

SISTEMA DE MONITOREO DE ESPECTRO RADIOELÉCTRICO EMPLEANDO EL ANALIZADOR DE ESPECTRO GW INSTEK GSP- 830

Radio Spectrum Monitoring System using the GW Instek GSP-830 Spectrum Analyzer

Martínez-Osorio, F.*; Salgado-Roa, J.A.** y Arévalo-Peña, J.E.***.



RESUMEN

Un sistema de monitoreo de espectro es una herramienta fundamental que se utiliza para detectar posibles violaciones de la regulación de asignación de frecuencias existentes, ubicar emisiones no permitidas y para ejecutar labores de limpieza de bandas de frecuencia teniendo como referencia el Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias (CNABF) y la información de la Base de Datos de Usuarios del Espectro (BDUE). Cuando se habla de Espectro Radioeléctrico se hace referencia al medio por el cual se emiten las frecuencias de onda electromagnéticas que permiten las telecomunicaciones en el mundo y las cuales son administradas y reguladas por cada país. Este artículo presenta la implementación de un sistema de monitoreo convencional y las pruebas realizadas para las bandas de frecuencia de amplitud modulada (AM), frecuencia modulada (FM), televisión analógica y telefonía móvil celular; empleando como equipo principal el Analizador de Espectro GW Instek GSP – 830.

Palabras clave: espectro radioeléctrico, monitoreo, regulación del espectro, control, espectro analizador GW Instek GSP-830.

ABSTRACT

A spectrum monitoring system is an essential tool used to detect possible regulation violations of existing frequency allocation, locate emissions not permitted and to perform cleanup of frequency bands with reference to CNABF (Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias) and information from BDUE (Base de Datos de Usuarios del Espectro). When speaking of Radio Spectrum referring to medium by which the electromagnetic wave frequencies that allow telecommunications in the world and which are managed and regulated by each country are transmitted. This paper presents the implementation of a conventional monitoring and testing for the frequency bands of amplitude modulation (AM), frequency modulation (FM), analogue TV and cellular mobile telephony; using as main equipment the Spectrum Analyzer GW Instek GSP - 830.

Key words: Radio spectrum, monitoring, spectrum regulation, control, Spectrum Analyzer GW Instek GSP-830.

* Ingeniero Electrónico, Fundación Universidad Autónoma de Colombia. martinez.fabio@fuac.edu.co

** Ingeniero Electrónico, Fundación Universidad Autónoma de Colombia. salgado.jhojan@fuac.edu.co

*** Ingeniero Electrónico, Especialista en Telecomunicaciones Móviles, Magíster en Ingeniería de Telecomunicaciones, Fundación Universidad Autónoma de Colombia. javier.arevalo@fuac.edu.co, jarevalop@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

Las razones que motivaron a llevar a cabo la realización del sistema de monitoreo son las necesidades de ampliar el conocimiento sobre los desarrollos tecnológicos que han tenido mayor interés y demanda en la implementación de nuevas aplicaciones usando el espectro radioeléctrico en Colombia, lo cual exige tener información de cómo a través de la gestión eficaz del espectro (compleja pero crucial) es de vital importancia para poder aprovechar al máximo las posibilidades que brinda este recurso.

Por tal motivo, este trabajo tiene como objetivo ampliar el conocimiento sobre la normatividad establecida para la asignación y el aprovechamiento del espectro de los servicios de Radiodifusión AM, Radiodifusión FM, Televisión Analógica y Telefonía Móvil Celular en Colombia a través de un sistema de monitoreo de espectro radioeléctrico con el uso primordial del analizador de espectro GW Instek GSP-830. Para cumplir de forma cabal con este objetivo se tiene a disposición cinco guías de laboratorio generadas por los autores, en las cuales se plasmó desde la descripción, los componentes y las secuencias de manejo del analizador de espectro GW Instek GSP-830, hasta cómo generar, validar y corroborar algunos de los parámetros establecidos para el buen funcionamiento de los servicios de Radiodifusión AM, Radiodifusión FM, Televisión Analógica y Telefonía Móvil Celular en Colombia.

