

## Diseño e Implementación de un Algoritmo para Asignación de HSN en una Red GSM y Evaluación del mismo en el Simulador SMART

X. Franco, C. Monsalve  
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación  
Escuela Superior Politécnica del Litoral  
Km. 30.5 Vía Perimetral, 09015863, Guayaquil, Ecuador  
xfranco@espol.edu.ec, monsalve@espol.edu.ec

### Resumen

*De todos los parámetros que conforman el plan de frecuencias para la capa de saltos de una red GSM, el Número de Secuencia de Saltos (HSN) es el que mayor controversia genera. Hasta la actualidad no se ha unificado un criterio para asignarlo entre las celdas de una red debido a dos razones potenciales, por un lado es una entrada al algoritmo pseudo aleatorio de asignación de canales y por otro la mayoría de operadores han venido usando redes no sincronizadas, minimizando así el grado de influencia de este parámetro en el rendimiento de una red. Sin embargo, en la actualidad muchas son las ventajas que ofrecen las redes sincronizadas, ya que permiten optimizar el desempeño de la capa de saltos. En este artículo analizamos la influencia que tiene el HSN en esa optimización y proponemos un algoritmo que permita crear un plan de HSN para un conjunto de celdas dado, de tal manera que se minimice el número de colisiones y por ende la interferencia; finalmente evaluamos los resultados simulando una red real y mostramos una comparación en los indicadores de calidad con respecto a una red en la que no se ha optimizado la asignación de HSN.*

**Palabras claves:** GSM, HSN, Saltos de frecuencia.

### Abstract

From all the parameters which form the frequency hopping plan in GSM networks, the Hopping Sequence Number (HSN) is the most problematic in its assignment. Nowadays there is not a unified criteria to assign it among the cells of a network due to two potentials reasons, for one side HSN is an input to the pseudo random algorithm to assign channels, and for the other side most of the operators have preferred so far to work with unsynchronized networks, minimizing in this way the influence of this parameter in the performance of the network. However, nowadays many are the advantages that the synchronized networks offer, because they allow optimize the hopping layer performance. In this paper we analyze the influence of HSN in this optimization and we propose an algorithm to assign HSN in a given cells cluster, minimizing the collisions number and therefore the interference. Finally, we evaluate the results simulating a real synchronized network and we show a comparison of some key performance indicators respect to a network without optimized assignment of HSN.

**Key words:** GSM, HSN, Frequency Hopping.

### 1. Introducción

Los sistemas digitales de comunicación de segunda generación introdujeron las técnicas de espectro ensanchado; esto es, secuencias directas y saltos de frecuencia, para reducir la interferencia y el desvanecimiento que sufre una señal; estas técnicas aumentan el ancho de banda de la señal y sacrifican la potencia transmitida por el bien de una comunicación segura. GSM en particular ha empleado los saltos de frecuencia. Pero con el crecimiento gigantesco que ha tenido la demanda por los servicios móviles, a los operadores ya no les basta con usar solamente los saltos de frecuencia para aprovechar mejor el espectro

y contrarrestar la interferencia; más aún si consideramos que hoy en día están desplegando UMTS como tecnología de tercera generación en sus redes, la cual busca ofrecer nuevos servicios, como transmisión de video en tiempo real e internet de banda ancha funcionando bajo el esquema de WCDMA, que usa canales de 5 MHz, estos se ven en la obligación de buscar mecanismos que les permita optimizar el uso del espectro conservando la calidad, por lo que constantemente buscan alternativas para disminuir la interferencia que crece a la par con el aumento de usuarios. La única manera de tener un control total sobre la interferencia es contar con una red sincronizada, ya que así se puede conocer las

frecuencias empleadas por cada celda en todo momento [1]. Desde luego, esto conlleva a crear planes de frecuencia para la capa de saltos bajo condiciones diferentes a las que se emplean en redes no sincronizadas, puesto que con una adecuada asignación de los parámetros se pueden conseguir redes con muy baja cantidad de colisiones, las cuales pueden ser co-canal o de canal adyacente dependiendo si las celdas en cuestión usan el mismo canal o canales vecinos, y por ende con una interferencia mínima.

De todos los parámetros del plan de frecuencias para la capa de saltos, el presente trabajo se concentra en el Número de Secuencia de Saltos: HSN (Hopping Sequence Number) que es el que menor atención ha recibido por parte de los investigadores [1]. En la sección 2 describimos la capa de saltos de una red GSM y todos los parámetros involucrados en el plan de frecuencias. En la sección 3 se analiza la influencia que tiene el HSN en el rendimiento de la capa de saltos. En la sección 4 proponemos un algoritmo de asignación de HSN, describiendo los requerimientos y funcionalidades del mismo. Finalmente, en la sección 5 comparamos, mediante simulaciones dinámicas de una red real, el algoritmo propuesto versus una herramienta comercial, cuyo proceso se basa en un método tradicional para asignación de HSN.

