

# Análisis de la distribución del tráfico de señalización en una red GSM/GPRS

Matías Toril Genovés\*, Juan J. Escobar Mira\*\*, Ricardo Ferrer Álvarez\*\*

\*Dpto. Ingeniería de Comunicaciones, Universidad de Málaga

\*\*Tartessos Technologies

Campus Universitario de Teatinos, s/n 29071 Málaga

Tel: 952137120, Fax: 952132027

E-mail: mtoril@ic.uma.es

## Abstract

*El proceso de dimensionamiento de la capacidad de señalización resulta vital para la operación de las redes celulares. Tradicionalmente, dicho proceso se ha basado en el modelo Erlang-B, cuya validez podría cuestionarse teniendo en cuenta la diversidad de componentes incluidas en dicho flujo de información. En este trabajo se propone el análisis del tráfico de señalización sobre el canal SDCCH en una red de acceso radio GSM/GPRS, basado en medidas extraídas de una red real. Tras desglosar las componentes del tráfico sobre este canal lógico, se comparan las distribuciones en el dominio espacial y temporal del tráfico de voz y señalización. Finalmente, se ponen de manifiesto las limitaciones del modelo Erlang-B para optimizar los recursos reservados para el tráfico de señalización a partir de los estadísticos recopilados a nivel de celda durante los procesos de optimización de la red.*

## 1. Introducción

Tradicionalmente, los procesos de planificación y optimización de red llevados a cabo por los operadores de telefonía móvil prestan especial atención a la asignación de recursos destinados al transporte de llamadas. Con ello, numerosos estudios han concentrado sus esfuerzos en el desarrollo de expresiones que permitan predecir el bloqueo en el interfaz radio a partir de modelos de la distribución espacial y temporal del tráfico de llamadas. Con la aparición de nuevos servicios cuyo correcto funcionamiento se fundamenta en los procedimientos de señalización, tales como el Servicio de Mensajes Multimedia (MMS), se plantean nuevos retos en el manejo de su carga de tráfico asociada. Por ello, resulta fácil entender la importancia que adquiere la disposición de modelos de tráfico para los procesos de señalización con objeto de asegurar la eficiencia de las redes de comunicación celular.

En los sistemas actuales, basados en la red de acceso radio GSM/GPRS, la capacidad de señalización depende del correcto dimensionado de los canales de control [1]. Entre ellos, destaca el canal lógico bidireccional SDCCH (Stand Alone Dedicated Control CHannel), empleado en funciones tan relevantes como el establecimiento de llamadas y la gestión de la movilidad, y, por ello, objeto de especial seguimiento por parte del operador.

Para planificar sus recursos asociados, numerosas fuentes bibliográficas (p.ej.[2]) proponen la utilización del modelo Erlang-B para modelar el proceso de bloqueo de peticiones sobre dichos canales de señalización. En esta aproximación, se asume implícitamente que las tentativas de petición de canal siguen una ley de Poisson, con reintentos

estadísticamente independientes (es decir, sin memoria). Sin embargo, la validez de dicha suposición podría ser cuestionada teniendo en cuenta la diversidad de componentes incluidas en el flujo de información soportado en estos canales. Como consecuencia de tales limitaciones, durante la fase operativa de la red aparecen de forma aislada problemas de congestión, cuyos efectos consiguen paliar, en mayor o menor medida, las estrategias de gestión dinámicas de recursos radio que comparten recursos entre los flujos de tráfico de voz y señalización. Desafortunadamente, la experiencia demuestra que en la mayoría de los casos los picos de la demanda de tráfico de voz y señalización tienden a aparecer correlacionados tanto en el tiempo como en el espacio. Con esta situación, las estrategias dinámicas se demuestran incapaces de aportar capacidad adicional SDCCH, ya que el tráfico de voz presenta prioridad frente al tráfico de señalización. Asimismo, otras estrategias de alivio de congestión, tales como el reintento directo de llamadas y el balance de carga entre celdas, no se traducen en ninguna mejora, debido a la imposibilidad de acceder a la celda congestionada, y por tanto, realizar el traspaso hacia celdas libres. Por todo ello, resulta imprescindible reservar de forma permanente una parte de la capacidad de tráfico de una celda para señalización en un intento de minimizar la pérdida de llamadas.

