



MODELO MATEMÁTICO PARA ESTIMAR LA CAPACIDAD DE LA RED DE ACCESO TCH FR/TCH HR DEL SISTEMA GSM

MATHEMATICS MODELS TO PREDICT THE CAPACITY OF GSM TCH HR/FR ACCESS NETWORK

Daniel E. Hung G.
Universidad Rafael Belloso Chac n. Venezuela

RESUMEN

El mundo de las radio comunicaciones siempre ha tenido un problema en común, la capacidad del espectro de radio frecuencia, durante años se ha aplicado diferentes métodos de optimización de este acceso, donde la solución más viable siempre ha sido la compresión de la información a transmitir. En función a los objetivos de la investigación, el cálculo de tráfico telefónico fue enfocado al comportamiento de la interfaz de aire en redes GSM (sistema global para comunicaciones móviles) mediante la combinación de portadoras TCH Full rate y TCH Half rate, con el fin de solventar problemas de congestión. El propósito de la investigación fue desarrollar un modelo matemático para estimar la capacidad de la red de acceso TCH HR/FR del sistema GSM. Esta investigación es de tipo "descriptiva" porque busca la representación matemática de un hecho, y su diseño es de tipo "no experimental" debido a que las variables de investigación fueron evaluadas sin manipulación o control de las mismas. La metodología aplicada fue dividida en fases acordes a los objetivos planteados por el investigador, los cuales permitieron el desarrollo del modelo, que se adapt  a los requerimientos técnicos del sistema, mediante la hipótesis de un factor de decisión que impide la transformación total de los canales TCH FR a TCH HR.

Palabras claves: Modelo Matemático, Tráfico Telef nico, Interfaz de Aire GSM, Canales TCH Full Rate y TCH Half Rate

ABSTRACT

The world of radio communications always has had a common problem: the access to the frequency spectrum, for years has applied different methods of optimization of this access, where the easiest solution always has been information compress. The aim of this investigation is the traffic calculation focused toward air interface performance on GSM networks (Global System for Mobile communications) using combination of TCH Full rate and TCH half rate Carriers, in order to solve congestion's problems. The subject of that



investigation was to develop a mathematics model to predict the capacity of GSM TCH HR/FR access network. A “descriptive” type of investigation was developed; variables were evaluated without any control or manipulation of these. The applied methodology was divided into phases according to the objects presented by the investigator, which made possible the model developed, according to the technique system requirements and the hypothesis of a decision factor that doesn't allow the total translations of all TCH FR to TCH HR was formulated.

Keywords: Mathematics model, Traffic, GSM Air Interface, TCH Full Rate & TCH Half Rate Channels

INTRODUCCIÓN

El campo tecnológico de los sistemas de telecomunicaciones personales, se ha desarrollado de manera vertiginosa debido a la exigencia de los usuarios, tanto que la evolución de las mismas no ha permitido establecer modelos matemáticos que permitan medir tanto el desempeño como el cálculo de capacidades de estos sistemas.

La importancia de crear o establecer un modelo matemático para la planificación de estas redes es de gran utilidad, ya que de esta forma se minimiza el gasto por sobre dimensionamiento de estas redes las cuales las hace muy costosas. En la actualidad no existe un modelo matemático predeterminado para el cálculo de redes con ambos tipos de portadoras TCH Full (canal de tráfico a rata completa) y TCH Half (canal de tráfico a rata media) trabajando aleatoriamente los cuales son medidos de manera separada, El uso de TCH Half duplica la capacidad del canal de comunicación, con algunas limitaciones.

Con esta investigación se logrará un modelo matemático el cual marque pauta para la estimación de tráfico de manera eficiente sin gastos innecesarios de equipos de transmisión, además de establecer el logro efectivo de cálculo de capacidad de redes mediante el desempeño de las mismas, monitoreo del comportamiento y calidad del desempeño logrando de esta manera la forma más exacta para elaborar redes efectivas a menor costo.

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un modelo matemático para estimar la capacidad de la red de acceso TCH HR/FR del sistema GSM.



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Diagnosticar la situación actual de la red de acceso TCH HR/FR del sistema GSM.

Identificar los parámetros probabilísticos que influyen en la estimación de la capacidad de la red de acceso TCH HR/FR del sistema GSM.

Comparar los datos obtenidos por el sistema y los obtenidos mediante la simulación del comportamiento de la red de acceso TCH HR/FR usando el modelo existente.

Establecer el modelo matemático incluyendo posibles fallas obtenidas del modelo existente.

