

MEDICIÓN DE ESPECTRO RADIOELÉCTRICO EN EL RANGO DE 3 KHz A 6.2 GHz EN UNA ZONA URBANA DE BOGOTÁ D.C.

Measurement of radioelectric spectrum in the range from 3 KHz to 6.2 GHz in an urban area
of Bogotá D.C.

Javier Enrique Arévalo Peña
javier.arevalo@fuac.edu.co

Ricardo Alirio González Bustamante
gonzalez.ricardo@fuac.edu.co

Fundación Universidad Autónoma de Colombia
Ingeniería Electrónica
Colombia

RESUMEN

Este artículo presenta los resultados de medición de espectro radioeléctrico en el rango de frecuencias de 3 KHz a 6.2 GHz utilizando un analizador de espectro TEKTRONIX RSA600A ubicado en el Laboratorio de Telemática y Antenas de la Universidad Autónoma de Colombia, en el centro histórico de la ciudad de Bogotá. Se realizó una campaña de mediciones durante una semana, en la cual se tomaron un total de 14 muestras en diferentes horas del día. Los resultados permitieron verificar los niveles de potencias de los servicios de telecomunicaciones en este escenario urbano y conocer el comportamiento de las frecuencias estudiadas en esta zona de la ciudad.

PALABRAS CLAVE:

Espectro radioeléctrico, monitoreo del espectro, analizador de espectro, espectrograma, servicios de telecomunicaciones

Cite este artículo como: Arévalo, J., & González, R. (2020). Medición de espectro radioeléctrico en el rango de 3 KHz a 6.2 GHz en una zona urbana de Bogotá D.C.

INTRODUCCIÓN

Las propiedades de propagación de ondas permiten que los equipos de radiofrecuencia transmitan en el espectro radioeléctrico ubicado entre los 3 KHz y 300 GHz. La gestión de este espectro radioeléctrico ha sido para muchos países la base para brindar un uso correcto del mismo por medio del control de aspectos inherentes técnicamente al manejo adecuado en la transmisión sobre los diferentes rangos de frecuencia, a fin de evitar interferencias y deficiencias en los diferentes tipos de servicios (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2015) (ANE, 2018).

Colombia no es la excepción en la administración del espectro y ha estado a la vanguardia de la gestión a través de entidades como el Ministerio de Tecnología de la Información y las Comunicaciones (MINTIC), la Agencia Nacional del Espectro (ANE), la Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRC), entre otros, que son los encargados de tener relación con organismos internacionales, con el fin de unificar la adopción de directrices y la prevención de interferencias perjudiciales tanto para la sociedad como para otros servicios que trabajan sobre el espectro (MinTIC, 2018), (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2020).

Gestionar el espectro radioeléctrico de forma efectiva involucra la toma de decisiones basadas en fundamentos técnicos, por lo cual es importante que las entidades cuenten con un departamento o área de ingeniería robustos, que les permita estar a la vanguardia de los adelantos tecnológicos y de las normas expedidas por entes internacionales, que les permitan reevaluar las condiciones de prestación de servicios de telecomunicaciones. Adicionalmente, se hace de vital importancia el uso de herramientas tecnológicas que les ayuden a realizar las evaluaciones respectivas en provisión, mantenimiento, desarrollo de predicciones y ejecución de procesos que les ayuden a buscar soluciones en todo el ámbito regulatorio del espectro radioeléctrico (GSMA, 2020).

Como se indicó anteriormente, uno de los aspectos más importantes en la gestión adecuada en el uso efectivo del espectro radioeléctrico es la prevención de interferencias, y la mejor forma de lograrlo es realizando un análisis de espectro de forma continua que permita asegurar el correcto funcionamiento de los servicios que se prestan sobre este. Los análisis de inferencia evalúan las señales, logrando apreciar niveles de potencia percibidos, la densidad y las características inherentes a estas en un punto determinado (Balcells, 1992) (Tomasi, 2003).

La validación del espectro respalda los trabajos realizados en cuanto a la medición técnica en general de todos los servicios, tomando imágenes globales mediante espectrogramas para revisión de la ocupación de bandas de frecuencias, medición de cobertura geográficas, confirmación de las licencias otorgadas, verificación de parámetros técnicos de emisión, tratamientos de intermitencia, detección de utilizaciones ilegales del espectro (Comisión de Regulación de Comunicaciones, 2020).