El artículo se divide en las siguientes partes: En el punto dos se describen conceptos de espectro radioeléctrico, en el punto tres las características del proceso de gestión del espectro radioeléctrico, los equipos empleados en el sistema de monitoreo del espectro y las diferentes prácticas diseñadas para el monitoreo del espectro, y en el punto cuatro se presentan las conclusiones.

2. EL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

El Espectro Radioeléctrico es el conjunto de frecuencias en las que se propagan las ondas electromagnéticas por el espacio. Este rango se encuentra entre las frecuencias de 9 KHZ y 3.000 GHZ, como lo plantean las normativas de la Comisión Europea y la Ley General de Telecomunicaciones (García Rodrigo & Morales Santiago, 2012). Se trata de un recurso ilimitado y universal que requiere de una regulación y organización. Sin esta ordenación sería imposible garantizar una mínima fiabilidad de las telecomunicaciones, debido a que las interferencias entre las frecuencias emitidas serían continuas.

El organismo internacional encargado de regular el uso del espectro radioeléctrico es la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), con sede en Ginebra (Suiza), que es el organismo especializado de la Organización de las Naciones Unidas para las tecnologías de la información y la comunicación.

El espectro radioeléctrico se divide en bandas de frecuencia que competen a cada servicio que estas ondas electromagnéticas están en capacidad de prestar para las distintas compañías de telecomunicaciones avaladas y protegidas por las instituciones creadas para tal fin de los estados soberanos (Agencia Nacional del Espectro, 2011).

Las bandas de frecuencia que se usan para los servicios de comunicaciones según la Agencia Nacional del Espectro (ANE) en Colombia son las siguientes:

Las bandas de frecuencia que se usan para los servicios de comunicaciones según la Agencia Nacional del Espectro (ANE) en Colombia son las siguientes:

- *Banda HF (Gama de Frecuencia: 3 MHz a 30 MHz):* Tiene las mismas prestaciones que la banda VHF, pero ésta resulta mucho más *envolvente* que la anterior puesto que algunas de sus *emisiones residuales* (pequeños fragmentos de onda que viajan más allá del aire terrestre) pueden chocar con algunas ondas del espacio produciendo una mayor cobertura de transmisión.
- *Banda VHF (Gama de Frecuencia: 30 MHz a 300 MHz):* También es utilizada por las compañías de telefonía móvil y terrestre y las emisoras radiales, además de los sistemas de radio de onda corta

(aficionados) y los sistemas de telefonía móvil en aparatos voladores. Es una banda mucho más potente que puede llegar a tener un alcance considerable, incluso, a nivel internacional.

- *Banda UHF (Gama de Frecuencia: 300 MHz a 3.000 MHz):* En este rango de frecuencia, se ubican las ondas electromagnéticas que son utilizadas por las compañías de telefonía fija y telefonía móvil, distintas compañías encargadas del rastreo satelital de automóviles y establecimientos, y las emisoras radiales como tal. Las bandas UHF pueden ser usadas de manera ilegal si alguna persona natural u organización cuenta con la tecnología de transmisión necesaria para interceptar la frecuencia y apropiarse de ella con el fin de divulgar su contenido que no es regulado por el Gobierno.

2.1. Gestión del Espectro Radioeléctrico

Para utilizar eficazmente este recurso, su utilización debe coordinarse entre los usuarios con arreglo a las disposiciones de la reglamentación de cada país dentro de las fronteras nacionales, así como del Reglamento de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) en lo que concierne a su utilización internacional (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2012). La estructura de gestión del espectro se articula lógicamente entorno a las funciones que debe llevar a cabo. Según la UIT, las funciones básicas son (2012):

- *Política de gestión del espectro y planificación/atribución del espectro:* es la unidad encargada de estudiar, elaborar y aplicar los planes y reglamentos que garanticen el adecuado uso del espectro radioeléctrico, siempre y cuando éstos suplan las necesidades de un país de acuerdo con las condiciones actuales y futuras en materia de radiocomunicaciones.
- *Asignación de frecuencias y licencias:* es la

encargada de coordinar la ejecución de los análisis necesarios para seleccionar las frecuencias que mejor se asocien a los sistemas de radiocomunicaciones de cada país.