Evaluar el modelo propuesto mediante la comparación de los resultados obtenidos por la simulación y los valores reales de la red.

FUNDAMENTOS TEORICOS

Durante años los sistemas de telefonía han tratado de aplicar esquemas distintos a la interfaz de aire, ya que el espectro no es suficiente una vez que estos maduran, este problema se presenta no sólo en sistemas TDMA (Acceso Múltiple por división de tiempo DAMPS, GSM) sino también en CDMA (acceso múltiple por división de código), de ahí la importancia de la compresión de la información, ahora bien el problema data en la manera que este comprime y entrega los canales de transmisión.

El sistema GSM esta compuesto por 4 subsistemas, cada uno de los cuales contiene un cierto número de unidades funcionales y están interconectados con el otro mediante interfaces (melodiasmoviles.com 2004).

MS (Mobile Station).

- ME (Mobile Equipment).
- SIM (Subscriber Identity Module). BSS (Base Station Sub-System).
- BSC (Base Station Controller).
- BTS (Base Transceiver Station). NSS (Network Sub-System).
- MSC (Mobile Switching Center)
- (Home Location Register).
- HLR VLR (Visitor Location Register).
- AUC (Authentication Center).
- EIR (Equipment Identity Register). NMC (Network Management Center)

- OMC (Operation and Maintenance Center).

El gráfico 1, muestra la interconexión de estos elementos. Según melodiasmoviles.com (2004) La Mobile Station es el terminal radiomóvil transportado por el abonado.

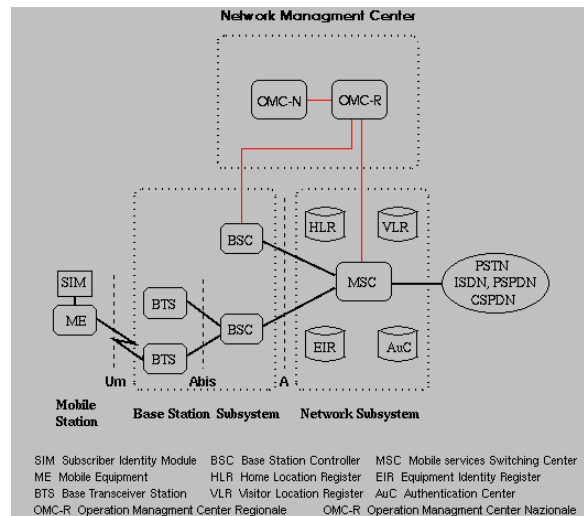


Gráfico 1. Arquitectura de La Red GSM (Melodíasmoviles, 2004)

El Base Station Sub-System se ocupa del control de la conexión radio con el MS. El Network Sub-System realiza la conmutación de las llamadas entre redes móviles y la red fija o hacia otras redes radiomóviles y se ocupa además de la supervisión de la movilidad de los abonados. Desde el Network Management Center se pueden controlar todas las operaciones en curso, además de efectuar la configuración de la red. A continuación sigue la descripción de las mencionadas entidades.

El Sistema GSM es capaz de entregar las llamada a diferentes ratas de transmisión, dependiendo de la configuración de los canales de su interfaz de aire, Mehrotra, A. (1997) menciona que el sistema GSM utiliza canales lógicos mapeados en canales físicos (slots). El habla digital es enviada en un canal lógico, llamado TCH.

La capacidad de un canal de RF es de 8 portadoras lógicas, en la modalidad de TCH Full rate (TCH/F) a 9,6 kbps, la cual ofrece una calidad de habla excelente. Grar, V. y Wilkes, J. (1999) hace mención al uso de portadoras TCH Half Rate (TCH/H) el cual otorga velocidades de transmisión a 4,8 kbps, es decir divide una portadora TCH/F en 2 TCH/H.



El problema de usar canales de este tipo es que su asignación se efectúa sólo cuando el sistema TCH/F llega a su máxima capacidad, lo cual limita al investigador conocer la capacidad máxima del sistema sea cual sea la tasa de transmisión, de ahí la importancia del estudio de herramienta de observación del tráfico de ambos esquemas.

Para Ditech communications (2004) un método de costo-efectividad que incrementa la capacidad en redes GSM es la utilización de Half-Rate (HR). El HR provee una solución de capacidad económica. Sin embargo no se puede determinar la capacidad máxima del sistema, ya que de aplicarse sólo HR, la calidad de servicio hacia los suscriptores se vería afectada.

