$$\rho = \lambda/\mu < 1$$

Ya que es un sistema estable en el que $N(t)$ no crece sin límites, además μ es la tasa máxima a la cual los servidores pueden procesar clientes/transacciones; entonces la tasa de arribo debe ser menor a la tasa máxima de servicio [36],

$$\lambda < \mu$$

$$E[N] = \sum_j j P[N(t) = j] = \rho / (1-\rho), \text{ evaluado desde } j = 0 \text{ hasta } \infty$$

$E[N] = \rho / (1-\rho)$, número promedio de clientes en el sistema y N tiene una distribución geométrica

El tiempo promedio o retardo promedio del cliente en el sistema está dado por [36],

$$E[T] = E[N] / \lambda = [\rho / (1-\rho)] / \lambda = [\rho/\lambda] / [1-\rho] = [1/\mu] / [1-\rho] = [E[\tau]] / [1-\rho] = 1/(\mu-\lambda)$$

$$E[T] = 1/(\mu-\lambda)$$

El tiempo en la fila está dado por [36],

$$\begin{aligned} E [w] &= E [T] - E [\tau] \\ E [w] &= [\rho / (1-\rho)] [E[\tau]] \end{aligned}$$

El número de clientes en la fila está dado por [36],

$$\begin{aligned} E [N_q] &= \lambda E [w] \\ \rho &= \lambda/\mu, \text{ utilización en el sistema} \\ E [N_q] &= [\rho^2/(1-\rho)] \end{aligned}$$

4.2 Modelo y simulaciones en Matlab

Basándonos en que nuestro aproximación del modelo será de la forma M/M/m/c, lo primero que necesitamos es obtener los arribos al sistema y las salidas del sistema después de ser atendidas las TPS (**Figura 4.1**). Para obtener los arribos requerimos que estos sean conforme a una distribución de Poisson y los tiempos de interarribo sean variables aleatorias exponenciales independientes, idénticamente distribuidas (*iid*) (**Figura 3**).

Una vez que tenemos los arribos, ya que conocemos la tasa de servicio y calculando el tiempo de servicio, podemos obtener las salidas del sistema (**Figura 4.4**)

Con los valores de $S_i(t)$ y $D_i(t)$ podemos ahora obtener la eficiencia, el número de TPS y el tiempo de servicio del sistema. Primero simularemos para un solo servidor con capacidad finita y sin fila.

En la (**Figura 4.5**) observamos que la utilización del sistema se incrementa conforme llegan más TPS al SGSN/MME y el tiempo de servicio es más grande conforme la utilización del sistema es mayor (**Figura 4.6**). Para un sistema con un solo servidor, la (**Figura 4.7**) muestra el comportamiento.

