

**Sistema de irradiación y monitoreo de ondas no ionizantes en la banda de 3.5 GHz sobre un cultivo típico de los ecosistemas colombianos**

Marisol Tique Perez  
Ivonne Soraya Moreno Cárdenas

Universitaria Agustiniiana  
Facultad de Ingeniería  
Programa Ingeniería en Telecomunicaciones  
Bogotá, D.C.  
2022

**Sistema de irradiación y monitoreo de ondas no ionizantes en la banda de 3.5 GHz sobre un cultivo típico de los ecosistemas colombianos**

Marisol Tique Perez  
Ivonne Soraya Moreno Cárdenas

Director  
Guillermo Fernando Valencia Plata

Trabajo de grado para optar al título de Ingenieras en Telecomunicaciones

Universitaria Agustiniiana  
Facultad de Ingeniería  
Programa Ingeniería en Telecomunicaciones  
Bogotá, D.C.  
2022

## Tabla de contenido

Introducción .....	8
Problemática .....	8
Pregunta de investigación .....	9
Idea de proyecto.....	9
Objetivos .....	10
Objetivo general .....	10
Objetivos específicos .....	10
Marco referencial .....	11
Estado del arte .....	11
Marco teórico.....	12
Tecnología 5G.....	12
Tecnología MIMO. ....	12
Radiación. ....	13
Marco legal.....	14
ANE. ....	14
Metodología .....	16
Administración del proyecto .....	17
Cronograma .....	17
Presupuesto.....	18
Capítulo 1 .....	19
Hack RF One .....	19
Software.....	21
Analizador de espectro .....	23
Antecedentes de elección de la Antena. ....	23
Broadband Omni Antenna,700 MHz - 3GHz, 4 - 6 GHz.....	24
Broadband Omni Antenna,700 MHz -3GHz, 4-6 GHz .....	24
Capítulo 2 .....	26
Recepción de señal .....	28
Esquema del sistema de irradiación y monitoreo de ondas no ionizantes en la banda de 3.5 GHz sobre un cultivo típico de los ecosistemas colombianos .....	35

Referencias .....39

## Lista de tablas

Tabla 1.	<i>Cronograma</i> .....	18
Tabla 2.	<i>Presupuesto</i> .....	18
Tabla 3.	<i>Descripción de los LEDs del HackRF One</i> .....	20

## Lista de figuras

<b>Figura 1.</b>	Etapas a nivel mundial sobre el despliegue de la tecnología 5G (Statista, 2022).....	8
<b>Figura 2.</b>	Radiaciones electromagnéticas no ionizantes (Mamroquin, 2013) .....	14
<b>Figura 3.</b>	Hack RF One Fuente: Great Scott Gadgets. ....	19
<b>Figura 4.</b>	Inicio de GNU Radio.....	22
<b>Figura 5.</b>	Analizador de espectro GSP-930 .....	23
<b>Figura 6.</b>	Figura de la frecuencia máxima de la antena ANT500 .....	24
<b>Figura 7.</b>	Bloque WBFM Transmit.....	26
<b>Figura 8.</b>	Conexión de los bloques .....	27
<b>Figura 9.</b>	Diagrama de Flujo de Transmisión de señales .....	27
<b>Figura 10.</b>	Bloque de Recepcion Osmocom Source .....	28
<b>Figura 11.</b>	Bloques Necesarios para visualización de la señal. ....	29
<b>Figura 12.</b>	Diagrama de Flujo de recepción de señal.....	29
<b>Figura 13.</b>	Esquema del sistema de irradiación y monitoreo de ondas no ionizantes en la banda de 3.5 GHz.	35

## **Resumen**

Este trabajo tiene como fin el dar a conocer la relevancia que está tomando la tecnología del 5G a nivel mundial, adicionalmente con la implementación de un sistema de radiación de ondas no ionizantes utilizando un software como GNU Radio Companion para realizar toda la programación de los equipos y las pruebas realizadas en estos para llegar a la frecuencia requerida, que en este caso es 3.5 GHz. Para llevar a cabo este proceso se realizó las investigaciones de los equipos los cuales la Universitaria Agustiniense posee, igualmente la investigación de cada una de las antenas para realizar la transmisión y recepción de la señal.

Además se realiza una captación de los datos obtenidos del sistema por medio de una conexión a base de datos la cual se realizó en el código generado del ejecutable del software GNU Radio Companion del programa de recepción de la señal, en el lenguaje de programación Python, cuya información fue almacenada en un servidor y se generó una aplicación móvil para hacer posible la visualización de los datos en diseñando en Ionic.com este proceso se engloba todo el desarrollo del sistema planteados en los objetivos.

*Palabras claves:* Hack RF One, transmisión, recepción, 5G, bases de datos.

## Introducción

### Problemática

Según el reporte de GSA (Global Mobile Suppliers Association) para diciembre del 2021 más de 250 operadores están desplegando redes 5G basándose en Duplexación por división de tiempo y espectro Sub-6 GHz (Asociación mundial de proveedores Móviles, 2022). Además 487 operadores en 145 países están invirtiendo en la implementación de redes Movibles 5G y en Colombia específicamente en junio del 2021 se encontraba en la etapa de lanzamiento comercial de la tecnología 5G como se pueden observar en la Figura 1 donde se muestra el nivel de desarrollo de despliegue de la tecnología 5G en el mundo. Posteriormente, se empezaría el despliegue de las tecnologías necesarias para la implementación de esta tecnología, Por tal motivo el ministerio de las telecomunicaciones público un plan llamado “plan 5G” encaminado para desarrollar y generar los primeros pilotos para impulsarlo en todas las regiones del país.



**Figura 1.** Etapas a nivel mundial sobre el despliegue de la tecnología 5G (Statista, 2022)

El desarrollo de 5G en Colombia cuando sea implementada, ocasionaría un crecimiento en la actividad económica y, según lo expresado por (MinTIC, 2022), va a “beneficiar a los colombianos que cada vez demandan más velocidades de descarga”.

Pero también a raíz de los grandes cambios tecnológicos, es vital realizar un estudio sobre la afectación de la irradiación electromagnética no ionizante proveniente de las redes móviles de 5G en los ecosistemas colombianos. Ya que es una de las preocupaciones de la ONG



ecologista los cuales han informado su preocupación por la falta de estudios que evalúen la afectación en la población y el ambiente frente a las radiaciones no ionizantes. Además también, la agencia internacional de investigación del cáncer, el consejo de Europa, organizaciones medioambientales y la población expresan su postura de que el despliegue de la tecnología 5G aumentará, según (Ecologistas En Accion, 2020), el riesgo de exposición a la radiación de radiofrecuencias que puede que ocasione enfermedades y riesgos también en los ecosistemas debido a que es necesario utilizar ondas milimétricas para poder transmitir la información y preocupa el rango de frecuencias utilizadas (banda entre 26-28 GHz). Por este motivo se ve la necesidad de crear un diseño de análisis práctico que permita medir la cantidad de potencia y frecuencia que, para nuestro caso, pueda ser implementado en cualquier cultivo que sea irradiado.

### **Pregunta de investigación**

¿Qué elementos de telecomunicaciones son necesarios para poder diseñar un sistema de irradiación electromagnética no ionizante de manera constante en la banda de 3,5 GHz en un cultivo del ecosistema colombiano?

### **Idea de proyecto**

Diseñar un sistema el cual transmita en la frecuencia de las antenas 5G, en este caso la que será usada es una frecuencia de 3.5GHz el cual estará irradiando continuamente un cultivo de *pisum sativum*, y el sistema se encontrara también en constante monitoreo para garantizar que la información sea verídica para que los investigadores; Guillermo Fernando Valencia Plata y Félix Roberto Gómez Devia, ambos profesores de la Universitaria Agustiniiana, analicen si el cultivo que está expuesto a esta radiación no ionizante tendrá cambios dentro del desarrollo y crecimiento de la planta.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Diseñar un sistema de irradiación de ondas no ionizantes en la banda de 3.5 GHz que permita monitorear la permanente exposición de un cultivo de *Pisum sativum*, para que los investigadores de la Universitaria Agustiniense puedan analizar la respuesta de los ecosistemas colombianos.

### **Objetivos específicos**

- Identificar qué elementos son necesarios y que características deben tener, para irradiar ondas no ionizantes en la banda de 3.5 GHz.
- Diseñar un sistema de irradiación no ionizante en la banda de 3,5 GHz.
- Desarrollar un sistema de recepción para el monitoreo de la irradiación al cultivo y para la generación de alarmas sobre fallas que puedan presentarse.
- Implementar el sistema de irradiación para validar su correcto funcionamiento.

## **Marco referencial**

### **Estado del arte**

Según, (Parrales, 2021), el estudio se realizó en Cantón Jipijapa en el cual quería determinar la causa/efecto que existe al mantenerse constantemente irradiado por las ondas de radiofrecuencia. Con el fin de hallar los impactos que tienen sobre la calidad de la vida humana y del entorno como animales, vegetación, entre otros.

Se puede notar que esta radiación tiene un efecto negativo en el cuerpo humano, dependiendo de cada persona, será a corto o largo plazo. Se usaron varios métodos para la investigación para recopilar datos exactos y sean significantes para la investigación.

En Ecuador, el Reglamento General a la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, artículo 22, refiere a que los abonados del servicio, que son Clientes y Usuarios están con el derecho de estar informados acerca sobre la salud que puede causar peligros a la salud en consecuencia por la instalación, mantenimiento y uso de las redes. Adicionalmente, que este umbral no supere lo permitido a lo recomendado por la ICNIRP (Comisión Internacional para la protección contra las Radiaciones No Ionizantes), dado que la recomendación es que solo sea 2W/Kg en promedio sobre una masa de un tejido de 10 gr.

En los resultados de las personas encuestadas se puede deducir que los habitantes en Jipijapa tienen un conocimiento básico sobre la radiación no ionizante y las ondas electromagnéticas, no obstante, no tienen el conocimiento del nivel de la radiación que tienen las ondas de radiofrecuencia. A pesar de que cuentan con manuales de uso de los equipos tecnológicos, estos no son leídos por el usuario final.

Los habitantes que están constantemente o viven cerca de antenas, bases o estaciones de Telecomunicaciones, no se han cuestionado de los efectos que tienen estas radiaciones, aunque saben que pueden ser altamente nocivas.