Las mediciones de tráfico que normalmente se efectúan a sistemas TDMA como GSM, se realizan a través de Erlang. Grar, V. y Wilkes, J. (1999) definen Erlang como el promedio de número de llamadas simultaneas en progreso durante un período particular de tiempo. El uso de este modelo matemático entrega información relevante al desempeño de las redes el cual permite estimar, la capacidad máxima del sistema.

Para el caso de la interfaz aire del sistema GSM con portadoras TCH/F, el comportamiento del sistema es homogéneo, donde se espera que en un momento dado la capacidad del canal de RF se llene y produzca un bloqueo. Grar, V. y Wilkes, J. (1999) dice que la formula comúnmente utilizada para estos casos es Erlang B, la cual provee la probabilidad de bloqueo del switch debido a la congestión o a "todos los troncales ocupados". Este es expresado como GOS o la probabilidad de encontrar N canales ocupados.

La formula de Erlang B viene expresada de la siguiente manera:

$$B(N,A) = \frac{A^N}{A!} \left(1 \right) \sum_{i=0}^N \frac{A^i}{i!}$$

Donde:

B(N,A), representa la probabilidad de bloque del sistema
N, el número de canales disponibles del sistema y
A, es el Erlang estimado.

En un sistema que posee 7 portadoras TCH/F de voz como es el caso de un canal de RF de la interfaz de aire GSM, se puede determinar el Erlang que se desea con un GOS determinado, pero para el caso en que dos sistemas operan aleatoriamente pero ofrecen el mismo resultado, el desarrollo de la herramienta de tráfico Erlang B, se hace deficiente, ya que



su capacidad máxima no necesariamente es la ofrecida por el uso de portadoras TCH/H

METODOLOGÍA

La metodología empleada para el desarrollo de la investigación fue el planteado por García (1994), con algunas variantes establecidas por el investigador por tratarse de la mejora de un modelo sistemático preestablecido en función a un problema de comportamiento indebido del sistema.

La misma fue dividida en fases por el investigador ajustado a los objetivos planteados, cabe destacar que mucho de los objetivos han sido debidamente alcanzados por tratarse de objetivos documentales.

Fase I: Verificación de modelos existentes.

En esta fase se debe hacer pruebas de validación de los modelos anteriormente estudiados en el marco teórico.

Fase II: Formulación de hipótesis.

La formulación de hipótesis de las posibles fallas que afectan la veracidad de los modelos existentes aportará la adecuación de los modelos de cálculo existentes.

Fase III: Definición de experimento para prueba de hipótesis.

En esta fase se describe los aspectos físicos que interactúan en el sistema considerando todas las hipótesis, para luego establecer un modelo que cumpla con el comportamiento descrito.

Fase IV: Determinación de argumentos de validación.

Una vez descrito un modelo inicial se determinan los argumentos que darán validez al modelo desarrollado.

Fase V: Verificación de los aspectos investigados

Se estudia si todos los aspectos que se desean calcular son logrados, de no conseguirse el objetivo, se replantean hipótesis para de esta forma depurar el modelo.

RESULTADOS

Después de haber diagnosticado la situación actual de la red de acceso TCH HR/FR del sistema GSM e identificar los parámetros probabilísticos que influyen en la estimación de la capacidad de la red. Se determinó mediante la investigación documental que los modelos matemáticos más comúnmente utilizados son Erlang B y Poisson, por lo tanto, el desarrollo de los resultados fueron enmarcados en la interacción con estos modelos estadísticos de teoría de colas estocásticos de distribución exponencial.

FASE I: VERIFICACIÓN DE MODELOS EXISTENTES

Para esto se hicieron cálculos estadísticos a un grado de servicio 2%, con ambos modelos con dos capacidades, 2 TRXs y 3 TRXs, para luego ser comparados con valores aleatorios de la muestra, tal y como se muestra en el cuadro 1.

TRXs	Canales	Poisson	Erlang B	Erlang Total Real
2	28	18,232	20,15	9,7
2	28	18,232	20,15	9,7
2	28	18,232	20,15	9,87
3	42	29,785	32,836	16,81
3	42	29,785	32,836	16,9
3	42	29,785	32,836	17,05

Cuadro 1. Validación de modelos existentes con datos reales a un grado de servicio de 2% (El Autor)

Los valores demuestran que los datos de predicción se exceden a los reales, lo cual da pie a muchas hipótesis de posibles problemas, el gráfico 2 muestra la representación gráfica de los datos.