Los procesos de optimización de red posteriores tratan de mitigar los problemas de congestión detectados en la red mediante la extensión de los recursos destinados para señalización. Dichos procesos de optimización se fundamentan en la localización de problemas sobre las estadísticas de tráfico extraídas de la red a nivel de celda, para posteriormente ampliar los recursos de forma progresiva hasta la remisión del mismo. Como

consecuencia de esta estrategia de optimización reactiva, guiada únicamente por la existencia de problemas en la red, resulta imposible detectar aquellas situaciones opuestas en las que los recursos de señalización hayan sido sobredimensionados. Por tanto, una vez dimensionada la red, la modificación de las tendencias de los usuarios o, sobre todo, posteriores ampliaciones llevadas cabo sobre la red (p.ej. despliegue de nuevas celdas, división/sectorización de celdas existentes) resultan en una utilización ineficiente como consecuencia de una estrategia que excluye cualquier tipo de estimación. Tal afirmación queda respaldada por los resultados presentados en [3], donde se demuestra que los métodos reactivos resultan en una asignación excesiva, y por tanto, ineficiente de los recursos dedicados a los procesos de señalización. Por todo ello, la aplicación de estrategias de optimización basadas en métodos predictivos se traduce en una mejor utilización de los recursos desplegados por el operador, siempre que los modelos empleados sean lo suficientemente precisos.

A la luz del razonamiento expuesto, se puede concluir que la disposición de modelos de estimación del bloqueo del tráfico sobre los canales de señalización, ajustados durante la fase de optimización mediante las estadísticas de tráfico recopiladas a nivel de celda, resultan en una mejora de la capacidad de la red. Como resultado, es posible retrasar la necesidad de futuras ampliaciones en la red.

En el presente trabajo se aborda el estudio del tráfico de señalización cursado a través del canal SDCCH a partir de medidas extraídas de una red real. En primer lugar, se analiza la proporción existente entre las diversas componentes de tráfico de señalización sobre dicho canal. A continuación, se estudia la distribución espacial y temporal del tráfico de señalización en la red, resaltando su similitud con el tráfico de voz. Como punto final, se propone un modelo que permita optimizar los recursos reservados para el tráfico de señalización a partir de los estadísticos recopilados a nivel de celda durante los procesos de optimización de una red celular.

## 2. Componentes de tráfico SDCCH

En la fig. 1 se representa el reparto de las diversas componentes de tráfico de señalización SDCCH en una área compuesta por 1790 celdas, con 2.2TRX/celda y 9.2 subcanales SDCCH/celda en promedio. Para su elaboración, se ha recogido en primer lugar el número de accesos de señalización SDCCH asociado a cada causa durante la hora cargada de señalización en un día laborable y otro festivo. Posteriormente, se ha establecido un tiempo medio de reserva de canal diferente para cada causa, siguiendo los valores recomendados en [4].

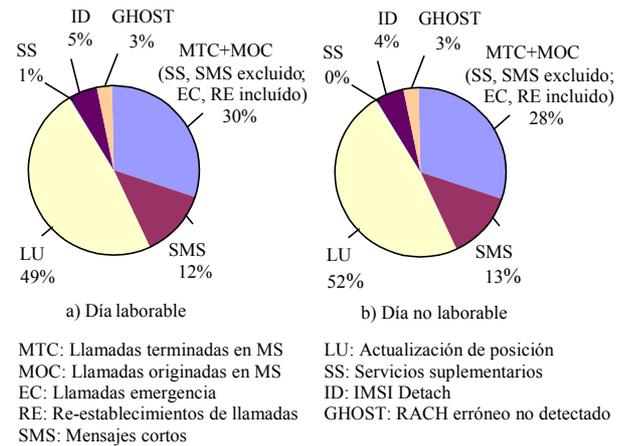


Fig. 1. Reparto de tráfico SDCCH por causas.