Para (Muñoz, Rodrigo, & Rodrigo, 2018), el inicio de la carrera por alcanzar la tecnología 5G para las grandes empresas de telefonía, ya que están totalmente sumidas en un diseño de red apto. Telefónica ha tomado dos grandes ciudades para que sean el laboratorio de la implementación del prototipo que tienen, se enfocan en Segovia. Porque, tanto el Gobierno, Telefónica y el propio Ayuntamiento.

Para mediados del 2015 se empieza a hablar de una nueva generación en telefonía móvil en el cual esperan desarrollar al máximo el Internet de las Cosas (por sus siglas en ingles

IoT). Ya se han realizado pruebas y estas las empezó a desarrollar un grande tecnológico como lo es Samsung en Corea del Sur teniendo como éxito en las primeras pruebas en un ambiente real, esto causó que su competencia realizará experimentos con 5G hacerla una verdadera revolución de las comunicaciones móviles.

En España consideran importante y un gran paso la implementación de esta tecnología para que la sociedad tenga una transformación digital y sobre la economía.

### **Marco teórico**

#### **Tecnología 5G.**

Se define como la quinta generación de redes móviles de las que conocemos actualmente esto llevará lentamente a que la tecnología 1G quede en algún momento obsoleta. Hay que recordar que ha cambiado cada generación.

1G abrió campo a la comunicación con los teléfonos móviles que se usaban para llamadas, la tecnología 2G llegó con la incorporación de SMS e iniciando lentamente una herramienta de comunicación que sería llamada “smartphone”. La tecnología 3G impactó en la comunicación que teníamos, dado que se introdujo la conexión a internet y con esto llegó la banda ancha (4G).

Traerá una conexión más rápida y se logrará navegar hasta 10 GBps, reduciendo considerablemente la latencia. Según (Flores), los operadores indican que podrá disminuirse hasta 5ms es tan imperceptible que el parpadeo del ojo humano (que es de 300 ms) dura más de la velocidad que vamos a manejar con esta implementación.

Adicionalmente, se podrá elevar bastante el número de los dispositivos conectados, ya sea los vehículos inteligentes, robots industriales, mobiliario urbano, etc. Compartirán información en tiempo real.

#### **Tecnología MIMO.**

MIMO (Multiple-input Multiple-output) es una tecnología que proporciona una mejor calidad en las redes inalámbricas y ayuda a generar una mejor cobertura debido a que emite una señal inalámbrica de manera constante con varias antenas el cual tiene un router, con MIMO se podrá tener más cobertura utilizando solo una antena. Esta Tecnología está basada en el estándar 802.11n que se trata básicamente en utilizar múltiples antenas para acelerar la transmisión de datos.

Por lo cual es una de las tecnologías que se aplicará la implementación de 5G ya que además de mejorar los problemas de latencia y una mayor capacidad de transferencia, con la tecnología Massive MIMO se podrá administrar un tráfico de datos mayor al manejado actualmente, que esta tecnología Massive MIMO utiliza 128 antenas que permiten ajustar la intensidad de la señal que transmite con el objetivo de que el receptor reciba la señal de manera eficiente. Donde según artículo (Lopez, 2019) esta tecnología será vital en la implementación de 5G por su capacidad de manejo de un tráfico superior. Esta tecnología está siendo muy utilizada dentro de los elementos de transmisión y recepción en un sistema de telecomunicaciones.

### **Radiación.**

Es un fenómeno donde los cuerpos emiten energía por medio de emisión de ondas electromagnéticas donde su energía se transporta de manera que provoca ionización en el medio.

La radiación ionizante, corresponde a aquellas ondas electromagnéticas con una frecuencia mayor (rayos X y gamma), con una carga suficiente para ionizar la materia, ya sea con carga positiva o negativa, esto pasa cuando son convertidos los átomos de las moléculas en iones de carga. Tiene relación con la frecuencia, dado que, cuando se eleva la frecuencia, la energía que es irradiada tendrá un cambio notable.

En las radiaciones no ionizantes, provienen de varios artefactos que son creados por los hombres, como por ejemplo un secador de cabello, un microondas, un televisor, etc. Como no tiene la energía suficiente la ionizar la materia, se denominan no ionizantes.

Ya que no son capaces de romper enlaces atómicos, según (Comisión Nacional de Comunicaciones, 2022), cabe destacar la radiación ultravioleta, la luz visible, la radiación infrarroja, los campos de radiofrecuencias y microondas, y los campos de frecuencias extremadamente bajas. Adicionalmente, aun cuando sea alta la potencia, no podrá su estructura molecular ni celular.

Como se puede evidenciar en la Figura 2, representan las frecuencias en las cuales corresponden al Espectro Radioeléctrico.



**Figura 2.** Radiaciones electromagnéticas no ionizantes (Mamroquin, 2013)

## Marco legal

### ANE.

Organización de recomendaciones y normativas sobre la exposición a campos electromagnéticos está relacionado con las radiaciones no ionizantes, la cual reglamenta los límites máximos de exposición de los seres humanos a la exposición de campos electromagnéticos, el cual se basa en estudios realizados como el ICNIRP (comisión internacional para la protección de las radiaciones no ionizantes). La ANE es la encargada de realizar las modificaciones en la normativa sobre la exposición a campos electromagnéticos.

Algunas de las resoluciones de las normativas correspondientes al ANE:

- Registros Mediciones CEM 2021: listado de empresas y personas naturales autorizadas para realizar mediciones en campos electromagnéticos.
- AIN resolución 774 de 2018 es la resolución activa que se encarga de la regulación de exposición a campos electromagnéticos, además de reglamentar las condiciones técnicas en la implementación de antenas.

CRC: la comisión de regulación de comunicaciones según el artículo 22 de la ley 1341 de 2009 y el artículo 334 permite al estado asegurar la distribución y administración de la prestación de servicios públicos, en el tema de las telecomunicaciones se debe tener en cuenta en la implementación de las tecnologías 5G ya que este ente tiene también la función de expedir regulaciones en aspectos técnicos como infraestructura, acceso y uso de las redes.

además de encontrarse estipulado las responsabilidades de los proveedores y servicios de telecomunicaciones.

ICNIRP: comisión internacional para la protección de las radiaciones no ionizantes genero unas restricciones Básicas llamadas GUIAS ICNIRP 1998 que en sus aperturas presenta las diferentes condiciones donde analiza en qué nivel los campos electromagnéticos podría provocar efectos a los seres humanos.

UIT: Unión internacional de Telecomunicaciones son agencias especializadas del sistema de naciones unidas que tiene como función de la estandarización y estudios frecuentes sobre la exposición radiación o ionizante con la organización de ICNIRP y ANE en busca de la protección de los ambientes Electromagnéticos.

Sobre este lineamiento de desarrollo las recomendaciones IUT-SG5 las cuales parte como primera medida sore lo anteriormente teniendo en cuenta los sistemas y equipos implementados dentro de las telecomunicaciones estableciendo rangos de exposición los cuales están consignados en las recomendaciones UIT-T series De las cuáles las más destacadas son: UIT-T K.52, UIT-T K.61, UIT-T K.70 y UIT-T K.83.

MinTIC: Encargado de generar políticas, Metodologías y control dentro de las telecomunicaciones para garantizar la eficiencia y gestión de los recursos. La cual se garantiza en la ley 152 de 2018 generada con el objetivo de generar modernización en las TIC y el 70% de las personas estén conectadas según el pacto de plan de desarrollo del país. (MinTIC, 2022)

## **Metodología**

En la ejecución del proyecto vamos a utilizar tanto la metodología cualitativa en la etapa inicial ya que es necesario recopilación de información referente a los diferentes conceptos implicados en el proyecto para iniciar ya con la etapa de la metodología cuantitativa ya que este proyecto principalmente está enfocado hacia la practica experimental para hacer posible la implementación del diseño del sistema de irradiación continua y monitoreo en el cultivo de la planta *pisum sativum* que estará localizada en la huerta de la Universitaria Agustiniana, es necesario indagar sobre las características de propagación de las ondas radioeléctricas utilizadas para el despliegue de 5G en bandas medias como: potencia, frecuencia, distancia promedio en que usualmente se encuentran de las regiones de un cultivo en los ecosistemas colombianos. Adicionalmente, examinar que características tienen los equipos de telecomunicaciones de la Universitaria Agustiniana para así poder determinar la funcionalidad en la ejecución del sistema. Con la finalidad de generar la recolección de información necesaria para que en la siguiente etapa pueden realizar los respectivos análisis resultantes del experimento.



## **Administración del proyecto**

### **Cronograma**

1. Indagar sobre la potencia de transmisión sobre la tecnología 5G
2. Indagar sobre las antenas utilizadas en la implementación de las nuevas redes 5G para el proceso experimental, en este caso de uso en el cultivo *pisum sativum*.
3. Solicitar al personal del laboratorio el inventario de los artículos disponibles para el uso.
4. Investigar sobre cada uno de los elementos de interés.
5. Analizar las características de cada uno y escoger los que son aptos para irradiar en una frecuencia de 5G
6. Realización de la programación del software GNU Radio en la transmisión
7. Realización de la programación del software GNU Radio en la Recepción.
8. Se procederá con la implementación del sistema, teniendo en cuenta los elementos y las variables.
9. Estudiar los diferentes lenguajes de programación y almacenamiento de bases de datos
10. Analizar cuáles son los datos necesarios para mantener en funcionamiento el sistema de irradiación para el monitoreo
11. Montar el aplicativo en el lenguaje escogido con las variables contempladas para el monitoreo
12. Analizar la herramienta que de la extracción de la data genere alarmas si se presentan fallas
13. Vincular el sistema de monitoreo con el elemento de recepción del sistema de irradiación.
14. Realizar pruebas técnicas del correcto funcionamiento del sistema de monitoreo

Tabla 1.

*Cronograma*

Actividades	Semanas															
	Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	■	■	■	■												
2	■	■	■	■												
3	■	■	■	■												
4	■	■	■	■												
5					■	■	■	■	■	■						
6					■	■	■	■	■	■						
7					■	■	■	■	■	■						
8					■	■	■	■	■	■						
9											■	■	■	■	■	
10											■	■	■	■	■	
11											■	■	■	■	■	
12											■	■	■	■	■	
13											■	■	■	■	■	
14											■	■	■	■	■	

**Presupuesto**

Tabla 2.