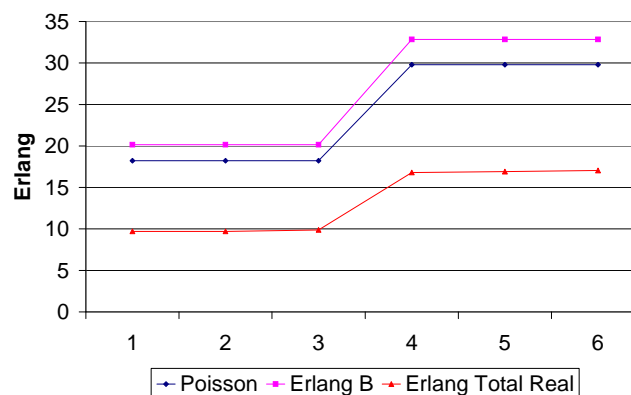


GRÁFICO 2. Comparación de datos reales vs Poisson y Erlang B (El Autor)

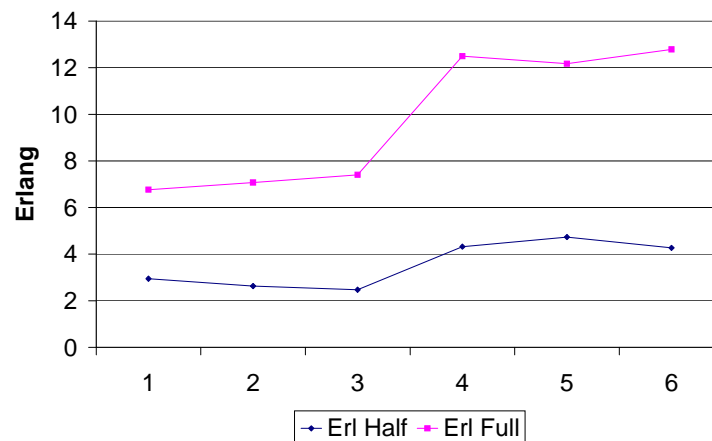
FASE II: FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

Una vez observado el comportamiento de los modelos de Poisson y Erlang B, se valida la hipótesis de 2do grado, planteada en el capítulo II, "Existe una preferencia de uso de canales TCH FR que impiden la determinación de la capacidad máxima de canales TCH HR", donde se observa una dependencia del sistema TCH HR del TCH FR. Con el fin de demostrar esta hipótesis, se hace una muestra de los datos anteriormente expuestos junto a su graficación en el cuadro 2 y el gráfico 3 respectivamente, por separado para poder observar si se cumple dicha hipótesis.

Erl Total	Erl Half	Erl Full
9,7000	2,9400	6,7600
9,7000	2,6300	7,0700
9,8700	2,4700	7,4000
16,8100	4,3200	12,4900
16,9000	4,7300	12,1700
17,0500	4,2700	12,7800

CUADRO 2. Datos reales (El Autor)

Por lo expuesto se debe considerar un sistema el cual depende de factores externos que impiden la aceptación de canales HR, tales como niveles de señal bajo, presencia de interferencias adyacentes, cocanales o externas, sin embargo, este no es el factor de estudio de la investigación lo cual simplemente se involucra en un sólo factor de corrección llamado factor de decisión.



GRÁFICO 3. Erlang Full y Erlang Half (El Autor)



FASE III: DEFINICIÓN DE EXPERIMENTO PARA PRUEBA DE HIPÓTESIS

1. Descripción del proceso físico

El proceso de asignación de canales HR depende directamente de la capacidad de canales TCH FR del sistema, Cristóbal (2001) describe que los canales de tráfico de velocidad media TCH HR permiten doblar la capacidad del sistema. Ahora bien, si partimos del modelo de cola de Erlang B y Poisson, podremos observar que aunque el número de canales se duplica, la capacidad no, de esta manera se hace indispensable la creación de un modelo matemático descriptivo que simule el comportamiento del mismo, asumiendo un factor de decisión que determine la capacidad máxima que se puede obtener.

2. Modelo

Partiendo de la descripción del proceso físico se procedió a establecer la dependencia de la capacidad mediante canales TCH FR y HR.

Para esto se obtuvieron las distintas capacidades para un GOS de 2% utilizando Erlang B, para los distintos números de TRXs, considerando la capacidad máxima de las estaciones bases existentes.

De aquí la importancia de determinar un modelo que se adapte a la relación teórica de ambos canales, lo cual se procedió a establecer una dispersión de los datos considerando la hipótesis que la capacidad de los canales HR dependen de la capacidad de los canales FR (ver gráfico 4).