Los estudios de ocupación de frecuencias permiten identificar las bandas usadas actualmente, sus variaciones y tendencias. De este tipo de mediciones depende la identificación de rangos de frecuencia candidatos para ser usados, la tipificación de bandas de frecuencias que se usan mucho y la caracterización de las señales asociadas a cada banda (Wang, 2009). Por tanto, en este artículo se presentan resultados para contribuir en este sentido, estableciendo de forma específica la ocupación del espectro en la zona de la sede principal de la Universidad Autónoma de Colombia.

MÉTODO

Para los resultados de este proyecto, los elementos de medición fueron facilitados por la empresa ISEC S.A. (www.isec.com.co), que facilitó el equipo analizador de espectro TEKTRONIX RSA600A, previamente calibrado, y los elementos adicionales en correcto funcionamiento. Se destaca que este analizador de espectro es un dispositivo portátil pequeño que contiene diferentes funciones que se esperaba tener de equipo con el doble de

su tamaño. Entre sus características más importantes están rango de frecuencia 9 KHz a 6.2 GHz, captura de ancho de banda de 40 MHz, gama dinámica de -160 dBm a +20 dBm (Tektronix, 2020). Entre los elementos adicionales se destaca la antena monopolo flexible Serie 119-6609-00, cables USB, adaptadores BNC y un equipo de cómputo portátil. La configuración general de los equipos se muestra en la Imagen 1.

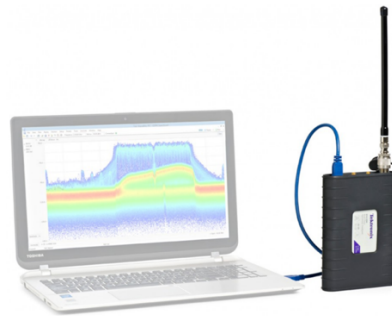


Imagen 1. Diagrama de conexión entre el computador y el analizador de espectro RSA600A. Fuente: TEKTRONIX.

El análisis de señales RF se realiza con el software SignalVU-PC (Tektronix, 2020). Esta herramienta ayuda a validar rápidamente diseños de RF, ya sea que las necesidades requieran una validación de diseño previo de interferencia electromagnética (EMI) o compatibilidad electromagnética (EMC). La versión de base contiene 17 tipos de análisis de señales, y análisis de espectro en tiempo real, con opciones adicionales de pago para pruebas y eliminación de errores, y cuenta con funciones adicionales como radar de banda ancha y señales RF pulsadas, LAN inalámbrica, Bluetooth, cartografía, mediciones automáticas de ruido de fase. Se realizan las configuraciones previas sobre el software SignalVU-PC para la visualización de frecuencias según el rango estipulado en el espectro de 0 Hz hasta 6.2 GHz como se muestra en la Imagen 2.