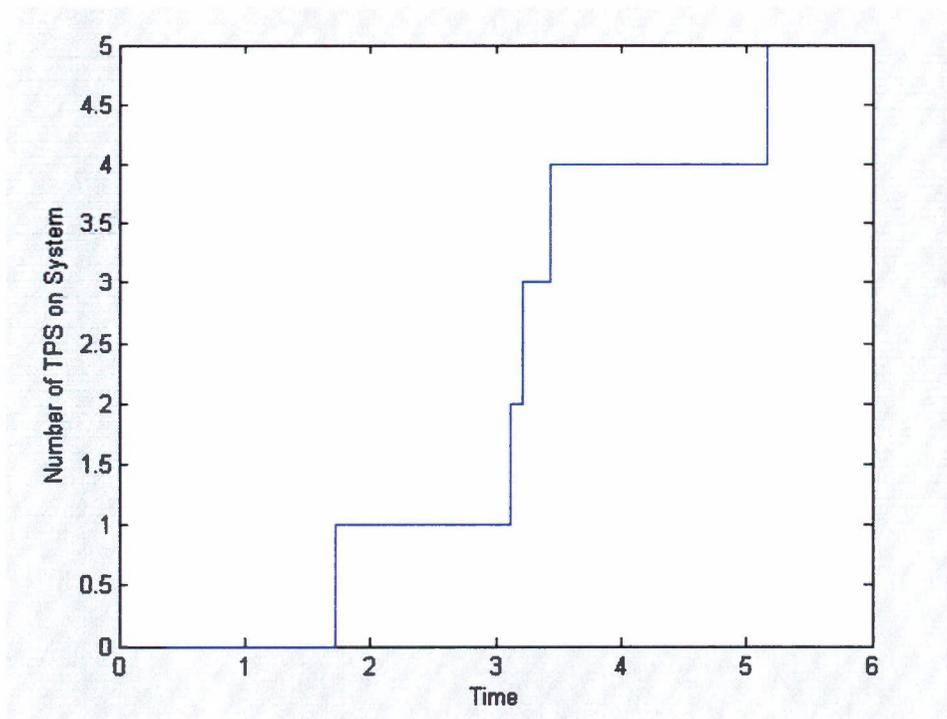


Figura 3.4 Arribos al sistema

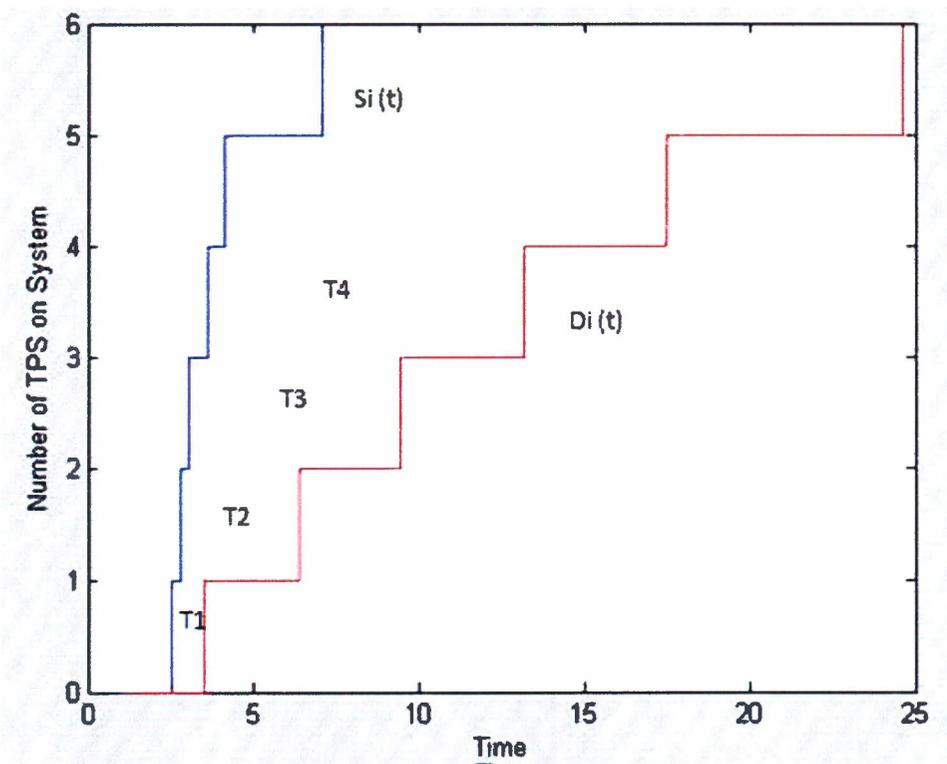


Figura 4.4 Arribos al sistema y salidas del sistema

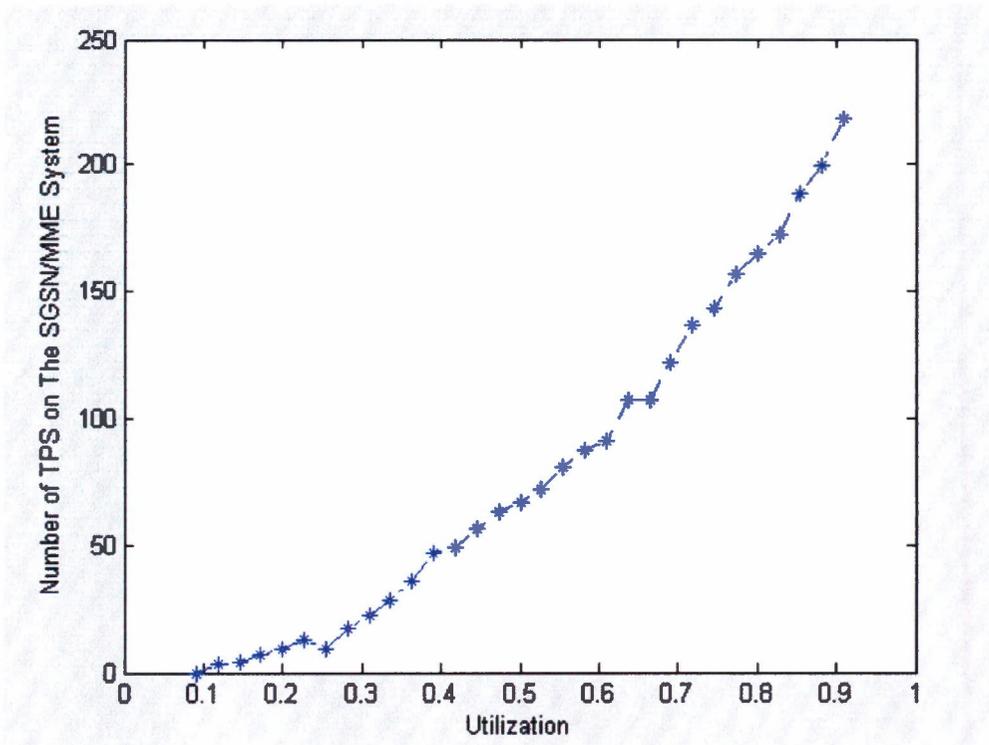


Figura 4.5 Utilización del sistema vs número de TPS en el sistema

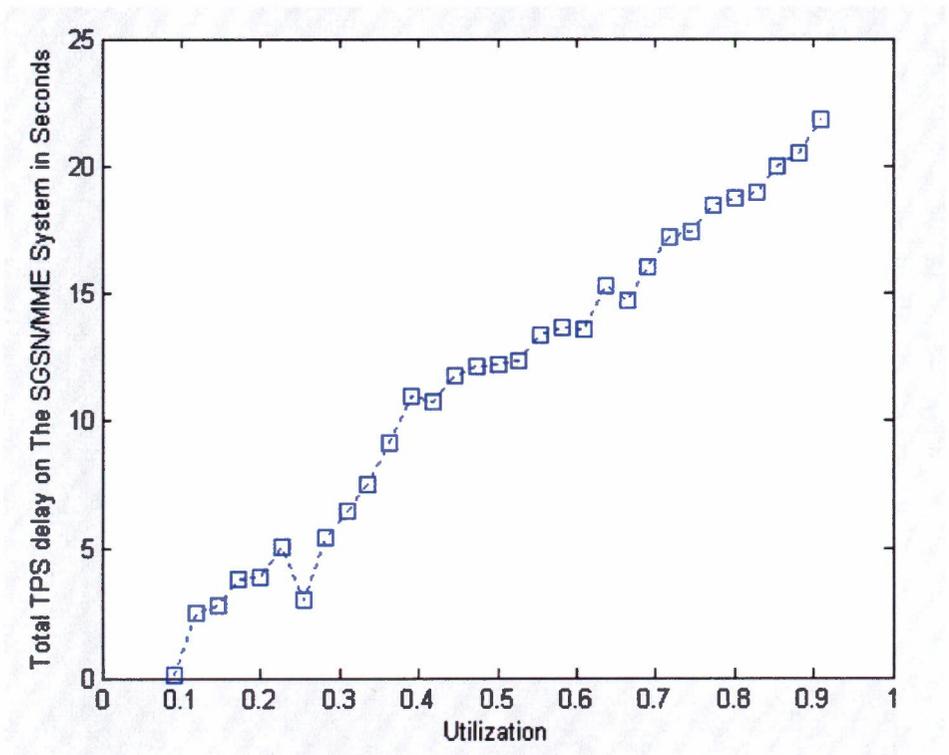


Figura 4.6 Utilización del sistema vs tiempo de servicio de las TPS

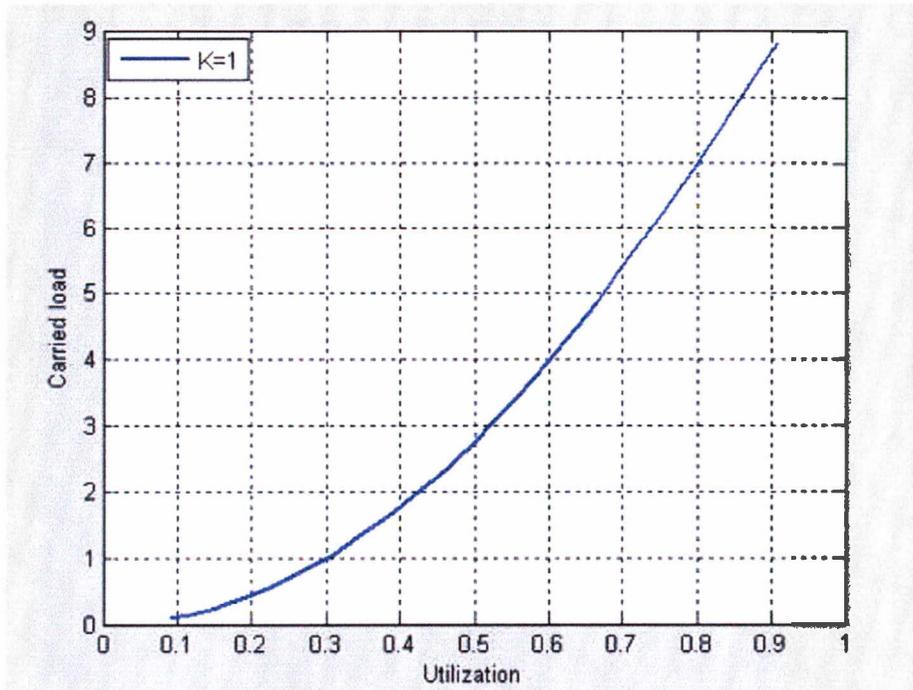


Figura 4.7 Utilización para un servidor vs la carga de TPS que llega al sistema

Una vez que hemos modelado el sistema para un servidor sin fila, ahora vamos a extrapolarlo para tener C servidores sin fila. De la familia de curvas resultante de la simulación de la (Figura 4.8) podemos ver cómo se comporta el sistema dependiendo del número de servidores y la (Figura 4.9) nos muestra la pmf, probabilidad de bloqueo o rechazo para una capacidad de k=1 a 15 servidores.