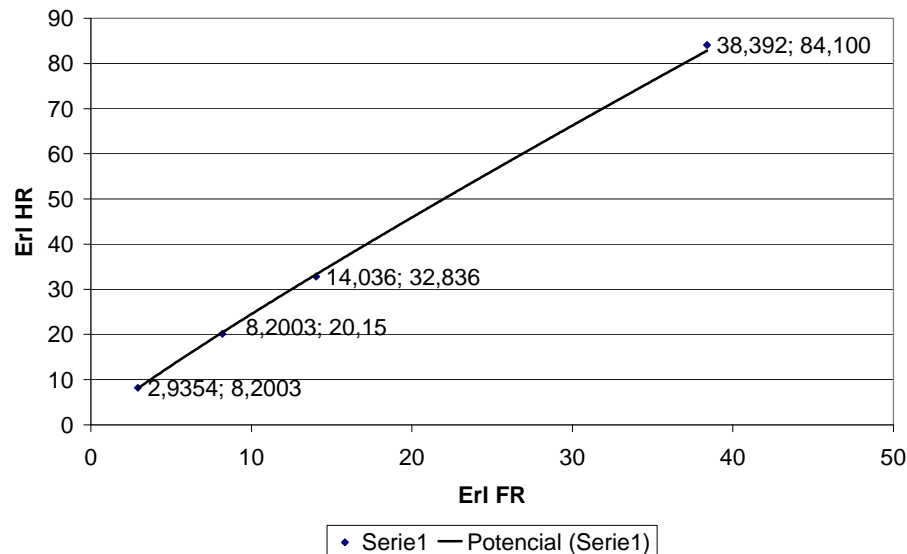


GRÁFICO 4. Dispersión Erlang FR vs Erlang HR (El Autor)

Partiendo de la hipótesis la cual hace dependiente a la capacidad del sistema la interacción de ambos sistema, entonces, se deja como variable de peso EFR, por tanto el modelo estaría expresado como:

$$E_{HF} \text{ (Capacidad de erlang)} = EHR + EFR - 3,04787 EFRr^{0,9053}$$

Donde,

EFR = Capacidad calculada en Erlang B para FR
 EHR = Capacidad calculada en Erlang B para HR
 EFRr = Erlang FR real utilizado.

Según las recomendaciones de Siemens, la cual hace mención para el cálculo de la capacidad máxima, el uso de Erlang B mediante el número de canales HR total, se incluyó a este un factor que parte de la hipótesis que no todos los teléfonos seleccionan TCH HR, llamándolo factor de decisión (FD), el cual es un factor de corrección del modelo de Erlang B para este tipo de configuración, por tanto, el modelo 1 quedaría expresado como:

$$E_{HF} \text{ (Capacidad de erlang)} = EHR + FD \tag{1}$$

Donde,

$$FD \text{ (Factor de Decisión)} = EFR - 3,04787 EFRr^{0,9053} \tag{2}$$

FASE IV: DETERMINACIÓN DE ARGUMENTOS DE VALIDACIÓN

En la comparación se pudo observar la similitud de los resultados teóricos del modelo con respecto a los resultados reales incluyendo sólo los valores reales de EFRr. Lo cual demuestra que la capacidad de erlang depende de la utilización de los canales TCH FR, lo cual valida la hipótesis que la capacidad máxima de TCH HR no se alcanza debido a que una gran parte de los equipos móviles no aceptan los canales TCH HR por algún factor externo que influye sobre esta decisión (ver Gráfico 5).

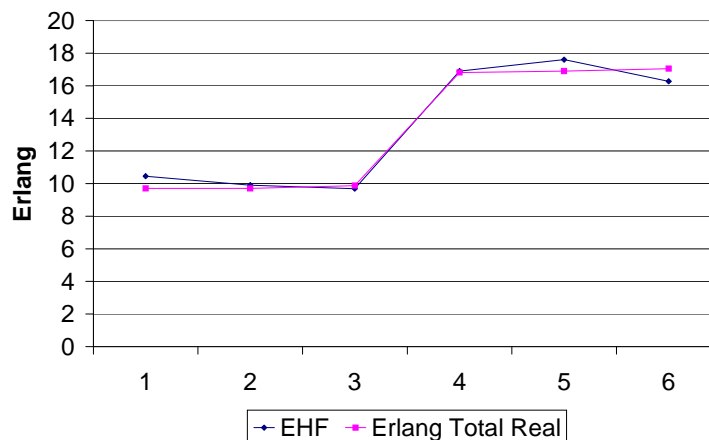
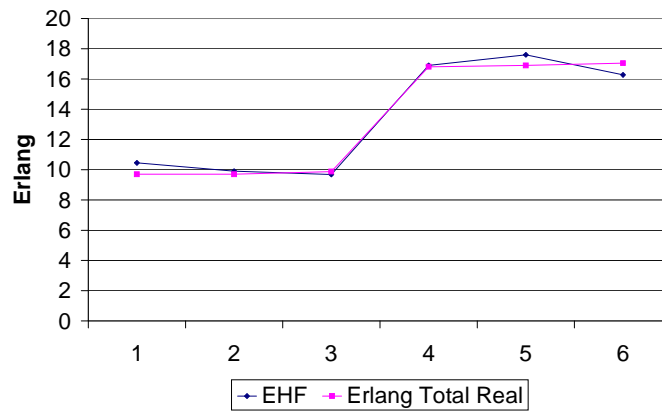