- *Normas, especificaciones y autorización de equipos:* se establecen las características de diseño y funcionamiento de los equipos requeridos para que éstos puedan interfuncionar con equipos explotados por otros usuarios y por otros países.
- *Control del espectro:* se basa fundamentalmente en inspecciones y comprobaciones técnicas. Las inspecciones del espectro ayudan a identificar anomalías y fuentes de interferencia en el medio, de acuerdo con las normativas que rige la utilización del espectro. La comprobación técnica contribuye a la gestión del espectro proporcionando una medida general de la disponibilidad de los canales y las bandas de frecuencia requeridas para asignar.
- *Cooperación internacional:* corresponde a los países que hacen parte de la Unión Internacional de Telecomunicaciones tener el conocimiento para que puedan prever, detectar y controlar las interferencias perjudiciales de las transmisiones que se producen fuera de las fronteras nacionales evitando así que sobre el país recaigan infracciones por el mal uso y la explotación del espectro.
- *Apoyo técnico:* sirve para evaluar adecuadamente la información, las capacidades y las opciones involucradas. Puede ayudar a detectar situaciones de interferencias y crear modelos o métodos para la correcta asignación de frecuencias.
- *Apoyo informático:* sus aportes se pueden evidenciar en: registros de licencias, cálculos complejos de ingeniería, elaboración, desarrollo y mantenimiento para casi todas las actividades asociadas a la gestión del espectro.

2.2. Equipos empleados en el Sistema de Monitoreo de Espectro Radioeléctrico

Entre los equipos de comprobación técnica que componen un sistema de monitoreo de espectro convencional, se encuentran los receptores radioeléctricos, los analizadores de espectro, los equipos de radiogoniometría y sus antenas. Estos tipos básicos pueden clasificarse a su vez por gamas de frecuencias (ondas decamétricas, métricas, decimétricas, etcétera) y tipo de señal, analógica o digital. En la figura 1, se muestra la composición de un equipo convencional.

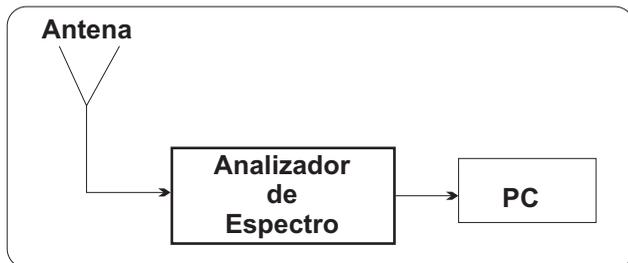


Figura 1. Arquitectura convencional de un sistema de monitoreo de espectro.

Como parte básica de un sistema de monitoreo se encuentra el analizador de espectro: un equipo que permite representar los componentes espectrales de una determinada señal a partir de su transformada de Fourier en el dominio de la frecuencia, y de esta manera visualizar los parámetros de la señal que a diferencia del dominio del tiempo difícilmente se pueden observar (GW Instek, 2012).

El Analizador de Espectro GW Instek GSP-830 con un ancho de banda de operación de 3GHz es un equipo de alto rendimiento para el análisis del espectro de frecuencias que presenta en sus características una extrema sensibilidad para captar señales débiles, ajuste automático, Split de Windows, y mediciones eléctricas de ajustes Pasa/Falla. Las macros pueden ser definidas a través del teclado del panel frontal, y se almacena en 10 conjuntos de secuencias. Una secuencia puede incluir los pasos de pausa que se pueden utilizar para la observación de los resultados de la medición cuando sea necesario.

El modo de ejecución de repetición se puede seleccionar sobre la base de los requisitos de aplicación.

Para el desarrollo del sistema de monitoreo de espectro se siguió la estructura convencional de un sistema de monitoreo, empleando así para su montaje principalmente el analizador de espectro GW Instek GSP-830, una antena dipolo, una antena Yagi-Uda, cable coaxial, un convertor de tipo coaxial a BNC y un computador portátil. El resultado del montaje implementado se puede apreciar en la Figura 2 (Vega, Zamanillo, y Casanueva, 2007).



Figura 2. Montaje del sistema de monitoreo de espectro implementado.

Las pruebas que se hicieron para comprobar la funcionalidad del espectro asignado a los servicios de radiodifusión AM, radiodifusión FM, Televisión y Telefonía Móvil Celular en la ciudad de Bogotá fueron guiadas a través de unas prácticas diseñadas por los autores de acuerdo con la teoría recolectada y con la normatividad establecida que se rige para cada uno de los servicios en estudio.