Finalmente, se ha estimado el tráfico cursado SDCCH por causa mediante la expresión:

$$A[E] = BHCS \times \frac{MHT}{3600} \quad (1)$$

donde  $A[E]$  es el tráfico cursado SDCCH medido en Erlangs,  $BHCS$  es el número de accesos de canal SDCCH desglosado por causa durante la hora cargada de señalización y  $MHT$  es el tiempo medio de reserva del canal.

Sobre la anterior figura se aprecia la importancia que adquieren los procesos de actualización de la localización (LU). Con este resultado, se prevé que el comportamiento del tráfico de señalización sobre el SDCCH estará influenciado en gran medida por las peculiaridades que presenten los procesos de movilidad de los usuarios dentro de la red. De esta forma, se intuyen las limitaciones que subyacen bajo la suposición de que las tentativas de petición de canal siguen una ley poissoniana, con reintentos estadísticamente independientes, que serán puestas en manifiesto en un apartado posterior. Igualmente, se adivina la importancia creciente del tráfico asociado al servicio de mensajes cortos (SMS). Por último, se comprueba la invariabilidad del reparto diario de causas entre días laborables y festivos.

## 3. Distribución espacio-temporal de tráfico SDCCH

En el presente apartado se aborda el estudio de modelos que permitan describir la distribución espacial y temporal del tráfico de señalización en la red, resaltando sus diferencias y similitudes con el tráfico de voz. Dichos modelos resultarán útiles tanto en estudios de inversión para el despliegue de redes como en la estimación posterior de su capacidad.

### 3.1. Distribución espacial

Para caracterizar la distribución no homogénea del tráfico en el dominio del espacio, se propone el estudio del tráfico a nivel de celda durante la hora cargada en el área considerada. Sobre las fig. 2a y

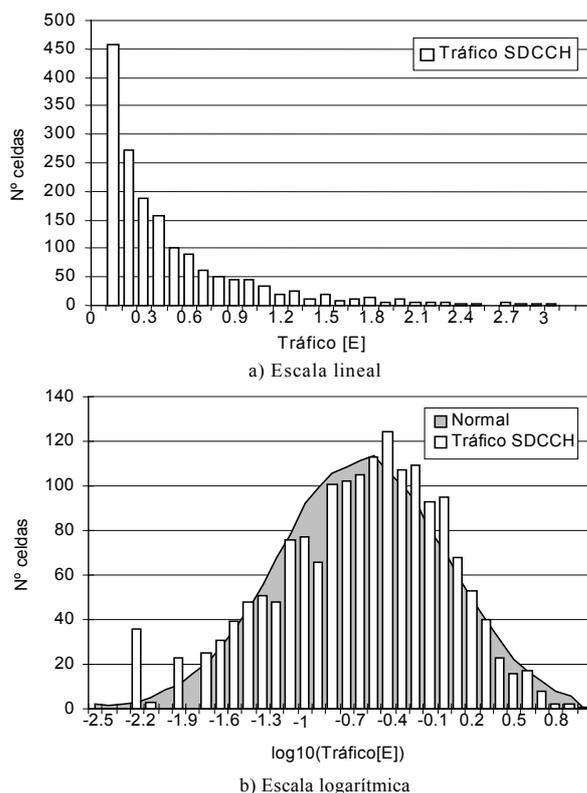


Fig. 2. Histograma de la distribución del tráfico SDCCH a nivel de celda en el área de estudio.