## 2. La capa de saltos de una red GSM

En la arquitectura de una Estación Base de Transmisión (BTS) se tiene por lo general dos o más transceptores, uno de los cuales maneja los canales de difusión BCCH (Broadcast Control Channel) y señalización SDCCH (Stand alone Control Channel), y todos los demás manejan canales de tráfico TCH (Traffic Channel). Una diferencia fundamental entre estos dos tipos de transceptores es que los primeros operan en una frecuencia fija, ya que es la manera en la que el móvil identifica a la BTS, pero los segundos operan con frecuencias variables o mejor dicho bajo la técnica de saltos de frecuencia [2].

La capa de saltos está compuesta por todos los transceptores que manejan canales de tráfico, ya sea voz o datos. El plan de frecuencia para esta capa involucra una serie de parámetros que afectan directamente el desempeño de toda la red. Precisamente el presente trabajo se concentra en uno de esos parámetros, el HSN.

### 2.1. Saltos de frecuencia en GSM

Los saltos de frecuencia consisten en un cambio periódico de la frecuencia de transmisión, ver Figura 1. Una señal que se transmite usando esta técnica puede ser considerada como una secuencia de ráfagas de información modulada con frecuencias de portadora variantes en el tiempo y pseudo aleatorias con el objetivo de disminuir la interferencia promedio que sufre la señal producto del reuso de frecuencias.

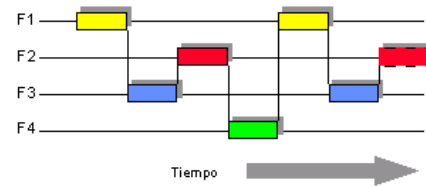


Figura 1. Saltos de frecuencia.

La interfase de radio de GSM usa los saltos lentos de frecuencia SFH (Slow Frequency Hopping), lo cual significa que la frecuencia por ranura de tiempo de radio RTSL (Radio Time Slot) se cambia ráfaga por ráfaga; es decir, para un enlace se tiene la misma frecuencia mientras dure una ráfaga (0.577 ms).

Tres esquemas diferentes de saltos son definidos en las especificaciones de GSM: no saltos, saltos cíclicos y saltos pseudo aleatorios. Los primeros dos esquemas son casos especiales del último. La secuencia de saltos es determinada por un conjunto de parámetros transmitidos por la radio base [3]:

- Número de Trama FN (Frame Number): El número de trama TDMA, es un número cíclico en el rango de 0 a 2'715,647. Este ciclo se lo conoce como una hipertrama de 3 horas 28 minutos y 53.76 segundos de duración.
- Lista de canales para asignación móvil MAL (Mobil Allocation List): Define el conjunto de canales de radio frecuencia a ser usados en la secuencias de salto. La MAL contiene  $N$  canales de radio frecuencia, donde  $1 < N < 64$ .
- Índice de desplazamiento en la MAL MAIO (Mobile Allocation Index Offset): Es usado para la asignación de diferentes frecuencias para diferentes portadoras que tienen la misma MAL y HSN en la misma celda; puede estar entre 0 y  $N-1$ .
- Número de secuencia de salto HSN: Puede estar entre 0 y 63. Si es 0 se emplea saltos cíclicos, para cualquier otro número tenemos saltos aleatorios de frecuencias. Este número es usado para distinguir las diferentes celdas, dando a todos los canales dentro de una celda el mismo HSN pero a diferentes celdas, diferentes HSN.

Los tres últimos parámetros MAL, MAIO y HSN constituyen en conjunto lo que se conoce como el plan de frecuencias para la capa de saltos, y son utilizados junto con el número de trama TDMA por el algoritmo de asignación de canales de GSM. Este algoritmo selecciona pseudo aleatoriamente el canal a utilizar por una determinada celda a partir de los parámetros antes mencionados.

## 3. Optimización de la capa de saltos

Desde la aparición de GSM, los operadores han optado por trabajar con redes no sincronizadas. Sin embargo, el número de usuarios ha crecido en los últimos años al punto que muchos operadores están experimentando problemas en sus redes por la interferencia que se genera con el incremento de los suscriptores. La única manera de tener un control total sobre la interferencia, es sincronizando la red; es decir, tener un alineamiento en las tramas y ranuras de tiempo que se transmiten en cada sitio [4]. Con una red sincronizada es posible prever estadísticamente el número de colisiones que habrá en la misma, con lo que se puede optimizar su rendimiento simplemente con una adecuada asignación de los parámetros que forman el plan de frecuencias para la capa de saltos [5]. Tanto la asignación de MAL como de MAIO son procedimientos estudiados muy ampliamente, por lo que hoy en día resulta muy sencillo asignar estos parámetros, y básicamente se lo hace siguiendo un patrón establecido [6]. Sin embargo, muy poco es lo que se ha dicho hasta ahora sobre el HSN.