*Presupuesto*

Concepto	Valor unitario	Cantidad	Valor
HackRF One GREAT SCOTT GADGETS	\$ 1.718.994	2	\$ 3.437.988
Broadband Omni Antenna	\$461.698	2	\$ 923.396
Trasportes	\$ 2.650	120	\$ 318.000
Mano de Obra	\$ 442.221	3	\$ 1.326.663
<b>Total</b>			<b>\$ 6.006.047</b>

## Capítulo 1

Para iniciar con el análisis de los elementos necesarios en la implementación del sistema de irradiación se debe tener en cuenta los parámetros que caracterizan la tecnología 5G, para así poder determinar cuál es la mejor opción para manejar y hacer posible su implementación.

Por ejemplo, es requerido que la tecnología 5G se encuentre entre los siguientes rangos de frecuencia por debajo de 1 GHz, entre 1 GHz y 6 GHz (rango del proyecto) y mayor a 6 GHz. Además de una RSRP (potencia de señal recibida) apropiada debe ser de mayor o igual a -80 dBm, si es menor o igual a -120 dBm (ZYXEL, 2022) la conexión sería muy débil y potencia de la señal o intensidad sería mínima.

En el caso de la calidad de la señal recibida (RSRQ) se debe garantizar que mayor o igual a -10 dB o -10 dB a -90 dB. Otros de los parámetros que se deben tener en cuenta dentro de las variables a ser controladas en los elementos a ser implementados es la relación señal a ruido (SINR O CINR), la cual se debe mantener por encima de cero ya que si sucede lo contrario se generará mucho más ruido en la señal y se tiende a perder la conexión de la señal transmitida.

### Hack RF One

El Hack RF One, por sus siglas HRF1, es un dispositivo desarrollado por Michael Ossmann (EE. UU) implementado para trabajar con señales de radio que tiene la capacidad de “según su configuración transmitir y recibir información en un rango de 1MHz hasta 6Ghz que puede operar en un modo bidireccional” (Half – Duplex).



**Figura 3.** Hack RF One Fuente: Great Scott Gadgets.

El HRF1 es un dispositivo de radio definido por software (por sus siglas en inglés SDR, software Defined Radio), con la capacidad de digitalizar las señales de radio que son transmitidas o recibidas por el equipo. Dado que trabaja con varias frecuencias, incluye dispositivos que trabajan con Bluetooth, Radio FM, tecnología NFC y móviles celulares.

Trabaja en conjunto con un computador y un software el cual pueda procesar el SDR, como por ejemplo el GNU Radio Companion (Great Scott Gadgets, 2022). El HRF1 viene con una antena ANT500 y un cable micro-USB, hay que tener en cuenta que el uso de este sin la antena puede ocasionar un daño grave al funcionamiento correcto. En la tabla que a continuación se relaciona hay una breve descripción de cada uno de los componentes que hacen parte del dispositivo.

Tabla 3.

*Descripción de los LEDs del HackRF One*

<b>Botón/LED</b>	<b>Función</b>
Botón Reset	Es usado para reiniciar el HackRF One, esto es equivalente en desconectar y volver a conectar el equipo.
3v3 LED 1V8 LED RF LED	Estos tres LEDs se usan para indicar la alimentación que debe tener y tienen que estar encendidos cuando el equipo esté conectado. Los diferentes colores son para diferenciarlos uno del otro
USB LED	Nos indica que el HackRF One se está comunicando por USB
DFU Button	Usado para instalar o actualizar el firmware si este no está trabajando adecuadamente o nunca ha sido instalado
RX LED	Su color es el naranja en el cual indica que está recibiendo información
TX LED	Su color es el rojo en el cual indica que está transmisión información

Características y funcionalidades del HackRF One:

1. Es compatible con los siguientes programas para SDR tanto en Windows como en Linux, lo que incluye a SDR# y GNU Radio. (Haro, 2017).
2. Es una plataforma de código totalmente abierto.

3. El dispositivo se puede alimentar por medio de USB
4. El uso de interfaz USB 2.0 de alta velocidad.
5. Alimentación del puerto de antena controlada por software (máx. 50 mA a 3,3 V).  
(HackRF's documentation., 2022)
6. Conector de antena SMA hembra (50 ohmios).

Este equipo nos permitirá realizar la emulación en la frecuencia de 3.5 GHz. El HRF1 tiene una antena ANT500 y está diseñada para operar desde los 75 MHz hasta 1 GHz, con estas características realizamos pruebas para el límite de transmisión que tenía la antena, Realizando el proceso configurado en el GNU Radio el cual está diseñado para transmisión de audio se inició con el límite que indica el fabricante (Great Scott Gadgets) que es de 1 GHz y fue aumentando poco a poco hasta llegar a 2.7 GHz, cuando se configuró para la transmisión en 2.8 GHz la otra antena que está configurada para la recepción no tenía recepción del audio, por lo cual no alcanzaba a llegar a la frecuencia necesitada en el proyecto y se requiere de otra antena.

### **Software**

El HackRF One es operado usando GNU Radio Companion SDR, se utiliza como medio para capturar, analizar y transmitir frecuencias de radio generadas a partir de otro dispositivo de hardware (GNU Radio project, 2022).

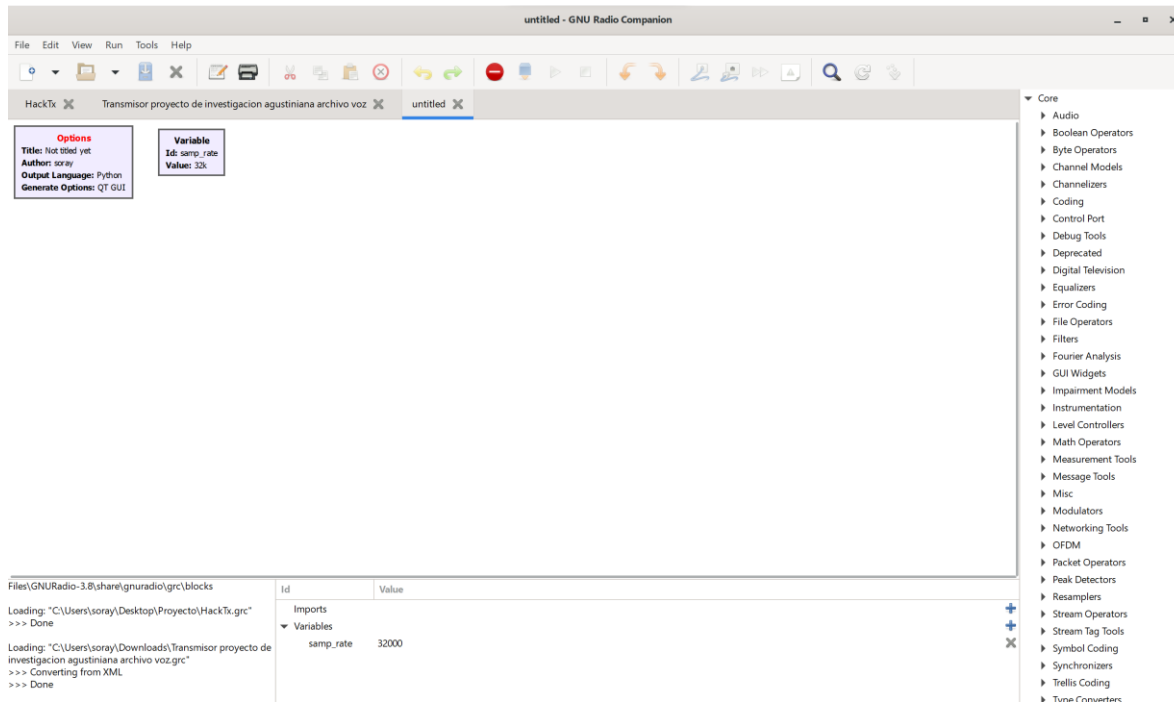
GNU Radio es un grupo de herramientas de desarrollo de software de forma gratis y con código abierto que proporciona unos bloques para el procesamiento de las señales con el fin de implementar radios de software. Es muy utilizado para los ambientes de investigación, académicos, aficionados y de gobierno con el objetivo de dar un apoyo a la investigación de las comunicaciones inalámbricas como en el mundo real.

El beneficio de este software es que, como es posible reemplazar fácilmente el sistema de radio, el hardware se puede utilizar para crear varios tipos de radio con diferentes estándares de comunicación.

Este software cuenta con Blogs en los cuales se encuentran actualizaciones, conjuntos de tutoriales para personas de un nivel principiante y noticias sobre un nuevo patrocinador que cuenta llamado Deepwave Digital.

También cuenta con una sección de documentación en que están a nivel de usuario en el que explican el uso de los bloques, aplicaciones de ejemplo y guías, un buen lugar para quien es nuevo en el uso del software.

El código de GNU Radio es desarrollado principalmente con el lenguaje de programación Python, no obstante cuando es requerido un alto rendimiento en una implementación de los algoritmos se utiliza C++ (Jaimes & Lazcano, 2019), También permite el desarrollo de las aplicaciones usando la interfaz gráfica de usuario de GNU Radio, ya que es posible realizar sistemas de comunicación a partir de bloques en los cuales realizan funciones básicas de procesamiento de las señales, gracias a esto no es necesario escribir alguna línea de código y los modelamientos de un nuevo sistema son sencillos para los estudiantes lo realicen de una forma rápida y flexible.



**Figura 4.** Inicio de GNU Radio

En la Figura 4 se muestra la interfaz de usuario de GNU Radio en el cual se van agregando los bloques que pueden realizar desde operaciones matemáticas básicas hasta la operación más compleja del procesamiento de una señal digital. Los bloques disponibles son incluidos moduladores, demoduladores, filtros, generadores de señales entre otros. Estos también incluyen bloques de entrada/salida que tienen acceso a la tarjeta de sonido del computador, al sistema de archivos y módulos de radio frecuencia con interfaz USB o Ethernet.

## Analizador de espectro

Es un analizador de espectro de 3 GHz de gran relevancia en el proceso de análisis de espectro en radio frecuencias. El cual nos proporciona una gran estabilidad de alta frecuencia de 25ppb (partes por un billón) y un nivel de ruido bajo de -142 dBm (newark, 2022). El cual disponemos en los laboratorios de la universidad y con el cual estamos trabajando en el proyecto.