GRÁFICO 5. Comparación de valores del modelo 1 con los reales (El Autor)

FASE V: VERIFICACIÓN DE LOS ASPECTOS INVESTIGADOS

Aunque los valores son muy cercanos a los obtenidos en la realidad, el modelo aún no puede ser utilizado para la predicción de capacidad en este



tipo de sistema, debido a que requiere del ingreso de valores reales. Por tal motivo se hace necesario realizar un estudio estadístico que determine el factor de comportamiento de dicho sistema, este factor está relacionado con el modelo 1, y el comportamiento estadístico del sistema. Como se puede observar, en el modelo FD, existen dos tipos de erlang, el teórico y el real, por tanto, se puede determinar estadísticamente un el erlang full rate promedio real utilizado EFRr.

De manera tal, que decimos que el factor de decisión es directamente proporcional a la resta de la capacidad EFR y la función EHR_{EFR} del comportamiento del sistema.

$$FD = EFR - 3,04787 EFRr^{0,9053} \quad (2)$$

Donde,

FD = Factor de decisión

EFR = Capacidad calculada en Erlang B para FR

EFRr = Erlang FR promedio real utilizado.

La idea principal es determinar una representación matemática de EFRr, en función al comportamiento estadístico del sistema considerando la capacidad EFR teórico. Para poder determinar el comportamiento promedio del factor de decisión, se hizo necesario un estudio estadístico de las variables en cuestión, considerando las muestras estadísticas obtenidas desde la red.

Quedando expresada de la siguiente manera:

$$EFRr = EFR^{0,953}$$

Luego de ser obtenida la representación matemática de erlang full rate promedio real utilizado EFRr se procede a calcular los coeficientes de determinación para la confiabilidad de los datos.

Varianza Residual

$$Se = 1,27565226$$

Coefficiente de determinación R^2

$$R^2 = 0,9949$$

De acuerdo con este resultado la curva explica que el 99,49% de las variaciones, lo cual nos indica que el modelo ajustado es bueno.

Ya establecido EFRr, de la ecuación (2) se obtiene.

$$FD = EFR - 3,04787 (EFR^{0,953})^{0,9053},$$

Por tanto,

$$FD = EFR - 3,04787 EFR^{0,8628} \quad (3)$$

Donde,
 FD = Factor de Decisión de uso de TCH FR.

Por tanto, el modelo matemático de capacidad de erlang TCH FR/HR queda expresado de la siguiente manera:

$$E_{HF} = EHR + EFR - 3,04787 EFR^{0,8628}$$

Donde,
 E_{HF} = capacidad de erlang estimada de la red de acceso TCH HR/FR.

La cual define que la capacidad en erlang del sistema, es directamente proporcional a la capacidad máxima del sistema Half Rate menos el factor de utilización de los canales Full Rate.

1. Determinación de argumentos de validación

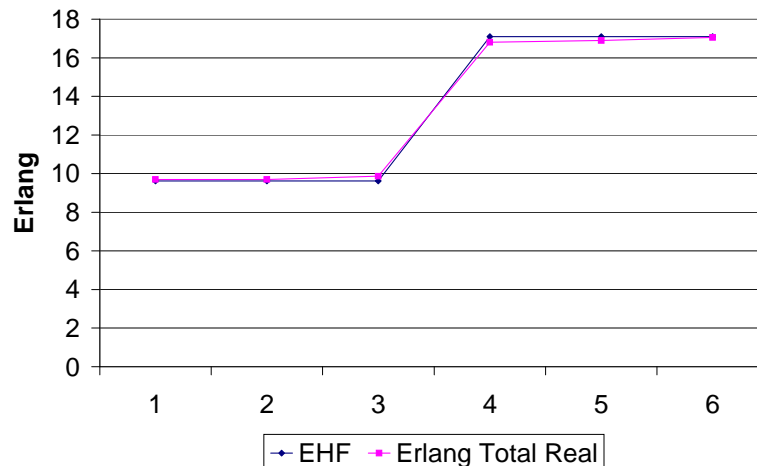
Para poder validar el modelo planteado, es necesario introducir sólo valores teóricos de ERH y ERF para verificar que el modelo se ajusta a los argumentos medidos, partiendo de la premisa que el Erlang cursado total del sistema es la suma de ambos tr ficos FR y HR, fijamos la misma como el valor que se desea alcanzar.