### 3.1. Influencia del HSN en el desempeño de la capa de saltos

A pesar de que el algoritmo de asignación de canales de GSM genera índices pseudo aleatoriamente a partir del HSN, este último es quien establece el número de colisiones co-canal y adyacentes que hay en un sector en una determinada trama [5]. Quizás se podrá pensar que, como una trama dura 4.615 ms, el hecho de que dos transceptores empleen la misma frecuencia al mismo tiempo no es muy relevante. Sin embargo, si tenemos presente que cada trama está numerada de 0 a 2'715,657, y si en la mitad de estas tramas existen colisiones, estamos hablando de que durante una hora y 45 minutos habrá interferencia entre los sectores en los que se producen las colisiones, lo cual se reflejaría en una pésima calidad de servicio que incluso sería percibida notablemente por el usuario. Es por este motivo que el HSN se debe asignar de una manera tal que se minimicen las colisiones co-canal entre los sectores que constituyen una red. El análisis realizado en [6] demuestra que es preferible reducir las colisiones co-canal aún a costas de aumentar las colisiones por canal adyacente, ya que son las primeras las que más influyen en el rendimiento de la red.

Muchas personas que se dedican al planeamiento de redes manejan el criterio de que el HSN se puede asignar aleatoriamente a los sitios de una red, teniendo como única restricción el hecho de que dos sitios vecinos no pueden tener el mismo HSN [6]. Otros van un poco más allá, y asignan el HSN de una manera tal que se maximice la distancia mínima de reuso en la red [7]. Si bien es cierto que con ambos criterios se puede generar planes con los que la red opere, debemos indicar que se puede optimizar mucho más el funcionamiento a través de un plan de HSN que

minimice las colisiones co-canal. La Figura 2 ilustra la influencia que tiene el HSN en el número de colisiones que se pueden producir entre dos sectores, el sector 1 tiene una HSN de 5, mientras que el HSN del sector 2 se ha variado de 1 a 63. De esta gráfica podemos concluir que en el sector 2 se debe asignar 18 como HSN, ya que produce el menor de número de colisiones.

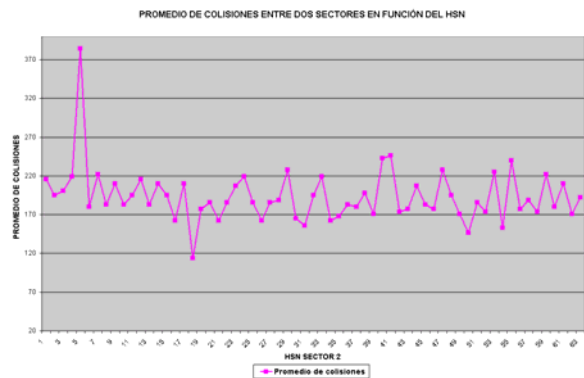


Figura 2. Colisiones entre dos sectores.

La Figura 3 muestra que diferentes combinaciones de HSN, en tres sectores pertenecientes a diferentes sitios, producen diferentes cantidades de colisiones co-canal.

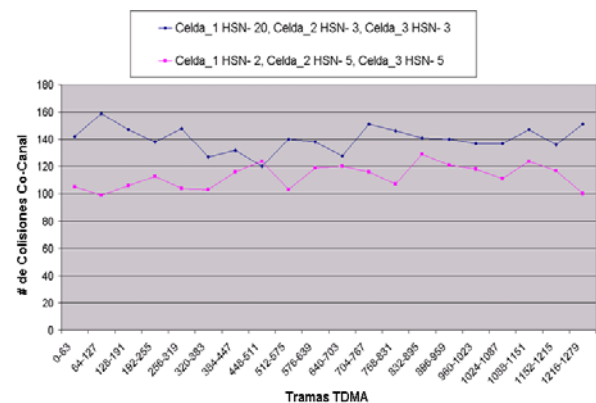


Figura 3. Colisiones co-canal para diferentes HSN en tres sectores.

De la misma manera se puede encontrar la combinación adecuada para una red más compleja, de tal manera que se minimicen las colisiones entre sectores con una gran interferencia mutua; información que se puede obtener a partir de las relaciones de interferencia entre las celdas.

### 3.2 Planteamiento del problema de asignación del HSN

El HSN es un parámetro que se puede asignar por sector (Figura 4) o por sitio (Figura 5) dependiendo del

patrón de reuso que se tenga en la red. Para el segundo caso todos los sectores de un mismo sitio tendrían igual HSN, como se muestra en la figura 5. La asignación del Número de Secuencia de Salto en una red no es otra cosa que distribuir los 63 HSN disponibles entre todos los sectores que conforman la red. Desde luego, se debe recurrir al reuso de números, ya que por lo general en una red se tiene más de 63 sectores o sitios según sea el caso. En el presente trabajo utilizamos la asignación por sector, ya que dependiendo del patrón de reuso esta misma se puede convertir en una asignación por sitio.

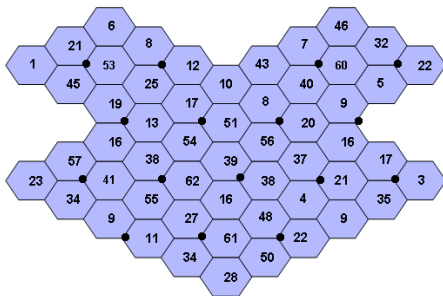


Figura 4. Asignación de HSN por sector.