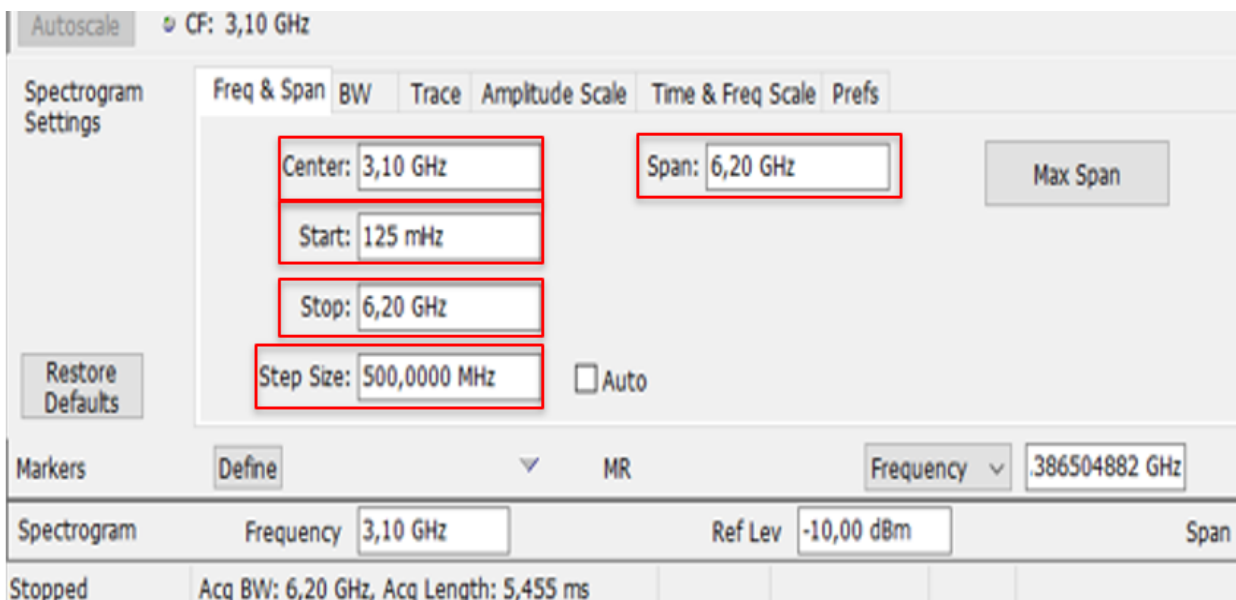


Imagen 2. Ajuste de parámetros de medición en analizador de espectro RSA600A. Fuente: TEKTRONIX.

El parámetro “Center” es la frecuencia media que se determina para ajustar la gráfica de forma simétrica respecto al rango de frecuencias a medir; para el caso, la frecuencia intermedia será 3.1 GHz. El parámetro “Start y Stop” establece las frecuencias de inicio y de fin de la medición del espectro; debido a que realmente en el equipo no es factible medir desde 0 Hz, la medición arrancará desde 125 MHz, que es la frecuencia mínima de inicio y la frecuencia final será la de 6.2 GHz, que es la máxima alcanzada por el analizador de espectro. El parámetro “Step Size” establece el proceso iterativo de incremento que realiza la captura de un tramo del espectro, en este caso cada 500 MHz, lo que permite hacer capturas de forma rápida. Se precisó este valor con el fin de obtener una gran cantidad de espectro en análisis y no omitir espacios del espectro probablemente importantes. Finalmente, el parámetro “Span” define todo el rango de frecuencias que se barre y se visualiza en pantalla del analizador de espectro.

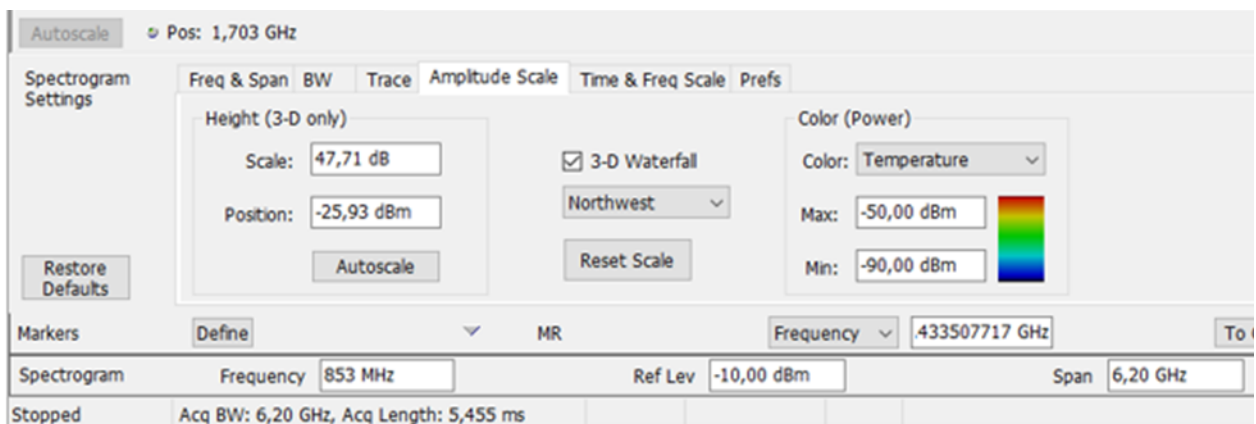


Imagen 3. Parámetros de rango de temperatura del espectrograma. Fuente: TEKTRONIX.

