

# Monitoreo del Uso del Espectro Radioeléctrico Basado en la Tecnología Radio Cognitiva

*Primer A. Autor Leidy Sarmiento, Segundo B. Autor Victor Martínez, Tercer C. Autor Hector Reyes*

**Resumen**—Uno de los problemas que más aqueja a las redes y sistemas inalámbricos es la falta de suficiente espectro radioeléctrico. Por este motivo, es importante plantear métodos para gestionar este recurso de una forma más óptima. Este proyecto busca hacer uso de la tecnología de radio cognitiva (Cognitive Radio - CR) para desarrollar e implementar técnicas para monitorear y caracterizar el uso del espectro, detectar huecos espectrales, y estudiar como dichas técnicas se pueden integrar con el esquema de gestión del espectro radioeléctrico en Colombia, con miras a la explotación de la tecnología de radio cognitiva.

**Palabras Clave**—espectro, radioeléctrico, radio cognitiva, monitoreo.

## I. INTRODUCCIÓN

El espectro radioeléctrico es un recurso natural limitado que tiene valor económico y social, donde el interés por administrar, vigilar y controlar el uso del espectro ha aumentado a nivel mundial debido al crecimiento de la demanda en la mayoría de las bandas de frecuencia, principalmente por parte de los operadores de telecomunicaciones móviles y el surgimiento de nuevos servicios como la televisión digital. Por esta razón, es de vital importancia que cada estado encargado de la administración nacional del espectro, realice un uso eficiente en la asignación de bandas de frecuencias, otorgamiento y renovación de licencias, cobro por su explotación y verifique el cumplimiento de los parámetros técnicos para la prestación del servicio, para gestionar este recurso de una forma más óptima.

Actualmente el espectro radioeléctrico es adjudicado y asignado de manera estática. Varios estudios han mostrado que los usuarios a los que le ha sido asignado este recurso no lo usan permanentemente: el nivel de uso de este recurso fluctúa entre 5% y 85% [1]. Por lo tanto, es necesario desarrollar métodos que permitan caracterizar el patrón de uso de canales de radiofrecuencia y de esta forma gestionar este recurso dinámicamente, lo cual podría ser más eficiente. Joseph Mitola propuso la tecnología de radio cognitiva la cual combina la tecnología de radio definida por software (Software Defined Radio) con inteligencia artificial [2]. Uno de los componentes de esta tecnología es el escaneo del espectro radioeléctrico (Spectrum Sensing) cuyo fin es encontrar huecos espectrales, los cuales son segmentos del espectro no usados por el usuario al que se le ha adjudicado dicho espectro.

Por lo tanto, este proyecto de investigación busca hacer uso de la tecnología de radio cognitiva (Cognitive Radio – CR) para implementar un Sistema de Monitoreo del Uso del Espectro Radioeléctrico con el dispositivo receptor RTL-SDR,

un receptor implementado con Software Defined Radio (SDR) que amplía su función básica de recepción, no sólo para ser usado en sistemas de radio reconfigurables; sino para realizar procesamiento adicional de la señal recibida e identificar que bandas de frecuencia están en uso, utilizando el método de distancia Euclidiana para analizar la autocorrelación de las muestras recibidas por el dispositivo receptor y decidir entre dos situaciones posibles: sólo ruido presente o señal más ruido, es decir, si el canal está ocupado o no.

Y de esta manera, realizar un análisis estadístico con los datos arrojados por el prototipo para determinar el uso del espectro radioeléctrico en diferentes lugares, donde dicho análisis podrá ser usado para diseñar nuevas políticas de gestión del recurso y replantear el modelo actual de gestión del espectro radioeléctrico en Colombia.

A continuación, se presenta algunos de los antecedentes que sirvieron como referentes para el desarrollo de este trabajo.

En el 2012, Adriana Arteaga Arce de la Universidad ICESI publicó el artículo corto “Arquitectura de un Sistema de Monitoreo Radioeléctrico usando Software Defined Radio”, en cual se describen los componentes principales de un sistema de monitoreo desarrollado con Software Defined Radio (SDR) y las herramientas más utilizadas para implementarlo. El artículo propone la alternativa de implementar Software Defined Radio (SDR), para desplegar equipos de monitoreo más sencillos y de fácil transporte, para obtener una mayor cantidad de información del espectro, principalmente en zonas a las que no se puede llegar a través de la red principal de monitoreo. Terminada la investigación, concluyó que desarrollar un sistema de monitoreo embebido usando SDR representa un aporte importante a la industria y a la academia, teniendo en cuenta su bajo costo y la flexibilidad de sus funcionalidades [3].

En el 2014, Luis Fernando Pedraza y Felipe Forero de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas e Ingrid Patricia Páez de la Universidad Nacional de Colombia, publicaron el artículo “Evaluación de ocupación del espectro radioeléctrico en Bogotá - Colombia”, en el cual describen los detalles y resultados de la campaña de medición de la ocupación del espectro que tuvo lugar en la Ciudad de Bogotá (Colombia) de marzo a diciembre del año 2012. El estudio incluye el análisis de la ocupación de las bandas de frecuencias de 54MHz a 6GHz, las cuales se clasificaron de acuerdo a las bandas y servicios para proporcionar una visión clara de los ciclos de trabajo típicos asociados a diferentes tecnologías. Terminada la investigación, concluyeron que se requieren cambios en las actuales políticas de asignación

permanente del espectro y la implementación de regulaciones, que permitan que prospere en un futuro cercano las tecnologías de acceso dinámico al espectro [4].

En el 2015, Sriram Subramaniam y Naima Kaabouch de la Universidad de Dakota del Norte y Héctor Reyes Moncayo de la Universidad de los Llanos publicaron el artículo “Spectrum occupancy measurement: An autocorrelation based scanning technique using USRP”, el cual presenta una técnica para escanear y evaluar el uso del espectro radioeléctrico. Esta técnica permite determinar la ocupación de una canal durante un determinado tiempo. La técnica se implementó utilizando unidades de Radio Definidas por Software y el software de Radio GNU junto con los equipos utilizados para el almacenamiento. Los resultados de esta técnica se compararon con los obtenidos por otras dos técnicas, detección de energía y autocorrelación. Terminada la investigación, encontraron que la ocupación del espectro de cualquier canal era inferior al 20% en ciertas bandas del espectro radioeléctrico. Los resultados demostraron que la ocupación cambia dependiendo del tiempo, día y canal. Por otra parte, los resultados muestran que la técnica propuesta fue más eficiente en la detección de señales a diferencia de las otras técnicas [5].

En el 2015, Sriram Subramaniam, Naima Kaabouch y Wen Chen Hu de la Universidad de Dakota del Norte y Hector Reyes de la Universidad de los Llanos publicaron el artículo “A spectrum sensing technique based on autocorrelation and Euclidean distance and its comparison with energy detection for cognitive radio networks”, en el cual se describe un método para la detección del espectro basándose en la autocorrelación de las muestras recibidas, donde el modelo propuesto se evaluó mediante experimentos en los que se observaron las probabilidades de detección y falsas alarmas en diferentes relaciones señal-ruido (SNR). El periférico utilizado fue un USRP (Universal Software Radio Peripheral), que actuó como interfaz de radiofrecuencia en combinación con el software de Radio GNU. Dado que el procesamiento de la señal se realizó en el dominio del software, el ruido gaussiano de diferentes niveles se emuló cambiando la desviación estándar de un generador de números aleatorios Python y se varió la potencia de salida de un generador de señales para obtener diferentes niveles de SNR. Una métrica llamada distancia Euclidiana se derivó para analizar la autocorrelación de las muestras recibidas por el dispositivo USRP para decidir entre dos situaciones posibles: Solo ruido presente o señal más ruido presente. Terminada la investigación, los experimentos y simulaciones mostraron que el método de distancia Euclidiana propuesto resultó ser más eficiente que el método ACF en términos de probabilidad de detección y falsa alarma; y más eficiente que el método de detección de energía, en términos de probabilidad de falsa alarma [6].