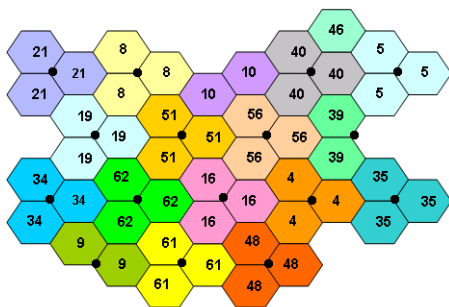


Figura 5. Asignación de HSN por sitio.

## 4. Algoritmo para asignación de HSN

El algoritmo que proponemos en esta sección fue escrito en su totalidad en lenguaje C y se resume en un algoritmo de optimización que encuentra una combinación de HSN para todos los sectores de una red, de tal manera que minimiza una función de costos y por ende la interferencia entre las celdas.

### 4.1 Información requerida

El algoritmo que planteamos realiza los cálculos a partir de información netamente estadística. Básicamente se alimenta de dos archivos. El primero mantiene la configuración del plan de frecuencias para la capa de saltos de cada sector de la red, con excepción desde luego del HSN. Este archivo contiene la siguiente información:

- Sitio
- Sector
- Número de transeptores
- MAIO Offset
- MAIO Step
- MAL

Por otro lado tenemos un archivo en el que constan las relaciones de interferencia entre las celdas de la red. Dichas relaciones se presentan en forma de matriz, de ahí que se denomina *Matriz de Interferencia* y para poder obtenerla es necesario recolectar mediciones de campo por medio de alguna herramienta del Subsistema de Administración de Red (NMS), en nuestro caso hemos empleado la herramienta *Optimizer*.

Las relaciones de interferencia entre las celdas a partir de las cuales *Optimizer* genera la matriz por lo general no están disponibles, razón por la cual es necesario recolectar mediciones de campo durante tres o cuatro días al menos para obtenerlas. Estas estadísticas se obtienen por medio del NMS activando dos mediciones denominadas *Channel Finder* y *DAC*.

Para generar una matriz de interferencia completa, *Optimizer* necesita los reportes de mediciones de las celdas de la red; para cada frecuencia de BCCH de la red; como es conocido, el móvil mide la potencia recibida de las seis celdas vecinas con mejor señal y las reporta a la Controladora de las Estaciones Base BSC (Base Station Controller), lo que permite determinar las celdas más interferentes a la servidora, ver figura 6. Normalmente estos reportes no son almacenados por la BSC, por lo que activando las mediciones ya mencionadas es posible retenerlos.

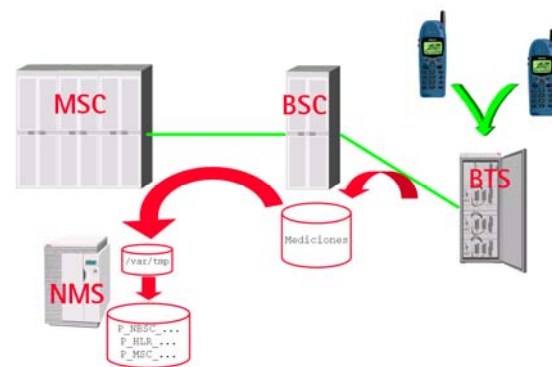


Figura 6. Reportes del móvil.

Para medir la relación de interferencia entre dos celdas se evalúa la relación Portadora a Interferencia,  $C/I$ , entre las mismas. *Optimizer* en particular da como resultado la probabilidad de que la relación Portadora a Interferencia entre dos celdas cualesquiera sea menor de 12 dB, siendo  $C$  la potencia de la celda servidora e  $I$  la potencia de la celda interferente. Esta probabilidad la denominaremos *Probabilidad de Interferencia*. Para el presente trabajo se recolectaron mediciones para

todas las celdas del área evaluada durante 5 días, consiguiendo una extensa tabla cuyos primeros registros de muestran en la tabla 1.