2b se representan los histogramas de la distribución del tráfico de señalización a nivel de celda, considerando el eje de abscisa (tráfico) en escala lineal y logarítmica. En la fig. 2a se observa que la distribución del tráfico en escala lineal es asimétrica respecto a su valor central. Asimismo, la fig. 2b demuestra que la distribución espacial del tráfico de señalización representada en escala logarítmica se asemeja bastante a una distribución normal, por lo que puede concluirse que el tráfico de señalización a nivel de celda se comporta como una variable aleatoria log-normal. Con todo ello, se demuestra la similitud con el modelo establecido en [5] para el tráfico de voz.

Merece la pena destacar que las diferencias del tráfico cursado entre celdas son reflejo no solo de la distribución no homogénea de usuarios, sino de la variabilidad del tamaño de celda. Por ello, resulta fácil comprender que la estructura de la red desplegada por el operador a nivel local (p.ej. red jerárquica, capa única con división de celdas) influirá en los resultados obtenidos. De esta forma, podrán existir ligeras desviaciones en el modelo presentado en relación con la existencia de celdas de diferentes tamaños.

### 3.2. Distribución temporal

Seguidamente se caracteriza la distribución no homogénea del tráfico en el dominio temporal, mediante el análisis de la distribución horaria del tráfico de señalización en un día laborable.

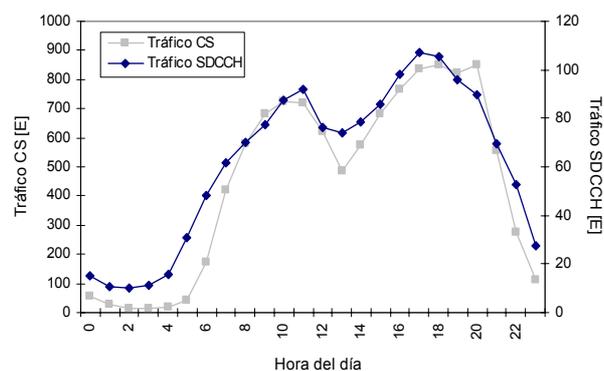


Fig. 3. Distribución horaria del tráfico SDCCH en una BSC durante un día laborable.

En la fig. 3 se representa la distribución horaria del tráfico de voz y señalización durante un día laborable en un área cubierta por 1 BSC de 120 celdas, con 2.8 TRX/celda y 11 subcanales SDCCH/celda de promedio. Sobre la figura, es posible comprobar la semejanza de la distribución temporal del tráfico de señalización con el modelo de doble gaussiana presentado en [6] para el tráfico de voz, asociado a los periodos de actividad de la mañana y la tarde. Asimismo, se pone de manifiesto la discrepancia entre los periodos de máxima actividad de voz (CS-BH) y señalización (SDCCH-BH), como resultado de los patrones de conducta de los usuarios. Por ejemplo, se observa cómo el crecimiento del tráfico de señalización al principio del día se adelanta en el tiempo, como consecuencia del desplazamiento de los usuarios hacia el lugar de trabajo. Este resultado confirma la necesidad de considerar diferentes periodos de hora cargada en los procesos de dimensionamiento de los recursos asociados a cada componente de tráfico [3].

### 4. Análisis de los estadísticos de bloqueo

Para concluir el trabajo, en este último apartado se aborda el problema de la estimación de la probabilidad de bloqueo en el canal de señalización SDCCH en base a los estadísticos de tráfico cursado extraídos de la propia red a nivel de celda. Dicho estudio será útil para el redimensionamiento de los recursos durante la fase de optimización de la red.

Tal como se comentó en la introducción, el modelo Erlang-B se emplea de forma generalizada durante los procesos de planificación para caracterizar el proceso de bloqueo de petición sobre los canales de señalización. En tal aproximación, se asume implícitamente que las tentativas de petición son estadísticamente independientes, siguiendo el tiempo de ocupación del canal una distribución de tipo exponencial negativo. Para confirmar dicha hipótesis, se deben comparar los estadísticos de bloqueo SDCCH de la red recopilados a nivel de celda con las estimaciones realizadas mediante el modelo Erlang-B.