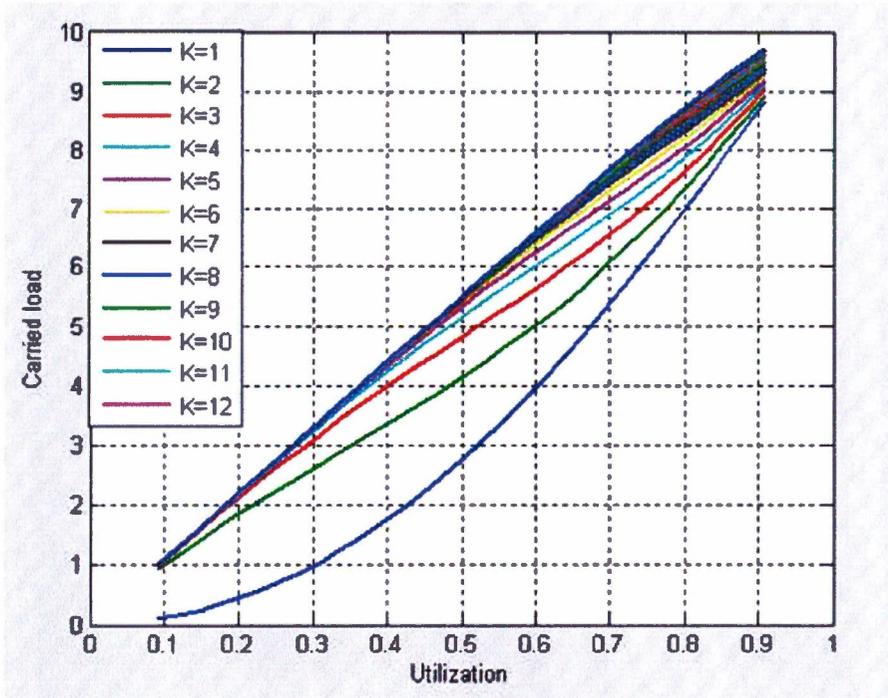


Figura 4.8 Utilización del sistema dependiendo del número de servidores

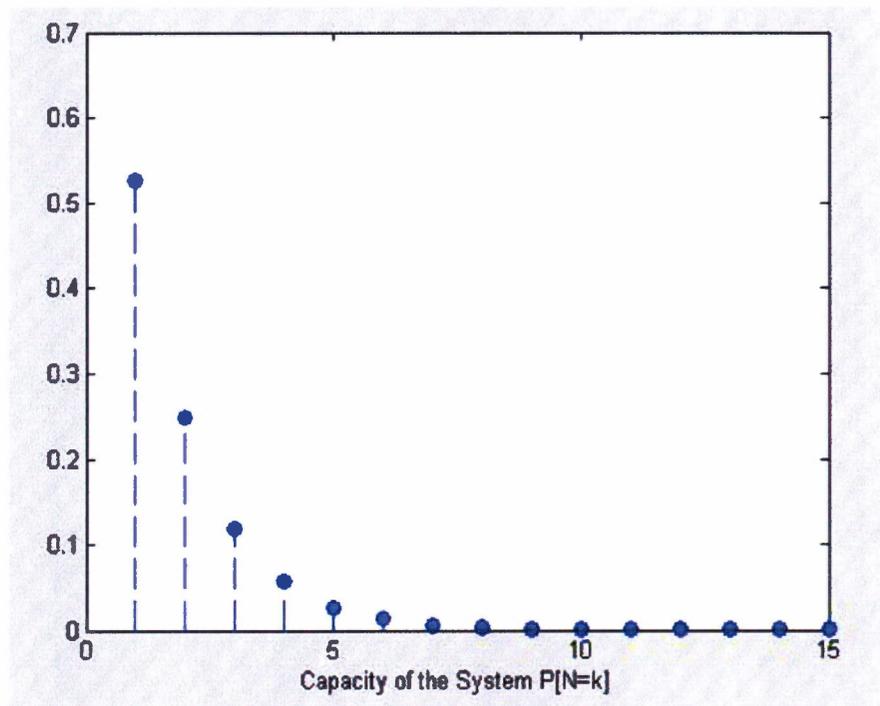


Figura 4.9 pmf para K=1 a 15 servidores

Conclusiones

Actualmente los operadores de red dimensionan la misma en base al tráfico de usuario y en ocasiones los usuarios no llegan a establecer ni siquiera el registro a la red debido a la saturación ocasionada por múltiples peticiones de contexto, de registro, de reubicación, de reconexión, de *keep alive*; es decir de tráfico de señalización, también conocido como tráfico de control.

Para redes 3G y futuras redes celulares, la cantidad de usuarios móviles irá en aumento y cada vez estos usuarios móviles demandarán servicios de *always on* para aplicaciones como *twitter*, *facebook* y descarga de correo en sus terminales conocidas actualmente como “*smartphones*”.

Podemos decir, que tanto en 2G, 3G y LTE un equipo es la puerta de entrada a la red; esté equipo el cual se encarga de la señalización es el estudiado SGSN (para redes 2G/3G) o MME (LTE). El presente trabajo se enfocó en estudiar las transacciones en este equipo y cómo es que estas se relacionan con la carga de CPU.

Hemos concluido nuestro trabajo de investigación con un modelo matemático el cual nos muestra en base al tráfico de señalización (control) cómo es que una red celular puede congestionarse y ocasionar rechazos de activaciones de contexto y de registro de usuarios en la red.

La calidad en el servicio que experimenta el usuario es deficiente cuando éste debe esperar para ser atendido. En éste punto el usuario ni siquiera ha establecido un canal con el cual se le pueda ofrecer el QoS prometido. Sin embargo, para el usuario el servicio recibido será percibido como mala calidad.

El modelo de filas M/M/m/m nos dio una visión del comportamiento del SGSN/LTE como un sistema con C servidores de capacidad finita y sin cola. Logramos obtener una aproximación de la utilización del sistema y de la probabilidad de rechazo del mismo.

La aportación fundamental del presente trabajo está en la representación del sistema de datos para una red 3G usando un modelo de filas de la forma M/M/m/m. Este modelo nos predice el comportamiento del tráfico de señalización y resulta de ayuda para el dimensionamiento de las redes de los operadores en cuanto a capacidad del hardware de los equipos ofrecidos por los proveedores.