El respectivo montaje y pruebas se llevaron a cabo en el barrio La Candelaria en la ciudad de Bogotá,

específicamente en Laboratorio de Antenas de la Fundación Universidad Autónoma de Colombia.

3. DESARROLLO DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO

A continuación se presenta la evidencia del desarrollo de las prácticas planteadas para el uso, el entendimiento y el manejo del sistema de monitoreo de espectro para los servicios de radiodifusión AM, radiodifusión FM, Televisión y Telefonía Móvil celular.

3.1. Monitoreo del espectro radioeléctrico para radiodifusión en amplitud modulada

En la modulación de amplitud, se transmite sobre la portadora la información efectuando cambios de amplitud. Esta forma de modulación es relativamente de baja calidad, por lo cual, es económica y se utiliza en la radiodifusión de señales de audio y vídeo.

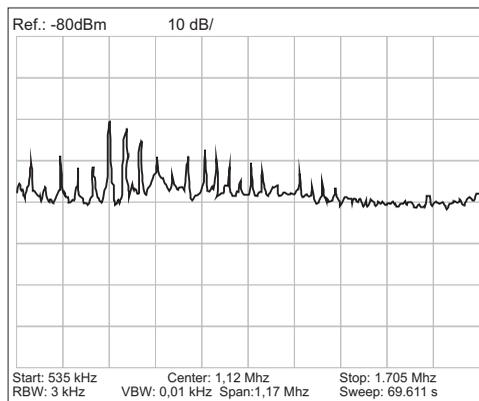


Figura 3. Espectro de la banda de frecuencias de radiodifusión AM

Para verificar algunos de los parámetros con los cuales trabaja la radiodifusión AM se establecieron ajustes en el analizador de espectro, lo que conllevó a observar la distribución de las emisoras dentro de la banda de frecuencias asignada y constatar que cada pico de señal que se logra identificar correspondía a la potencia de portadora de cada una de las emisoras como se observa en la Figura 3 (MinTIC, 2014).

Con ayuda de los marcadores con los que dispone el analizador de espectro se logró obtener la diferencia en KHz de las emisoras, como se ve en la figura 4.

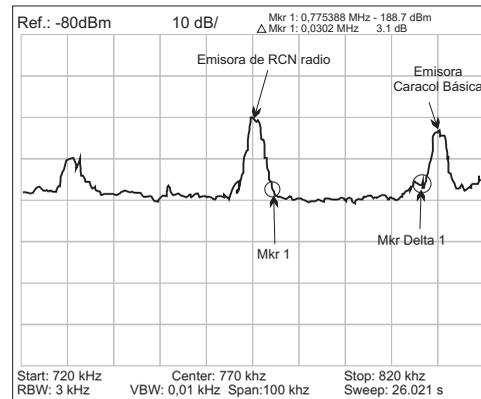


Figura 4. Separación entre las frecuencias de portadora de dos emisoras de AM

Como se puede observar en la parte superior de la Figura 4, se detalla la diferencia en KHz de las portadoras seleccionadas con el marcador 1 y el marcador *delta 1* corroborando de esta manera que la separación entre las frecuencias de portadora de dos emisoras adyacentes es de aproximadamente 30KHz.

Para la sintonización de las emisoras de AM, empleando el analizador de espectro GW Instek GSP-830 se hicieron pruebas tomando como ejemplo de frecuencias centrales las frecuencias establecidas en el Plan de Adjudicación y Distribución de Canales de A.M para la ciudad de Bogotá D.C (MinTIC, 2014); con esta información y variando los diferentes parámetros de las señales para cada una de las pruebas, se pudo comprobar que unas emisoras se escuchaban mejor que otras debido a la ubicación en que se tenía la antena y la potencia con que se percibía la señal en el lugar de trabajo.

