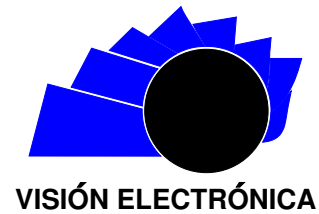




Visión Electrónica

Más que un estado sólido

<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/visele>



VISIÓN INVESTIGADORA

Análisis de ocupación espectral banda GSM 850 en Bogotá

Spectrum occupancy analysis over band GSM 850 on Bogotá

Juan Carlos Martínez Quintero.¹, José de Jesús Rugeles Uribe.², Edith Paola Estupiñán Cuesta.³

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Enviado: 02/11/2017

Recibido: 12/11/2017

Aceptado: 23/02/2018

Palabras clave:

BCCH

BSIC

Espectrograma

GSM

Qualipoc

Open access



Keywords:

BCCH

BSIC

Spectrogram

GSM

Qualipoc

RESUMEN

Este artículo presenta un análisis de uso de canales y la medición de ocupación espectral sobre la banda GSM-850 para el enlace downlink mediante dos escenarios de medición; Se definió un sector de Bogotá, Zona norte, sobre el cual se trazó una trayectoria de sensado; identificando parámetros como BSIC, NCC, LAI, MNC, LAC, CI, canal BCCH, frecuencia Uplink, nivel de potencia entre otros; a través del equipo Qualipoc. Se evidenció una cobertura con 17 celdas a lo largo del recorrido de 2.96 Km, con reconexión en dos de las celdas identificadas, resaltando la modulación GMSK como predominante y niveles de potencia aceptables para las estaciones móviles según la norma 3GPP GSM05.05. Posteriormente se realizó la captura del espectrograma en esta misma banda identificando la convivencia de diferentes tecnologías de telefonía móvil y el uso de GSM en varios canales de frecuencias y espacios temporales, con ocupación espectral del 95.2%

ABSTRACT

This paper evidence a channels use analysis and the spectral occupancy measurement for the downlink in Bogota, Colombia, over GSM-850 band. Two test scenarios are defined. First, we select a path of 2.96 Km over North Zone Bogotá to realize the channels search and spectrum detection. The results show parameters like: BSIC, NCC, LAI, MNC, LAC, CI, BCCH channel, uplink frequency, power level received for a mobile telephony operator. Rohde & Schwarz Qualipoc was used to perform the measurements. The Qualipoc equipment found a coverage of 17 cells on the path with a reconnection state in two cells previously identified. After the analysis, we concluded that the GMSK modulation is the most used, reporting stable power level for mobile stations as specified in 3GPP GSM05.05 statement. Finally, the spectrogram measurement indicated the coexistence of different mobile technologies, and the GSM use in several frequency channels and temporal spaces, with 95.2% spectrum occupancy.

¹Ingeniero Electrónico, Universidad Manuela Beltrán, Colombia. Especialista en Seguridad física e informática, Escuela de comunicaciones Militares, Colombia. Magister en Sistemas automáticos de producción, Universidad tecnológica de Pereira, Colombia. Universidad Militar Nueva Granada/Programa de Ingeniería en Telecomunicaciones. Correo electrónico: juan.martinezq@unimilitar.edu.co

²Ingeniero Electrónico, Universidad Industrial de Santander, Colombia. Ingeniero Eléctrico, Universidad Industrial de Santander, Colombia. Magister en Ingeniería Electrónica, Universidad Industrial de Santander, Colombia. Universidad Militar Nueva Granada/Programa de Ingeniería en Telecomunicaciones. Correo electrónico: jose.rugeles@unimilitar.edu.co

³Ingeniera en Telecomunicaciones, Universidad Militar Nueva Granada, Colombia. Magister en Ingeniería Electrónica, Pontificia Universidad Javeriana, Colombia. Universidad Militar Nueva Granada/Programa de Ingeniería en Telecomunicaciones. Correo electrónico: edith.estupinan@unimilitar.edu.co

1. Introducción

El uso de canalización física y lógica en GSM, permite establecer el estado y ubicación de una celda de telefonía que opere con esta tecnología. Con la lectura de tramas que ocupan estos canales es posible identificar diferentes parámetros de las celdas cercanas a un móvil o equipo de medición, también es posible identificar si se tiene tráfico de voz sobre ese canal o si está en espera de una nueva comunicación, como en el caso de los canales broadcast para llamadas de emergencia. Considerando lo anterior, la ocupación de canales en un rango de frecuencias puede determinarse con equipos de medición de espectro y las características del enlace con el uso de terminales MS (mobile station) con software que permita la lectura de parámetros del chip de RF (radio frecuencia).