Se han realizado estudios utilizando la fórmula Erlang B y C. La fórmula B obtiene la probabilidad de bloqueo ó pérdida de llamada en un grupo de circuitos; por ejemplo, en las redes telefónicas. La fórmula C asume una infinita población de fuentes, ésta fórmula calcula la probabilidad de la cola ofrecido en el tráfico asumiendo que las llamadas fueron bloqueadas se quedaran en el sistema hasta que se puedan atender. Ambas fórmulas son útiles para la obtención de bloque y capacidad; sin embargo lo que se buscó en ésta tesis fue obtener un modelo para el desempeño (*performance*) del sistema en su totalidad y para ello además de los rechazos y capacidad nos interesaba saber por ejemplo, el tiempo de espera en el sistema, el tiempo de atención, el retardo, etc.

Como recomendaciones para trabajos futuros se sugiere evaluar el cuello de botella en la parte de acceso; es decir radio, haciendo énfasis en la movilidad del usuario.

Apéndice

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
%
%                               Using Queuing Theory for model SGSN and MME
%                               Performance on 3G and LTE Networks
%
%   Author:
%   MSc. Jeniffer Díaz De La Fuente
%   Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey
%   Campus Ciudad de México
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Implementation of a M/M/C/?
%
%                               Variable definition Area.
% The condition  $\rho = \lambda / \mu < 1$  must be met if the system is to be
stable
% in the sense that  $N(t)$  does not grow without bound. Since  $\mu$  is the
% maximum rate at which the server can process customers, the condition
%  $\rho < 1$  is equivalent to Arrival rate =  $\lambda < \mu$  = Maximum service rate.
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%                               Main Variables

% poisson.m simulates a Poisson process
clear;
lambda=0.1:0.3:10;          % arrival rate
Wi=0;                       % Time on queue
miu=11;                     % departure rate
Simax=34;                   % maximum time
Dimax=34;                   % maximum time
C=1:15;                     % Maximum server number
Cmax=15;
lambdamax=34;
clear Si;
clear Di;
clear Ti;
clear Ni;
clear Roi;
clear Taoi;
clear lambdaA;
%Generating the inter-arrival times
k=1;
for k=1:lambdamax
    Si(k,1)=random('Exponential',1/lambda(1,k));
    Di(k,1)=random('Exponential',1/miu)+Si(1,k);
    i=1;
```

