**INTRODUCCION (4-5 HOJAS)**

En este capítulo se expone la identificación del problema, justificación, estado del arte y estructura del proyecto.

* 1. **Identificación del problema**

Los equipos de análisis del espectro electromagnético representan una dificultad en la accesibilidad debido a sus altos costes de producción, estos equipos especialmente usados para la regularización de las telecomunicaciones son principalmente empleados para identificar señales electromagnéticas ilegales que son transmitidas por fuentes desconocidas. En el país el ente regulador de las telecomunicaciones ARCOTEL dispone de equipos capaces de identificar señales no deseadas a partir del análisis del espectro electromagnético en cada región del país, estos equipos al ser de un costo elevado representan un problema al momento de querer identificar señales ilegales de forma masiva, por lo que este trabajo de titulación expone una solución tecnológica de bajo coste para la identificación de señales no deseadas a partir de Radio Definida por Software y software libre.

Al emplearse la tecnología SDR los costes de producción se reducirán, además de permitir la fácil lectura del espectro electromagnético en nuestro ambiente, el lenguaje de programación Python permitirá que los datos obtenidos con el SDR sean procesados de manera eficiente y de una forma sencilla, al tener varias librerías que permiten un fácil manejo de los datos. En adición otras tecnologías como la Raspberry Pi y lenguajes como HTML y CSS nos permitirán crear un visualización e identificación del espectro mucho más simple y detallada. Por este motivo es necesario que en este trabajo de titulación sean expuestos los detalles técnicos de todas las tecnologías empleadas tanto en hardware (RTL-SDR, Raspberry Pi) como en software (Raspbian, Python, HTML, CSS).

* 1. **Justificación**

En el mercado actual de la tecnología, las telecomunicaciones es una de las industrias más indispensables para el ser humano, pues esta industria es la única capaz de transmitir información en cuestión de segundos a cualquier parte del mundo. Las telecomunicaciones como cualquier tecnología han venido desarrollándose por varias décadas teniendo esta industria muchísima inversión privada y desarrollando soluciones tecnológicas que hace 50 años serían muy difíciles de creer. Esta industria al ser tan necesaria en la sociedad muchas organizaciones han visto la necesidad de crear hardware específico para el análisis de los sistemas de telecomunicación, estos equipos en el apogeo de la industria tenían precios demasiado altos y solamente algunas universidades contaban con laboratorios para transmitir o recibir señales de radio. Con el pasar del tiempo los costes de los equipos de telecomunicaciones han ido disminuyendo e inclusive han llegado a ser accesibles económicamente para cualquier persona con soluciones como el RTL-SDR. Estos dispositivos electrónicos nos permiten obtener la información del espectro electromagnético y procesar esta información por menos de $30.

Siendo el análisis y la regularización del espectro electromagnético uno de los puntos primordiales para una eficiente política de telecomunicación en el país, es necesario crear soluciones tecnológicas de bajo coste que ayuden a la implementación de un sistema autónomo de rastreo de señales no deseadas o señales ilegales. Este trabajo de titulación contempla un estudio minucioso sobre las herramientas necesarias para la creación de dispositivos de detección de señales electromagnéticas, así como la implementación de este sistema con hardware de bajo coste y software libre.

* 1. **Alcance**

Este trabajo de titulación tiene como objetivo el crear un algoritmo capaz de detectar trasmisiones no deseadas utilizando el RTL-SDR Blog3 para el escaneo de las frecuencias en los espectros de Radio Fm y Televisión VHF y UHF, y para el procesamiento de estas señales y toma de decisiones el algoritmo principal del proyecto estará construido con Python especialmente las librerías Pandas y Numpy.