Por otro lado, las mediciones de propagación y ocupación de espectro son indispensables en la planificación de las redes digitales de telefonía celular móvil para mejorar el uso de este recurso natural y abrirle paso a la inclusión de nuevas tecnologías. En los últimos años estos estudios se han incrementado, evaluando diferentes bandas de frecuencia. Los estudios confirman a nivel mundial la importancia de conocer la ocupación del espectro y los canales que usan en sus respectivas bandas de frecuencias. En [1] y [2] se muestra un estudio de ocupación de frecuencias en Bogotá en el rango de frecuencias de 54MHz hasta los 6GHz mediante un analizador de espectro y fueron clasificadas según el cuadro de atribución espectral del país.

En [3] se propone un método de sensado para la reconstrucción de espectrograma, basado en transformadas Gabor y FFT y validado con mediciones realizadas en París sobre redes GSM en la banda de 900 y 1800. En [4] se muestra un estudio de ocupación espectral en Portugal sobre GSM900 Y DCS1800, determinando que para DCS1800 hay poca ocupación espectral y que puede ser útil para usos de radio oportunista. En [5] se muestra un análisis de sensado de espectro en downlink para P-GSM y E-GSM en banda 900 MHz para dos ubicaciones del sur de África en el área urbana. Las medidas fueron hechas por analizador de espectro. Esta investigación analiza el comportamiento de ocupación por día y de la ubicación, determina la amplia utilización de la banda de 900.

En [6] se muestra un estudio comparativo que mide la ocupación espectral de dos poblaciones; Barcelona, España y Pozn, Polonia en la banda de 900 MHz mediante analizador de espectro. En [7] se realiza un estudio de localización de GSM y Wi-Fi en China

mediante un analizador de espectro y un Smartphone, se propone un estudio de localización y análisis de 3 algoritmos para evaluar la exactitud. En [8] se realiza una recopilación de formas de detección de interferencias en espectro, ocupación espectral. En [9] se presenta un sistema para detectar espectro en redes GSM usando un vehículo y un Smartphone con sensores embebidos. Esto permite ver que los intereses de analizar la ocupación del espectro, los canales y las celdas son importantes para redes móviles. En Colombia se evidencian estudios sobre ocupación espectral de los diversos servicios definidos en el cuadro de atribución espectral pero no estudios específicos sobre la banda de operación GSM850, por esta razón surge la motivación de realizar este tipo de estudios.

Este artículo presenta un estudio de canales GSM sobre la banda 850 MHz y el sensado sobre esta misma banda mediante un espectrograma. La finalidad de esta investigación fue obtener una muestra de ocupación de esta banda para la zona norte (Chicó norte) de la ciudad de Bogotá. Este documento está organizado inicialmente con una introducción teórica, posteriormente en la segunda sección se muestran los conceptos más relevantes de GSM, estructura de tramas canales físicos y lógicos. En la tercera sección se muestran los escenarios propuestos y resultados obtenidos, finalmente se resaltan las conclusiones del trabajo realizado.

2. Contextualización teórica para Redes móviles GSM

Originalmente GSM se especificó para ser usado sobre la banda de 900MHz y fue denominada GSM900. El método de modulación para GSM es GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying), con una tasa de transmisión de 270.833 Kbps. Cada celda cuenta con una estación Base denominada BTS (Base Transceiver Station), estaciones Móviles denominadas MS (Mobile Station), y por un controlador de estación base denominado BSC (Base Station Controller) [10]. En Colombia una de las bandas que opera comercialmente es la banda de 850 MHz, específicamente usa el rango de 824 MHz hasta 849 MHz para que MS transmita y la BTS reciba (Uplink) y usa el rango de 869MHz hasta 894 MHz para que la BTS transmita y el MS reciba (Downlink) con un ancho de banda por canal de 200KHz [11].

Dentro de las características más relevantes de GSM está su sistema de canalización. Se definen canales físicos y lógicos. Los canales físicos se establecen entre la BSC y las interfaces móviles dentro de los canales de radio establecidos por el ARFCN. Se definen 3 tipos de canales:

BCCH, SDCH y TCH. BCCH (Broadcast Control Channel) es un canal unidireccional punto-multipunto que solo transmite información del plano de control de la red, permite el control de emisión de la estación base a la MS para establecer comunicación [12].

SDCCH (Stand-alone Dedicated Control Channel) realiza tareas de señalización entre la MS y las BTS que contiene información de señalización, configuración de llamada, asignación entre canales de tráfico entre otros y el canal TCH (Traffic Channel) es usado cuando el proceso de señalización se completa y la transferencia de tráfico inicia. Los canales lógicos usan los canales físicos para llevar a cabo sus respectivas funciones. Dentro de estos canales se destacan SCH, FCCH, BCCH, RACH, AGCH, PCH, SDCCH. [13, 14].