VSITE	VCELL_NAME	INTSITE	INTCELL_NAME	CTP
IRODEMAYO	IRODEMAYOX	IRODEMAYO	IRODEMAYOZ	39.71
IRODEMAYO	IRODEMAYOX	LUQUE	LUQUEX	23.42
IRODEMAYO	IRODEMAYOX	ROCA	ROCAZ	22.89
IRODEMAYO	IRODEMAYOX	PIEDRAHITA	PIEDRAHITAX	18.99
IRODEMAYO	IRODEMAYOX	PCENTENARIO	PCENTENARIOZ	18.51
IRODEMAYO	IRODEMAYOX	PJUSTICIA	PJUSTICIAZ	17.84
IRODEMAYO	IRODEMAYOX	IRODEMAYO	IRODEMAYOY	13.62
IRODEMAYO	IRODEMAYOX	PJUSTICIA	PJUSTICIAZ	9.12
IRODEMAYO	IRODEMAYOX	ROCA	ROCAZ	8.26
IRODEMAYO	IRODEMAYOX	NAVALNORTE	NAVALNORTEZ	3.57
IRODEMAYO	IRODEMAYOX	COLON	COLONY	3
IRODEMAYO	IRODEMAYOX	LUQUE	LUQUEZ	3
IRODEMAYO	IRODEMAYOX	VELEZ	VELEZ	2.34
IRODEMAYO	IRODEMAYOX	PIEDRAHITA	PIEDRAHITAY	2.13
IRODEMAYO	IRODEMAYOX	VELEZ	VELEZ	1.74
IRODEMAYO	IRODEMAYOX	NUEVOCARMEN	NUEVOCARMENX	1.49
IRODEMAYO	IRODEMAYOX	PCENTENARIO	PCENTENARIOY	1.32
IRODEMAYO	IRODEMAYOX	ROCA	ROCAZ	1.01
IRODEMAYO	IRODEMAYOY	IRODEMAYO	IRODEMAYOZ	56.79
IRODEMAYO	IRODEMAYOY	LUQUE	LUQUEX	43.86
IRODEMAYO	IRODEMAYOY	IRODEMAYO	IRODEMAYOX	30.48
IRODEMAYO	IRODEMAYOY	QUISQUIS	QUISQUISY	28.11
IRODEMAYO	IRODEMAYOY	PJUSTICIA	PJUSTICIAZ	20.63
IRODEMAYO	IRODEMAYOY	PIEDRAHITA	PIEDRAHITAY	16.17
IRODEMAYO	IRODEMAYOY	MSALADO	MSALADOX	11.99
IRODEMAYO	IRODEMAYOY	PJUSTICIA	PJUSTICIAZ	9.93
IRODEMAYO	IRODEMAYOY	PIEDRAHITA	PIEDRAHITAX	9.31

Tabla 1. Matriz de interferencia.

### 4.2 Bases para el desarrollo del algoritmo

Hasta ahora el criterio más usado para la asignación de HSN había sido el de maximizar la distancia mínima de reuso de HSN entre las celdas de la red, pero como vimos en la sección 3.1 esto no garantiza que se está minimizando las colisiones en la red [5]. La única manera de tener una idea de la cantidad de colisiones co-canal que hay en una red es simular el proceso de asignación de canales, lo cual permite generar información estadística del número de colisiones que hay entre cada par de celdas y como tenemos la matriz de interferencia, entonces el objetivo es eliminar las colisiones entre celdas que son interferentes potenciales. Desde luego, esto no siempre será posible, por lo que definimos una función de costos a minimizar, la cual está compuesta por dos factores: En primer lugar se tiene *La Probabilidad de Colisión* que viene dada por:

$$PCO = \frac{CO}{64} * 100 \quad (1)$$

Donde *CO* representa el número de colisiones co-canal durante un intervalo de 64 tramas TDMA.

El otro factor es *La Probabilidad de Interferencia*, expresada por  $P(C/I < 12 \text{ dB})$ , que se obtiene de la *Matriz de Interferencia*.

La función objetivo a minimizar es una sumatoria del producto de estos dos factores para cada par de celdas y viene dada por:

$$Costo = \sum_{j=1, k=1, j \neq k}^m Pco(j,k)P(C/I < 12dB)(j,k) \quad (2)$$

Donde *m* representa el número de sectores que existe en la red.

Se podría pensar que *La Probabilidad de Colisión* se evalúa cada 64 tramas hasta completar los 2<sup>7</sup>15,647 números de tramas TDMA posibles, pero desde luego eso resultaría en un algoritmo pobre en eficiencia que le tome varios días terminar un plan. Para evitar esto, lo que se propone es tomar una muestra de esas tramas y en ellas evaluar las colisiones, específicamente evaluaremos una muestra de 10 minutos de enlaces, que son suficientes para tener una tendencia en el número de colisiones [6].

### 4.3 Breve descripción del algoritmo

El algoritmo que proponemos consiste básicamente en minimizar la Función 2, para ello seguimos los siguientes pasos:

1. Cargar la información de configuración y matriz de interferencia en listas enlazadas.
2. Asignar un HSN aleatoriamente a cada celda de la red.
3. Evaluar la *Probabilidad de Colisión* entre cada par de celdas definido en la matriz de interferencia durante 128,000 tramas TDMA (~ 10 minutos de enlace). Multiplicar este factor por la *Probabilidad de interferencia* que indica la matriz, con lo que se tendría el costo para un par de celdas.
4. Sumar los productos PCO x P (C/I < 12dB) de una celda en particular con todas sus interferentes, para obtener el costo por celda. El costo total resulta de sumar todos los costos de las celdas que conforman la red.
5. Seleccionar la celda con mayor costo, y variar el HSN de esta celda de 1 a 63. Para cada HSN recalculamos el costo total y al final asignamos a la celda seleccionada el HSN que haya producido el menor costo total.
6. Repetir el paso 5 para todas las celdas. Seleccionar la celda a optimizar evaluando la que tiene mayor costo y que además no haya sido optimizada.
7. Realizar tres intentos de optimización de toda la red.