En el 2016, Habibur Rahman y Mamunoor Islam publicaron el artículo “A Practical Approach to Spectrum Analyzing Unit Using RTL-SDR”, el cual tiene como objetivo demostrar un analizador de espectro basado en RTL-SDR que se puede utilizar eficientemente como una alternativa del analizador de espectro de hardware existente. Como los dispositivos RTL-SDR son bastante económicos y de tamaño pequeño, el

sistema también ofrece rentabilidad con provisión de portabilidad. Por último, se llevó a cabo un estudio experimental con condiciones para examinar la viabilidad y eficiencia del sistema propuesto. Terminada su investigación, concluyeron el rendimiento del dispositivo no era totalmente apropiado, pero era fácil de usar y rentable en comparación con el sistema de hardware tradicional. Por lo cual, podría ser utilizado como una herramienta moderna de análisis de espectro que tiene amplia gama de conveniencia de ajuste de frecuencias para analizar la señal de manera más eficiente [7].

Finalmente, este proyecto tuvo como objetivo diseñar e implementar un sistema de monitoreo del uso del espectro radioeléctrico basado en la tecnología radio cognitiva en la tarjeta Raspberry Pi, un sistema embebido con una buena relación costo-rendimiento.

## II. MARCO TEÓRICO

Una de las tecnologías emergentes que ha surgido para resolver no solamente el problema de la escasez del espectro, sino también otros de los problemas de los sistemas inalámbricos, es la tecnología radio cognitiva. Dicha tecnología es la unión de la tecnología de radio definida por software (Software Defined Radio - SDR) y varias técnicas de Inteligencia artificial (Artificial Intelligence - AI). Un radio cognitivo en teoría debe ser capaz de observar las condiciones que lo rodean y adaptarse a las mismas. Para cumplir tal propósito un radio cognitivo (Cognitive Radio – CR) opera de acuerdo al ciclo ilustrado en la figura 1. Un radio cognitivo inicialmente observa el espectro radioeléctrico: lo que significa escanear el espectro, recibir señales y calcular parámetros de rendimiento como la probabilidad de error de bits (Bit Error Rate - BER). Después de observar el espectro el CR analiza lo que ha observado, decide, y aprende. Por ejemplo, el CR puede aprender sobre el nivel de interferencia en el lugar y canal en el que se encuentra operando. Las decisiones que el radio puede tomar conciernen los parámetros de operación del radio, por ejemplo, potencia de transmisión, ancho de banda, rata de bits, frecuencia portadora, etc. Después de decidir acerca de los cambios que deben hacerse a los parámetros, el CR procede a ejecutar los cambios o acciones que se hayan decidido.

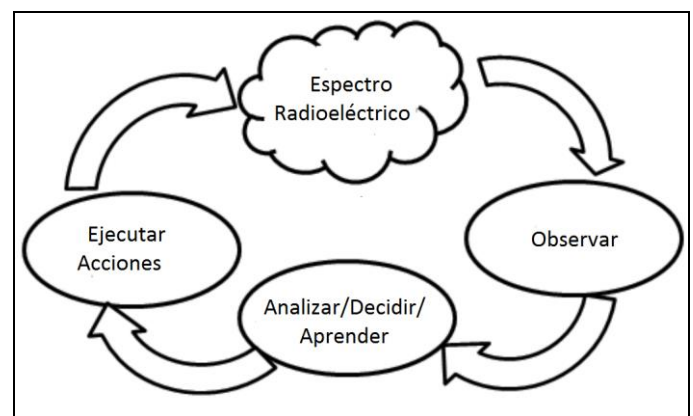


Fig. 1. Ciclo del Radio Cognitivo

La figura 2 muestra los dos principales componentes de un radio cognitivo. En este tipo de radio el procesamiento de la señal se hace por software de acuerdo a las decisiones tomadas por el bloque de A.I.

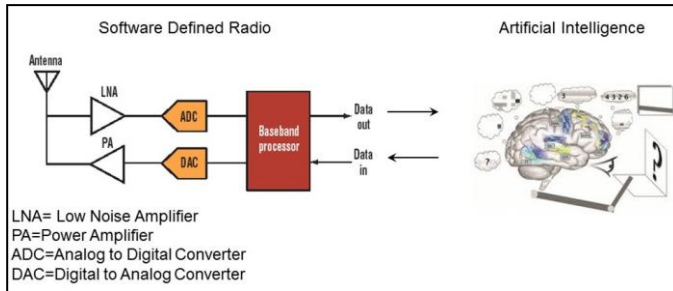


Fig. 2. Tecnología de Radio Cognitiva - Cognitive Radio (CR)

Una de las aplicaciones de las tecnologías cognitive radio y SDR es la gestión del espectro. La principal meta de este proyecto es el de monitoreo de la actividad en el espectro radio eléctrico para soportar una gestión más óptima. Este proyecto se enfoca en una de los componentes de la tecnología de radio cognitiva llamado *spectrum sensing*, que podría traducirse como sensado del espectro. En el contexto de la tecnología de radio cognitiva existen dos tipos de usuarios: los usuarios primarios (primary users - PU) y los usuarios secundarios (secondary users - US). Los usuarios primarios (PU) son aquellos a los que se les ha asignado la licencia para usar un canal específico. Los usuarios secundarios (SU) escanean el espectro buscando huecos espectrales (intervalos de tiempo en los cuales los PU no están transmitiendo) para usar este recurso oportunamente. El bloque de *spectrum sensing* de un radio cognitivo se encarga de detectar huecos espectrales. Se han propuesto varias técnicas para *spectrum sensing*. Las técnicas más conocidas son: detección por energía (energy detection -ED) [8] detección basada en filtro matched filter (MF) [9] [10], detección por característica ciclo estacionaria (cyclostationary feature detection - CSD) [11] [12] [13], y detección basada en covarianza (covariance based detection) [14].

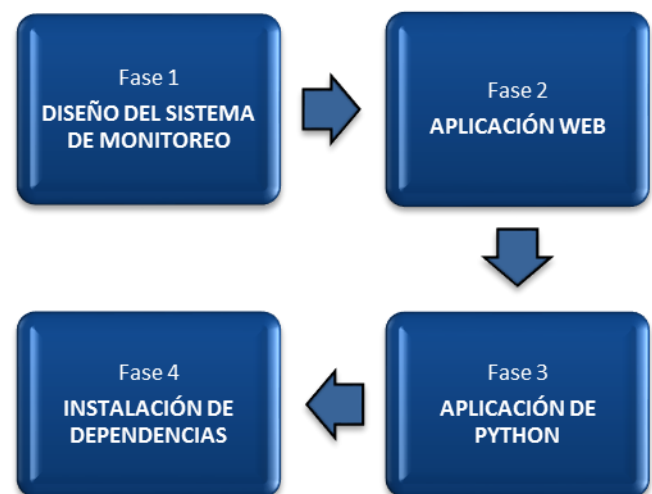
La técnica de detección por energía (ED) es la más simple [15] [16]. Aunque no requiere conocer previamente la señal del PU, requiere conocer la potencia de ruido. En este método el detector toma muestras de señal y calcula su potencia. El detector o sensor de espectro decide si el valor estimado de potencia significa que hay un PU transmitiendo o si por el contrario el canal este libre. El inconveniente de este método es que se requiere conocer previamente la potencia de ruido para tomar una decisión. El método CSD aprovecha el hecho que los parámetros estadísticos de las señales emitidas por los sistemas de comunicación varían periódicamente, por lo tanto, este método busca detectar esta periodicidad en la señal recibida para detectar cuando el PU está transmitiendo. El inconveniente de este método es que se requiere un detector diferente para cada sistema de comunicación diferente. El método que usa el filtro MF calcula la correlación de la señal recibida con una copia de la señal transmitida almacenada en el receptor. Este método es el más óptimo y preciso, pero

requiere conocer con anterioridad cada señal que se desee detectar. El método de sensado espectral basado en covarianza es quizás el más prometedor debido que no requiere previo conocimiento del ruido ni de la señal del PU. Este método explota el hecho de que la matriz de covarianza de las muestras recibidas que contienen solo ruido gaussiano se comporta diferente que la matriz de covarianza de las muestras que contienen ruido gaussiano más señal de datos. Existen varias formas de extraer información de la matriz de covarianza, por ejemplo: calcular la relación entre los elementos de la diagonal y los elementos que no están en la diagonal; calcular la relación entre el valor propio máximo y mínimo de la matriz; y calcular la auto-correlación. En este proyecto se propone usar este último de acuerdo al método desarrollado por el investigador principal en [6].