2.1. Identificadores en GSM para BTS y MS

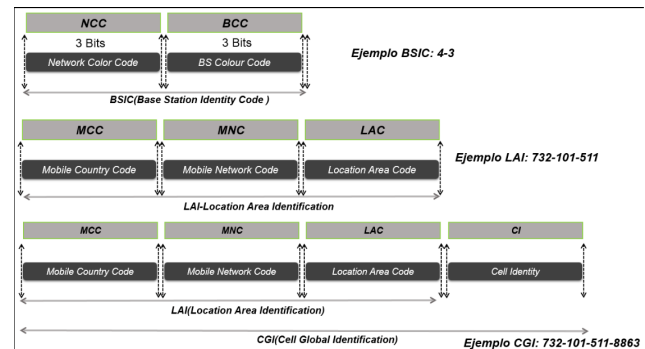
GSM define ciertos identificadores que permiten determinar comportamientos de la red móvil, entregar características sobre áreas geográficas, estaciones base y estaciones móviles. Dentro de estos identificadores se pueden destacar: BCSI(Base Station Identify Code), BCC(Base Station Color Code), NCC(Network Color Code), LAI(Location Area Identification), MCC(Mobile Network Code), MNC (Mobile Network Code), LAC(Location Area Code), CI(Cell Identity) y CGI(Cell Global Identification), entre otros.

El identificador BSIC se utiliza en GSM para identificar de forma única una estación base dentro de un área geográfica particular. Para cada celda este identificador es enviado en broadcast y debe ser conocido por todos los MS que se sincronizan con la celda. BSIC es usado cuando una estación móvil GSM está conectada a la red y necesita identificar las celdas vecinas para poder realizar un cambio a estas, este identificador es usado para evitar ambigüedades particularmente en zonas fronterizas. BSIC está compuesto por los elementos BCC y NCC. BCC es un campo de 3 bits que define 8 posibles secuencias en downlink y puede mejorar la transmisión en caso de interferencia. NCC es un campo de 3 bits que indica el nivel de potencia recibido de las celdas vecinas con las cuales podría hacer handover. La definición de estos parámetros son propiamente de cada operador móvil [15, 16].

Para la identificación de áreas y estaciones bases, se definió el parámetro LAI; compuesto por 3 elementos: MCC, MNC y LAC. MCC identifica la ciudad donde se ubica la red móvil o la MS y consta de 3 dígitos decimales. MNC identifica el operador al cual el MS se conecta y puede estar compuesto por 2 o 3 dígitos y el

LAC está compuesto por 2 octetos que identifican el área de ubicación del operador móvil [17]. Para el caso de Colombia el MCC es 732, el MNC y el LAC depende de la asignación de cada proveedor de telefonía móvil. Finalmente se define el CI y el CGI. El CI está compuesto por 2 octetos y el CGI es la unión entre LAI y CI. La Figura 1 resume estos identificadores y su estructura.

Figura 1: Estructura Identificadores GSM.



Fuente: elaboración propia.

2.2. Qualipoc

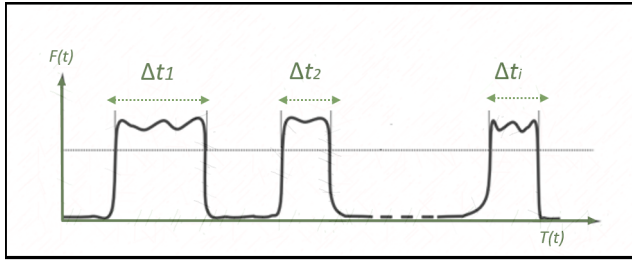
Es un Smartphone comercialmente disponible, modificado por software para comprobar regularmente la transmisión de calidad de datos (Voz, video, mensajería) en una red móvil. Este equipo realiza sus mediciones basado en parámetros de desempeño de red. Los datos obtenidos pueden ser almacenados en un centro de monitoreo para posteriormente ser analizados. El uso de un teléfono como equipo de medida o sensor de rendimiento de una red GSM o de cualquier tecnología móvil hace que las medidas sean cada vez más orientadas a la experiencia real del usuario [18].

2.3. Espectrograma

La ocupación del espectro desde el punto de vista estadístico se define como la probabilidad de que un instante de tiempo seleccionado aleatoriamente se utilice un canal radioeléctrico, una banda de frecuencias u otro recurso de frecuencias analizado para la transmisión de información tal como lo muestra la Figura 2.