La comparación de estos valores fue realizada en función a los valores obtenidos de 2 y 3 TRXs reales, considerando el mismo GOS tanto real como estimado, tal como muestra en el cuadro 3 y se expresa en el gráfico 6, donde se puede observar que los valores obtenidos tienen una gran similitud con los reales.

EFR	EHR	EHF	Erlang Total Real
8,2003	20,15	9,624	9,7
8,2003	20,15	9,624	9,7
8,2003	20,15	9,624	9,87
14,036	32,836	17,098	16,81
14,036	32,836	17,098	16,9
14,036	32,836	17,098	17,05

CUADRO 3. Valores del modelo E_{HF} con los reales (el Autor)

En el cuadro 3 se puede observar que el modelo se ajusta a los valores reales obtenidos por la red, donde se demuestra la hipótesis que existe un factor de decisión que influye sobre la capacidad máxima del sistema.



GRÁFICO 6. Comparación de valores del modelo E_{HF} con los reales (Autor)

A pesar que los resultados no son exactos, se puede observar que sólo existe un pequeño margen de error entre los resultados teóricos y los reales, lo cual le dan validez y veracidad a los resultados obtenidos, estableciendo que el modelo define todos los argumentos de validación de los resultados.

FASE IV: PROPUESTA DEL MODELO

En función a los resultados obtenidos, se hace la propuesta del empleo de la ecuación matemática E_{HF} , para el cálculo de tráfico en redes celulares GSM que utilizan las interfaces de acceso TCH HR, para el diseño y estudio de desempeño de la misma.

A continuación se muestra las condiciones de uso de la herramienta matemática para el cálculo estadístico para performance y diseño de redes.

1. Determinación de capacidad E_{HF}

A continuación se expresa los parámetros de uso de la ecuación E_{HF} .

$$E_{HF} = EHR + EFR - 3,04787 EFR^{0,8628}$$

Para determinar EHR:

$$EHR = 2 TCH FR$$

Donde,

TCH FR = número de canales full rate

Una vez determinado el número de canales se procede a buscar la capacidad en Erlang B (ver Cuadro 4) al grado de servicio deseado, cabe destacar que el investigador garantiza la veracidad de los datos a un GOS de 1 a 3%.

Para determinar EFR:

$$EFR = TCH \text{ FR}$$

Donde,

TCH FR = número de canales full rate

Se procede de la misma manera mediante la tabla de Erlang B (cuadro 4).

Canales	EFR	Canales	EHR	EHF
7	2.9354057	14	8.2002683	3.417749878
8	3.6270505	16	9.8284492	4.191910508
9	4.3447292	18	11.4908816	5.010541937
10	5.0840046	20	13.1815378	5.868704576
11	5.8415311	22	14.8959207	6.762327798
12	6.6147183	24	16.6305765	7.688015984
13	7.4015154	26	18.3827887	8.642903938
14	8.2002683	28	20.1503777	9.624548031
15	9.0096216	30	21.9315653	10.63084419
16	9.8284492	32	23.7248794	11.65996474
17	10.6558041	34	25.5290862	12.71030999
18	11.4908816	36	27.3431404	13.78046987
19	12.3329918	38	29.1661474	14.86919284
20	13.1815378	40	30.9973352	15.97536224

CUADRO 4. Tabla de Erlang B EFR, EHR, E_{HF} GOS 2% (Autor)

Al obtener estos valores se sustituyen en la ecuación E_{HF} y se obtiene de esta forma la capacidad estimada.

2. Porcentaje de uso de la red mediante E_{HF}

El porcentaje de utilización de la red, es uno de los parámetros más importantes para el estudio de desempeño de las redes de telecomunicación, de ahí la importancia del desarrollo de este modelo.