### III. MÉTODOLOGIA

El sistema de monitoreo del uso del espectro radioeléctrico basado en la tecnología de radio cognitiva está conformado por una Raspberry Pi y un dispositivo receptor RTL-SDR con un ancho de banda estimado entre 54MHz y 1700MHz. Este prototipo tiene como propósito desarrollar e implementar técnicas para monitorear y caracterizar el uso del espectro, detectar huecos espectrales y estudiar como dichas técnicas se pueden integrar con el esquema de gestión del espectro radioeléctrico en Colombia; ya que uno de los problemas que más aqueja a las redes y sistemas inalámbricos es la falta de suficiente espectro radioeléctrico, por ende, es importante implementar un método que nos permita gestionar y controlar este recurso de una manera más óptima.

A continuación, se presentan las etapas que se llevaron a cabo para el desarrollo del proyecto de investigación:



### A. Diseño del Sistema de Monitoreo

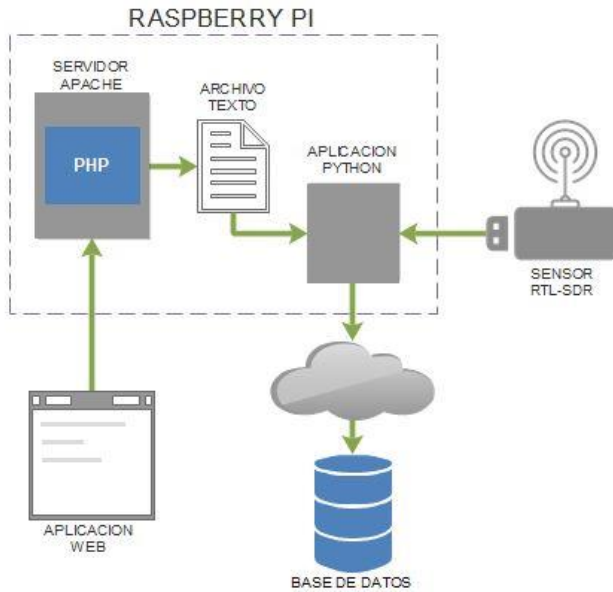


Fig. 3. Diseño del Sistema de Monitoreo del Espectro Radioeléctrico

Como se puede observar en la figura 3, el sistema de monitoreo del uso del espectro radioeléctrico está conformado por:

- Raspberry Pi
- Dispositivo Receptor RTL-SDR.

La Raspberry Pi, un computador de placa reducida que se encarga de procesar toda la información entregada por el sensor y así mismo, determinar el uso del espectro que está siendo monitoreado. En ella hay un Aplicación de Python, el cual se encarga de actualizar la base datos MySQL una vez se procesa los datos entregados por el dispositivo receptor RTL-SDR y un servidor HTTP apache, que tiene como objetivo correr una Aplicación Web, que tiene como fin la interacción del usuario con el sistema mediante un navegador web; esta contiene un formulario HTML al cual se ingresan los parámetros de configuración del sistema, que son: Datos de ubicación, lista de frecuencias que se desea monitorear y los datos de conexión a una base de datos MySQL.

Una vez ingresados los parámetros de configuración, el servidor http mediante php se encarga de guardar los datos en un archivo de texto (.txt), el cual sirve como medio de comunicación entre la Aplicación Web y la Aplicación de Python. Este último, siempre se estará ejecutando, consultando el archivo de texto y actualizando la base de datos MySQL. Posteriormente, los datos arrojados por el sistema serán usados para realizar un análisis estadístico del uso del espectro radioeléctrico.

Y el dispositivo receptor RTL-SDR, el cual es el encargado de escanear el rango de frecuencias el cual está limitado al ancho de banda del mismo, estimado entre 54MHz y 1700MHz. Este dispositivo pertenece a la tecnología de SDR

(Software Defined Radio) y está compuesto por un chipset RTL2832U, que lo convierte en un receptor SDR(RTL-SDR) que permite entre otras cosas, experimentar en el amplio mundo del espectro radioeléctrico.

### B. Aplicación Web

La aplicación web es un script php, el cual contiene un formulario HTML con estilos de CSS. Para acceder a esta aplicación, es necesario conocer la dirección IP de la Raspberry Pi y estar en la misma red local. De esta manera, sólo nos queda ingresar la dirección IP en la URL del navegador y modificar los datos de configuración del sistema.



Fig. 4. Aplicación Web

La interfaz de usuario tiene como fin la interacción del usuario con el software. Esta interfaz está compuesta por dos partes: La primera, es la configuración de los datos del sistema que son:

- **Nombre**, hace referencia al lugar donde está ubicado el sistema monitoreo del uso del espectro radioeléctrico.
- **Latitud**, es la distancia angular que hay desde un punto de la superficie terrestre hasta el paralelo del Ecuador. Esta coordenada se debe escribir en grados decimales.
- **Longitud**, es la distancia angular que hay de un punto de la superficie terrestre hasta el meridiano de Greenwich. Esta coordenada se debe escribir en grados decimales.
- **Ancho de Banda**, es la longitud medida en Hz de la extensión de frecuencias en la que se concentra la mayor potencia de la señal. Este campo no es modificable, ya que el ancho de banda se fijó en 1024MHz.
- **Número de Muestras**, es la cantidad de muestras que toma el dispositivo receptor RTL-SDR para escanear cada frecuencia y así, determinar si el canal está siendo usado o no. Este campo no es modificable, ya que el número de muestras se fijó en 1024.
- **Umbral**, este campo no es modificable, ya que se fijó en 0,94.

- **Lista de Frecuencias**, es el listado de frecuencias en Megahertz que se desea escanear; la cual está limitada por el ancho de banda del dispositivo receptor RTL-SDR, que se estima entre 54MHz y 1700MHz. En este campo se debe escribir cada frecuencia por línea, es decir, separadas por un enter.

#### Configuración de Datos

##### Ubicación

Ingresa tu ubicación en coordenadas geográficas en minutos y grados decimales:

Nombre:

Latitud:

Longitud:

Escribir el ancho de banda en Megahertz(M):

Ancho de Banda:

Escribir el número de muestras:

Número de Muestras:

Umbral:

##### Lista de Frecuencias

Escribir una frecuencia por cada línea:

80
81
82
83
84
85
86
87
88
89

Fig. 5. Interfaz de Configuración de los Parámetros del Sistema de Monitoreo

Y la segunda parte, que es la configuración de los datos de conexión a la base de datos MySQL que son:

- **URL**, es la dirección del servidor MySQL.
- **Base de Datos**, hace referencia al nombre de la base de datos MySQL.
- **Usuario**, es el nombre de usuario para acceder a la base de datos.
- **Contraseña**, es la clave del usuario.