El proceso de sensado de espectro permite medir la ocupación de canal de frecuencia y la ocupación de banda de frecuencia. A nivel de canal se identifica el canal usado, ancho del canal, agrupaciones de bandas de frecuencias por canal y porcentaje de ocupación de estos canales. Las mediciones de banda de frecuencia permiten identificar el inicio y final de una frecuencia y determinar

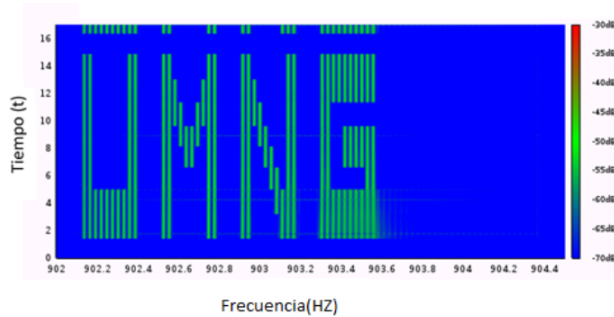
Figura 2: Representación Gráfica de ocupación de Canal.



Fuente: elaboración propia.

el grado de ocupación de toda la banda. Una de las maneras de representar la ocupación del espectro de toda una banda de frecuencia se denomina el espectrograma, la Figura 3 muestra un ejemplo de esto. La gráfica en su eje x define las frecuencias y en el eje Y el tiempo de ocupación de las frecuencias. Los colores que muestran representan el nivel de emisión [19].

Figura 3: Espectrograma (Representación de Ocupación de banda de frecuencia).



Fuente: elaboración propia.

3. Escenario de Medición

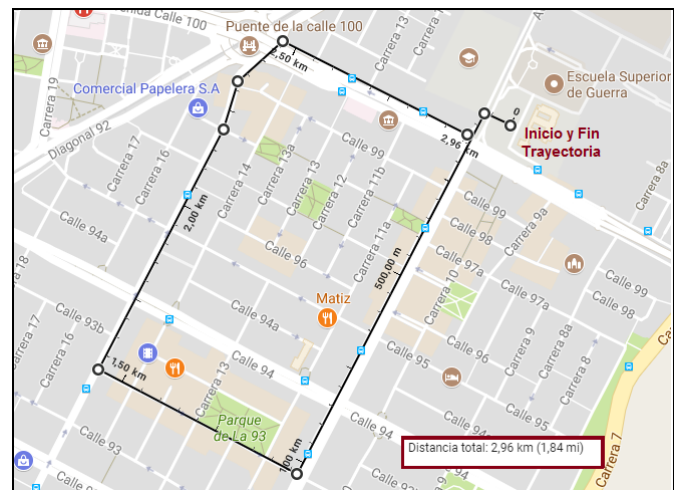
Para realizar este análisis se proponen dos escenarios. El escenario 1 define una trayectoria de medición dinámica mediante dos Qualipoc para determinar la celda y el canal de control del operador móvil. El escenario 2 propone una medición estática de la ocupación espectral mediante un analizador de espectro. Los equipos usados para realizar las mediciones propuestas se especifican en la Tabla 1.

Para el escenario 1, se realizó un recorrido desde la calle 100 hasta la calle 93 entre las carreras 11 y 15, con el fin de sensar la red GSM de un operador. La Figura 4 muestra la trayectoria. La distancia recorrida fue de 2,96 Km.

Tabla 1: Descripción de equipos Usados para las mediciones de parámetros de GSM 850 [20].

Equipo	Descripción	Cantidad	Especificaciones Técnicas
Qualipoc	Samsung S5 G900M	2	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 32bits-Qualcomm Snapdragon 801 MSM8974-AC ✓ Procesador 2.5 GHz Quad-Core Krait 400 ✓ 2GB Memoria RAM
Analizador Espectro	Anritsu MS2722C	1	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Rango de Frecuencias: 9 KHz a 9 GHz ✓ Exactitud Frecuencia: ± 25 ppb with GPS On ✓ 1 Hz to 10 MHz Resolution Bandwidth (RBW) ✓ DANL: -160 dBm in 1 Hz RBW ✓ Measurement Range: DANL to +30 dBm

Figura 4: Trayectoria definida medición de canales GSM 850MHz.



Fuente: elaboración propia.

Para realizar las mediciones se definió un test (Job) de 72000 segundos de medición creando un Workspace propio sobre la aplicación de Qualipoc para la medición de parámetros básicos GSM sobre la banda 850. Se midieron características como estado de la red, cobertura a lo largo de la trayectoria de una celda, tecnología, información técnica de la celda. La Figura 5 y 6 muestran algunas características de la prueba configurada, aproximación de los resultados entregados y el recorrido trazado por el equipo de medición.