Al final el algoritmo escribe en un archivo de texto, el plan de HSN que produce el menor costo, es decir la menor interferencia posible en la red.



#### 4.4 Fortalezas y debilidades del algoritmo

El algoritmo que describimos tiene cuatro ventajas potenciales sobre otras herramientas que permiten asignar HSN:

- El algoritmo realiza la optimización para una red con  $N$  sectores; es decir, no establece un límite en cuanto al número de sectores que puede conformar la red.
- No existe restricción alguna en cuanto al patrón de reuso que se emplea en la red. Esto es, no hay limitación para el número de listas de canales para asignación móvil (MAL). El algoritmo trabaja con planes de frecuencia que emplean desde una sola lista para todos los sectores hasta planes *AdHoc* en los que se tiene una lista por cada sector.
- A pesar de ser una herramienta de planeación, el tiempo que le toma a la herramienta obtener un plan es relativamente pequeño. Para la red evaluada, que se describe en la Sección 5, al algoritmo le tomó aproximadamente una hora con treinta minutos encontrar un plan de HSN que minimice la función de costos.
- El algoritmo asigna el HSN óptimo para una celda mediante una simulación del proceso de asignación de canales de GSM. Es decir, conoce como se distribuyen las frecuencias entre las celdas de la red a diferencia de otras herramientas que solo tratan de maximizar la distancia mínima de reuso de HSN entre las celdas.

Como desventaja tenemos que la optimización que consigue el algoritmo hasta ahora solo es posible en redes sincronizadas; es decir, si el operador mantiene una red no sincronizada seguramente no se obtendrá una reducción notable de la interferencia en la red, comparado a lo que se obtendría con otros métodos de asignación; sin embargo, queda abierta la posibilidad de que en un futuro cercano sea posible medir la diferencia de TSL y FN que usan los diferentes sitios de la red, con lo que resultaría muy sencillo ajustar el algoritmo a redes no sincronizadas.

#### 5. Simulaciones realizadas

El plan obtenido con el algoritmo propuesto se evaluó mediante simulaciones dinámicas de una red real usando la herramienta SMART. Toda la información de la red fue importada al simulador. El área escogida corresponde a un cluster de celdas de una zona densa urbana de la ciudad de Guayaquil.

Las características del área evaluada son:

Banda de frecuencia: 850 MHz  
Tramas TDMA: Sincronizadas

Espectro de saltos: 3.4 MHz  
Espectro total: 7 MHz  
Patrón de reuso: 1/1 y 1/3  
Canal BCCH: Bloqueado  
Número de sitios: 41  
Número de sectores: 112  
Tráfico por sector: 20 Erlangs  
Tipo de zona: Densa Urbana

Se evaluó también el plan que tiene implementado el operador para esta área, el cual fue generado con la herramienta ASSET cuyo proceso de asignación de HSN se basa en la maximización de la distancia mínima de reuso. El análisis de los resultados radica en una comparación entre ambos planes tanto en la calidad como en la capacidad que se consigue en la red. Esta evaluación se realizó graficando cada Indicador de Calidad (KPI) contra la Carga Efectiva de Frecuencia (EFL); es decir, la eficiencia espectral. Los indicadores de calidad analizados son: Tasa de llamadas caídas (DCR), Calidad de recepción (RXQUAL), y Tasa de error de trama (FER). Estos dos últimos indicadores se evalúan tanto en el enlace de subida UL (Up Link) como en el enlace de bajada DL (Down Link).

En los gráficos que se muestran a continuación, la línea azul representa el plan del operador y la rosada el plan que se consigue con el algoritmo propuesto. Para todos los indicadores se evaluó la ganancia en calidad para un EFL de 8%, la ganancia en capacidad fue evaluada en diferentes umbrales dependiendo del indicador.

La Figura 7 muestra los resultados para DCR. Tomando como referencia el EFL establecido de 8% vemos que el plan del operador consigue un DCR de 1.12% mientras que con el algoritmo propuesto el DCR disminuye a 0.95%, es decir se logró 15.2% de ganancia en calidad. En lo referente a la capacidad se tomó un umbral de 1% para el cual se obtuvo que con el plan del operador el EFL es de 6.9% y con el algoritmo propuesto es 8.4%, por lo que este último consigue 17.9% de ganancia en capacidad.

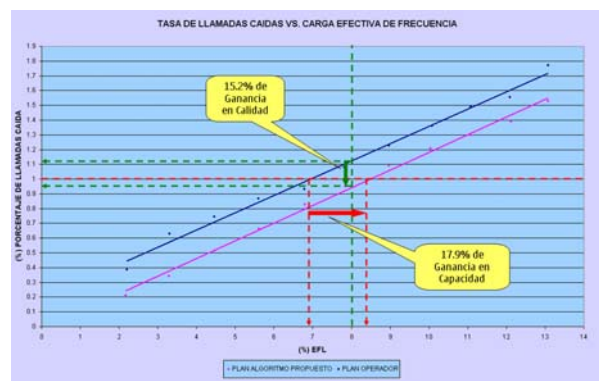


Figura 7. DCR vs. EFL.

