

**ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA DE
TELECOMUNICACIÓ DE BARCELONA**

**TRÁFICO DE TELEFONÍA MÓVIL:
CARACTERIZACIÓN E
IMPLICACIONES DEL TIEMPO DE
OCUPACIÓN DEL CANAL**

Autor: Francisco Barceló Arroyo
Director: Josep Paradells Aspas

ÍNDICE

	<i>Pág.</i>
Prefacio	5
Motivación	5
Esquema de la tesis	6
Terminología	7
Las aproximaciones en ingeniería de tráfico	8
Objetivo	9
<u>Capítulo 1</u>	11
Modelos de teletráfico en sistemas de telefonía móvil	
1.1 Los tres niveles de tráfico de un diálogo	11
1.2 Modelos de tráfico para los tres niveles	13
1.3 Sistemas PMR troncales frente a sistemas monocanal	15
1.4 Modelo para sistemas PMR con gestión por mensaje	17
1.5 Sistemas PMR con gestión por mensaje y prioridad	22
1.6 Sistemas PMR con gestión por transmisión	24
1.7 Sistemas PMR con voz y datos	25
1.8 Telefonía móvil pública	26
<u>Capítulo 2</u>	31
Modelado estadístico de la duración de la llamada en sistemas PAMR	
2.1 Antecedentes de caracterización de voz en sistemas PMR	32
2.2 Características de un sistema PAMR	34
2.3 Obtención de los datos	35

	<i>Pág.</i>
2.4 Pruebas de bondad de ajuste	36
2.5 Estimación de los parámetros	38
2.6 Funciones de distribución propuestas	39
2.7 Duración de los mensajes en el sistema PAMR-1	41
2.8 Duración de los mensajes en el sistema PAMR-2	47
2.9 Sumario	49

Capítulo 3 51

Aproximaciones para colas M/G/s con distribución hipoexponencial del tiempo de servicio y prioridad

3.1 Aproximaciones del tiempo medio de espera en la cola M/D/s	52
3.2 Tiempo medio de espera en la cola M/M/s con prioridad HOL	56
3.3 La cola M/D/s con dos niveles de prioridad	59
3.4 Resultados numéricos para la cola M/D/s con prioridad	61
3.5 La cola M/G/s con prioridad	63
3.6 Resultados numéricos en la cola M/G/s	66
3.7 Sumario	69

Capítulo 4 71

Distribución hiperexponencial del tiempo de ocupación del canal

4.1 Funciones de distribución propuestas	72
4.2 Duración de la transmisión en el sistema PAMR-1	73
4.3 Duración de la transmisión en el sistema PAMR-2	77
4.4 Ocupación del canal en telefonía móvil celular	81
4.5 Caracterización y medidas de la ocupación del canal en telefonía móvil celular	83
4.6 Integración de servicios en redes móviles	87
4.7 Acceso a nivel de ráfaga de voz	87

	<i>Pág.</i>
<u>Capítulo 5</u>	
Aproximación del tiempo medio de espera en colas $M/H_2/s$	91
5.1 Interés de la cola $M/H_2/s$ en comunicaciones móviles	92
5.2 Revisión de algunas aproximaciones existentes	94
5.3 Aproximación propuesta para la cola $M/H_2^b/s$	97
5.4 Resultados comparativos para la cola $M/H_2^b/s$	100
5.5 Influencia del tercer momento de la distribución H_2	102
5.6 Resultados comparativos para la cola $M/H_2/s$	104
5.7 Sumario	106
Capítulo 6 Conclusiones	109
6.1 Sumario de aportaciones	109
6.2 Líneas futuras de investigación	110
Referencias bibliográficas	113
Glosario de acrónimos	121

Prefacio

Motivación

En el campo de las telecomunicaciones estamos asistiendo en la actualidad a un crecimiento sin precedentes en dos terrenos. Por una parte la eclosión de la telefonía móvil ha venido a aumentar de forma importante el uso del espectro radioeléctrico dedicado a la red de acceso. Por otra la fibra óptica se utiliza ampliamente en la red de transporte y se espera que pronto sea también utilizada en la red de acceso fija. Todo ello ha favorecido la rápida implantación de nuevas tecnologías, tanto en la red de acceso móvil (segunda generación de sistemas digitales de telefonía móvil), como en las técnicas de transmisión y conmutación para fibra óptica (JDS y MTA).