#### Conexión a la Base Datos

URL:

Base de Datos:

Usuario:

Contraseña:

Fig. 6. Configuración de la Conexión a la Base de Datos

Una vez se configuran los parámetros del sistema de monitoreo y se guardan los cambios realizados; es decir, se realice una petición al servidor con el envío de la información por medio de un formulario html, para el cual se utilizó el método POST, porque es más seguro; se procede a guardar los parámetros de monitoreo (latitud, longitud, nombre de ubicación, ancho de banda, número de muestras y umbral) y de acceso a la base de datos (dirección, nombre de la base de datos, usuario y contraseña) en la variable datos (tipo lista) y por último, la lista de frecuencias a escanear en la variable frecuenciascentrales (tipo lista); seguido se llama la función guardar que se encarga de escribir el archivo de texto almacenando las configuraciones.

Si no existe tal petición, es decir, no se ha dado la orden de guardar, carga los valores de un archivo de configuraciones cuya dirección se indica en la variable ruta (dirección en la cual va estar ubicado un archivo de texto con parámetros de configuración ya definidos para el sistema de monitoreo), recorre el archivo línea por línea y los guarda en las variables datos y frecuenciascentrales.

Para llevar a cabo el proceso de guardar los parámetros en un archivo de texto (.txt) se hizo la función **guardar(\$d, \$fc)**. Esta función se encarga de escribir el archivo de texto (.txt) en la dirección especificada en la variable predeterminada y escribe cada parámetro del sistema de monitoreo. Por último, se crea la función **putlist()**, encargada de retornar la lista de frecuencias a escanear de forma ordenada, es decir, cada valor en una línea distinta, esta se asigna al campo de texto de la lista de frecuencias en el formulario HTML.

#### C. Aplicación Python

La aplicación de Python está encargada de leer el archivo de configuraciones (.txt) y realizar la captura de los datos junto con el dispositivo receptor RTL-SDR y posteriormente, guardar esta información en una base de datos MySQL.

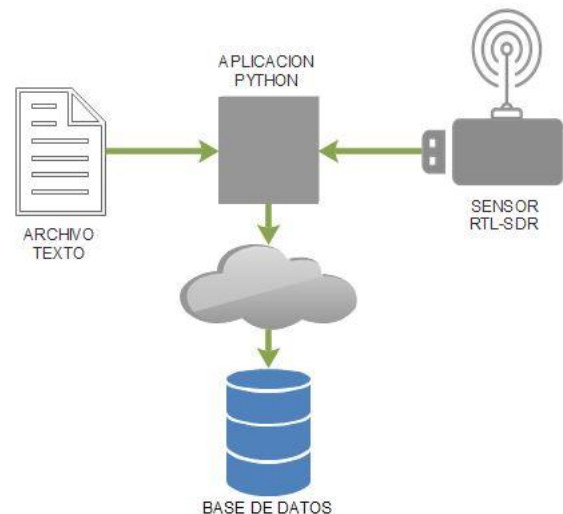


Fig. 7. Aplicación de Python

Para la lectura del archivo de configuraciones (.txt) se utilizó la función `leerdatos()`. Esta función se encarga de leer el archivo `configuraciones.txt` que contiene la información de la conexión a la base de datos MySQL, los parámetros de configuración del sistema y la lista de frecuencias centrales que van a ser monitoreadas.

Esta función retorna dos variables: `fc` y `datos`. La variable `fc`, es una lista en la que se encuentran las frecuencias centrales a monitorear y la variable `datos`, es un diccionario que contiene la información de: Los parámetros de configuración (Latitud, longitud, nombre de la ubicación, ancho de banda, umbral y número de muestras) y los datos de conexión a la base de datos MySQL del Sistema de Monitoreo del Espectro Radioeléctrico. En caso de no encontrar el archivo `configuraciones.txt`, este método cargara los siguientes valores por defecto en un archivo, que son:

```
Latitud = 0,
Longitud = 0,
NombreUbicacion = Villavicencio,
AnchoBanda = 1024,
NumeroMuestras = 1024,
Umbral = 0.94,
Direccion = localhost,
BaseDatos = mEspectro,
Usuario = root,
Contrasena = 1234,
Fc = 433.
```

Una vez realizado la lectura del archivo de configuraciones, el sistema de monitoreo del espectro radioeléctrico inicia con la captura de datos con el dispositivo receptor RTL-SDR. Para esto se utilizó la función `detector(Fs, Fc, N, Thr)`, la cual recibe por parámetros: `Fs` es la frecuencia de muestreo, `Fc` es la frecuencia central, `N` es el número de muestras y `Thr` es el umbral. Esta función se encarga de muestrear la señal y realizar el método de distancia Euclidiana, el cual se utilizó por presentar mejores resultados en un estudio realizado por el director del Proyecto de Investigación Héctor Iván Reyes [6]. La distancia Euclidiana se basa en medir la distancia entre la línea de referencia, que es la autocorrelación de una señal que presenta un alto coeficiente SNR (Relación señal a ruido) y la autocorrelación de las muestras obtenidas del canal de frecuencia que está siendo monitoreado.

Terminado este proceso, la información recopilada por el sistema, se inserta en una base de datos MySQL y se actualiza cada vez que termina de escanear la lista de frecuencias. Para esto, se utilizó la función `insertdata(datos, fc, uso, fecha)`. Esta función se encarga de actualizar la información en una base de datos MySQL, esta recibe 4 parámetros: `datos` (tipo diccionario), debe contener la información de la conexión y los parámetros usados en la recolección de datos; `fc` (tipo lista), contiene la lista de las frecuencias centrales a monitorear; `uso` (tipo lista), contiene la información de uso de las frecuencias almacenadas en la variable `fc` y `fecha` (tipo lista), contiene la fecha y hora exacta en la que se tomaron los datos de uso.

Esta función inicia con la conexión a la base de datos, para esto toma los valores guardados en la variable `datos`; luego de que la conexión a la base de datos sea exitosa, busca si ya hay un registro con la ubicación de los datos tomados. En caso de que esta ubicación ya exista, guarda el ID con el que está registrado para posteriormente referenciar los datos de uso a esta ubicación, si no esta no existe, crea el registro y de nuevo consulta el ID. Ahora, se prepara la instrucción `insert into` para agregar los registros a la base de datos, para esto se toman en cuenta las variables `fc`, `uso` y `fecha`. El algoritmo recorre cada una de estas listas y agrega los datos a la instrucción, finalizado procesamiento se ejecuta la instrucción en la base de datos.

En caso de algún error en la conexión o en el momento de insertar la información a la base de datos, se imprimirá un mensaje en pantalla con el error y así determinar la posible causa. A continuación, se presentan los posibles mensajes de error con su posible causa y solución:

### Mensaje 1

- "Error al conectar a la base datos".

#### **Posible causa:**

- Error al ingresar los datos de conexión de la base datos.
- No exista conexión al servidor MySQL.

#### **Solución:**

- Verificar y corregir los datos de conexión, este proceso se puede realizar mediante la aplicación web o editando directamente el archivo `configuraciones.txt`.
- Verificar la conexión al servidor MySQL.

### Mensaje 2

- "Error al guardar los datos de ubicación".

#### **Posible causa:**

- Conexión perdida con la base de datos.
- No tener permisos en la base de datos.

#### **Solución:**

- Verificar y asignar los permisos del usuario con el que se conecta a la base de datos.

### Mensaje 3

- "Error al guardar los datos de uso".

#### **Posible causa:**

- Conexión perdida con la base de datos.
- No tener permisos en la base de datos.

#### **Solución:**

- Verificar y asignar los permisos del usuario con el que se conecta a la base de datos.