En la Figura 8 se tienen las curvas para el GOOD UL RXQUAL, para un EFL de 8% el plan del

operador produce 97.4% mientras que con el algoritmo propuesto este valor sube a 97.9% lo que se traduce en 19.23% de ganancia en calidad. La ganancia en capacidad se evaluó para 97% de GOOD UL RXQUAL, valor para el cual se consigue 10.3% de EFL con el plan del operador, pero con el algoritmo propuesto asciende a 13.7%, lo que nos da 20.82% de ganancia en capacidad.

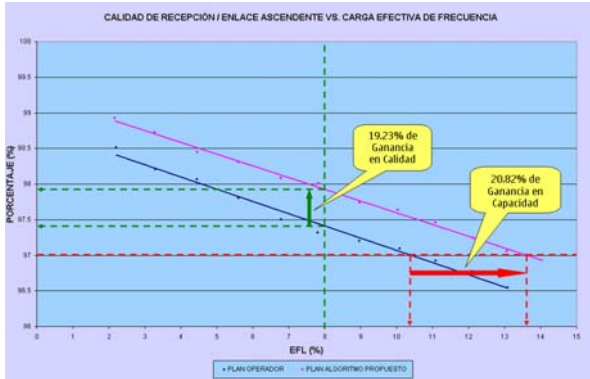


Figura 8. UL RXQUAL vs. EFL.

En la Figura 9 se observan los resultados obtenidos para DL RXQUAL, al igual que los dos casos anteriores el plan del algoritmo propuesto luce mejor que el plan del operador. Vemos que para EFL igual a 8% con el plan del operador se llega a 97.8%, pero con el plan generado a partir del algoritmo propuesto se consigue aumentar este valor a 98.35%, es decir se consiguió 25% de ganancia en calidad. Para medir la diferencia en capacidad utilizamos un umbral de 97%, en el cual se consiguió 11.5% de EFL con el plan del operador, mientras que con el algoritmo propuesto se incrementa el EFL a 14.4%, consiguiendo así 20.14% de ganancia en capacidad.

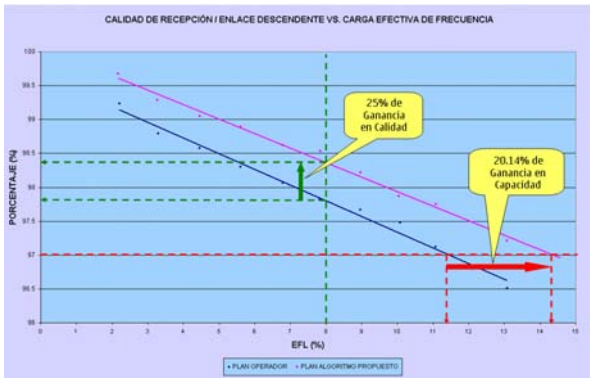


Figura 9. DL RXQUAL vs. EFL.

Por último tenemos los resultados en FER, la Figura 10 muestra las curvas obtenidas para GOOD UL FER. Una vez más, evaluamos la calidad para un EFL de 8%, en el cual el plan del operador indica 91.8%, pero con el algoritmo propuesto se consigue mejorar este valor hasta 92.8%, lo cual se interpreta como una ganancia de 12.2% en lo que se refiere a calidad. La capacidad es evaluada en 92% de GOOD UL FER,

consiguiendo 7.9% con el plan del operador y 8.7% con el algoritmo que proponemos, es decir estamos aumentando en 9.2% la capacidad del sistema.

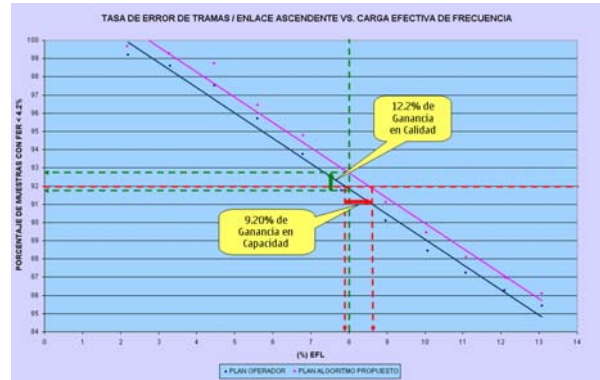


Figura 10. UL FER vs. EFL.