En la Imagen 3 se observan los “parámetros de rango de temperatura del espectrograma”, en donde en la ventana de escala de amplitud permite ajustar los valores de potencia a medir que se encuentran en un rango entre -50dBm (frecuencias con alta potencia), hasta -90 (frecuencias con baja potencia). Adicionalmente, se ajusta la parte visual de las gráficas en modo 3-D con la finalidad de poder evidenciar más detalladamente los eventos muestreados en una gráfica tridimensional. Este espectrograma es una de las herramientas usada en el análisis de señales, ya que al estar en el dominio frecuencial puede ayudar a entender más el contenido de las señales, como por ejemplo altas frecuencias o modulaciones de amplitud.

Las mediciones se realizarán dentro de los laboratorios de Telemática y antenas del programa de Ingeniería electrónica de la Universidad Autónoma de Colombia. La toma de muestras se realizó en un ambiente interior, y se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones para la ubicación del equipo de medición. La primera, alejado de equipos eléctricos o fuentes de generación de señales, con el fin de evitar ruido que se pudiera filtrar dentro de la muestra espectrográfica. La segunda, ubicación de la antena y, por tanto, del analizador de espectro, cerca de una ventana, ya que la calidad de recepción de la antena es mucho mejor e incluso al estar en el piso quinto de la universidad aumenta la capacidad de recepción de señales. Finalmente, con esta disposición se evitó la conexión adicional de cables coaxiales, lo cual, permitió una disminución en la pérdida de señales por atenuaciones en las conexiones. La ubicación específica mostrada en la Imagen 4 corresponde a las siguientes coordenadas, latitud: 4°35'52.69"N, longitud: 74° 4'20.37"O y altura: 2620 msnm.

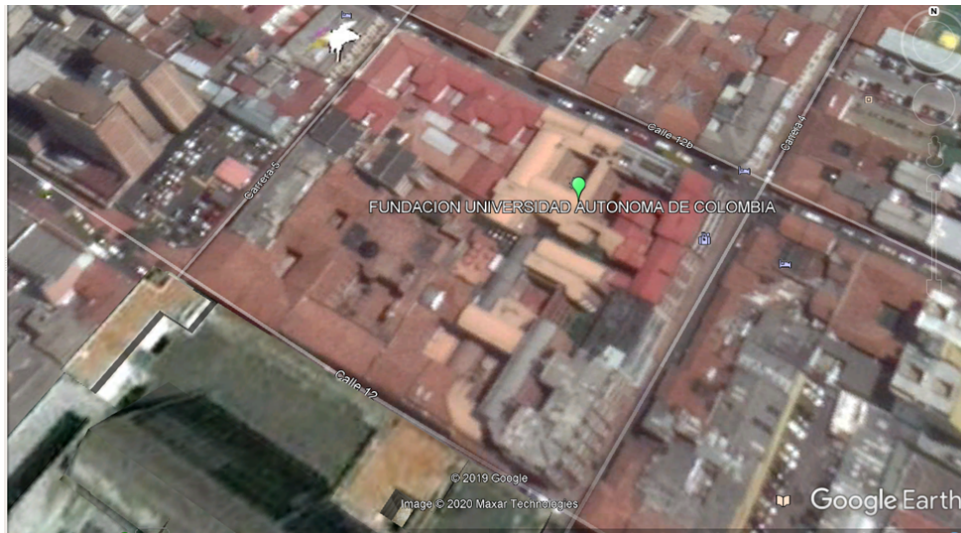


Imagen 4. Ubicación de lugar de medición en Universidad Autónoma de Colombia. Fuente: Google Earth.

El tipo de medición que se realizó es netamente de recepción de señales radioeléctricas comprendidas dentro el rango estipulado de 300 MHz y 6.2 GHz. Se usa el modo de recepción fija en interior, cuya característica es mantener un receptor de forma estática con la finalidad de realizar mediciones de caracterización de canal o de servicios (MinTIC, 2005). La variable a analizar son los niveles de potencia de campos electromagnéticos radiados por diferentes servicios de comunicaciones en el rango de 300 MHz y 6.2 GHz, cuya atribución de bandas de frecuencia en Colombia se encuentra a cargo del Ministerio TIC (ANE, 2020).

RESULTADOS

En la Tabla 1 se presenta la relación correspondiente a las 14 muestras que fueron tomadas en el proceso de medición.