```

j=1;
%Calculating the interarrival Si and departures Di times
if miu > lambda(k)
    while Si(1,i) < Simax,
        Si(k,i+1)=Si(k,i)+random('Exponential',1/lambda(1,k));
        Di(k,i+1)=Di(k,i)+(random('Exponential',1/miu)+Si(k,i+1));
        i=i+1;
    end
else
    while Di(1,i) < Dimax,
        Si(k,i+1)=Si(k,i)+random('Exponential',1/lambda(1,k));
        Di(k,i+1)=Di(k,i)+(random('Exponential',1/miu)+Si(k,i));
        i=i+1;
    end
end

%Calculating the Delay time on the queue
for j=1:i
    Ti(k,j)=Di(k,j)-Si(k,j);
end

%Calculating the Number of TPS inside system using definition
%E[N]=lambda*E[Ti]
j=1;
for j=1:i
    Ni(k,j)=round(lambda(k)*Ti(k,j));
end
%Utilization
Roi=lambda/miu;
%Calculando Ti=Wi+Taoi if Wi=0 then Ti=Taoi
%for j=1:i
%    Taoi(k,j)=Roi(k)*C/lambda(k);
%end
%Otraforma=1/(C*miu);
end
%Calculando la probabilidad con sistema con capacidad finita
for x=1:Cmax
    for j=1:lambda_max
        if x ~= Cmax
            PN(x,j)=((1-Roi(j))*Roi(j)^(x-1))/(1-Roi(j)^(C(Cmax)+1));
        else
            PN(x,j)=((1-Roi(j))*Roi(j)^(x))/(1-Roi(j)^(C(Cmax)+1));
        end
    end
end
%Calculando el número promedio de clientes o TPS en el sistema
for x=1:Cmax
    for j=1:lambda_max
        if Roi(j)~=1
            Nc(x,j)=round((Roi(j)/(1-Roi(j)))-
(C(Cmax)+1)*Roi(j)^(C(Cmax)+1)/(1-Roi(j)^(C(Cmax)+1)));
        else
            Nc(x,j)= round(C(Cmax)/2);
        end
    end
end
end

%In finie-capacity systems, it is necessary to distinguish between the
%traffic load offered to a system and the actual load carried by the

```

Apéndices

```
%system. The offered load, or traffic intensity, is measured of the
demand
%made on the system.
for x=1:Cmax
    for j=1:lambdamax
        lambdaA(x,j)=lambda(j)*(1-PN(x,j));
    end
end

%stem(Y)
%Ploting Area
figure('name','Total time spent by the First TPS inside SGSN or MME
System');
title('Total time spent by the First TPS inside SGSN or MME System')
stairs(Si(1,1:i), 0:(i-1),'blue');
hold on;
stairs(Di(1,1:i), 0:(i-1),'red');
xlabel('Time');
ylabel('Number of TPS on System');

figure('name','Mean Number of TPS in the SGSN/MME versus utilization');
title('Mean Number of TPS in the SGSN/MME versus utilization')
plot(Roi(1,1:k),Ni(1:k,1),'-.blue*','LineWidth',1);
xlabel('Utilization');
ylabel('Number of TPS on The SGSN/MME System');

figure('name','Mean Total TPS delay in the SGSN/MME versus utilization');
title('Mean Total TPS delay in the SGSN/MME versus utilization')
plot(Roi(1,1:k),Ti(1:k,1),'bs','LineWidth',1);
xlabel('Utilization');
ylabel('Total TPS delay on The SGSN/MME System in Seconds');

figure('name','Typical pmfs for N(t) for a SGSN/MME System with capacity
C');
title('Typical pmfs for N(t) for a SGSN/MME System with capacity C')
stem(PN(1:Cmax,15),'fill','--');
%set(get(Nc,'BaseLine'),'LineStyle',':');
%set(Nc,'MarkerFaceColor','red');
xlabel('Capacity of the System P[N=k]');