En la Figura 11 se muestran los resultados para GOOD DL FER. Del gráfico vemos que para un EFL de 8% el plan del operador indica 87.8% mientras que con el algoritmo propuesto este valor sube a 89% lo que se traduce en 9.83% de ganancia en calidad. La ganancia en capacidad se evaluó para 92% de GOOD DL RXQUAL, para el cual se consigue 5.9% de EFL con el plan del operador, pero con el algoritmo propuesto se asciende a 6.5%, lo que nos da como resultado 9.23% de ganancia en capacidad.

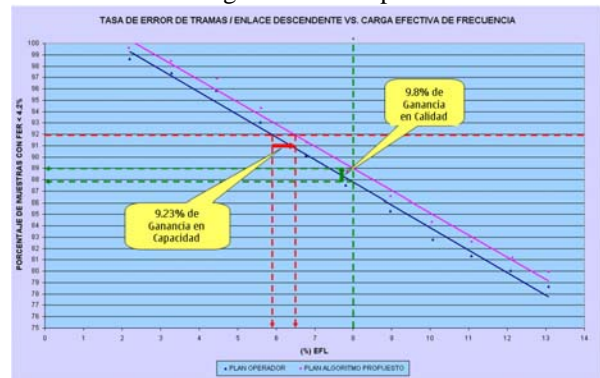


Figura 11. DL FER vs. EFL.

Resulta importante resaltar que los porcentajes de ganancia para la Tasa de Error de Trama son menores que para los otros indicadores de calidad. Esto se debe a que el área evaluada presenta problemas en cuanto al FER, ya que como se puede observar en los gráficos los valores llegan a ser inferiores al 90%.

## 6. Conclusiones

Es preciso empezar esta parte final indicando al lector que esta es la primera herramienta exclusiva para planeación de HSN para redes GSM. Si bien es cierto que existen muchas herramientas para crear planes de frecuencia, se debe aclarar que todas generan planes completos, es decir no solo se enfocan en el HSN, sino también en los demás parámetros como MAIO y MAL. Justamente la fortaleza de este

algoritmo radica en el hecho de que se concentra en la asignación de HSN únicamente conociendo los demás parámetros que conforman el plan de frecuencias para la capa de saltos. Como fue demostrado en la sección 3, la interferencia se ve afectada directamente por los Números de Secuencia de Salto que tienen las celdas; es decir, diferentes combinaciones de HSN generan diferentes cantidades de colisiones.

El algoritmo que se propuso en la Sección 4 minimiza el número de colisiones co-canal entre los interferentes potenciales de una red GSM, a través de una combinación óptima de HSN para las celdas de la misma. Este algoritmo simula la asignación de frecuencias en GSM y realiza una búsqueda exhaustiva en cada celda del HSN que minimiza la interferencia total en la red.

Se evaluó el algoritmo simulando un conjunto de celdas de un sector denso urbano de la ciudad Guayaquil. El plan de HSN obtenido se comparó con el plan del operador de la red realizando simulaciones dinámicas en SMART y evaluando Tasa de llamadas caídas, Calidad de Recepción y Tasa de Error de Trama como indicadores de calidad. En la Sección 5 se mostraron los resultados de dichas simulaciones, de los cuales se obtuvo que con el algoritmo propuesto se consiguen ganancias de entre 9% y 25% tanto en calidad como en capacidad de la red con respecto a lo que se obtiene con una herramienta tradicional de planeación de frecuencia, permitiendo de esta manera tener una red con soporte para un mayor número de usuarios pero sin degradación de la calidad de la misma.

Este algoritmo puede ser el complemento ideal para herramientas de planeación más sofisticadas que se usan en la actualidad, pero que sin embargo hasta ahora no le han dado el enfoque que le hemos dado en este trabajo a la asignación de HSN.

## 7. Referencias

- [1] Moon J., Hughes L. and Smith D., Assignment of Frequency Lists in Frequency Hopping Networks, IEEE Transactions on Vehicular Technology Vol. 54 No. 3, Mayo 2005, páginas 1147 -1159.
- [2] Halonen T., Romero J. and Melero J., GSM, GSPRS and EDGE Performance, Evolution towards 3G/UMTS, Wiley, Málaga, 2003, páginas 144-146, 188-193.
- [3] 3GPP, Technical specification Group GSM/EDGE TS 05.02, Radio Access Network, Radio Transmission and Reception, Noviembre 2005, páginas 8 -10.
- [4] Nyberg H., Craig S., Magnusson S. and Edgern E., Synchronization Strategies for GSM/EDGE Networks, IEEE Vehicular Technology Proceedings, Estocolmo, Suecia, Enero 2001, páginas 2670 – 2674.
- [5] Shi J. and Huang D., Frequency Hopping Plan with Radio Network Synchronization, IEEE Vehicular Technology Proceedings, Plano, USA, Mayo 2005, páginas 2163 – 2166.
- [6] Nyberg H., Craig S., Magnusson S. and Edgern E., Collision Properties of GSM Hopping Sequences, IEEE Vehicular Technology Proceedings, Estocolmo, Suecia, Mayo 2000, páginas 1004 – 1008.
- [7] ASSET 3G: “User and Reference Guide”, AIRCOM International, USA, 2004, páginas 210-214.