3.2 Monitoreo del espectro radioeléctrico para radiodifusión en frecuencia modulada

En la modulación en frecuencia, la información se transmite a través de una onda portadora variando su frecuencia. Este tipo de modulación es usualmente usada por la alta fidelidad que posee en la radiodifusión

sión de voz y música. Adicionalmente, el servicio de sonido de la televisión analógica se transmite por medio de la modulación en frecuencia. Entonces, para verificar algunos de los parámetros con los que trabaja la radiodifusión FM se establecieron ciertos parámetros en el analizador de espectro, lo que llevó a observar la distribución de las emisoras dentro de la banda de frecuencias asignada y constatar que cada pico de señal que se logra identificar correspondía a la potencia de portadora de cada una de las emisoras, como se puede ver en la Figura 5 (MinTIC, 2014).

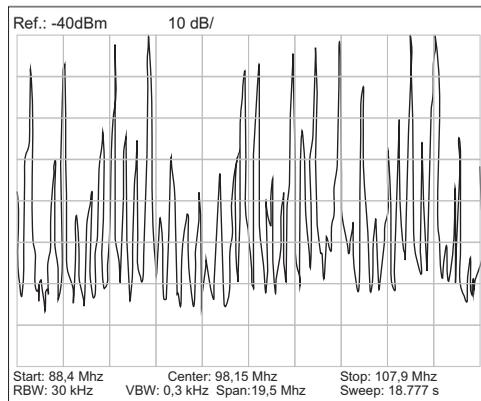


Figura 5. Espectro de la banda de frecuencias de radiodifusión FM

Otra de las pruebas realizadas y con ayuda de los marcadores de los marcadores con los que dispone el analizador de espectro se logró obtener la diferencia en KHz de las emisoras, como se observa en la Figura 6.

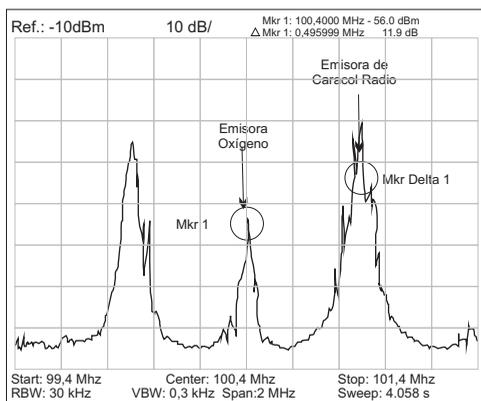


Figura 6. Separación entre las frecuencias de portadora de dos emisoras de FM

Como se puede observar en la parte superior de la Figura 6, la diferencia en KHz de las portadoras seleccionadas con el marcador *delta 1* confirma que la separación entre las frecuencias de portadora de dos emisoras en FM puede variar aproximadamente entre 500 KHz y 1 MHz.

Para la sintonización de las emisoras de FM, empleando el analizador de espectro GW INSTEK GSP-830, se realizaron pruebas tomando como ejemplo de frecuencias centrales las frecuencias establecidas en el Plan de Adjudicación y Distribución de Canales de F.M para la ciudad de Bogotá D.C. (MinTIC, 2014); con esta información y variando los diferentes parámetros de las señales para cada una de las pruebas, se pudo comprobar que a diferencia de las pruebas hechas para la sintonización de emisoras en AM, la frecuencia aumenta, haciendo que se mejore la transmisión de la información y se escuche mejor en el momento de sintonizar las emisoras.

3.3 Monitoreo del espectro radioeléctrico para difusión de televisión analógica

La televisión analógica terrestre consiste en la radiodifusión unilateral de programas de televisión destinados a ser recibidos por el público en general a partir de una estación de difusión ubicada en tierra. En la actualidad, el servicio de televisión analógica terrestre es prestado en Colombia en el sistema NTSC/M (National Television System Committee).

Para verificar cómo trabaja la difusión de televisión analógica, se escogió un canal de televisión y de acuerdo a las normas establecidas por la Autoridad Nacional de Televisión (ANTV) se configuró el analizador de espectro para comprobar las siguientes características: separación entre la portadora de video y la portadora de audio, ubicación de frecuencias de las portadoras de audio y video del canal seleccionado, visualización de la portadora de croma y ancho de banda del canal (ANTV, 2009).

Con ayuda de la función Marker y sus diferentes

aplicaciones se logró plasmar en una tabla los requerimientos solicitados y obtener los resultados como se observa en la figura 7.