Número de muestra	Día de muestra	Hora de inicio	Hora de fin	Tiempo de muestra
1	Primer día	19:40	23:11	3:31
2		7:34	8:30	0:56
3		10:47	11:37	0:50
4	Segundo día	13:36	14:35	0:59
5		16:45	17:32	0:47
6		21:35	22:40	1:05
7	Tercer día	17:59	19:06	1:07
8		20:36	21:36	1:00
9	Cuarto día	7:13	8:19	1:06
10		11:21	12:10	0:49
11		18:24	19:30	1:06
12	Quinto día	20:31	21:21	0:50
13		6:23	10:54	4:31
14		17:18	20:42	3:24
Total de horas muestreadas				22:01

Tabla 1. Relación de muestras de medición. Fuente: elaboración propia.

Se realiza revisión de las muestras tomadas, con la finalidad de determinar visualmente las señales notablemente en uso, y se realiza un promedio de todos los niveles de potencia capturados durante el tiempo registrado; de esta forma se procede a graficar en el espectrograma como el que se muestra en la Imagen 5, tanto las frecuencias constantes dentro de las mediciones como las frecuencias intermitentes con sus respectivos niveles de potencia para validar respecto al Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencia (CNABF) y las diferentes resoluciones expedidas tanto por el MinTIC como por la ANE, así como las asignaciones respectivas dentro del espectro y sus parámetros de operación (ANE, 2020).

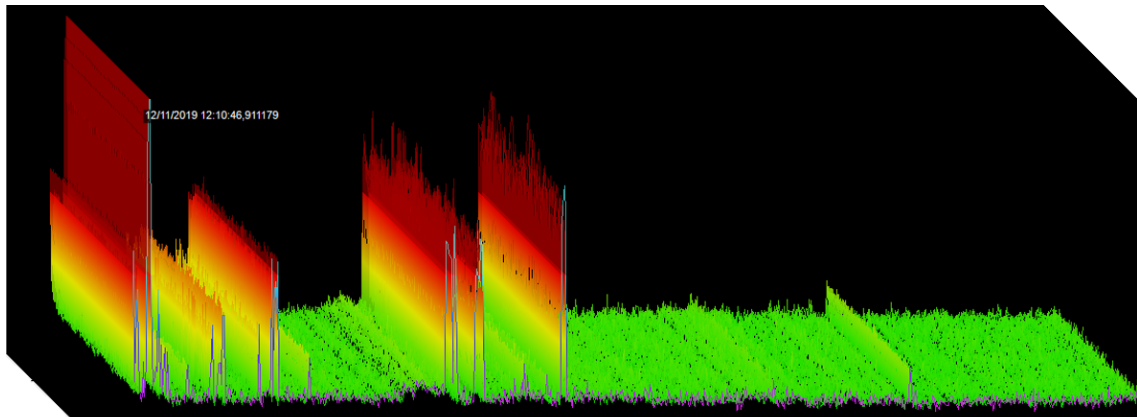


Imagen 5. Espectrograma resultado de medición. Fuente: TEKTRONIX.

Los resultados de las mediciones de las frecuencias que aparecen de manera constante y de unas frecuencias que aparecen de forma intermitente extraídas del análisis de espectrograma se presentan en la Tabla 2 y en la Tabla 3, respectivamente.