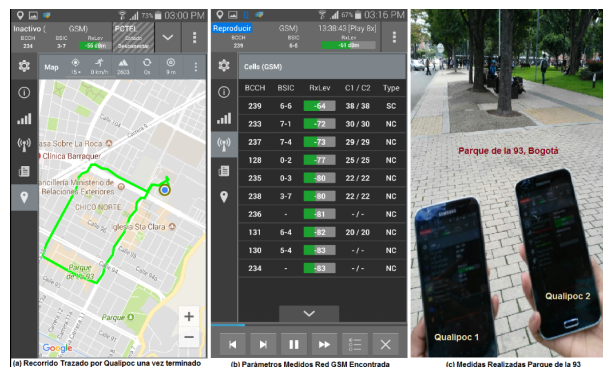
Para el escenario 2 se realizó la ubicación del analizador de espectro al aire libre y se configuró en la banda de 850 (downlink) para definir la ocupación del espectro como se muestra en la Figura 7.

Figura 5: Mediciones Realizadas con Qualipoc.



Fuente: elaboración propia.

Figura 6: Mediciones Realizadas con Qualipoc.



Fuente: elaboración propia.

Figura 7: Escenario 2.



Fuente: elaboración propia.

3.1. Análisis de resultados escenario 1

Una vez terminadas las pruebas, se recopilan los resultados entregados por cada uno de los equipos de medición con un total de 19024 mediciones. Para el análisis se decidió usar solamente los datos de uno de los Qualipoc debido a la similitud en sus resultados. La Tabla 2 muestra las celdas identificadas y conectadas al móvil operando en GSM850 en este segmento, la potencia más alta y más baja en cada celda, BSIC, BCCH, % de uso de modulación GMSK para el operador sensado.

Esto muestra que para las celdas que vuelven a ser tomadas el BSIC se conserva (filas sombreadas), la modulación GMSK sigue siendo la predominante para GSM, la distancia promedio de conexión a una celda es de 95.44 metros y la distancia promedio de desconexión es de 164.06 metros; teniendo casos extremos pero aislados de distancia de desconexión de 352.18 metros como es el caso de la celda 9 (CP9) y de conexión de 30.7 metros para el caso de la celda 7(CP7). El nivel de potencia máxima de recepción alcanzado para el Qualipoc está limitado a -47 dBm. En la Tabla 2 se observa además que no hubo reuso de frecuencia en las celdas a las cuales se conectó el equipo, es decir, cada celda se conectó mediante un canal diferente.

A partir de los parámetros MCC, LAC y CI se determinó la ubicación aproximada de cada celda, con el uso de herramientas online como *Cellfinder*, una vez conocidos los datos de Latitud y longitud de cada celda se graficó el recorrido mediante google earth como se muestra en la Figura 8.

Figura 8: Mediciones Parámetros Red GSM-850 para Operador móvil.



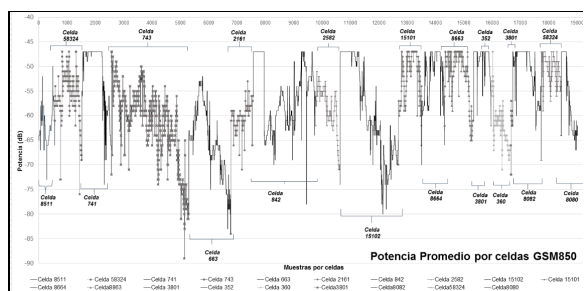
Fuente: elaboración propia.

Tabla 2: Mediciones Parámetros Red GSM-850 para Operador móvil.