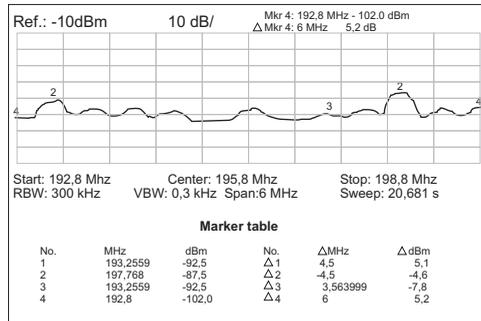


Figura 7. Ubicación de las portadoras de un canal de televisión en el analizador de espectro.

Como se puede apreciar en la casilla *delta 1* de la tabla de marcadores que aparece en la Figura 7, se obtuvo el valor correspondiente a la separación entre la portadora de video y la portadora de audio, siendo este valor de 4.5 MHz, el cual es el valor atribuido según lo expuesto en la teoría.

En la casilla 1 y casilla 2 de la tabla de marcadores que aparece en la Figura 7, correspondiente a los marcadores 1 y 2 dentro de la señal que aparece en la pantalla del analizador, se obtuvieron los valores correspondientes a la portadora de video (casilla 1 igual a 193.2559 MHz) y el valor correspondiente a la portadora de audio (casilla 2 igual a 197.768 MHz), valores aproximados a los asignados al canal 10 de televisión.

En la casilla 3 y delta 3 de la tabla de marcadores que aparece en la Figura 7, se obtuvo el valor correspondiente al ancho de banda asignado a un canal de televisión, siendo este valor de 6 MHz, el cual es el valor atribuido según lo expuesto en la teoría.

En la casilla 4 y delta 4 de la tabla de marcadores que aparece en la Figura 7, se obtuvo el valor correspondiente a la portadora de color o portadora de croma, validando así que su separación respecto a la portadora de video es de 3.57 MHz, el cual es el valor atribuido según lo expuesto en la teoría.

Para concluir el desarrollo de la práctica, se continuó generando la sintonización de audio del canal 10 de televisión. Con el uso del demodulador de FM del cual dispone el analizador de espectro se consigue identificar el sonido del canal de televisión en estudio.

3.4. Monitoreo del espectro radioeléctrico para telefonía móvil celular

Las pruebas que se realizaron para validar el funcionamiento de la telefonía móvil celular se basaron en obtener únicamente las señales de los servicios establecidos para cada uno de los operadores que trabajan en Colombia. Por ejemplo, una de las pruebas consistió en visualizar el espectro y ubicar el servicio de 4G por los operadores Movistar, Tigo, ETB y Avantel en Colombia, y se hicieron los siguientes ajustes en el analizador de espectro para generar una señal visible en pantalla (Huidobro, 2013).

Se ubicó una frecuencia central de 2.125 GHz, se seleccionó un Spam de 200 MHz, una amplitud de -40dBm, un RBW de 4 MHz y VBW de 0.3 KHz obteniendo así una señal como la que se aprecia en la figura 8.

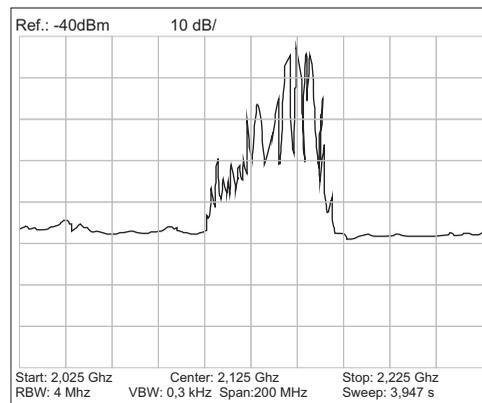


Figura 8. Espectro asignado al servicio 4G por los operadores Movistar, Tigo, ETB y Avantel en Colombia.

De igual forma para visualizar el espectro y ubicar el servicio de 4G en otra banda de frecuencia, por los operadores Claro, Une y DirecTV, se ubicó una

frecuencia central de 2.625 GHz, se selecciona un Span de 200 MHz, una amplitud de -40dBm, un RBW de 4 MHz y VBW de 0.3 KHz, obteniendo así una señal como la que se aprecia en la imagen de la figura 9.