La fig. 4 representa la relación entre el tráfico ofrecido y la tasa de bloqueo de intentos, asociada al tráfico SDCCH en el área considerada a lo largo de un periodo de una semana. Para facilitar la extracción de conclusiones, los resultados se han agrupado por celdas atendiendo al número de subcanales SDCCH (en este caso, 3, 7 y 15, respectivamente). Cada punto reflejado corresponde a la medida diaria de una celda durante la hora cargada de señalización. Se han excluido del análisis aquellas celdas con un tráfico cursado inferior a 0.1E, para asegurar un número de intentos suficiente durante el intervalo de medida y de esta forma restringir el ruido estocástico. Al mismo tiempo, se ha representado las correspondientes estimaciones teóricas realizadas por medio del modelo Erlang-B. Los gráficos se completan con la curva de regresión polinómica de orden 6 para la tasa de bloqueo real, acompañada por su correspondiente coeficiente de determinación que reflejará su grado de representatividad (0: mínima, 1: máxima).

Para la elaboración de dichas figuras, el tráfico ofrecido de cada celda ha sido estimado a partir de las medidas de tráfico cursado, suponiendo independencia entre intentos. Asimismo, para la extracción de los estadísticos de bloqueo no se han considerado los mecanismos de alivio de congestión relacionados con la asignación temporal de recursos de voz para fines de señalización (p.ej. *Fast Associated Control Channel Call Setup, Dynamic SDCCH*).

Si se compara la curva de regresión de la tasa de bloqueo con la estimación teórica, se puede concluir que el modelo Erlang-B tiende a subestimar la tasa de bloqueo sufrida. Asimismo, se aprecian sobre las tres figuras desviaciones significativas en determinados periodos de medida, sobre todo en aquellas con tráfico reducido y celdas con mayor número de subcanales. Tales desviaciones se corresponden con un bajo índice de determinación de la curva de aproximación.

En un primer intento de cuantificar la degradación asociada a este fenómeno, se ha calculado el número de subcanales que con el modelo teórico derivan en la misma relación entre tráfico ofrecido y probabilidad de bloqueo. Los valores de dicho indicador son 2.4, 5.5 y 11 para la celdas de 3, 7 y 15 subcanales, respectivamente. Este resultado refleja una efectividad de los subcanales dispuestos cercana al 80%; es decir, la tasa de bloqueo medida con el número de subcanales disponibles es igual a la probabilidad de bloqueo teórica con el 20% menos de subcanales. Merece la pena destacar que, dado que el número de subcanales solo puede tomar valores enteros, la existencia de valores decimales indican que la curva de regresión discurre entre las curvas de los dos valores enteros más próximos.