figure('name','Mean Number of TPS for a SGSN/MME System with capacity
C');
plot(Roi,lambdaA(1:Cmax,1:Dimax),'LineWidth',2);
% Add a legend in the upper left
legend('K=1','K=2','K=3','K=4','K=5','K=6','K=7','K=8','K=9','K=10','K=11
','K=12')
title('Carried Load versus offered load for SGSN/MME System')
xlabel('Utilization');
ylabel('Carried load');
grid on;
```

Referencias

- [1] Zapater M. N. , Bressan G., "A proposed Approach for Quality of Experience Assurance for IPTV"; Dept. of Computing and Digital Systems Engineering. Digital Society, 2007. ICDS '07. First International Conference. Page(s): 25-25. IEEE CNF.
- [2] Mc Namara N., Kirakowski J., "Defining Usability: Quality of Use or Quality of Experience"; Professional Communication Conference, 2005. IPCC 2005. Proceedings International. 10-13 July 2005. Page(s): 200-204. IEEE CNF.
- [3] Perkis, A.; Munkeby, S.; Hillestad, O.I.; "A model for measuring Quality of Experience"; Signal Processing Symposium, 2006. NORSIG 2006. Proceedings of the 7th Nordic 7-9 June 2006. Page(s):198 – 201. IEEE CNF.
- [4] Janowski, L.; Papir, Z.; " Modeling Subjective Tests of Quality of Experience with a Generalized Linear Model"; Quality of Multimedia Experience, 2009. QoMEX 2009. International Workshop on 29-31 July 2009 Page(s):35 – 40. IEEE CNF.
- [5] Din, I.; Saqib, N.A.; Baig, A.; " Passive Analysis of Web Traffic Characteristics for Estimating Quality of Experience"; GLOBECOM Workshops, 2008 IEEE Nov. 30 2008-Dec. 4 2008 Page(s):1 – 5.
- [6] Larsen P. "Combi SGSN KPI workshop"; T-Mobile, Seattle. Nokia Siemens Networks confidential, June 3, 2008.
- [7] Hyun Jong Kim; Dong Hyeon Lee; Jong Min Lee; Kyoung Hee Lee; Won Lyu; Seong Gon Choi; , "The QoE Evaluation Method through the QoS-QoE Correlation Model," Networked Computing and Advanced Information Management, 2008. NCM '08. Fourth International Conference on , vol.2, no., pp.719-725, 2-4 Sept. 2008
doi: 10.1109/NCM.2008.202
- [8] Uemura S., Fukumoto N., Yamada H., Nakamura H.; "QoS/QoE measurement system implemented on cellular phone for NGN"; Communications Network Planning Laboratory. IEEE 2008.
- [9] Imadud Din, Nazar Abbas Saqib, Adeel Baig; "Pasive Analysis of Web Traffic Characteristics for Estimating Quality of Experience" NUST-SEECS, IEEE2008.
- [10] Suzuki, T.; Kutsuna, T.; Tasaka, S.; , "QoE estimation from MAC-level QoS in audio-video transmission with IEEE 802.11e EDCA," Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2008. PIMRC 2008. IEEE 19th International Symposium on , vol., no., pp.1-6, 15-18 Sept. 2008
doi: 10.1109/PIMRC.2008.4699471

- [11] Kitamura, M.; Murooka, T.; Teshima, M.; Hadama, H.; Takahara, A.; Fujii, T.; , "A Study on the Correlation between QoE of 4K Super High Definition Video Streamings and QoS of Network," Computer Communications and Networks, 2009. ICCCN 2009. Proceedings of 18th International Conference on , vol., no., pp.1-6, 3-6 Aug. 2009
doi: 10.1109/ICCCN.2009.5235329
- [12] Gomes, R.L.; Jailton, J.; Moreira, W.; Abelem, A.J.; , "QoE and QoS in wireless mesh networks," Communications, 2009. LATINCOM '09. IEEE Latin-American Conference on , vol., no., pp.1-6, 10-11 Sept. 2009
doi: 10.1109/LATINCOM.2009.5305125
- [13] Siller, M.; Woods, J.C.; , "QoS arbitration for improving the QoE in multimedia transmission," Visual Information Engineering, 2003. VIE 2003. International Conference on , vol., no., pp. 238- 241, 7-9 July 2003
- [14] Hyun Jong Kim; Byung Kyu Kim; Hyun Ho Choi; Seong Gon Choi; , "Implementation of QoS control system with QoE parameters on multimedia services," Advanced Communication Technology (ICACT), 2010 The 12th International Conference on , vol.2, no., pp.1035-1040, 7-10 Feb. 2010
- [15] Hyun Jong Kim; Seong Gon Choi; , "A study on a QoS/QoE correlation model for QoE evaluation on IPTV service," Advanced Communication Technology (ICACT), 2010 The 12th International Conference on , vol.2, no., pp.1377-1382, 7-10 Feb. 2010