Celda	CID	LAC/MCC/MNC	BSIC	BCCH	Downlink (MHz)	Uplink (MHz)	Level Max (dBm)	Level Min (dBm)	% GMSK	% 8-PSK
1	8511	511/732/101	7-7	236	890.8	845.8	-50	-73	69.21	30.78
2	58324	511/732/101	4-3	238	891.2	846.2	-47	-76	87.48	13.67
3	741	511/732/101	6-4	131	869.8	824.8	-47	-74	80.95	18.19
4	743	511/732/101	7-4	237	891	846	-47	-89	84.23	15.77
5	663	511/732/101	6-6	239	891.4	846.4	-52	-84	68.16	31.84
6	2161	64/732/101	0-2	130	869.6	824.6	-53	-84	73.00	27.00
7	842	64/732/101	6-5	234	890.4	845.4	-47	-78	75.05	24.05
8	2582	64/732/101	2-1	131	869.8	824.8	-51	-74	55.96	44.04
9	15102	64/732/101	3-0	236	890.8	845.8	-47	-80	71.57	28.43
10	15101	64/732/101	3-5	128	869.2	824.2	-51	-82	84.36	15.64
11	8664	64/732/101	7-2	129	869.4	824.4	-47	-70	85.46	14.54
12	8663	458/732/101	6-7	133	870.2	825.2	-47	-65	83.95	16.05
13	3801	458/732/101	1-6	129	869.4	824.4	-47	-72	83.11	16.89
14	352	458/732/101	6-2	130	869.6	824.6	-47	-62	79.71	20.29
15	360	458/732/101	0-4	233	890.2	845.2	-47	-72	82.88	17.12
16	3801	458/732/101	1-6	129	869.4	824.4	-47	-71	100	0
17	8082	511/732/101	7-4	234	890.4	845.4	-47	-69	83.90	16.10
18	58324	511/732/101	4-3	238	891.2	846.2	-47	-69	88.48	12.67
19	8080	511/732/101	4-4	239	891.4	846.4	-47	-67	82.58	17.42

Fuente: elaboración propia.

Figura 9: Mediciones Parámetros Red GSM-850 para Operador móvil.



Fuente: elaboración propia.

La Figura 9 permite ver la variación de potencia por celda encontrada en la trayectoria trazada y se concluye que las variaciones de potencia recibida están entre -47 dBm y -89 dBm. Qualipoc muestra las celdas cercanas e identifica con la que tiene conexión actual. En el

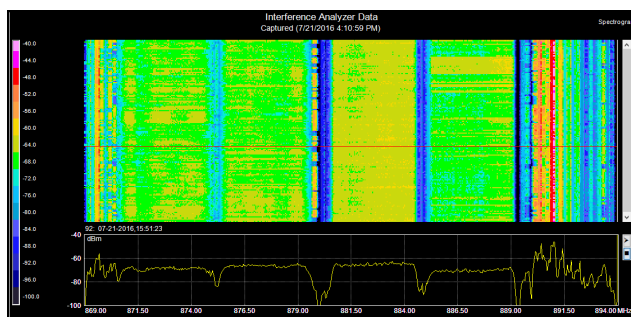
recorrido se evidenció que el paso entre una celda y otra se hace a una celda vecina con mayor nivel de potencia de recepción esto validado mediante la Figuras 6 y 9. El Qualipoc utiliza los criterios para selección y reelección de celda basada en los parámetros C1 y C2 [21], en el análisis realizado solo se incluyeron las celdas a las que el equipo se conectó y no las celdas vecinas, de esta manera no es necesario establecer valor umbral de potencia recibida o relación señal a ruido para detección de celdas cercanas.

3.2. Análisis de Resultados escenario 2 (Espectrograma Banda GSM850)

Para el escenario 2, se definió un tiempo de muestreo de 30 minutos, como intervalo de mayor actividad en la zona. Este intervalo fue seleccionado usando mediciones anteriores por periodos de 24 horas durante una semana, debido a que en ese horario (15:30-16:00) se presentaba

un nivel de ocupación levemente mayor en la banda estudiada. La zona de la ciudad en la que se realizó la medición se caracteriza por la gran densidad de oficinas y empresas, por lo cual se detecta una ocupación del espectro más o menos constante durante el día. Se usó el software *Anritsu Master Software Tools* como apoyo en el análisis del espectrograma y para identificar las tecnologías presentes en esta banda como se evidencia en la Figura 10.

Figura 10: Espectrograma Banda 850.



Fuente: elaboración propia.

El ancho de frecuencias configurado en el analizador de espectro está entre 869MHz y 894 MHz cubriendo toda la banda de interés. Con relación a la sensibilidad del equipo de medición, en el modo de análisis de interferencia se especifica que para la detección de señales de tecnologías GSM, W-CDMA y CDMA se requiere una relación señal a ruido (SNR) mayor a 10 dB, además se tomó un umbral fijo de -110dBm para la detección de señales en la banda medida. Es importante tener en cuenta que las probabilidades de detección y falsa alarma de las señales analizadas también dependen de la SNR y que para este escenario es un trabajo realizado por el analizador de espectros, sin embargo, en las medidas realizadas se encontró que el valor de SNR está alrededor de 7 dB por encima de lo necesario para su detección por parte del equipo y 2 dB por encima de lo que especifica la recomendación para sistemas digitales [19].