## *D. Instalación de Dependencias*

El Sistema de Monitoreo del Uso del Espectro Radioeléctrico está conformado por una Raspberry Pi a la cual se instaló: Raspbian, una distribución del sistema operativo GNU/Linux; un servidor HTTP apache, para correr una aplicación web; los drivers del sensor RTL2832U, el cual se utiliza para realizar el escaneo del espectro radioeléctrico

donde el rango de frecuencias está limitado por el ancho de banda del sensor, el cual está estimado entre 54MHz y 1700MHz y por último, una aplicación web, en la cual se realiza la configuración de parámetros del sistema y de la base de datos del servidor.

#### IV. RESULTADOS

##### Interfaz de Usuario

La interfaz de usuario, se compone de dos (2) partes:

La primera parte, dedicada para los parámetros de configuración de la aplicación, tales como: Ubicación geográfica, ancho de banda, número de muestras, umbral y un listado de frecuencias centrales que deseamos monitorear. Y la segunda parte, para la configuración de la conexión a la base de datos donde los parámetros son: URL, nombre de la base de datos, el nombre del usuario y la contraseña.

Una vez configurado los parámetros del Sistema de Monitoreo en la interfaz de usuario, esta nos genera un archivo de texto (.txt) en el cual se guardan todos datos, para luego ser usados por el script de Python.

Fig. 8. Interfaz de Usuario para configurar los parámetros del Sistema de Monitoreo

Al guardar los cambios realizados, la aplicación nos genera el siguiente archivo de texto (.txt)

```

Latitud=4.151463
Longitud=-73.6382090
Nombreubicacion=villavicencio
AnchoBanda=1024
NumeroMuestras=1024
Umbral=0.94
Direccion=localhost
BaseDatos=Espectro
Usuario=root
Contraseña=1234
Fc=55.25,61.25,67.25,77.25,83.25,175.25,181.25,187.25,193.25,199.25,205.25,211.25,88.3

```

Fig. 9. Archivo de Configuraciones generado por la Aplicación Web

##### Método distancia Euclidiana

El método de la distancia Euclidiana fue utilizado para implementar el Sistema de Monitoreo del Uso del Espectro Radioeléctrico, ya que en estudios anteriores demostró ser más eficaz que el método ACF, al tener una ganancia SNR de 4 dB para una SNR dada y obtener mejores resultados en los experimentos con un umbral de 0,95 y un número de muestras de 1024 [6].

Este método se utilizó para determinar el uso o no uso del espectro radioeléctrico. El método se basa en medir la distancia entre dos líneas, es decir, la línea de referencia, que es la autocorrelación de una señal que presenta un alto coeficiente SNR (Relación señal a ruido) y la autocorrelación de las muestras obtenidas del canal de frecuencia que está siendo monitoreado. Cuando en un canal de frecuencia no hay presencia de una señal de transmisión, es decir, las muestras capturadas son ruido, la autocorrelación será una función delta; debido a que el ruido blanco no está correlacionado consigo mismo [17]. En caso contrario, si la distancia que hay entre la línea de referencia y la señal de las muestras capturadas es menor al valor de umbral; se dice que hay presencia de una señal de transmisión.

A continuación, se mostrarán los resultados del método de distancia Euclidiana, una señal con alto SNR y la autocorrelación de los canales 2 y 4 de video de televisión análoga.

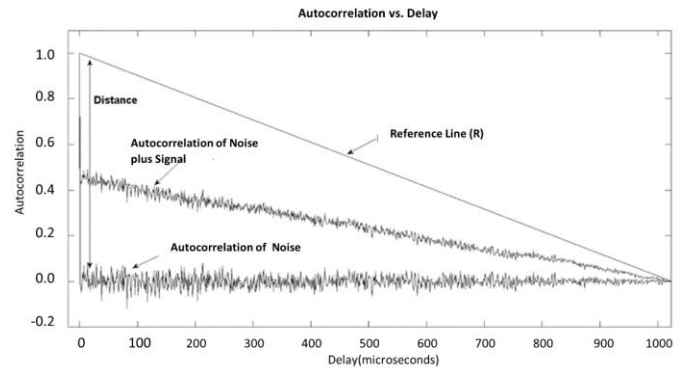


Fig. 10. Método de distancia Euclidiana

En la Figura 10, se muestra la autocorrelación de las muestras recibidas cuando sólo el ruido Gaussiano está presente y cuándo está presente una señal más ruido Gaussiano. La línea de referencia actúa como límite para la autocorrelación; no importa cuán alto sea el SNR, la autocorrelación nunca irá más allá de esa línea. La distancia entre la autocorrelación y la línea de referencia es una métrica para analizar las muestras y determinar el estado del canal. El sensor de espectro produce 1 si se encuentra el canal ocupado y 0 si se encuentra vacío.

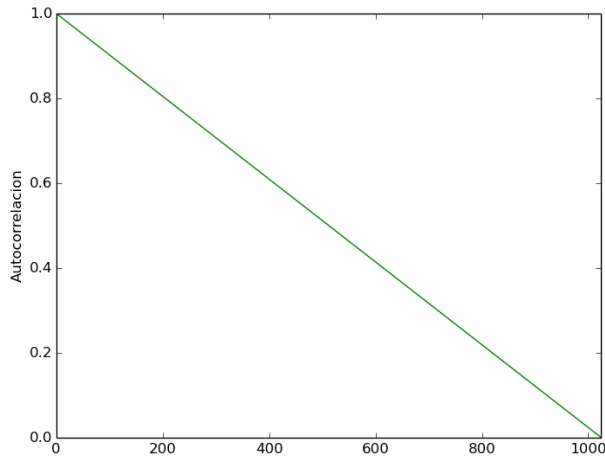


Fig. 11. Autocorrelación de Señal con alto SNR (Relación señal a ruido)

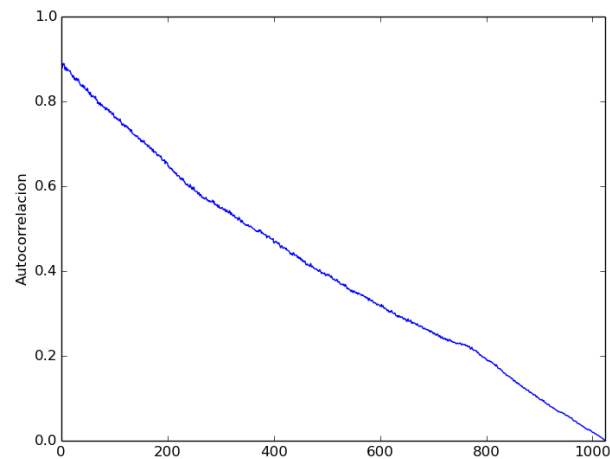


Fig. 12. Autocorrelación del Canal de Frecuencia 67,25MHz

En la Figura 12, se observa la señal de transmisión de video del canal 4 de televisión análoga, que corresponde a la frecuencia 67,25 MHz. El resultado al aplicar el método de distancia Euclidiana entre la línea de referencia (ver Figura 11) y la autocorrelación de las muestras capturadas del canal 4 (ver Figura 12) es de 0.32, valor que corresponde a la presencia de una señal de transmisión en el canal.

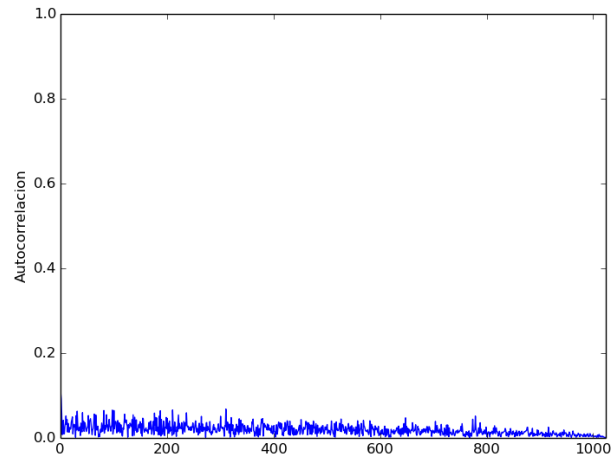


Fig. 13. Autocorrelación del Canal de Frecuencia 83,25 MHz

En la Figura 13, se observa la señal transmisión de video del canal 6 de televisión análoga, que corresponde a la frecuencia 83,25 MHz. Donde, el resultado de la autocorrelación es una señal delta; debido a que no se está transmitiendo ninguna señal en el canal.