Frecuencia medida	Potencia en dBm	Atribución	Servicio
11.25 KHz	-46.63	Radio navegación	Modalidad de uso libre
23.26 MHz	-49.96	Fijo banda ciudadana	Modalidad de uso libre
85.26 MHz	-33.06	Fijo y móvil	Modalidad de uso libre
93.01 MHz	-30.57	Radio difusión sonora FM	LAUD estéreo (Universidad Distrital)
100.76 MHz	-23.75	Radio difusión sonora FM	Caracol Radio
108.51 MHz	-52.64	Radio difusión sonora FM	Radio Santa Fe
170.51 MHz	-59.82	Banda simplex	S10
186.01 MHz	-61.35	Radio difusión (televisión)	Canal 9
193.76 MHz	-59.81	Radio difusión (televisión)	Canal 10
209.26 MHz	-59.70	Radio difusión (televisión)	Canal 12
333.26 MHz	-60.94	Radio navegación aeronáutica	Radio alineación de descenso
488.26 MHz	-56.93	Radio difusión (televisión)	Canal 16
550.26 MHz	-55.72	Radio difusión (televisión)	Canal 27
558.01 MHz	-54.71	Radio difusión (televisión)	Canal 28
775.01 MHz	-57.86	Fijo y móvil	Acceso troncalizado
852.51 MHz	-48.50	Fijo y móvil	Acceso troncalizado
868.00 MHz	-53.51	Fijo y móvil	Acceso troncalizado
875.75 MHz	-51.34	Fijo y móvil	Acceso troncalizado
883.50 MHz	-55.59	Fijo y móvil	Acceso troncalizado
891.25 MHz	-49.05	Fijo y móvil	Acceso troncalizado
1.08 GHz	-60.53	Fijo/radioenlaces	Modalidad de uso libre
1.92 GHz	-47.43	Fijo/radioenlaces	Modalidad de uso libre
1.93 GHz	-46.32	Fijo/radioenlaces	Modalidad de uso libre
1.94 GHz	-48.88	Fijo/radioenlaces	Modalidad de uso libre
1.95 GHz	-48.62	Fijo/radioenlaces	Modalidad de uso libre
1.96 GHz	-49.81	Fijo/radioenlaces	Modalidad de uso libre
1.97 GHz	-44.38	Fijo/radioenlaces	Modalidad de uso libre

1.98 GHz	-44.29	Fijo/radioenlaces	Modalidad de uso libre
2.10 GHz	-50.70	Fijo/radioenlaces	Modalidad de uso libre
2.11 GHz	-47.83	Fijo/radioenlaces	Modalidad de uso libre
2.12 GHz	-46.69	Fijo/radioenlaces	Modalidad de uso libre
2.13 GHz	-51.05	Fijo/radioenlaces	Modalidad de uso libre
2.14 GHz	-44.87	Fijo/radioenlaces	Modalidad de uso libre
2.15 GHz	-46.67	Fijo/radioenlaces	Modalidad de uso libre
2.41 GHz	-61.99	Fijo/radioenlaces	Modalidad de uso libre
2.54 GHz	-63.69	Fijo/radioenlaces	Modalidad de uso libre
2.64 GHz	-38.44	Fijo/radioenlaces	Modalidad de uso libre
2.65 GHz	-35.55	Fijo/radioenlaces	Modalidad de uso libre
2.66 GHz	-37.60	Fijo/radioenlaces	Modalidad de uso libre
4,78 GHz	-67.63	Fijo/radioenlaces	Modalidad de uso libre

Tabla 2 .Relación de muestras de medición de frecuencia constantes. Fuente: elaboración propia.

Frecuencia medida	Potencia en dBm	Atribución	Servicio
115.01 MHz	-55.88	Radionavegación aeronáutica	Radiofaros NDB y VOR
124.01 MHz	-34.45	Radionavegación aeronáutica	Coordinación torre de control
131.76 MHz	-52.95	Radionavegación aeronáutica	Coordinación torre de control
139.51 MHz	-57.80	Móvil	Redes locales de banda ancha
155.01 MHz	-51.51	Fijo y móvil	Acceso troncalizado
457.26 MHz	-57.48	Fijo y móvil	Acceso troncalizado
1.74 GHz	-56.26	Fijo/radioenlaces	Modalidad de uso libre
2.41 GHz	-10.05	Fijo/radioenlaces	Modalidad de uso libre
2.44 GHz	-18.52	Fijo/radioenlaces	Modalidad de uso libre
2.46 GHz	-15.35	Fijo/radioenlaces	Modalidad de uso libre
4.84 GHz	-48.05	Fijo/radioenlaces	Modalidad de uso libre
4.85 GHz	-49.29	Fijo/radioenlaces	Modalidad de uso libre
4.93 GHz	-51.49	Fijo/radioenlaces	Modalidad de uso libre

Tabla 3 .Relación de muestras de medición de frecuencias intermitentes. Fuente: elaboración propia.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

Como resultado de las muestras tomadas en el espectro radioeléctrico en alrededores de la Universidad Autónoma de Colombia, barrio La Candelaria, en la zona urbana de Bogotá, no se evidencia el empleo de frecuencias de los rangos 1.90 GHz a 1.99 GHz, 2.5 GHz, 2.5 GHz a 2.66 GHz, asignadas para la prestación de servicios de operadores móviles tales como Claro, Movistar, Tigo, Directv, Une, entre otros. De igual forma, las frecuencias en bandas bajas de 700MHz y 900MHz, las cuales también fueron asignadas a los operadores de telefonía móvil, se evidencian poco utilizadas, por lo cual sería conveniente que las empresas prestadoras de estos servicios evalúen zonalmente la configuración de sus dispositivos con el fin de aprovechar de forma más efectiva el espectro suministrado por el Gobierno colombiano.