La Tabla 3 presenta un resumen de las tecnologías detectadas por Master Tools para este escenario y a partir de esta se concluye que durante el tiempo de muestreo aparecen diferentes tecnologías en intervalos de tiempo variables. Se detectan en total 67 canales GSM/EDGE de frecuencia diferente en todo el rango muestreado, con un ancho de banda cercano a los 200 KHz cada uno. Algunos de estos canales aparecen de forma repetitiva. Se detectaron 13 canales CDMA de frecuencia diferente con anchos de banda que varían entre 1.3 y 10.7 MHz. También se detectan 5 canales W-CDMA/CDMA con ancho de banda promedio de 4.4 MHz, donde todos oscilan alrededor de este valor.

Estas dos últimas tecnologías no aparecen en toda la banda, dejando espacios de frecuencia permanentes para la tecnología GSM/EDGE. En cuanto a la relación señal a ruido y las potencias de canal, son mayores en las tecnologías CDMA y W-CDMA/CDMA.

Tabla 3: Tecnologías móviles detectadas para la banda GSM-850 downlink.

Tecnología	# de Canales detectados de frecuencia diferente	Menor Frecuencia de canal (MHz)	Mayor Frecuencia de canal (MHz)	Ancho de Banda promedio (KHz)	Rango de SNR (dB)	Rango de potencias de canal (dB)
GSM/EDGE	67	869,364	893,818	198,434	17.58 - 52.76	-88.11 a - 43.81
CDMA	13	872,955	892,182	6388,896	28.76 - 32.35	-51.99 a - 43.27
W-CDMA/CDMA	5	872,773	891,955	4462,133	27.11 - 42.94	-47.96 a - 42.82

Fuente: elaboración propia.

En el tiempo muestreado solo se observa libre durante todo el intervalo el rango de frecuencias de 879.6 MHz a 880.6 MHz que corresponden a los canales GSM ARFCN del 180 al 184 con señal por debajo de los -90 dBm y el rango de 889.2 MHz a 889.4 MHz que corresponde al canal 228 como se en la Figura 11.

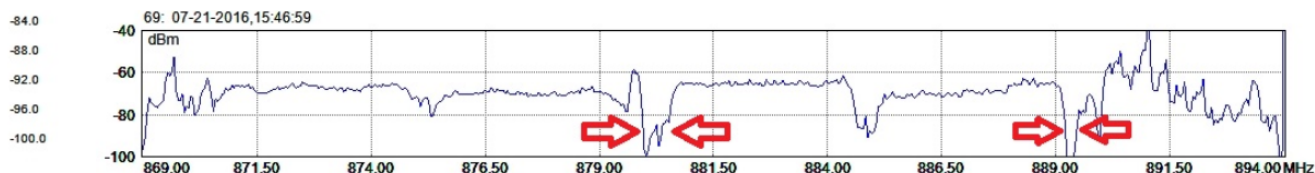
4. Conclusiones

Para evaluar la ocupación del espectro sobre una tecnología específica se requieren de instrumentos de medida especializados como los usados en esta investigación. Estos equipos permiten de manera adicional revisar la planificación de una red de telefonía o el mejoramiento de las ya existentes. El espectrograma permite tener una mejor aproximación del uso de las bandas de frecuencia en áreas geográficas específicas y que varían dependiendo la ubicación, lo que puede influir en una decisión de la forma más adecuada de explotar este recurso en frecuencia, espacio y tiempo. Se concluye que aproximadamente el 95.2% del espectro se encuentra ocupado permanentemente para esta banda y en este conviven diferentes tecnologías de telefonía móvil. Dada la ubicación de los escenarios propuestos y el gran volumen de personas que se desplazan en la zona, la ocupación del espectro se mantiene relativamente constante para esta banda y se pueden considerar tiempos de medición cortos lo que se ajusta a lo definido en la recomendación SM.2256. Finalmente se verifica la vigencia de la tecnología GSM para esta zona de Bogotá.

5. Reconocimientos

Este trabajo fue realizado gracias a la Universidad Militar Nueva Granada, al interior del grupo de investigación GISSIC, como parte de los resultados del proyecto investigación INV- ING-2388.

Figura 11: Intervalos de frecuencia libre en toda la banda en el tiempo muestreado.



Fuente: elaboración propia.