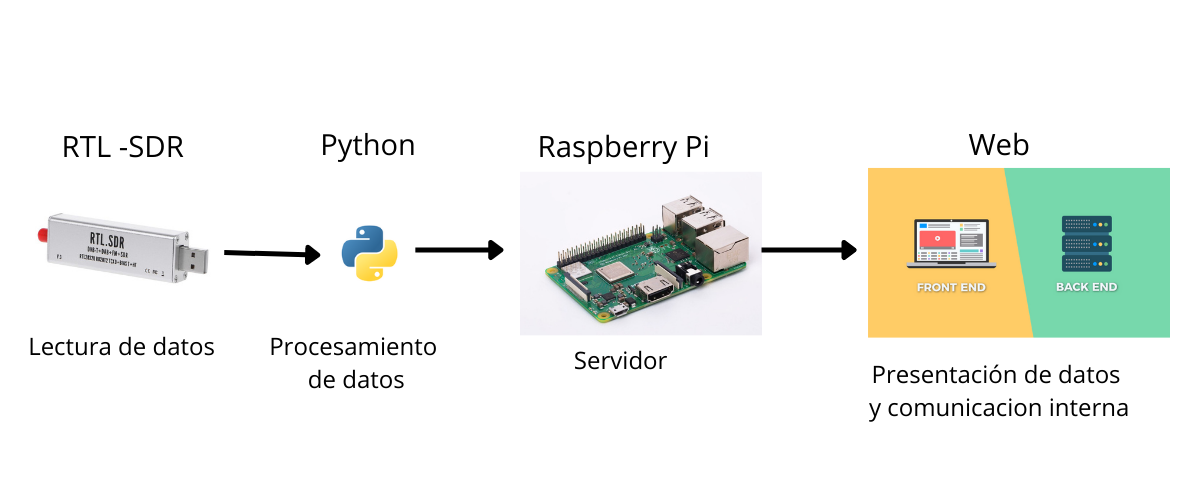


Figura 1.1 Esquema del proyecto

En la figura 1.1 se observa el esquema que sigue el proyecto donde se aprecia que la parte inicial es la toma de datos del espectro electromagnético por parte del dispositivo RTL-SDR, estos datos pueden ser procesados y leídos una vez que se hayan instalado todos los drivers del SDR en el computador, además Python con la Liberia Pyrtlsdr nos permite leer los datos y almacenarlos en una variable de Python para un posterior análisis. Estos datos almacenados en memoria nos permitirán procesarlos con librerías específicas de Python como pandas, este procesamiento incluye una organización y filtrado de los datos al organizarlos en un DataFrame (estructura básica de pandas). Posteriormente al filtrado y ordenamiento de los datos se tiene un proceso de toma de decisiones donde operadores estadísticos como la correlación y el root mean squared error nos permitirán identificar cual señal electromagnética es la no deseada, las librerías usadas para este propósito son Numpy y Scikit Learn, usadas por su fácil manejo de los datos. Para la parte del servidor se empleará una Raspberry Pi 3, donde este recibirá todas las peticiones de escaneo de frecuencias y las procesará conjuntamente con el RTL-SDR y para la interfaz de usuario se empleará Flask, que es un framework backend de Python para la comunicación entre el servidor y el Frontend de la aplicación web. Finalmente, la interfaz del usuario estará desarrollada con HTML y CSS que nos permitirá un fácil manejo del algoritmo creado.

La aplicación web creada, será comprobada en el laboratorio, enviando una transmisión en las frecuencias de FM o TV en diferentes contextos por ejemplo con diferentes transmisores, cambiando la potencia de transmisión, y aumentando o disminuyendo la distancia entre el SDR y el transmisor. Esto con el fin de documentar todas las pruebas realizadas y realizar un análisis con todos los resultados positivos del algoritmo, así como sus falsos positivos.

* 1. **Objetivos** 
     1. **Objetivo General**

Desarrollar e implementar un sistema autónomo rastreador de transmisiones no deseadas de bajo coste

usando RTL-SDR, Raspberry Pi y software libre.

* + 1. **Objetivo Específicos**

1. Analizar el estado del arte

2. Implementar una arquitectura de hardware de bajo coste capaz de recibir transmisiones de radio

3. Diseñar un algoritmo capaz de procesar las señales receptadas y distinguir que transmisión no es deseada

4. Crear una base de datos con toda la información de las transmisiones que nuestra arquitectura ha receptado

5. Diseñar e implementar un servidor web que muestre la información sobre las señales procesadas con una

interfaz amigable al usuario.