En el mismo sentido, se evidencia el uso bajo o nulo de las frecuencias comprendidas entre 3 GHz y 6.2 GHz, lo cual puede propiciar que debido al constante crecimiento en el uso de dispositivos móviles es conveniente que las políticas de asignación del espectro e implementación de regulaciones se realice de forma más continua, con el fin de dinamizar el uso del espectro en este rango de frecuencias con la finalidad de evitar problemas constantes en la comunicación.

Finalmente, como mejora en el esquema de medición que se empleó en este proyecto se recomendaría realizar la toma de muestras con un tipo de antena que pueda tener un mayor rango de recepción y una instalación a nivel externo, con el fin de obtener más detalle en la medida o realizar mediciones particulares en las frecuencias encontradas, esto debido a la caracterización particular de cada sistema, lo cual promoverá un análisis en el ancho de banda respecto a los servicios prestados, regulados mediante las diferentes resoluciones emitidas por la ANE.

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos a la empresa ISEC S.A., con reconocimiento especial a la ingeniera Leidy Johana Alarcón Moya por su apoyo logístico para la obtención de los resultados de investigación. Así mismo, agradecen al Sistema Unificado de Investigaciones – SUI, y a la Facultad de Ingeniería de la Fundación Universidad Autónoma de Colombia por apoyar los procesos de investigación en el área de electrónica y telecomunicaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANE . (2018). *Estudio Prospectivo Estratégico para el Desarrollo de la Banda Ancha Móvil en Colombia*. Bogotá D.C.: Agencia Nacional del Espectro.
- ANE. (2020). *Espectro Visible CNABF*. Recuperado de https://portalespectro.ane.gov.co/Style%20Library/ane_master/cnabf-tecnico.aspx
- Comisión de Regulación de Comunicaciones. (2020). *Documento de Modernización de Redes Móviles*. Bogotá : CRC. Recuperado de: <https://www.crcm.gov.co/https://www.crcm.gov.co/uploads/images/files/Documento-Modernizacion-redes-moviles.pdf>
- GSMA. (2020). *La Economía Móvil en América Latina 2019*. Londres: GSMA Association. Recuperado de: https://www.gsma.com/mobileeconomy/wp-content/uploads/2020/03/GSMA_MobileEconomy2020_LATAM_Esp.pdf
- Balcells, F. (1992). *Interferencias Electromagnéticas en Sistemas Electrónicos*. Barcelona.
- MinTIC. (2005). Decreto 195 de 31 de enero de 2005. Bogotá: MinTIC. Recuperado de: https://www.mintic.gov.co/portal/604/articles-3569_documento.pdf
- MinTIC. (2018). *Cartilla Proyecto de Ley de Modernización del Sector TIC*. Recuperado de: http://micrositios.mintic.gov.co/modernizamos-sector-tic/proyecto_ley_modernizacion_sector_tic_cartilla.pdf
- Tektronix. (2020). *RSA600 Series Real Time Spectrum Analyzers*. Recuperado de: <https://www.tek.com/>
- Tektronix. (2020). *SignalVu-PC*. Recuperado de: <https://www.tek.com/>: <https://www.tek.com/product-software-series/signalvu-pc>
- Tomasi, W. (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*. México: Pearson.
- Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2015). *Manual sobre la Gestión Nacional del espectro*. Ginebra: UIT. Recuperado de: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-21-2015-PDF-S.pdf
- Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2020). *Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones 2019 (CMR-19) Actas finales*. Ginebra: ITUPublicaciones.
- Wang, Z. (2009). *Measurement and Modelling of Spectrum Occupancy*. Recuperado de: http://etheses.dur.ac.uk/http://etheses.dur.ac.uk/2036/1/2036_44.PDF?UkUDh:CyT