#### Sistema de Monitoreo del Espectro Radioeléctrico en la Tarjeta Raspberry

Para implementar el Sistema de Monitoreo del Uso del Espectro Radioeléctrico en la tarjeta Raspberry Pi, se realizó el proceso de instalación del sistema operativo, drivers del dispositivo receptor RTL-SDR, el servidor HTTP apache y php. Una vez instaladas las dependencias, se procedió a configurar los parámetros del Sistema de Monitoreo en la Aplicación Web. Terminado este proceso, se ejecutó por consola el script de Python con el siguiente comando:

```
python ruta_del_archivo/rtlsdr_scanner.py, encargado de escanear las frecuencias que se configuraron en la Aplicación Web.
```

Una vez ejecutado el script, se procedió revisar los datos arrojados por el Sistema de Monitoreo, donde se observó que los canales 2, 3 y 6 de video de televisión análoga estaban siendo detectados como ocupados, cuando son canales que no están asignados en Colombia y, por lo tanto, deberían estar libres.

Luego de una exhaustiva investigación, se encontró que teníamos problemas de interferencia en un rango de frecuencias entre 40 MHz y 100 MHz; debido a armónicos de frecuencias generadas en osciladores de la tarjeta Raspberry Pi; esta interferencia aumentó la probabilidad de falsa alarma, ya que detectaba señales no correspondientes a transmisiones inalámbricas, si no a señales generadas dentro de la tarjeta.



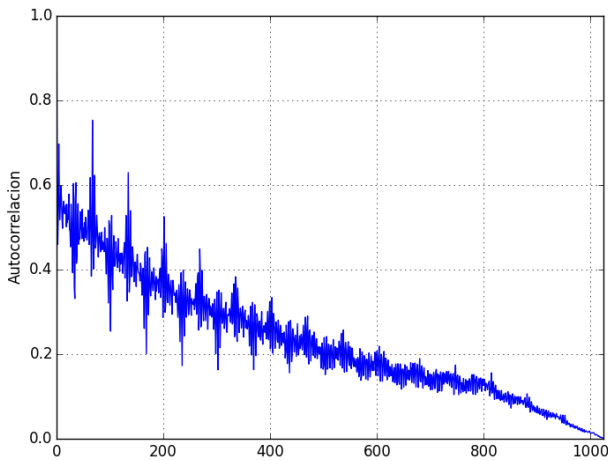


Fig. 14. Autocorrelación del Canal de Frecuencia 55.25 MHz escaneado en la tarjeta Raspberry Pi

En la Figura 14, se observa la autocorrelación de las muestras de la frecuencia 55.25 MHz, que corresponde al canal 2 de vídeo de televisión análoga cuando es escaneada en la tarjeta Raspberry Pi. Como era de esperar, la señal resultante presentaba demasiado ruido y las perturbaciones generadas en la señal aumentaban la probabilidad de falsa alarma. Por lo tanto, se decidió realizar el mismo procedimiento en un computador portátil, para confirmar que los problemas de interferencias estaban siendo generados por la Raspberry Pi.

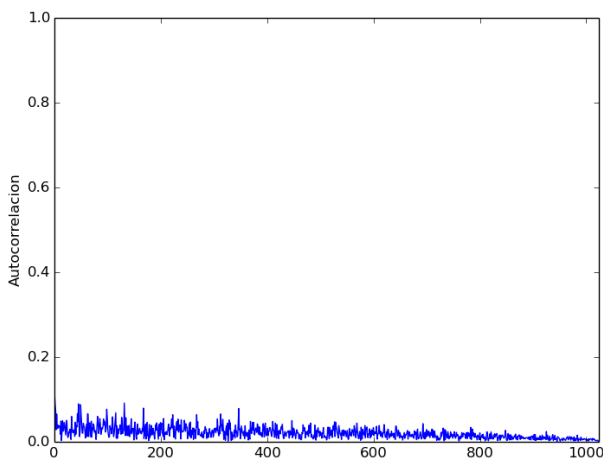


Fig. 15. Autocorrelación del Canal de Frecuencia 55.25 MHz escaneado en un Computador Portátil

En la Figura 15, se muestra la autocorrelación de las muestras de la frecuencia 55.25 MHz escaneado en un computador portátil. Como se puede observar, el resultado de la autocorrelación es una señal delta, debido a que no se está transmitiendo ninguna señal en el canal, pues es una frecuencia que no está asignada en Colombia, por ende, se encuentra libre.

Analizando los resultados, se decide buscar una solución para evitar los problemas de interferencia generados por la tarjeta Raspberry Pi. Para esto, se realizó un estudio para conocer las posibles soluciones a este problema; una de ellas, es la construcción de una jaula de Faraday casera, la cual se construyó con herramientas caseras, pero los resultados que se obtuvieron fueron los mismos, la interferencia persistía. Por lo tanto, se acordó con el director del proyecto en implementar el Sistema de Monitoreo del Espectro Radioeléctrico en una tarjeta con características similares a la Raspberry Pi; pues la idea inicial del proyecto de investigación era diseñar e implementar el Sistema de Monitoreo del Uso del Espectro Radioeléctrico en un sistema embebido portable y con una buena relación costo - rendimiento. Después de realizar una investigación, se llega a la conclusión de utilizar la tarjeta DragonBoard 410C que cuenta con las características necesarias para la implementación del Sistema de Monitoreo y, además, el procesador cuenta con una placa de protección contra radiaciones electromagnéticas.

### ✚ Sistema de Monitoreo del Espectro Radioeléctrico en la Tarjeta DragonBoard 410C

Para implementar el Sistema de Monitoreo del Uso del Espectro Radioeléctrico en la Tarjeta DragonBoard 410C, se realizó el mismo procedimiento de instalación, con la única diferencia de que se instaló el Sistema Operativo Debian 8.0 a la tarjeta. Por último, se procedió a configurar los parámetros del Sistema de Monitoreo en la Aplicación Web. Terminado el proceso anterior, se ejecutó por consola el script de Python con el siguiente comando:

```
python ruta_del_archivo/rtlsdr_scanner.py, encargado de escanear las frecuencias que se configuraron en la Aplicación Web.
```

La lista de frecuencias que se decidió escanear se dividen en tres (3) grupos, que son:

- **Frecuencias de Video de TV Análoga**

En Colombia el video de la TV Análoga está distribuido en tres grupos de frecuencias: El grupo 1 (54MHz -68MHz) donde se encuentran los canales 1,2 y 3; el grupo 2 (76MHz - 88MHz) donde se encuentran los canales 4 y 5 y el grupo 3 (174MHz -216MHz) donde se encuentran los canales del 6 al 13. En Colombia no todos los canales de TV Análoga son usados, los canales asignados son 4, 5, 7, 9, 11, 13 y, por lo tanto, sólo los canales 2, 3, 6 y 10 están libres [18].

- **Frecuencias de Radio FM**

La Radio FM en Colombia abarca desde la frecuencia 88MHz hasta 108MHz, con un ancho de banda de 200KHz [19]. Sin embargo, en el Departamento del Meta no todos los canales están asignados.

• **Frecuencias de Operaciones Espaciales y Radioaficionados**

El servicio de radioaficionados tiene por objeto la instrucción individual, la intercomunicación y los estudios técnicos, efectuado por aficionados, esto es, por personas debidamente autorizadas que se interesan en la radiotecnía con carácter exclusivamente personal y sin fines de lucro y las frecuencias de operaciones espaciales, es un servicio de radiocomunicación que concierne exclusivamente al funcionamiento de los vehículos espaciales, en particular el seguimiento espacial, la tele medida espacial y el telemando espacial [20].