**Figura 5.** Analizador de espectro GSP-930

Este analizador de espectro es usado para visualizar la potencia que tiene la antena Broadband Omni Antenna 700 MHz – 3 GHz, 4 - 6 GHz.

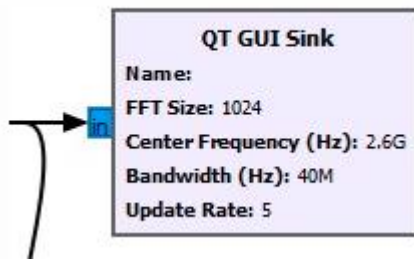
Características del Analizador de espectro GSP-930:

- Estabilidad de alta frecuencia.
- Alta estabilidad para mediciones de frecuencia y amplitud.
- Análisis de demodulación AM/FM.
- Diseño fácil de usar.
- Interfaces: host/dispositivo USB, RS-232, LXI, microSD, GPIB.
- Sensor de potencia de 6 GHz.

## Antecedentes de elección de la Antena.

Inicialmente se realizaron pruebas con la antena ANT500 la cual se revisó sus características y solo permitía transmitir a un 1 GHz, lo cual era un obstáculo para poder realizar el sistema de emulación de la tecnología 5G y en la comprobación experimental, aunque en su configuración determinaba que transmitía a la frecuencia mencionada

anteriormente, se pudo comprobar que su máxima frecuencia de transmisión y recepción en el software utilizado GNU RADIO es de 2.6 GHz. Por tal motivo se dejó como primera opción la antena Broadband Omni Antenna, que, si transmite en las frecuencias 3.5 GHz.



**Figura 6.** Figura de la frecuencia máxima de la antena ANT500

### **Broadband Omni Antenna 700 MHz – 3 GHz, 4 - 6 GHz**

Dentro de la validación de los componentes necesarios para la transmisión de la frecuencia de 3.5 GHz se establece como elemento importante en la implementación del sistema este tipo de antena ya que en la realización de pruebas de transmisión y recepción fue posible transmitir en la frecuencia deseada para el proyecto.



### **Broadband Omni Antenna 700 MHz – 3 GHz, 4-6 GHz**

Permite a los usuarios a transmitir y recibir en un entorno del mundo real en las cuales otros tipos de antenas no se pueden conectar. Está se puede instalar en cualquier superficie metálicas y la estabilidad de la señal mejora, también en el rendimiento de cualquier dispositivo de datos o voz.



Cuenta con una ganancia de 5dB y tiene un tipo de conector N-Hembra, en el cual se conecta con un adaptador para que se pueda conectar un cable macho SMA, así poder conectar el HRF1 con la antena.

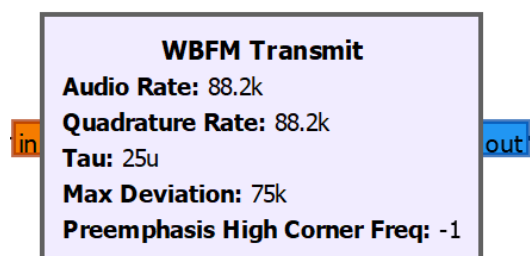
## Capítulo 2

Para la configuración del HRF1 investigamos sobre el software GNU Radio y los bloques que este software maneja para realizar la transmisión y recepción de información. Se tuvo en cuenta dos diseños para la transmisión, el primer diseño usaba el micrófono del computador por lo cual una persona o algo debía estar hablando, dado que la transmisión debía ser continua y sin interrupciones optamos por el segundo diseño que es la transmisión de una canción la cual apenas acaba, está vuelve y se repite.

Para el diseño de la transmisión se usó 7 bloques de GNU Radio. Al iniciar este software ya tiene dos bloques presentes en el diagrama de flujo que son: Variable y Opciones, que los valores que están allí son predeterminados. En el bloque de Variable, tenemos la frecuencia de muestreo (`samp_rate`) en los cuales tiene dos recomendaciones, que la más baja sea de 2M y la más alta sea de 20M. Para la recepción del audio se modificó este valor a 4M porque se escucha sin alteraciones y sin ruidos.

Para iniciar la transmisión de audio, se debe tener un archivo Microsoft PCM (código de pulso modulado, `.wav`) (GNU Radio, 2022), estos archivos pueden tener su propia frecuencia de audio y para confirmar esta información se accede a las propiedades del archivo (haciendo clic derecho en el archivo en la carpeta y verificando sus Propiedades > Audio > Frecuencia de muestreo).

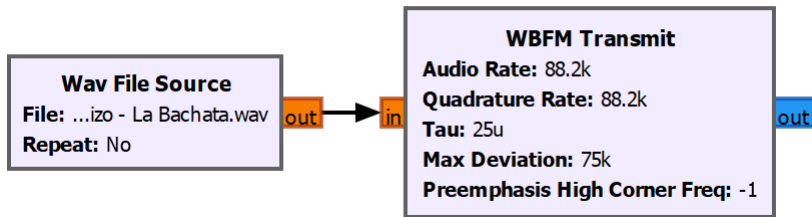
Ya teniendo el audio descargado en el formato indicado, se agrega el bloque “Wav File Source” y desde las opciones se busca el archivo “.wav”, ya que este ayuda a leer los archivos de audio. Se agrega el bloque “WBFM Transmit”. Generará que el sonido sea más claro cuando sea transmitido desde el HRF1 sin disminuir el volumen.



**Figura 7.** Bloque WBFM Transmit

Entonces se establece la velocidad de audio como la velocidad de la cuadratura, este debe ser cuatro veces la velocidad del audio, en este caso es de 88200. Se establece en el parámetro de Tau en 25M, ya que es la constante de tiempo de preénfasis, con el fin de aumentar el

volumen. La salida del bloque “Wav File Source” se conecta a la entrada del bloque “WBFM Transmit” con una flecha.

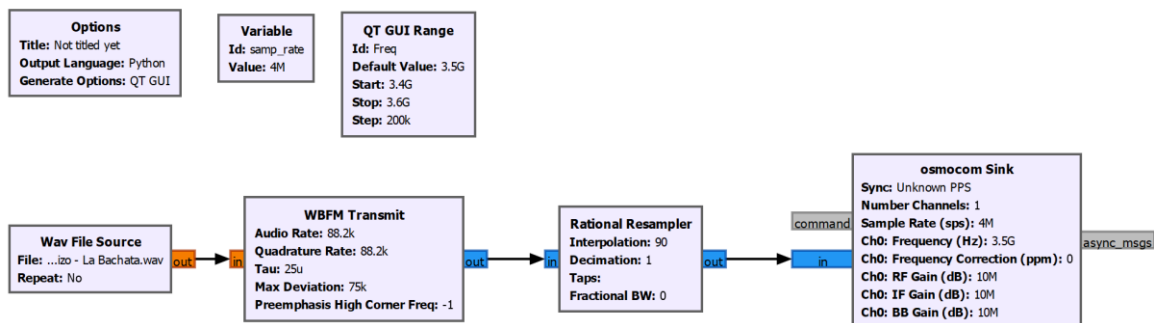


**Figura 8.** Conexión de los bloques

Siguiendo con el diagrama de flujo, se agrega el bloque “Rational Resampler” y en la interpolación se establece un valor de 90 para diezmar la frecuencia de muestreo. Es decir, en GNU Radio diezmar es sinónimo de dividir y cuando se habla de interpolar es sinónimo de multiplicar, esto sirve para que las frecuencias con las que llegan las señales y la frecuencia que se define sean ajustadas con un “Rational Resampler” que lo que hace este bloque es que sea multiplicado por un factor a la frecuencia que llega (interpolación/diezmar).

Con el bloque QT GUI Range es usado para determinar la estación de transmisión y se realiza las siguientes modificaciones: en ID cambiamos el nombre y se deja en “freq” y las entradas llamadas “Default Value y Start Value” las dejamos en la frecuencia en la cual se va a operar, este caso en “Default Value” queda con el valor de 3.5 GHz y “Start Value” queda con un valor de 3.4 GHz y el valor de “Step” en 200K que representa el ancho de cada canal de radio FM.

Por último, se agrega el bloque llamado “Osmocom Sink” que permite realizar la transmisión de las señales, en las opciones se tiene que configurar el “Ch0: Frecuency” y se agrega el valor “freq” en que permite el uso del control deslizante en una ventana emergente.

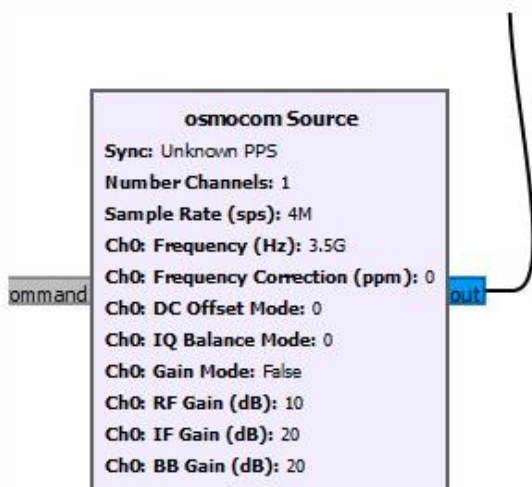


**Figura 9.** Diagrama de Flujo de Transmisión de señales

## Recepción de señal

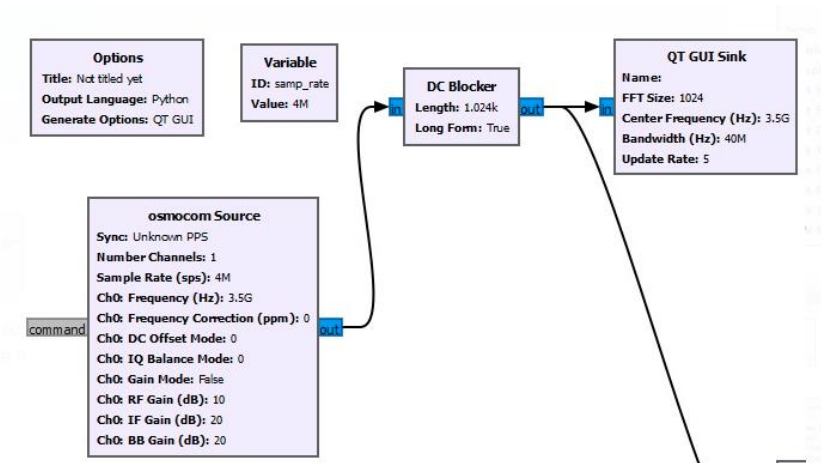
Para el diseño de la Recepción se usó 9 bloques de GNU Radio. Al iniciar este software ya tiene dos bloques presentes en el diagrama de flujo que son: Variable y Opciones, que los valores que están allí son predeterminados. En el bloque de Variable, tenemos la frecuencia de muestreo (`samp_rate`) en los cuales tiene dos recomendaciones, que la más baja sea de 2M y la más alta sea de 20M. Para la recepción del audio se modificó este valor a 4M porque se escucha sin alteraciones y sin ruidos.