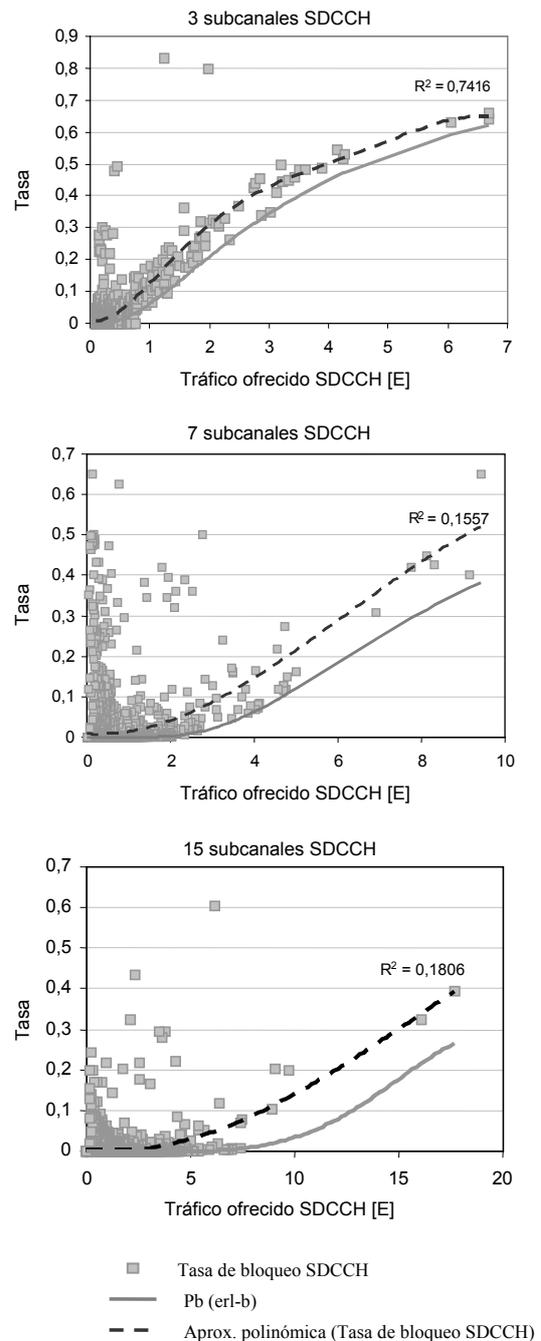


Fig. 4. Tasas de bloqueo real y estimada en función del tráfico ofrecido para 3, 7 y 15 subcanales SDCCH.

Como primera causa de estas desviaciones se encuentra la concentración temporal de peticiones de canal, que invalida la hipótesis de tráfico de Poisson (p.ej. actualización de posición masiva en transporte público). Estas desviaciones se aglutinan en celdas con mayor número de subcanales, como consecuencia lógica de la estrategia empleada durante los procesos de optimización. Aquellas celdas con mayor número de recursos asignados, resultado de sucesivas ampliaciones por problemas de congestión, serán las que presentan mayores discrepancias con el modelo Erlang-B. Esta hipótesis se confirma al observar el desproporcionado número de subcanales asignados, teniendo en cuenta el tráfico cursado en las mismas.

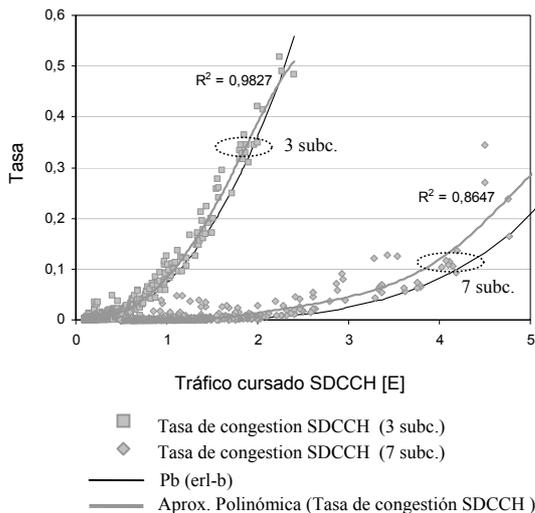


Fig. 5. Tasa de congestión real y probabilidad de bloqueo estimada en función del tráfico cursado para 3 y 7 subcanales SDCCH.

Este efecto negativo en el bloqueo producido por la correlación entre intentos se ve potenciado por los mecanismos de reintento automático en determinadas clases de tráfico (p.ej. actualización de posición). El hecho de que estos reintentos tras un intento bloqueado sean tratados a nivel estadístico como intentos independientes produce tasas de bloqueo exageradas. Este exceso introducido dependerá del número máximo de reintentos y el tiempo entre reintentos [10]. Desafortunadamente, la configuración de estos parámetros puede ser diferente para cada causa de petición de canal, complicando de esta forma el tratamiento analítico de los datos. Aun así, el análisis de las estadísticas demuestra que estas desviaciones se concentran en celdas con menor tráfico SDCCH.