Este proceso se ejecutó durante todo el día 01 de febrero del 2017. En base a los resultados obtenidos, se realizó un análisis respecto al porcentaje de uso durante el día de cada una de las frecuencias centrales escaneadas. A continuación, se presentan los gráficos realizados:

• **Frecuencias de Video de TV Análoga**

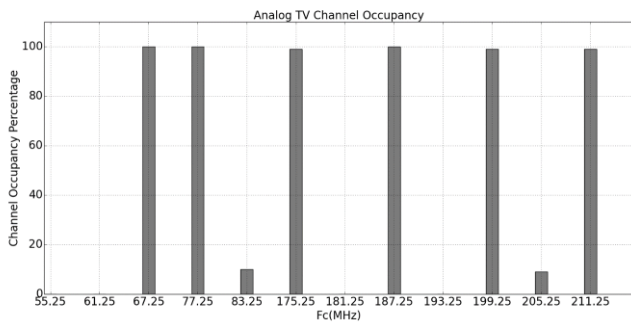


Fig. 16. Porcentaje de Uso de Frecuencias de TV Análoga

Del gráfico 16, podemos observar como la frecuencia central de 55.25MHz (Canal 2), 61.25 (Canal 3), 181.25 (Canal 8) y 193.25MHz (Canal 10) tienen un porcentaje de uso de 0%, debido a que estos canales no están asignados.

Otras frecuencias que no están asignadas son: 83.25MHz (Canal 6) y 205.25MHz (Canal 12) pero de acuerdo a los resultados obtenidos en la gráfica, tienen un uso por debajo del 15%, esto se debe a que hay otras transmisiones cercanas a la frecuencia central y fueron detectadas durante el proceso de monitoreo.

Las demás frecuencias centrales como 67.25MHz (Canal 4), 77.25MHz (Canal 5), 127.25 (Canal 7), 187.25MHz (Canal 9), 199.25MHz (Canal 11) y 211.25MHz (Canal 13) tienen un porcentaje de uso aproximadamente del 100%; debido a que estos canales están asignados y son usados durante todo el día. Todas estas frecuencias de televisión análoga son únicamente vídeo, ya que el audio se trasmite en FM.

• **Frecuencias de Radio FM**

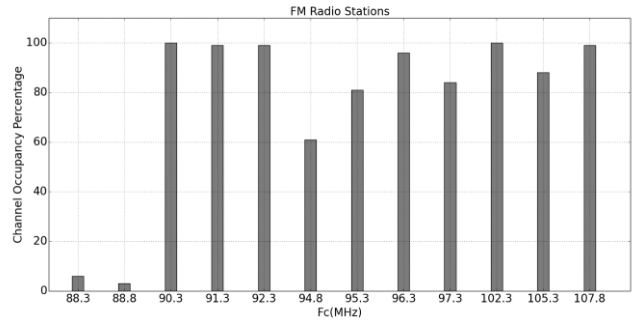


Fig. 17. Porcentaje de Uso de Frecuencias de Radio FM

Del gráfico 17, podemos observar como la frecuencia central 88.3MHz (Fuego FM) y 88.8MHz (Radio Comunitaria de Acacias RCA) tienen un porcentaje de uso menor al 10%; este porcentaje se debe a que las emisoras al estar ubicadas en el Municipio de Acacias, la señal de transmisión no es tan potente. Al igual que la frecuencia central 94.8MHz (BaKana Stereo), emisora que está ubicada en el Municipio de Restrepo y que, por la misma razón, en los resultados obtenidos el porcentaje de uso fuera del 60% aproximadamente.

En cambio, las otras frecuencias centrales 90.3MHz (LOS40), 91.3MHz, 92.3MHz (Radio Nacional de Colombia), 95.3MHz (Satélite Express), 96.3MHz (Blu Radio), 97.3MHz (Villavo FM), 102.3MHz (W Radio), 105.3MHz (Olímpica Stereo) y 107.8MHz (Exitosa Stereo) tienen un porcentaje de uso mayor al 80%, debido a que estas emisoras son de estilo: musical, noticiosas y/o deportivas y todas están ubicadas en el Municipio de Villavicencio.

• **Frecuencias de TV Análoga, Radio FM, Operaciones Espaciales y Radioaficionados**

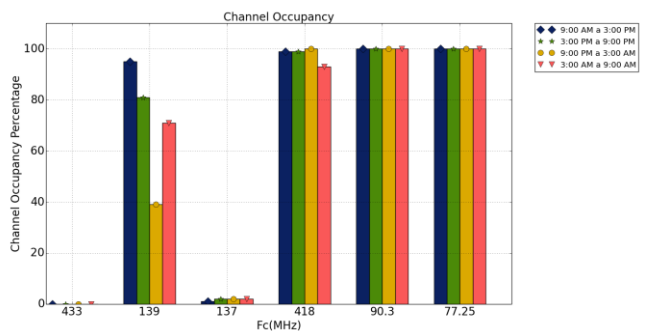


Fig. 18. Porcentaje de Uso de Frecuencias de TV Análoga, Radio FM y Operaciones Espaciales a determinadas horas del día

Del gráfico 18, podemos observar el porcentaje de uso de algunas frecuencias de Radioaficionados, Operaciones espaciales, Radio FM y TV análoga. Donde, la frecuencia 433MHz ( ) tiene un porcentaje de uso de 0%, debido a que es una frecuencia de radioaficionados y durante todo el día, no se detectó alguna transmisión.

Las frecuencias 139MHz, 137MHz y 418MHz son frecuencias de operaciones espaciales. En la frecuencia 139MHz se obtuvo un mayor porcentaje de uso (95% aprox.) entre las 9:00AM - 3:00PM, en cambio, en la frecuencia 418MHz se obtuvo un porcentaje de uso de 99% aprox. en todo el día; sólo en la frecuencia 137MHz se obtuvieron resultados con porcentajes de uso menor al 5%.

Por último, en las frecuencias 90.3MHz (Radio FM) y 77.25MHz (Canal 5 TV Análoga) se obtuvieron resultados con un porcentaje de uso de 100%, lo cual es lógico, puesto que la Emisora de Radio FM 90.3MHz está en constante funcionamiento al igual, que el Frecuencia de Video de TV Análoga (Canal 5).

#### V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El sistema de monitoreo del espectro radioeléctrico implementado en la tarjeta DragonBoard, nos permitió hacer un análisis estadístico del patrón de uso de varias bandas de frecuencia. Durante el análisis, se encontró que la mayoría bandas de frecuencia de radio FM ubicadas en el Municipio de Villavicencio obtuvieron un porcentaje de uso mayor al 80%; debido a la mayoría de emisoras son de estilo: musical, noticiosas y/o deportivas, y para las emisoras ubicadas en municipios aledaños a Villavicencio, se obtuvo un porcentaje de uso menor al 50%; debido a que la señal de transmisión no es tan potente.

Para el caso de las frecuencias de video de televisión análoga, se encontró que las frecuencias centrales de los canales: 4, 5, 7, 9, 11 y 13 tienen un porcentaje de uso aproximadamente del 100%; pues son canales que están asignados y son usados durante todo el día. Para los canales: 2, 3, 8 y 10, se obtuvo un porcentaje de 0%; debido a que los canales no están asignados; solamente para los canales 6 y 12, se obtuvo un porcentaje aproximado del 15%, debido a que otras transmisiones cercanas a las frecuencias centrales fueron detectadas durante el proceso de monitoreo.