A continuación se expresa la ecuación matemática para la determinación de la utilización de la red, esta ecuación matemática básicamente se utiliza como indicador de congestión, es decir si esta posee un nivel alto es posible que el sistema experimente bloque, de igual manera si este es bajo, no debería de presentarse ningún indicio de bloqueo.

$$\%Util = \frac{ErlangCursado}{E_{HF}} * 100$$

Esta medida junto con el GoS, ayudará al ingeniero de tráfico determinar, cuando el sistema debe ser ampliado.

3. Diseño mediante E_{HF}

Al conocer el número de clientes a quienes se desea dar el servicio sólo se requiere del GoS esperado, y el consumo (en mErl) esperado por suscriptor, (Cuadro 4).

CONCLUSIONES

Se diagnosticó la situación actual de la red de acceso TCH HR/FR del sistema GSM, donde se pudo determinar el número de estaciones que poseen dicha configuración.

Se identificaron todos los parámetros probabilísticos que influyen en la estimación de la capacidad de la red de acceso TCH HR/FR, como son la probabilidad de bloqueo y el tráfico cursado de ambos sistemas, cuyo modelo recomendado por Siemens fue Erlang B.

Se compararon los datos obtenidos por el sistema y los obtenidos mediante la simulación del comportamiento de la red de acceso TCH HR/FR usando el modelo Erlang B y Poisson, donde se pudo observar el nivel de falla de los mismos.

Se estableció el modelo matemático donde se incluyeron las posibles fallas obtenidas del modelo existente.

Se evaluó el modelo propuesto mediante la comparación de los resultados obtenidos por la simulación y los valores reales de la red, los cuales demostraron que la ecuación se ajusta bien al comportamiento del sistema estudiado.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Mehrotra, A. (1997). GSM System engineering (1ª Ed.) Boston, Londres: Artech House Publishers.
- Vigía, K. y Joseph E. (1999). Principles & Applications of GSM (1ª Ed.). (UK), Londres: Prentice Hall.
- Siemens. (2001). System Description D900/D1800 GPRS PLMN. (1ª Ed.). Alemania.
- Arias, F. (1999). El proyecto de investigación guía para su elaboración (3a. Ed.). Caracas, Venezuela: Editorial Episteme, C.A./ Oriol Ediciones.
- León, A. (1994). Probability and random processes for electrical engineering (2a. Ed.) U.U.E.E, Editorial Addison-Wesley publishing company.
- Salama, D. (2002). Estadística metodología y aplicaciones (5a. Ed.). Caracas, Venezuela: Editorial Torino.
- Méndez, C. (2001). Metodología diseño y desarrollo del proceso de investigación (3a. Ed.). Bogotá, Colombia: Editorial Mc Graw Hill.
- Grar, V. y Wilkes, J. (1999). Principles & Applications of GSM. [Principios y aplicaciones de GSM] USA: Prentice Hall
- Hernández, R. Fernández, C. y Baptista, P. (1998). Metodología de la investigación (2ª. Ed.). DF. Mexico: Prentice Hall PTR.
- Ditech communications (2004). Wireless Solutions. Recuperado el 30 de Enero de 2004 en <http://www.ditechcom.com/solutions/wirelessSol.html>
- Texas Instruments (2004). GSM Half-Rate Voice Coding on the TMS320C62xx DSP. Recuperado el 30 de Enero de 2004 en http://www.eetasia.com/ARTICLES/2001MAY/2001MAY17_DSP_AN4.PDF
- Melodiasmoviles.com (2004). Red GSM. Recuperado el 30 de Enero de 2004 en <http://www.melodiasmoviles.com/documentacion/red-gsm.php>
- John Scourias (2004). A Brief Overview of GSM, by [John Scourias](#), U of Waterloo Recuperado el 3 de Junio de 2004 en <http://kbs.cs.tu-berlin.de/~jutta/gsm/js-intro.html> [2004]



Telefónica movistar (2004). Documentación/Introducción a las comunicaciones móviles /6 Telefonía Móvil Digital la red GSM. Recuperado el 3 de Junio de 2004 en <http://www.auladatos.movistar.com/Aula-de-Datos/Tutoriales-y-Documentacion/Introduccion-a-las-comunicaciones-moviles/6--Telefonia-Movil-Digital--la-red-GSM/>

Marín A. (2001). Ampliación de Modelos de Investigación Operativa. Recuperado el 3 de Junio de 2004 en <http://www.um.es/or/ampliacion/node3.html>

Universidad de Murcia, Departamento de Estadística e Investigación Operativa

Janaswamy (2000). Erlang B Statistics. Recuperado el 07/06/2004 en http://www.ecs.umass.edu/ece/janaswamy/ECE697T_ECE624/Erlang_B.pdf