Referencias

- [1] L. F. Pedraza, F. Forero, y I. P. Paez, "Evaluation Radioelectric Spectrum Occupancy in Bogota-Colombia.," *Ing. y Cienc.*, vol. 10, no. 19, pp. 127–143, 2014. <https://doi.org/10.17230/ingciencia.10.19.6>
- [2] L. F. Pedraza, A. Molina, y I. Paez, "Spectrum occupancy statistics in Bogota- Colombia," 2013 IEEE Colomb. Conf. Commun. Comput. COLCOM 2013 - Conf. Proc., pp. 2–7, 2013. <https://doi.org/10.1109/ColComCon.2013.6564815>
- [3] L. Gueguen, B. Sayrac, y D. Depierre, "Spectrogram reconstruction from random sampling: Application to the GSM band sensing," *IEEE Int. Conf. Commun.*, 2009.
- [4] L. Mendes, L. Gonzalves, y A. Gameiro, "GSM downlink spectrum occupancy modeling," *IEEE Int. Symp. Pers. Indoor Mob. Radio Commun. PIMRC*, pp. 546–550, 2011. <https://doi.org/10.1109/PIMRC.2011.6140021>
- [5] S. D. Barnes y B. T. Maharaj, "A comparison of spectrum occupancy in the South African 900 MHz GSM cellular bands," *IEEE AFRICON Conf.*, pp. 1–5, 2013. <https://doi.org/10.1109/AFRCON.2013.6757597>
- [6] A. Kliks, P. Kryszkiewicz, J. Pérez-Romero, A. Umbert, y F. Casadevall, "Spectrum occupancy in big cities - Comparative study Measurement campaigns in Barcelona and Pozna," *Proc. Int. Symp. Wirel. Commun. Syst.*, vol. 9, pp. 125–129, 2013.
- [7] T. Zhang, Y. Jia, W. Jiang, J. Gao, S. Yan, y H. Meng, "Wireless indoor localization based on multispectral waterfall maps," 2014 31th URSI Gen. Assem. Sci. Symp. *URSI GASS 2014*, pp. 6–9, 2014.
- [8] M. Hoyhtya, A. Mammela, M. Eskola, M. Matinmikko, J. Kalliovaara, J. Ojaniemi, J. Suutala, R. Ekman, R. Bacchus, y D. Roberson, "Spectrum Occupancy Measurements: A Survey and Use of Interference Maps," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 18, no. 4, pp. 2386–2414, 2016. <https://doi.org/10.1109/COMST.2016.2559525>
- [9] W. Zhang, H. Han, y M. Li, "Mobile sensing on GSM channel utilization at metropolitan scales," *Proc. - 17th IEEE Int. Conf. Comput. Sci. Eng. CSE 2014, Jointly with 13th IEEE Int. Conf. Ubiquitous Comput. Commun. IUCC 2014, 13th Int. Symp. Pervasive Syst.*, pp. 1103–1108, 2015
- [10] P. Singh, M. Kumar, y A. Das, "Effective frequency planning to achieve improved KPI's, TCH and SDCCCH drops for a real GSM cellular network," 2014 *Int. Conf. Signal Propag. Comput. Technol. ICSPCT 2014*, pp. 673–679, 2014. <https://doi.org/10.1109/ICSPCT.2014.6884924>
- [11] T. Specification, "ETSI TS 1 Digital cellular teleco communications system." ETSI 2016 France.
- [12] T. Specification, G. Radio, y A. Network, "3gpp ts 25.321", V5.15.0(2009-03) France.
- [13] H. Kaaranen and J. W. & Sons, *UMTS Networks: Architecture, Mobility and Services*. 2005.
- [14] T. ETSI Specification, ETSI TS 144 060 "Digital cellular telecomm muncations system (Phase 2+) (GSM); General Packet Radio Service (GPRS); Mobile Station (MS) - Base Station System (BSS) i) interface; Radio Link Control / Medium Access Control (RLRLC/MAC)protocol," 2016, pp. 0–26.
- [15] GSM Association, "Mobile Network Codes and Names Guidelines and Application Form," no. TS.25, pp. 1–10, 2013.
- [16] T. ETSI Specification, "Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)"; Numbering, addressing and identification (3GPP TS 23.003 version 10.1.0 Release 10), 2010, pp. 0–26.
- [17] UIT-T, E.212 "Plan de identificación internacional para redes públicas y suscriptores". 2016.

- [18] A. R. & S. GmbH&Co, “News 215/16. In the realm of the world machine,” In the realm of the world machine, pp. 1–10, 2015. 12 de enero de 2018, [En línea] Disponible en: <https://www.mobile-network-testing.com/en/products/optimization2/qualipoc-android/>
- [19] ITU-R, Report ITU-R SM.2256-1. ”Spectrum occupancy measurements and evaluation”, Informe SM, vol. 2256, no. July. 2012.
- [20] A. R. & S. GmbH&Co, “QualiPoc Android.”
- [21] T. ETSI Specification, ”Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Radio subsystem link control”(GSM 05.08 Version 5.1.0). 1996, pp. 16–17.