Por último, se escaneo la frecuencia 433MHz, en la cual se obtuvo un porcentaje de uso de 0%, debido a que es una frecuencia de radioaficionados y durante todo el día, no se detectó señales de transmisión. Finalmente, ese proyecto de investigación nos permitió conocer el patrón de uso de diferentes bandas de frecuencias de radio FM, frecuencias de video de televisión análoga y frecuencias de radioaficionados, y realizar un análisis estadístico con los datos arrojados por el prototipo para determinar el uso del espectro.

#### VI. CONCLUSIÓN

El espectro radioeléctrico es un recurso natural limitado que, debido a la creciente demanda en la mayoría de las bandas de frecuencia, principalmente por parte de los operadores de telecomunicaciones móviles y el surgimiento de nuevos servicios como la televisión digital, sea cada vez más escaso. Por lo tanto, es necesario plantear nuevas tecnologías que permitan gestionar más eficientemente dicho recurso. Por esta razón, se diseñó e implementó un sistema de monitoreo

del uso del espectro radioeléctrico con el dispositivo receptor RTL-SDR, un receptor implementado con Software Defined Radio (SDR) capaz de escanear frecuencias en el rango de 54 MHz a 1700 MHz.

#### REFERENCIAS

- [1] M. T. Masonta, M. Mzyece and N. Ntlatlapa, "Spectrum Decision in Cognitive Radio Networks: A Survey," *IEEE Communications Survey & Tutorials*, vol. 15, no. 3, pp. 1088-1107, 2013.
- [2] S. Haykin, «Cognitive Radio: Brain -Empowered Wireless Communications,» *IEEE Journal on Select Areas in Communications*, vol. 23, n° 2, pp. 201-220, 2005.
- [3] A. Arteaga Arce, «Arquitectura de un Sistema de Monitoreo Radioeléctrico usando Software Defined Radio,» *S&T*, vol. 10, n° 23, pp. 83-93, 2012.
- [4] L. F. Pedraza, F. Forero y I. P. Paez, «Evaluación de ocupación del espectro radioeléctrico en Bogotá-Colombia,» *Ingeniería y Ciencia*, vol. 10, n° 19, pp. 127-143, 2014.
- [5] S. Subramaniam, H. Reyes y N. Kaabouch, «Spectrum occupancy measurement: An autocorrelation based scanning technique using USRP,» de *IEEE 16th Annual Wireless and Microwave Technology Conference (WAMICON)*, 2015.
- [6] H. Reyes, S. Subramaniam, N. Kaabouch y W.-C. Hu, «A spectrum sensing technique based on autocorrelation and Euclidean distance and its comparison with energy detection for cognitive radio networks,» *Computers and Electrical Engineering*, vol. 52, pp. 319-327, 2015.
- [7] H. Rahman y M. Islam, «A Practical Approach to Spectrum Analyzing Unit Using RTL-SDR,» *Rajshahi University Journal of Science & Engineering*, vol. 44, pp. 151-159, 2016.
- [8] H. Urkowitz, «Energy Detection of Unknow Deterministic Signals,» *Proceedings of the IEEE*, vol. 55, n° 4, pp. 523-531, 1967.
- [9] Yucek, Tevfik y A. Huseyin, «A Survey of Spectrum Sensing Algorithms for Cognitive Radio Applications,» *Communications Surveys & Tutorials IEEE*, vol. 11, n° 1, pp. 116-130, 2009.
- [10] R. Tandra y A. Sahai, «Fundamental Limits on Detection in Low SNR Under Noise Uncertainty IEEE».
- [11] W. Gardner, «Spectral Correlation of Modulated Signal: Part I-Analog Modulation,» *Transactions On Communications IEEE*, vol. 35, n° 6, pp. 584-594, 1987.
- [12] W. Gardner, W. Brown y C. K. Chen, «Spectral Correlation of Modulated Signals: Part II-Digital Modulation,» *Transactions On Communications IEEE*, vol. 35, n° 6, pp. 595-601, 1987.
- [13] W. A. Gardner, «Exploitation of Spectral Redundancy in Cyclostationary Signals,» *Signal Processing Magazine IEEE*, vol. 8, n° 2, pp. 14-36, 1991.
- [14] Y.-C. Liang y Y. Zeng, «Spectrum-Sensing Algorithms

for Cognitive Radio Based on Statistical Covariances,» *Transactions On Vehicular Technology IEEE*, vol. 58, n° 4, pp. 1804-1815, 2009.

- [15] F. De Carvalho, J. S. Rocha, W. Lopez y M. S. Alencar, «A Spectrum Sensing Algorithm Based on Statistic Test for Cognitive Networks Subject to Fading IEEE,» 2014.
- [16] M. López Benitez y F. Casadevall, «Improved Energy Detection Spectrum Sensing for Cognitive Radio,» *IET Communications*, vol. 6, n° 8, pp. 785-796, 2012.
- [17] Wikipedia, «Ruido Blanco,» Wikipedia, La enciclopedia libre, 19 julio 2017. [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Ruido\\_blanco](https://es.wikipedia.org/wiki/Ruido_blanco). [Último acceso: 25 julio 2017].
- [18] Wikipedia, «Frecuencias de los Canales de Televisión,» Wikipedia, La enciclopedia libre, 2017. [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Frecuencias\\_de\\_los\\_canales\\_de\\_televisi%C3%B3n](https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Frecuencias_de_los_canales_de_televisi%C3%B3n). [Último acceso: 20 febrero 2017].
- [19] Wikipedia, «Emisoras de Villavicencio,» Wikipedia, La enciclopedia libre, 12 febrero 2017. [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Emisoras\\_de\\_Villavicencio](https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Emisoras_de_Villavicencio). [Último acceso: 20 febrero 2017].
- [20] ANE, «CNABF Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencia,» ANE, [En línea]. Available: [http://cnabf.ane.gov.co/cnabf/index.php?option=com\\_k2&view=item&layout=item&id=6&Itemid=140&1534-D83A\\_1933715A=ff0ca17568bee44126aa1658a8f9270e42c7371c](http://cnabf.ane.gov.co/cnabf/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=6&Itemid=140&1534-D83A_1933715A=ff0ca17568bee44126aa1658a8f9270e42c7371c). [Último acceso: 20 febrero 2017].
- [21] Wikipedia, «Frecuencias de los Canales de Televisión,» Wikipedia, La enciclopedia libre, 2017. [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Frecuencias\\_de\\_los\\_canales\\_de\\_televisi%C3%B3n](https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Frecuencias_de_los_canales_de_televisi%C3%B3n). [Último acceso: 20 febrero 2017].
- [22] Wikipedia, «Emisoras de Villavicencio,» Wikipedia, La enciclopedia libre, 12 febrero 2017. [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Emisoras\\_de\\_Villavicencio](https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Emisoras_de_Villavicencio). [Último acceso: 20 febrero 2017].
- [23] ANE, «CNABF Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencia,» ANE, [En línea]. Available: [http://cnabf.ane.gov.co/cnabf/index.php?option=com\\_k2&view=item&layout=item&id=6&Itemid=140&1534-D83A\\_1933715A=ff0ca17568bee44126aa1658a8f9270e42c7371c](http://cnabf.ane.gov.co/cnabf/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=6&Itemid=140&1534-D83A_1933715A=ff0ca17568bee44126aa1658a8f9270e42c7371c). [Último acceso: 20 febrero 2017].

**Primer A. Autor**, nació en Villavicencio – Meta, en 1995. Estudiante de 10mo Semestre de Ingeniería Electrónica de la Universidad de los Llanos. Pertenece al Grupo de Investigación BIATIC y al Grupo de Estudio de Energías Renovables.

**Segundo B. Autor**, nació en Villavicencio – Meta, en 1994. Estudiante de 10mo Semestre de Ingeniería Electrónica de la

Universidad de los Llanos. Pertenece al Grupo de Investigación BIATIC.

**Tercer A. Autor**, nació en Bogotá. Profesor de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Universidad de los Llanos. Pertenece al Grupo de Investigación BIATIC