El dimensionado de los sistemas de telecomunicación ha sido tradicionalmente un importante campo de trabajo para los ingenieros, a la búsqueda de un potencial ahorro económico en los costes de la red. Sin embargo la aparición de la fibra, junto a los bajos costes de la misma y de los equipos y su capacidad aparentemente ilimitada, han trasladado los problemas de dimensionado y evaluación a un segundo plano bajo el tópico de que hay capacidad de sobra. De este modo en el diseño de una red basada en la JDS se puede resolver muy fácilmente la duda entre la necesidad de dos MTS-1 y un MTS-4 a favor del segundo: la diferencia de costes es pequeña y el crecimiento previsto de los tráficos es espectacular. La decisión puede tomarse sin necesidad de acudir a complejas fórmulas o modelos de ingeniería de tráfico, en base a criterios realmente prácticos.

En el caso de la telefonía móvil existe una diferencia importante: el medio que utilizamos es el espectro radioeléctrico que constituye un bien común y escaso. El hecho de que el espectro sea propiedad de todos es difícilmente argumentable. La escasez es puesta en duda por algunos optimistas que ven como aparecen técnicas de modulación más eficientes, es decir que consumen menos ancho de banda para una misma calidad del servicio. También cada vez los avances tecnológicos permiten llegar más lejos en las frecuencias utilizables de modo que el espectro utilizable crece. Sin embargo hay que ver quien corre más en esta carrera, en la que es posible

que el acceso de la mayoría de la población a los servicios móviles venza a nuestra capacidad de inventiva y desarrollo. Desde esta perspectiva, un dimensionado ajustado en telefonía móvil no tiene solo como objetivo el beneficio directo del ahorro económico (en coste del espectro utilizado), sino también el cumplimiento de una responsabilidad cívica, aunque hoy por hoy esto último probablemente representa un escaso aliciente para los operadores y usuarios.

Esquema de la tesis

En el capítulo 1 se presentan algunos conceptos básicos relacionados con el tráfico de voz, junto a los modelos más comúnmente utilizados en la evaluación y dimensionado de sistemas de telefonía móvil. En todos los casos se presentan evaluaciones exactas, es decir deducidas analíticamente para los modelos expuestos. A su vez se discute y cuestiona la idoneidad de las hipótesis que se asumen en cada modelo. Se tratan en este capítulo algunos temas básicos de teletráfico como modelos jerárquicos de tráfico, prioridades, poblaciones finita e infinita, modelos de traspasos en telefonía celular, etc.

El capítulo 2 presenta la caracterización de la duración de los mensajes de tráfico telefónico en sistemas PAMR, demostrándose que la distribución de ocupación del canal si la gestión se realiza por mensaje (a nivel de llamada) es hipoexponencial. La forma en que los resultados del capítulo 2 pueden ser utilizadas en la evaluación de sistemas es presentada en el capítulo 3, en el que se introducen procesos de colas $M/G/s$ con distribución hipoexponencial de la ocupación del canal. A diferencia de los resultados del capítulo 1 que son soluciones analíticas exactas, en este caso los resultados presentados son aproximaciones precisas y de fácil cómputo.

Al igual que el capítulo 2, el capítulo 4 presenta caracterización de tráficos, pero en sistemas en los que el tiempo de ocupación del canal sigue una distribución hiperexponencial: sistemas PMR con gestión por transmisión y telefonía móvil pública celular. A su vez el capítulo 5 introduce métodos que permiten considerar dichas distribuciones en la evaluación y dimensionado de sistemas, también en forma de aproximaciones.

Por tanto en esta tesis se presentan trabajos y contribuciones en dos ámbitos: el de la caracterización de tráficos, y el de las aproximaciones en colas $M/G/s$ con y sin prioridad. Es obvio que se trata de dos vertientes complementarias de un mismo problema. De poco va a servir el esfuerzo realizado en caracterizar un tráfico si no podemos incorporar dicha caracterización en la evaluación (aunque la caracterización

siempre es útil para alimentar simulaciones de forma más precisa). Por otra parte las aproximaciones son inútiles si no sabemos con que cifras substituir los símbolos de las ecuaciones. Desde este enfoque se puede decir que los capítulos 2 y 3 son complementarios entre sí, al igual que lo son los capítulos 4 y 5.

Terminología

A lo largo de esta tesis se utilizan los términos *hipoexponencial* e *hiperexponencial* para denominar las distribuciones estadísticas con coeficiente de variación menor y mayor que la unidad respectivamente. Esta nomenclatura ha sido utilizada por algunos autores [COS80] y es apropiada en el entorno de los temas que se tratan en esta tesis. Recuérdese que el coeficiente de variación de una distribución exponencial es igual a la unidad, con lo que los prefijos “hipo” e “hiper” hacen referencia a la menor o mayor dispersión de la distribución en cuestión con respecto a la exponencial. El término “hipoexponencial” no puede inducir a confusión, pero la palabra “hiperexponencial” es utilizada a veces refiriéndose a una distribución concreta que es la combinación de etapas exponenciales en paralelo. Para evitar ambigüedad, a esta última distribución la denominamos hiperexponencial- k , explicitando el número de etapas k que la componen.