6. Implementar un sistema de alertas que muestre al usuario cuando una transmisión no es deseada.

* 1. **Estado del arte**

En el presente apartado se hace una revisión exhaustiva de investigaciones que hablan sobre la detección de señales electromagnéticas mediante el censo del espectro electromagnético con el fin de poner en evidencia la ausencia de información relativa a la detección de señales electromagnéticas no deseadas usando hardware y software libre, se revisara primero los mejores métodos para la detección de señales electromagnéticas dependiendo del medio y cuáles de estos métodos son más eficaces para la detección de estas, posteriormente se hablara sobre los estudios existentes sobre la implementación de hardware y software libre para el procesamiento de señales electromagnéticas y finalmente un acercamiento a nuevas técnicas de procesamiento de señales de radio usando Deep Learning.

1. Raspberry Pi and RTL-SDR for Spectrum Sensing based on FM Real Signals

Según el estudio realizado por [ P. Kolodzy, and I. Avoidance, ‘‘Spectrum policy task force,” Federal Commun. Comm., Washington, DC, Rep. ET Docket, 2002, (02-135)] muestra que el espectro electromagnético es empleado mayormente en un cierto rango de frecuencias como lo puede ser las bandas de comunicaciones móviles o de emisoras FM, mientras que en otros rangos de frecuencias el espectro no está siendo utilizado para ninguna aplicación de radiofrecuencia, además que los usuarios permitidos en usar el espectro electromagnético no transmiten todo el tiempo a todas las ubicaciones geográficas cubiertas por la licencia de uso del espectro.

De acuerdo a la investigación ejecutada por [V.H. Patil, , P. Doshi, , S. Dhomeja, , and S.Thakur, ‘‘SPECTRUM SENSING IN COGNITIVE RADIO,’’ 2017 ] existen diferentes técnicas usadas para el censo del espectro electromagnético, estas se dividen en: Energy Detection (ED), Matched Filter Detection (MFD) y Cyclostationarity based detection (CSD)

Según el estudio realizado por [ **Mohammed Saber, Hatim Kharraz Aroussi, Raspberry Pi and RTL-SDR for Spectrum Sensing based on FM Real Signals ]** indica que la detección por energía es el método más eficiente debido a que compara un umbral (energía del ruido en el canal), y cuando la medición de energía en la señal detectada excede el umbral, la señal ha sido emitida por un usuario, caso contrario no ha sido emitida. Aquí se compara con el método de Matched Filter Detection en donde se necesita cierta información de la señal enviada, como la frecuencia de la portadora, la forma de los pulsos y el tipo de modulación empleada, siendo estos requerimientos inaccesibles cuando se requiera detectar señales no deseadas. También se realiza una comparación con el método Cyclostationarity based detection, donde para la detección de las señales se necesitan un potente convertidor analógico – digital, debido que este método auto correlaciona la señal para detectar periodicidades escondidas en el espectro. Por lo que el método de Energy Detection es el óptimo para realizar una detección de las señales. El desempeño del energy detector puede ser caracterizado usando dos probabilidades, la probabilidad de detección y la probabilidad de una falsa alarma en la detección . Finalmente, el investigador concluye que el método de energy detection es el método más apropiado para el censo del espectro electromagnético debido a la complejidad baja de implementacion y que no requiere información de las propiedades de la señal enviada.

1. Analysis of Area under the ROC Curve of Energy Detection

Según el estudio realizado por [ J. P. Egan, Signal Detection Theory and ROC Analysis.NewYork: Academic Press, 1975] el desempeño de un detector de energía es tradicionalmente caracterizado mediante la curva ROC (Receiver Operating Characteristic), estas curvas son generadas al graficar ambas probabilidades, la probabilidad de detección versus la probabilidad de una falsa alarma en la detección . Donde la probabilidad de detección y la probabilidad de una falsa alarma en la detección depende el umbral del detector de energía.

De acuerdo a la investigación ejecutada por [ F. F. Digham, M. S. Alouini, and M. K. Simon, “On the energy detection of unknown signals over fading channels,” IEEE Trans. Commun., vol. 55, no. 1, pp. 21–24, Jan. 2007] el primer detector de energía usaba un filtro pasabanda ideal con una frecuencia de portadora y un ancho de banda para limitar la potencia del ruido, después la señal de salida del filtro es elevada al cuadrado e integrada en su duración de tiempo para poder medir la energía de la señal recibida en el detector de energía.