Por último, en la fig. 5 se representa la tasa de congestión (porcentaje de tiempo con ausencia de canales libres en la hora cargada) en función del tráfico cursado, junto con la probabilidad de bloqueo estimada por el modelo Erlang-B. Dicha medida será útil para estimar la probabilidad de bloqueo para aquellas clases de tráfico con proceso de llegada sin memoria (p.ej. inicio de llamada). En la gráfica se refleja el buen comportamiento del modelo teórico para predecir la tasa de congestión a partir de la probabilidad de bloqueo para el caso de 3 subcanales SDCCH. De igual forma se observa el elevado grado de representatividad del modelo dado el coeficiente de determinación obtenido próximo a la unidad.

## 5. Conclusiones

La optimización de las estrategias de asignación de los recursos dedicados de forma permanente para fines de señalización resulta primordial para mejorar el rendimiento de las redes actuales de comunicación celular.

En el presente trabajo se ha abordado el estudio del tráfico de señalización cursado a través del canal lógico SDCCH a partir de medidas extraídas de una red real. El desglose de las componentes de tráfico SDCCH ha demostrado la importancia que tienen los procesos de movilidad en el flujo de información asociado a este tipo de canales. El estudio posterior de las distribuciones del tráfico SDCCH en el dominio del espacio y el tiempo ha confirmado su similitud con el tráfico de voz. Finalmente, se ha puesto de manifiesto la necesidad de considerar la correlación entre intentos de llamada y los mecanismos de reintento automático para replanificar los recursos destinados al tráfico SDCCH durante los procesos de optimización.

Como futura línea de trabajo se contempla el desarrollo de modelos de estimación del bloqueo que puedan ser ajustados a nivel local durante la fase de optimización para tener en cuenta las peculiaridades de cada celda.

## Referencias

- [1] 3GPP TS 05.02 V8.10.0. *Multiplexing and multiple access on the radio path*, Agosto 2001.
- [2] R. Ayuso, B. Ceña, M. Fernández, B. Millán, M<sup>a</sup>S. Torre, *Comunicaciones móviles GSM*, Fundación Airtel 1999.
- [3] S. Pedraza, V.Wille, M. Toril, R. Ferrer, J.J. Escobar, "Dimensioning of Signaling Capacity on a Cell Basis in GSM/GPRS", *Proc. IEEE VTC 2003*, Vol.1, pp. 155-159.
- [4] T. Halonen, J. Romero, J. Melero, *GSM, GPRS and EDGE performance: Evolution towards 3G/UMTS*, John Wiley & Sons 2002.
- [5] U. Gotzner, A. Gamst, R. Rathgeber, "Spatial Traffic Distribution in Cellular Networks", *Proc. IEEE VTC 1998*, Vol.3, pp. 1994-1998.
- [6] S. Almeida, J. Queijo, L.M. Correia, "Spatial and temporal traffic distribution models for GSM". *Proc. IEEE VTC 1999*, Vol.1, pp. 131-135.
- [7] G.W. Tunnicliffe, A.R. Murch, A. Sathyendran, P.J. Smith. "Analysis of Traffic Distribution in Cellular Networks", *Proc. IEEE VTC 1998*, Vol.3, pp. 1984-1988.
- [8] G.W. Tunnicliffe, A.R. Murch, A. Sathyendran, P.J. Smith. "Analysis of Traffic Distribution in Cellular Networks", *Proc. IEEE VTC 1999*, pp. 2075-2079.
- [9] P. Tran-Gia, M. Mandjes, "Modeling of Customer Retrial Phenomenon in Cellular Mobile Networks". *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 15, No. 8, Octubre 1997.
- [10] E. Onur et al. "Measurement-Based Replanning of GSM Cell Capacities Considering Retrials, Redials and Hand-offs". *Proc. IEEE ICC*, 2002. Volume: 5, 28 Abril 2002.