En cuanto a la recepción se configura el bloque Osmocom Source que permite recibir los datos obtenidos del HackRF One. Para este caso la frecuencia configurada es de 3.5 GHz, que es la frecuencia de transmisión.



**Figura 10.** Bloque de Recepción Osmocom Source

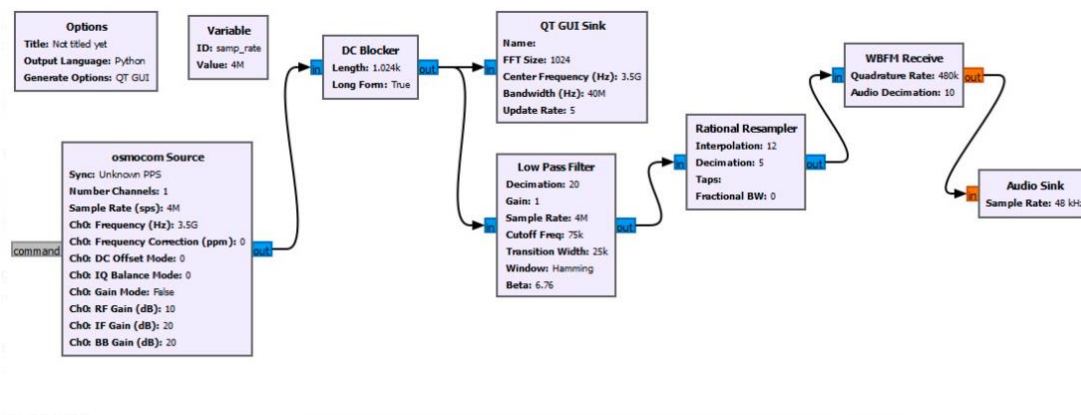
Después de la obtención de datos la salida del bloque Osmocom Source entra a siguiente bloque DC Blocker que su función dentro del sistema es la de filtrar la corriente continua del dispositivo HackRF One para que no se confundida como una señal, cuando se genera la creación del bloque QT GUI Sink que es el que permite ver las señales. Por tal motivo estos dos bloques esta conectados dentro del programa de recepción.



**Figura 11.** Bloques Necesarios para visualización de la señal.

Ya con los bloques configurados anteriormente se puede visualizar la señal, pero es importante realizar la inclusión de más bloques que cumplan con la función de mejorar la señal y evitar la interferencia del ruido. Como el Bloque Low Pass Filter que se enfoca en el centro de la frecuencia y reduce el ruido este bloque filtra las señales innecesarias. Y estará conectada la salida del bloque DC Blocker. Estos bloques permiten que la señal sea lo más limpia posible, pero en este proceso la es dividida ya que en el Bloque Low Pass Filter se genera un muestreo de 20 (lo cual dividirá la frecuencia de muestreo entre 20), es necesario modificar esa Frecuencia de muestreo para llegar a la frecuencia de en este caso audio deseada.

Se agrega el bloque “WBFM Recieve” donde se establece la velocidad en que se escuchara el audio configurado en el Flujo de Transmisión de señales y por último el Bloque Audio Sink que es el que permite escuchar en este caso el audio transmitido por la frecuencia de 3.5 GHz.



**Figura 12.** Diagrama de Flujo de recepción de señal

### Capítulo 3

En los dos primeros capítulos se realizó todo el procedimiento de investigación de elementos necesarios para la implementación del sistema y la generación del diseño de irradiación en la frecuencia 3.5 GHz, este capítulo se desarrolla la implementación de un sistema de monitoreo para que se puedan generar alarmas, en este en la ejecución se generó por medio de una base de datos que está en un servidor web, en este caso se utilizó 000webhost y se visualiza en el programa MySQL Workbench, por medio de una conexión el cual se tiene credenciales dadas por el servidor, esta base de datos muestra la información recibida por el sistema implementado en GNU Radio el cual es almacenado los datos generados de la señal. El cual será conectado con una aplicación móvil que en donde se visualizará los registros de la base de datos y la notificación según la programación de las alarmas que se asignen. A continuación, se realizará la explicación a detalle de la ejecución de este objetivo.

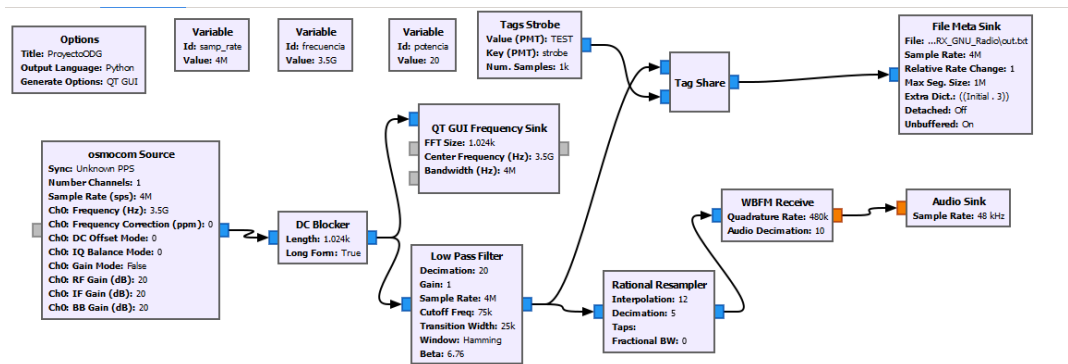
#### **Código generado en GNU Radio en lenguaje Python**

En este código está el diseño del sistema de radiación en lenguaje de Python ya que es uno de los lenguajes de programación que se maneja. Este código también se encuentra las líneas de código de la conexión a la base de datos ya que GNU Radio no permite generar cambios en el código exportado al ejecutar el programa.

Esta es la conexión base de datos:

```
#proceso para insertar
mydb = mysql.connector.connect(
    host="btyl4qb74mmnshfrxsid-mysql.services.clever-cloud.com",
    user="urr05itxj2nfxvsl",
    password="JtW7VorbVCDMJObDVY0",
    database="btyl4qb74mmnshfrxsid"
)
mycursor = mydb.cursor()
```

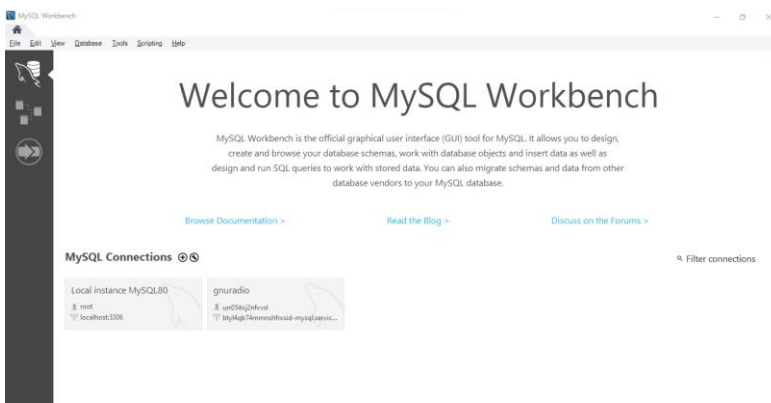
El Código completo del programa de irradiación lo pueden encontrar en el Anexo 1 Código generado del sistema completo en Python del documento que en síntesis corresponde al código interno del sistema que continuación relaciono o en la siguiente imagen.



**Figura 13.** Programa de recepción de señal

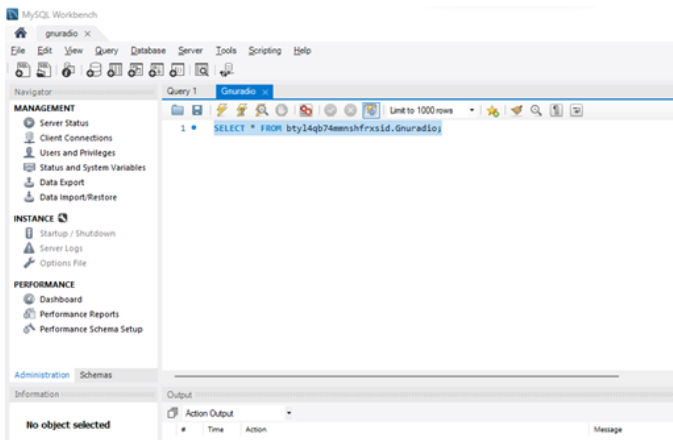
### Validación de conexión a la base de datos

En este apartado se utiliza MySQL Workbench valida la información que se envía a la base de datos el cual se realiza una conexión con el servidor y con la información de las credenciales para el ingreso.



**Figura 14.** Conexión del servidor con MySQL Workbench

El ingresar al programa nos muestra la tabla donde se genera la captura de los datos desde GNU Radio.



**Figura 15.** Tabla de datos almacenamiento de datos

En esta tabla ya se conecta la información recibida en el sistema de recepción de radiación en la variable `self.qtgui_freq_sink_x_0.qwidget()` que es la que almacena la información en el programa ejecutado en GNU Radio y es posible por la inclusión del bloque `qtgui_freq_sink`.