Hay que mencionar también el hecho de que el parámetro que se utiliza en este trabajo para fijar el segundo momento de las distribuciones con que se trabaja es el cuadrado del coeficiente de variación. Este criterio es acorde con la mayor parte de la bibliografía consultada sobre el tema objeto de esta tesis. Además aporta algunas ventajas como la facilidad para intuir la dispersión de las distribuciones y la forma más compacta que proporciona a la mayoría de las fórmulas en que interviene.

Una dificultad añadida de los trabajos sobre temas en los que la mayor parte de la literatura está en lengua inglesa es la traducción de algunos términos y en especial el uso y traducción de acrónimos. Aquellos términos cuyo uso en castellano no está muy extendido aparecen por primera vez en el texto junto a la palabra original en inglés. En cuanto a los acrónimos se ha optado por utilizar la traducción española de todos aquellos para los que se ha encontrado alguna referencia de dicha traducción, y mantener en inglés el resto. De este modo no se traduce ningún acrónimo en esta tesis, pero se utilizan todas las traducciones de las que tenemos constancia. Para una mayor claridad se añade un glosario de acrónimos al final de la tesis.

Las aproximaciones en ingeniería de tráfico

La elección de un modelo de tráfico ajustado a la realidad de funcionamiento del sistema es fundamental de cara al dimensionado y correcta evaluación de cualquier red de telecomunicación. Los modelos de teletráfico para los que existe una solución analítica exacta cuyo cómputo no sea excesivamente costoso son pocos, y es difícil que la red o sistema analizados cumplan en una medida razonable las hipótesis de partida de dichos modelos. En general no es bueno condicionar la forma en que se modela un sistema para su evaluación al hecho de que exista una solución exacta para el modelo que se va a utilizar; si se procede de este modo el abanico de modelos aplicables es muy escaso y, aunque la solución será exacta, no se ajustará a la realidad del sistema si el modelo analizado no ha sido elegido con cuidado. Por otra parte, modelar el sistema de forma ajustada y por ello no ser capaz de proporcionar resultados es una opción que no conduce a ningún lado.

En los capítulos 3 y 5 de esta tesis se presentan aproximaciones para modelos cuya solución analítica exacta no ha sido encontrada todavía (tal vez nunca lleguen a existir dichas soluciones) y que tienen aplicación en el ámbito de la telefonía móvil. De este modo se amplía el número de modelos para los que el ingeniero dispone de una solución, aunque ésta sea aproximada. Los reparos que puedan presentarse a la hora de utilizar una aproximación en la evaluación de un sistema deberían desaparecer ante las dos razones siguientes:

- Los datos de partida nunca son exactos sino que cuentan siempre con un margen de error; recordemos que las medidas de teletráfico están basadas en estadísticas y que incluso la estacionariedad de los procesos subyacentes es en muchas ocasiones difícil de constatar. Si el error cometido por la aproximación utilizada es pequeño comparado con el de los datos de partida, la aproximación representa una fuente de error menor.
- Es mejor una aproximación para un modelo ajustado a la realidad que una solución exacta para un modelo alejado de ella. El grado en que las hipótesis en que se basa el modelo no se cumplen es una fuente de error que puede ser mucho mayor que el error de la aproximación. Además se suele desconocer incluso el orden de magnitud del error introducido por una hipótesis poco realista, mientras que tanto para las aproximaciones presentadas en esta tesis como para todas las referidas en la misma se conoce el orden de magnitud del error (para algunas existe incluso una cota superior del mismo).

Objetivo

El objetivo de la tesis es el de ofrecer herramientas que permitan realizar estimaciones y cálculos ajustados de algunos parámetros del grado de servicio (GoS) en una red de acceso de telefonía móvil, una vez caracterizado su tráfico. La caracterización de algunos de los tráficos más comunes en redes de telefonía móvil es una de las aportaciones de esta tesis.

Las herramientas presentadas en esta tesis deberían ser útiles a los operadores y a las entidades que administran el espectro radioeléctrico, a los primeros para ahorrarles los costes de canales innecesarios, y a las segundas para realizar una gestión sin derroche de recursos que pertenecen a todos. Con las aproximaciones contenidas en esta tesis es posible conseguir rápida y fácilmente valores que de otro modo requerirían simulaciones largas y costosas en tiempo y capacidad de proceso. Por otro lado los resultados de estas simulaciones, que siguen siendo necesarias dependiendo de los objetivos perseguidos, pueden mejorar ostensiblemente al disponer de las caracterizaciones de tráfico aquí presentadas.