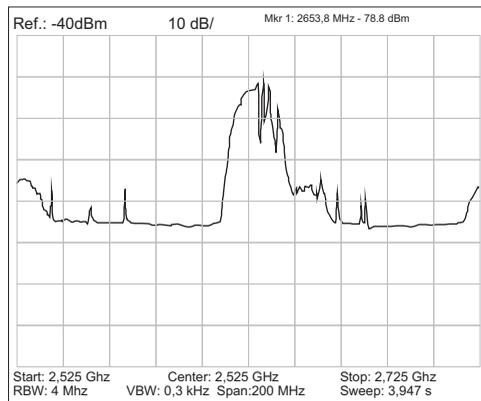


Figura 9. Espectro asignado al servicio 4G por los operadores Claro, Une y DirecTV en Colombia

4. CONCLUSIONES

El desarrollo de un sistema de monitoreo de espectro radioeléctrico, empleando el analizador de espectro GW Instek GSP-830, representa un aporte importante para los estudiantes de ingeniería electrónica de la FUAC, teniendo en cuenta la disponibilidad de equipos de su laboratorio de electrónica y el bajo costo que puede ser adquirir los demás componentes que lo conforman para poner el sistema en funcionamiento.

Para percibir el espectro de la radiodifusión AM y radiodifusión FM, se pudo evidenciar que no es necesario utilizar una antena en especial para captar estas señales, puesto que con las antenas que se encuentran en el mercado se obtuvo un buen resultado en cuanto a su visualización en el analizador de espectro empleado.

Una de las ventajas que obtendrá el lector de este proyecto es que va a tener la facilidad de poner en práctica los conocimientos adquiridos en el aula y también tendrá una mejor experiencia a la hora de

familiarizarse con el analizador de espectro GW Instek GSP-830.

Por último, la experiencia adquirida con el desarrollo de este proyecto sirvió para tener en cuenta que las entidades encargadas de controlar y gestionar este recurso en el país, están haciendo cumplir los parámetros establecidos para el buen uso de los servicios de radiodifusión AM, radiodifusión FM, televisión analógica y telefonía móvil celular.

REFERENCIAS

- ANE (Diciembre de 2011). *¿Qué es el espectro radioeléctrico?* Agencia Nacional del Espectro. Obtenido de www.ane.gov.co
- ANTV (Febrero de 2009). *Plan de Utilización de Frecuencias PUF - Especificaciones Técnicas*. Autoridad Nacional de Televisión. Obtenido de www.antv.gov.co
- GARCÍA, R. J. y MORALES, S. G. (2012). *Instalaciones de Radiocomunicaciones*. Madrid: Paraninfo.
- GW INSTEK (Febrero de 2012). *The GSP-830 3 GHz Spectrum Analyzer*. Obtenido de www.gwinstek.com
- HUIDOBRO, J. M. (2013). *Comunicaciones Móviles: Sistemas GSM, UMTS y LTE*. México: Alfaomega.
- MARTÍNEZ OSORIO, F. y SALGADO ROA, J. A. (2015). *Sistema de Monitoreo del Espectro Radioeléctrico empleando el Analizador de Espectro GW Instek GSP-830*. Bogotá D. C.: Fundación Universidad Autónoma de Colombia.
- MINTIC (Junio de 2014). *Plan Técnico Nacional de Radiodifusión Sonora en Amplitud Modulada A.M.* Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. Obtenido de www.mintic.gov.co
- MINTIC (Junio de 2014). *Plan Técnico Nacional de Radiodifusión Sonora en Frecuencia Modulada F.M.* Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. Obtenido de www.mintic.gov.co
- MINTIC - TES AMÉRICA ANDINA (Julio de 2012). *Monitorio de Espectro*. Obtenido de www.mintic.gov.co
- UIT (Febrero de 2010). *Comprobación Técnica del Espectro y Fiscalización de la Conformidad - Gestión del Espectro Radioeléctrico*. Unión Internacional de Telecomunicaciones. Obtenido de www.ictregulationtoolkit.org
- UIT (Enero de 2012). *Aspectos Económicos de la Gestión del Espectro*. Unión Internacional de Telecomunicaciones. Obtenido de www.itu.int
- VEGA, C., ZAMANILLO, J. y CASANUEVA, A. (2007). *Sistemas de Telecomunicación*. Cantabria: Universidad de Cantabria.