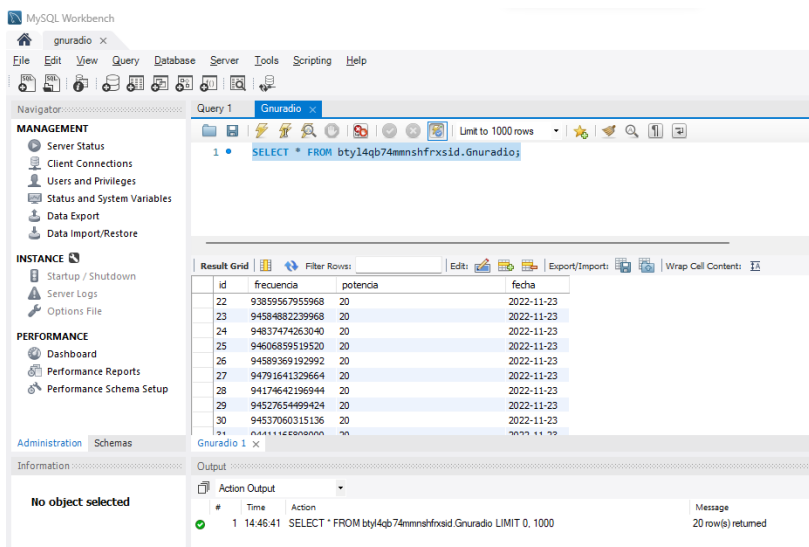


Figura 16. Muestra de datos extraídos de GNURADIO

## Generación de aplicación Móvil

Para la ejecución de la visualización de los registros obtenidos y la notificación se generó una aplicación Móvil a través de Ionic Framework la cual también está conectada al servidor.

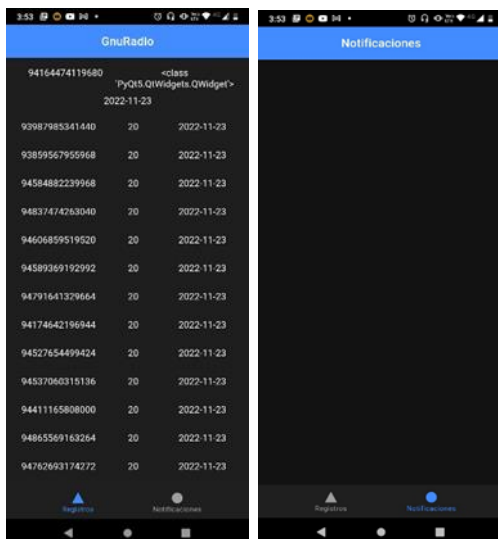


Figura 17. APK aplicación móvil visual desde un celular



El cual genera los siguientes archivos: el archivo config.php es el que genera la conexión a la base de datos y el archivo obtener.php es el que obtiene los valores registrados en la base de datos.

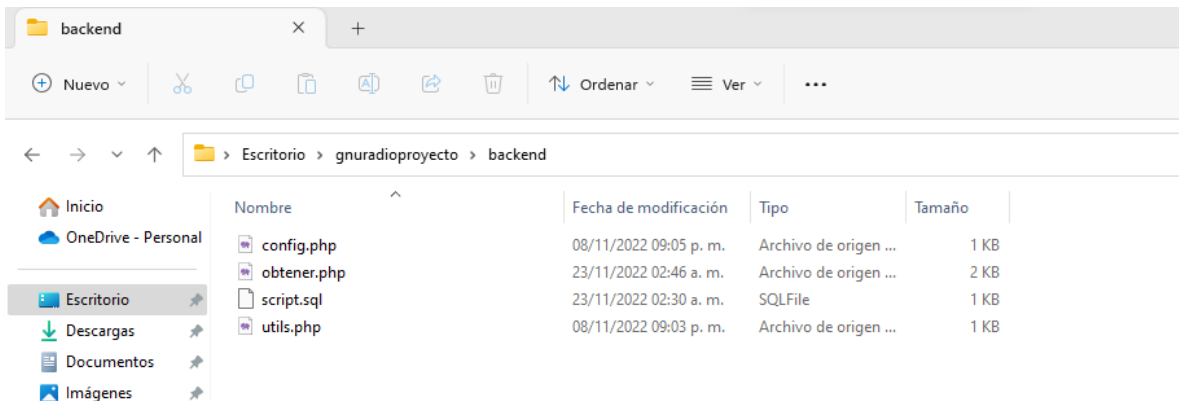


Figura 18. Archivos .php Aplicación móvil

## Estructura de la APP

En cuanto a la visualización de código fuente de la aplicación se utilizó el programa Visual Code en la instancia ts getdatos.servicie.ts se realiza la conexión para obtención de los datos obtenidos en la base de datos .

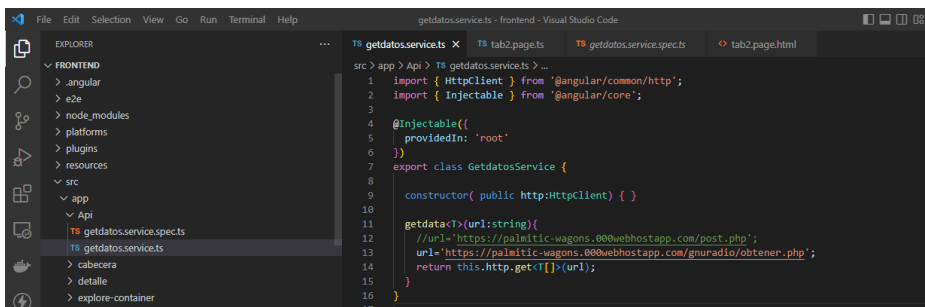


Figura 19. Obtención de datos de la base de datos en la APK

Después de la obtención de datos se debe generar la interfaz que se visualizara en la interfaz de usuario el cual es posible realizar con lab.1page.html

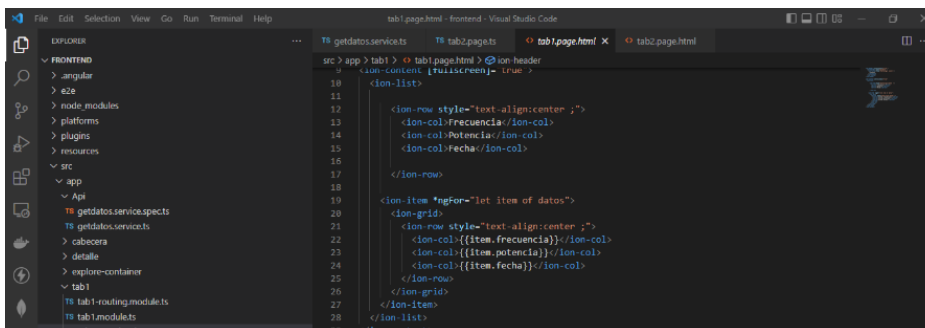
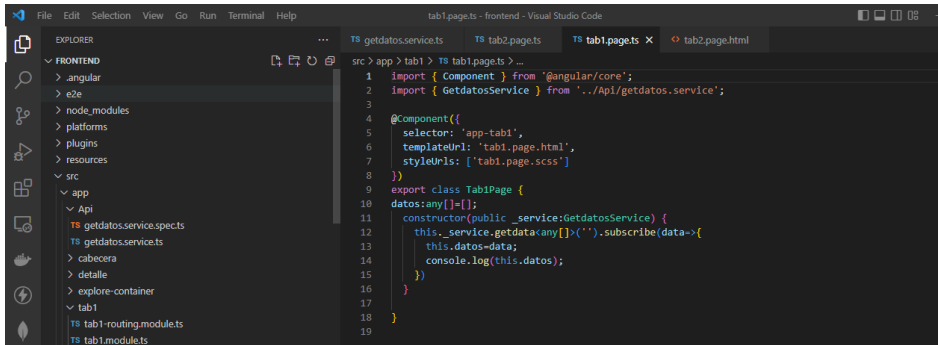


Figura 20. Ejecución de visualización de interfaz de usuario

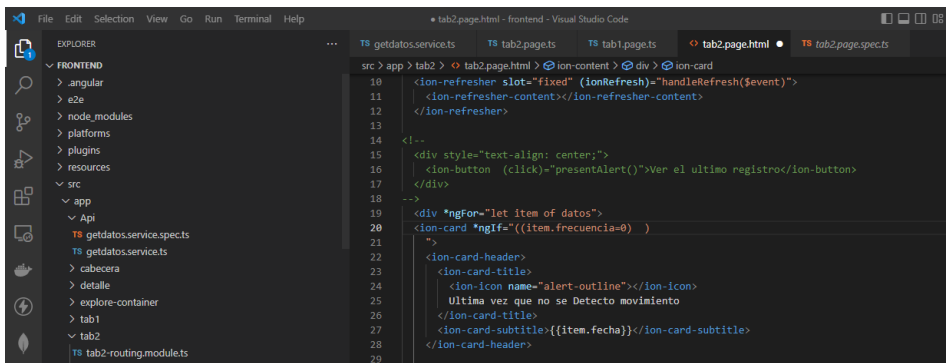
En la App se encuentra el ts lab1.page.ts que nos permite la visualización de los datos obtenidos en ts getdatos.servicie.ts.



```
1 import { Component } from '@angular/core';
2 import { GetdatosService } from '../Api/getdatos.service';
3
4 @component({
5   selector: 'app-tab1',
6   templateUrl: 'tab1.page.html',
7   styleUrls: ['tab1.page.scss']
8 })
9 export class Tab1Page {
10   datos:any[[]];
11   constructor(public _service:GetdatosService) {
12     this._service.getdatos:any[[]]().subscribe(data=>{
13       this.datos=data;
14       console.log(this.datos);
15     })
16   }
17 }
18
19
```

**Figura 21.** Mostrar datos en la interfaz de usuario

Por último, se tiene el tab2.page.html que es donde se puede incluir las condicionales a imprimir en la interfaz de notificaciones