- [16] Lu Liu; Wenan Zhou; Fei Ma; Junde Song; , "QoE-oriented edge network busy time detection and analysis," Communications Technology and Applications, 2009. ICCTA '09. IEEE International Conference on , vol., no., pp.232-236, 16-18 Oct. 2009
doi: 10.1109/ICCOMTA.2009.5349205
- [17] Lu Liu; Wen-an Zhou; , "QoE-Based Busy Time Management Structure for Data Services," Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2009. WiCom '09. 5th International Conference on , vol., no., pp.1-4, 24-26 Sept. 2009
doi: 10.1109/WICOM.2009.5301973
- [18] Ketykó, I.; De Moor, K.; Joseph, W.; Martens, L.; De Marez, L.; , "Performing QoE-measurements in an actual 3G network," Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB), 2010 IEEE International Symposium on , vol., no., pp.1-6, 24-26 March 2010
doi: 10.1109/ISBMSB.2010.5463132
- [19] Liu Li-yuan; Zhou Wen-an; Song Jun-de; , "The Research of Quality of Experience Evaluation Method in Pervasive Computing Environment," Pervasive Computing and Applications, 2006 1st International Symposium on , vol., no., pp.178-182, 3-5 Aug. 2006
doi: 10.1109/SPCA.2006.297564
- [20] Kuan-Ta Chen; Cheng-Chun Tu; Wei-Cheng Xiao; , "OneClick: A Framework for Measuring Network Quality of Experience," INFOCOM 2009, IEEE , vol., no., pp.702-710, 19-25 April 2009
doi: 10.1109/INFCOM.2009.5061978

[21] Feng Gao; Zehua Gao; Liu Wen; Bing Zhang; Di Tang; Dahsiung Hsu; , "A Research on Key Performance Indicator of Measurable QoE of EDGE Network," Information Engineering and Computer Science, 2009. ICIECS 2009. International Conference on , vol., no., pp.1-4, 19-20 Dec. 2009
doi: 10.1109/ICIECS.2009.5362901

[22] Nokia Siemens Networks, Academy

[23] "Priority, Preemption and QoS", Public Safety Communications Research (PSCR)

[24] Kuo-Hsing Chiang; Shenoy, N.; "A 2-D random-walk mobility model for location-management studies in wireless networks" Vehicular Technology, IEEE Transactions on
Volume: 53 , Issue: 2
Digital Object Identifier: [10.1109/TVT.2004.823544](https://doi.org/10.1109/TVT.2004.823544)
Publication Year: 2004 , Page(s): 413 - 424

[25] Fulop, P.; Szabo, S.; Szalka, T.; "Accuracy of random walk and Markovian mobility models in location prediction methods"
Software, Telecommunications and Computer Networks, 2007. SoftCOM 2007. 15th International Conference on
Digital Object Identifier: [10.1109/SOFTCOM.2007.4446069](https://doi.org/10.1109/SOFTCOM.2007.4446069)
Publication Year: 2007 , Page(s): 1 - 5

[26] Huebner, F.; Liu, D.; Fernandez, J.M.; "Queueing performance comparison of traffic models for Internet traffic"
Global Telecommunications Conference, 1998. GLOBECOM 98. The Bridge to Global Integration. IEEE
Volume: 1
Digital Object Identifier: [10.1109/GLOCOM.1998.775774](https://doi.org/10.1109/GLOCOM.1998.775774)
Publication Year: 1998 , Page(s): 471 - 476 vol.1

[27] http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_device_bandwidths

[28] Nokia Siemens Networks, GPRS Architecture , Training Document, Nokia Oyj, 6-64442 Issue 3.0

[29] Nokia Siemens Networks, SGSN Messages in Packet Core Mobility and Session Management, Training Document

[30]http://127.0.0.1:43231/NED/NED?service=library&submenu=pdf&page=toiframe&library=dn70463979_sgsn_rel_sg7_cd5_v2

[31] 3GPP TS 32.406

[32] 3GPP 32405-820

[33] Perera, R.D.W.; Anand, S.; Subbalakshmi, K.P.; Chandramouli, R.; , "Twitter analytics: Architecture, tools and analysis," MILITARY COMMUNICATIONS CONFERENCE, 2010 - MILCOM 2010 , vol., no., pp.2186-2191, Oct. 31 2010-Nov. 3 2010

doi: 10.1109/MILCOM.2010.568049

[34] Nokia Siemens Networks, SGSN Reference Capacity

[35] Leon-Garcia, Alberto; *Probability, Statistics, and Random Process for electrical engineering*; Pearson/Prentice Hall;2008

[36] Bertsekas, Dimitri; *Data Networks*; Prentice- Hall

[37] Kumudu S., Munasinghe, K.S.; Jamalipour, A.;

Signal Processing and Communication Systems, 2008. ICSPCS 2008. 2nd International Conference on Digital Object Identifier: 10.1109/ICSPCS.2008.4813740

Publication Year: 2008 , Page(s): 1 - 7