1. Big Data Processing Architecture for Radio Signals Empowered by Deep Learning: Concept, Experiment, Applications and Challenges

Según el estudio realizado por [F. Zhou, Y. Wu, Y.-C. Liang, Z. Li, Y. Wang, and K.-K. Wong, “State of the art, taxonomy, and open issues on cognitive radio networks with NOMA,” IEEE Wireless Communications, vol. 25, no.2, pp. 100-108, 2018] en los recientes años, los nuevos métodos de comunicación inteligente como las Radios Cognitivas requieren receptores de radio que posean capacidades de censo del espectro electromagnético de banda ancha, debido a esto se necesita cierto grado de capacidades de procesamiento de grandes cantidades de datos para mejorar el entendimiento del ambiente que rodea al espectro electromagnético, optimizando los sistemas de comunicación, los recursos de red y sobretodo mejorando el desempeño de las comunicaciones inalámbricas.

De acuerdo al estudio de [I. Goodfellow, Y. Bengio, and A. Courville, Deep Learning, MIT Press, 2016.] el Deep Learning ha tenido remarcables progresos en los recientes años y sus aplicaciones están en todas las industrias y los campos de investigación. En el campo del procesamiento de señales electromagnéticas, la aplicación del Deep learning está recién comenzando y recientes aplicaciones incluyen clasificaciones de señales de radio (clasificación de modulación), RF fingerprinting y estimaciones del canal.

Según el estudio de **[Big Data Processing Architecture for Radio Signals Empowered by Deep Learning: Concept, Experiment, Applications and Challenges]** el procesamiento del big data para señales de radio no solamente necesita de la señal a estudiar, si no también necesita del manejo y uso de los datos históricos para poder extraer valor de la gran cantidad de datos. Además, con el continuo crecimiento de los emisores de radio, el incremento de la densidad de cobertura del espectro, las regulaciones se han visto mucho más importantes que antes. Para poder realizar regulaciones más eficaces los departamentos de regulación necesitan identificar fuentes de interferencia, estaciones ilegales y radio bases maliciosas para que a través del monitoreo del espectro electromagnético se detecte comportamientos anormales en el espectro, existiendo 3 tipos de comportamientos anormales:

* Usuarios que por fallas en el equipo o usuarios que por maximizar el desempeño de sus comunicaciones utilizan el espectro de manera incorrecta a las regulaciones estipuladas en cada país, como transmitir a una potencia más elevada de los niveles de operación permitidos, siendo este comportamiento anormal detectado mediante la estimación de los parámetros de la señal recibida.
* Usuarios ilegales que usan formas de ondas diferentes a las permitidas como por ejemplo jammers que maliciosamente corrompen las comunicaciones.
* Usuarios ilegales que imitan sistemas de usuario autorizado, como por ejemplo estaciones de radio ilegales, falsas estaciones de radio.

Después de realizar una amplia revisión sobre el tema de interés para este proyecto de titulación es posible concluir que no existe información clara sobre la detección de señales no deseadas usando herramientas de fuente libre dado que los estudios principalmente se han centrado en el monitoreo del espectro electromagnético en base a regulaciones internacionales, adicionalmente no se conoce herramientas que permitan la detección de señales de radio no deseadas usando Raspberry Pi ni RTL-SDR.

* 1. **Estructura de la tesis**

El siguiente trabajo de titulación está estructurado de la siguiente manera: en el capítulo 2 se exponen todos los conceptos básicos sobre la Radio Definida por Software, especialmente en el hardware empleado, así como el software necesario para un correcto funcionamiento en cualquier computador, en este capítulo se expondrán los conceptos básicos del SDR y las características técnicas del RTL-SDR blog 3. Para el capítulo 3 se expondrá el algoritmo desarrollado en Python que permite la detección de una señal no deseada, donde se abordará conceptos claves como los operadores estadísticos usados y la lógica de programación atrás del algoritmo, así como también la programación para el Backend y Frontend de la aplicación. Para el capítulo 4 se mostrará las pruebas de laboratorio realizadas para corroborar el funcionamiento del algoritmo, analizando los resultados de las pruebas con distintas configuraciones del algoritmo para detectar el mejor escenario donde el algoritmo puede detectar sin problemas una transmisión ilegal. Finalmente, en el capítulo 6 se presentan las conclusiones, recomendaciones del trabajo de titulación.