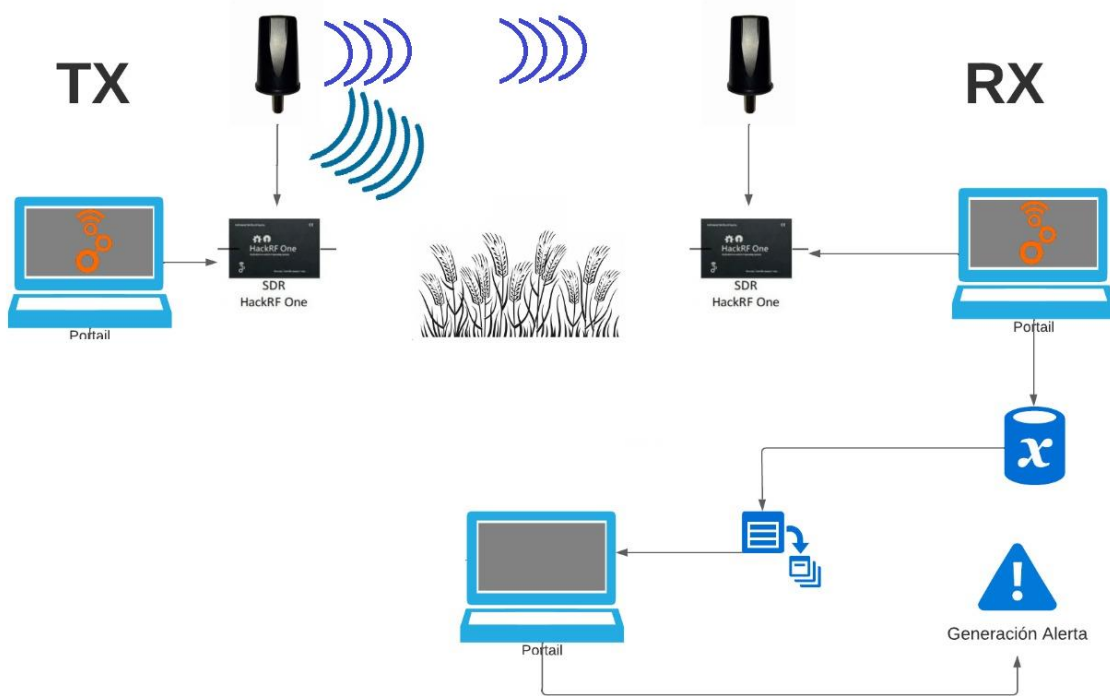
```
10 <ion-refresher slot="fixed" (ionRefresh)="handleRefresh($event)">
11   <ion-refresher-content></ion-refresher-content>
12 </ion-refresher>
13
14 <!--
15 <div style="text-align: center;">
16   <ion-button (click)="presentAlert()">Ver el ultimo registro</ion-button>
17 </div>
18 -->
19 <div *ngFor="let item of datos">
20   <ion-card *ngIf="(item.frecuencia=0)" >
21     "
22     <ion-card-header>
23       <ion-card-title>
24         <ion-icon name="alert-outline"></ion-icon>
25         Última vez que no se Detecto movimiento
26       </ion-card-title>
27       <ion-card-subtitle>{{item.fecha}}</ion-card-subtitle>
28     </ion-card-header>
29
```

**Figura 22.** Interfaz de Notificación

## Capítulo 4

### Esquema del sistema de irradiación y monitoreo de ondas no ionizantes en la banda de 3.5 GHz sobre un cultivo típico de los ecosistemas colombianos

A continuación, se relaciona el esquema del sistema donde están las diferentes fases de la generación de la emulación de las tecnologías 5G donde lo desarrollado hasta la actualidad es la caracterización de los componentes necesarios para la realización de la transmisión y recepción con pruebas realizadas y el logro de la transmisión en la frecuencia 3.5GHz.



**Figura 23.** Esquema del sistema de irradiación y monitoreo de ondas no ionizantes en la banda de 3.5 GHz.



**Figura 24.** Ejecución de los dos sistemas implementados



**Figura 25.** Elementos usados en el sistema de irradiación

## Conclusiones

Para el diseño de este sistema de irradiación se comprobó los equipos que tiene la Universitaria Agustiniiana, y cumpliendo las especificaciones que se requerían para este proyecto se escogieron los siguientes equipos: el HackRF One el cual alcanza una transmisión de datos hasta 6 GHz, también se escogió la antena Broadband Omni Antenna 700 MHz – 3 GHz, 4 – 6 GHz, ya que, después de confirmar sus características, cumple con la frecuencia deseada para realizar la transmisión y recepción de datos que es en la banda de 3.5 GHz. Para realizar la configuración del HackRF One, se implementó el software GNU Radio que es una herramienta de libre desarrollo usando bloques para el procesamiento de señales por medio de bloques y adicionalmente, para efectuar la conexión entre las antenas y los HackRF One, se usó dos adaptadores SMA macho – macho y dos adaptadores de coaxial a SMA.

Culminando la investigación de los equipos a manejar, se investigó sobre el software GNU Radio y los bloques de procesamiento de las señales, los cuales se construyó un sistema de transmisión constante de datos, no obstante, el equipo HackRF One que tiene la Universitaria Agustiniiana maneja la antena ANT500. Según el fabricante esta antena está diseñada para realizar operaciones desde 75 MHz hasta 1 GHz, sin embargo, se realizaron pruebas y el máximo de la transmisión con esta antena fue de 2.7 GHz, entonces se optó por otra antena la cual transmitió exitosamente en la frecuencia y potencia deseada, dando a evidenciar que tuvo una transmisión y recepción conforme a los estándares del 5G.

Se creó un sistema, en el cual por medio de una aplicación móvil se puede observar los datos generados y capturados de la ejecución del sistema de irradiación en la transmisión y recepción en la frecuencia de 3.5 GHz utilizando una base de datos localizada en un servidor, además en el desarrollo del proyecto inicialmente se estaba trabajando en el sistema operativo Windows, no obstante fue necesario realizar la migración al sistema de LINUX en Ubuntu debido a que en GNU Radio generaba conflictos con la instalación de librerías y en la edición de código. en cuanto al lenguaje de programación utilizado en el sistema de transmisión y recepción se utilizó Python ya que es el lenguaje utilizado por el software y en la ejecución de la aplicación móvil se desarrolló en PHP. realizando la conexión de base de datos por medio de un servidor.

Cumpliendo con los diseños del sistema de irradiación de ondas no ionizantes y el sistema de monitoreo, continuamos con la fusión de estos programas para evidenciar el correcto funcionamiento de ambos integrando todos los componentes trabajados en este proyecto.

## Referencias

- Asociación mundial de proveedores Móviles. (11 de 03 de 2022). *GSA*. Obtenido de gsacom.com: <https://gsacom.com/technology/5g/>
- Comisión Nacional de Comunicaciones. (25 de Marzo de 2022). *L&A Asesores Municipales*. Obtenido de [https://langeracrich.com.ar/wp-content/uploads/2020/11/informe\\_RNI\\_CNC.pdf](https://langeracrich.com.ar/wp-content/uploads/2020/11/informe_RNI_CNC.pdf)
- Ecologistas En Accion. (24 de Enero de 2020). *Ecologistas En Accion*. Obtenido de Ecologistas En Accion: <https://www.ecologistasenaccion.org/134286/piden-detener-el-despliegue-del-5g/>
- Fernández, R., & Enríquez, C. (1 de Noviembre de 2015). *Instituto Politécnico Nacional*. Obtenido de Boletín UPIITA: <https://www.boletin.upiita.ipn.mx/index.php/ciencia/639-cyt-numero-51/1191-sistemas-de-comunicaciones-utilizando-gnu-radio>
- GNU Radio. (22 de Octubre de 2022). *Wiki GNU Radio*. Obtenido de Wiki GNU Radio: [https://wiki.gnuradio.org/index.php?title=Wav\\_File\\_Source](https://wiki.gnuradio.org/index.php?title=Wav_File_Source)
- GNU Radio project. (15 de Septiembre de 2022). *GNURadio The Free & Open Software Radio Ecosystem*. Obtenido de GNURadio The Free & Open Software Radio Ecosystem: <https://www.gnuradio.org/>
- Great Scoott Gadgets. (17 de Septiembre de 2022). *Great Scoott Gadgets*. Obtenido de <https://greatscottgadgets.com/hackrf/>
- HackRF's documentation. (10 de Septiembre de 2022). *HackRF's documentation!* Obtenido de [https://hackrf.readthedocs.io/\\_/downloads/en/latest/pdf/](https://hackrf.readthedocs.io/_/downloads/en/latest/pdf/)
- Haro, J. R. (11 de septiembre de 2017). *digibug*. Obtenido de digibug: [https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/48019/RodriguezHaro\\_PFC\\_SDR\\_HackRF.pdf?sequence=1](https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/48019/RodriguezHaro_PFC_SDR_HackRF.pdf?sequence=1)
- Jaimes, R., & Lazcano, S. (2 de Septiembre de 2019). *Sistema de Información Científica Redalyc*. Obtenido de Sistema de Información Científica Redalyc: <https://www.redalyc.org/journal/5122/512261374007/html/>
- Lopez, J. C. (20 de Junio de 2019). *Xataka*. Obtenido de <https://www.xataka.com/moviles/massive-mimo-dos-palabras-clave-para-entender-que-va-a-ser-5g>

lucidchart. (15 de Octubre de 2022). lucidchart. *lucidchart*. Bogota, Colombia.

Mamroquin, A. (2 de Diciembre de 2013). *Radiaciones electromagnéticas no ionizantes*. Obtenido de <https://blogs.hoy.es/ciencia-facil/2013/12/02/radiaciones-electromagneticas-no-ionizantes/>

MinTIC. (11 de 03 de 2022). *Ministerio TIC*. Obtenido de <https://www.mintic.gov.co/portal/inicio/>

Movistar Telecom. (20 de Enero de 2022). *Movistar*. Obtenido de <https://ww2.movistar.cl/blog/post/que-es-la-latencia/#:~:text=Para%20calcular%20la%20latencia%20se,inestable%20y%20de%20baja%20calidad.>

Muñoz, D., Rodrigo, L., & Rodrigo, I. (2018). La tecnología 5G y su papel en la conversión de las ciudades en Smart Cities: el caso de Segovia. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, 15-27.

newark. (7 de Octubre de 2022). *newark*. Obtenido de newark: <https://www.newark.com>

Parrales, H. (2021). *Análisis de ondas electromagnéticas no ionizantes y sus efectos en el medio ambiente*. Jipijapa: Universidad Estatal del Sur de Manabí.

Statista. (11 de 03 de 2022). *Statista*. Obtenido de Statista: <https://es.statista.com/grafico/23241/nivel-de-desarrollo-de-la-tecnologia-5g-en-el-mundo/#:~:text=Tecnolog%C3%ADa%205G&text=Seg%C3%BAun%20informe%20publicado%20por,desplegado%20parcialmente%20esta%20tecnolog%C3%ADa%20m%C3%B3vil.>

Tomasi, W. (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*. Mexico: PEARSON EDUCACIÓN.

Uniagustiniana. (22 de Septiembre de 2020). *Uniagustiniana*. Obtenido de <https://twitter.com/uniagustoficial>

Universitaria Agustiniiana. (2018). Estilo APA para la presentación de trabajos de grado. Bogotá, Bogotá, Colombia.

VIAVI. (20 de Septiembre de 2022). *viavisolutions*. Obtenido de viavisolutions: <https://www.viavisolutions.com/es-es/productos/analizadores-de-espectro/#:~:text=Un%20analizador%20de%20espectro%20es,de%20se%C3%B1ales%20conocidas%20y%20desconocidas.>



ZYXEL. (03 de OCTUBRE de 2022). *ZYXEL*. Obtenido de ZYXEL:  
<https://support.zyxel.eu/hc/es/articles/4406391493778-Par%C3%A1metros-de-calidad-de-la-se%C3%B1al-5G>

## Anexos

### Anexo 1 Código generado del sistema completo en Python

```
#!/usr/bin/env python3
# -*- coding: utf-8 -*-

#
# SPDX-License-Identifier: GPL-3.0
#
# GNU Radio Python Flow Graph
# Title: ProyectoODG
# GNU Radio version: 3.10.1.1

from packaging.version import Version as StrictVersion

if __name__ == '__main__':
    import ctypes
    import sys
    if sys.platform.startswith('linux'):
        try:
            x11 = ctypes.cdll.LoadLibrary('libX11.so')
            x11.XInitThreads()
        except:
            print("Warning: failed to XInitThreads()")

from PyQt5 import Qt
from gnuradio import qtgui
from gnuradio.filter import firdes
import sip
from gnuradio import analog
from gnuradio import audio
from gnuradio import blocks
```

```

import pmt
from gnuradio import filter
from gnuradio import gr
from gnuradio.fft import window
import sys
import signal
from argparse import ArgumentParser
from gnuradio.eng_arg import eng_float, intx
from gnuradio import eng_notation
from gnuradio import gr, blocks
import osmosdr
import time
import MySQLdb #se importa paquete pala conexion a la bd
import mysql.connector
#from detecta import detect_peaks

from gnuradio import qtgui

class options_0(gr.top_block, Qt.QWidget):

    def __init__(self):
        gr.top_block.__init__(self, "ProyectoODG", catch_exceptions=True)
        Qt.QWidget.__init__(self)
        self.setWindowTitle("ProyectoODG")
        qtgui.util.check_set_qss()
        try:
            self.setWindowIcon(Qt.QIcon.fromTheme('gnuradio-grc'))
        except:
            pass

```

```

self.top_scroll_layout = Qt.QVBoxLayout()
self.setLayout(self.top_scroll_layout)
self.top_scroll = Qt.QScrollArea()
self.top_scroll.setFrameStyle(Qt.QFrame.NoFrame)
self.top_scroll_layout.addWidget(self.top_scroll)
self.top_scroll.setWidgetResizable(True)
self.top_widget = Qt.QWidget()
self.top_scroll.setWidget(self.top_widget)
self.top_layout = Qt.QVBoxLayout(self.top_widget)
self.top_grid_layout = Qt.QGridLayout()
self.top_layout.addLayout(self.top_grid_layout)

self.settings = Qt.QSettings("GNU Radio", "options_0")

try:
    if StrictVersion(Qt.qVersion()) < StrictVersion("5.0.0"):
        self.restoreGeometry(self.settings.value("geometry").toByteArray())
    else:
        self.restoreGeometry(self.settings.value("geometry"))
except:
    pass

#####
# Variables
#####
self.samp_rate = samp_rate = 4e6
self.potencia = potencia = 20
self.frecuencia = frecuencia = 3.5e9

#####
# Blocks

```

```

#####
self.rational_resampler_xxx_0 = filter.rational_resampler_ccc(
    interpolation=12,
    decimation=5,
    taps=[],
    fractional_bw=0)
self.qtgui_freq_sink_x_0 = qtgui.freq_sink_f(
    1024, #size
    window.WIN_BLACKMAN_hARRIS, #wintype
    frecuencia, #fc
    samp_rate, #bw
    "", #name
    1,
    None # parent
)
self.qtgui_freq_sink_x_0.set_update_time(0.10)
self.qtgui_freq_sink_x_0.set_y_axis(-140, 10)
self.qtgui_freq_sink_x_0.set_y_label('Relative Gain', 'dB')
self.qtgui_freq_sink_x_0.set_trigger_mode(qtgui.TRIG_MODE_FREE, 0.0, 0, "")
self.qtgui_freq_sink_x_0.enable_autoscale(False)
self.qtgui_freq_sink_x_0.enable_grid(False)
self.qtgui_freq_sink_x_0.set_fft_average(1.0)
self.qtgui_freq_sink_x_0.enable_axis_labels(True)
self.qtgui_freq_sink_x_0.enable_control_panel(False)
self.qtgui_freq_sink_x_0.set_fft_window_normalized(False)

self.qtgui_freq_sink_x_0.set_plot_pos_half(not True)

labels = ["", "", "", "",
          "", "", "", "", ""]

```

```

widths = [1, 1, 1, 1, 1,
          1, 1, 1, 1, 1]
colors = ["blue", "red", "green", "black", "cyan",
          "magenta", "yellow", "dark red", "dark green", "dark blue"]
alphas = [1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0,
          1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0]

for i in range(1):
    if len(labels[i]) == 0:
        self.qtgui_freq_sink_x_0.set_line_label(i, "Data {0}".format(i))
    else:
        self.qtgui_freq_sink_x_0.set_line_label(i, labels[i])
        self.qtgui_freq_sink_x_0.set_line_width(i, widths[i])
        self.qtgui_freq_sink_x_0.set_line_color(i, colors[i])
        self.qtgui_freq_sink_x_0.set_line_alpha(i, alphas[i])

self._qtgui_freq_sink_x_0_win =
sip.wrapinstance(self.qtgui_freq_sink_x_0.qwidget(), Qt.QWidget)
self.top_layout.addWidget(self._qtgui_freq_sink_x_0_win)
self.osmosdr_source_1 = osmosdr.source(
    args="numchan=" + str(1) + " " + ""
)
self.osmosdr_source_1.set_time_unknown_pps(osmosdr.time_spec_t())
self.osmosdr_source_1.set_sample_rate(samp_rate)
self.osmosdr_source_1.set_center_freq(frecuencia, 0)
self.osmosdr_source_1.set_freq_corr(0, 0)
self.osmosdr_source_1.set_dc_offset_mode(0, 0)
self.osmosdr_source_1.set_iq_balance_mode(0, 0)
self.osmosdr_source_1.set_gain_mode(False, 0)
self.osmosdr_source_1.set_gain(20, 0)
self.osmosdr_source_1.set_if_gain(20, 0)

```

```

self.osmosdr_source_1.set_bb_gain(potencia, 0)
self.osmosdr_source_1.set_antenna("", 0)
self.osmosdr_source_1.set_bandwidth(0, 0)
self.low_pass_filter_0 = filter.fir_filter_ccf(
    20,
    firdes.low_pass(
        1,
        samp_rate,
        75e3,
        25e3,
        window.WIN_HAMMING,
        6.76))
self.dc_blocker_xx_1 = filter.dc_blocker_cc(1024, True)
self.blocks_tags_strobe_0 = blocks.tags_strobe(gr.sizeof_gr_complex*1,
pmt.intern("TEST"), 1000, pmt.intern("strobe"))
self.blocks_tag_share_0 = blocks.tag_share(gr.sizeof_gr_complex,
gr.sizeof_gr_complex, 1)
self.blocks_file_meta_sink_0 = blocks.file_meta_sink(gr.sizeof_gr_complex*1,
'/home/mari/Documents/salida.txt', samp_rate, 1, blocks.GR_FILE_FLOAT, True, 1000000,
pmt.dict_add(pmt.make_dict(), pmt.intern('Initial'), pmt.from_long(3)), False)
self.blocks_file_meta_sink_0.set_unbuffered(True)
self.blocks_complex_to_float_0 = blocks.complex_to_float(1)
self.audio_sink_0 = audio.sink(48000, "", True)
self.analog_wfm_rcv_0 = analog.wfm_rcv(
    quad_rate=480e3,
    audio_decimation=10,
)

#####
# Connections

```

```

#####
self.connect((self.analog_wfm_rcv_0, 0), (self.audio_sink_0, 0))
self.connect((self.blocks_complex_to_float_0, 0), (self.qtgui_freq_sink_x_0, 0))
self.connect((self.blocks_tag_share_0, 0), (self.blocks_file_meta_sink_0, 0))
self.connect((self.blocks_tags_strobe_0, 0), (self.blocks_tag_share_0, 1))
self.connect((self.dc_blocker_xx_1, 0), (self.blocks_complex_to_float_0, 0))
self.connect((self.dc_blocker_xx_1, 0), (self.low_pass_filter_0, 0))
self.connect((self.low_pass_filter_0, 0), (self.blocks_tag_share_0, 0))
self.connect((self.low_pass_filter_0, 0), (self.rational_resampler_xxx_0, 0))
self.connect((self.osmosdr_source_1, 0), (self.dc_blocker_xx_1, 0))
self.connect((self.rational_resampler_xxx_0, 0), (self.analog_wfm_rcv_0, 0))

#esta parte del codigo muestra los resultados en la bd
miConexion      =      MySQLdb.connect(      host='btyl4qb74mmnshfrxsid-
mysql.services.clever-cloud.com',
      user= 'urr05itxj2nfxvsl',
      passwd='JtW7VorbVCDMJObDVY0',
      db='btyl4qb74mmnshfrxsid' )
cur = miConexion.cursor()
cur.execute(      "SELECT      frecuencia,potencia,fecha      FROM
btyl4qb74mmnshfrxsid.Gnuradio;" )
      #cur.execute(      "insert      into      Gnuradio(frecuencia,potencia,fecha)
values("+"frecuencia"+"", "+"potencia"+"",now())" )
      #insert      into      btyl4qb74mmnshfrxsid.Gnuradio(frecuencia,potencia,fecha)
values('as','sasa',now())
      for frecuencia,potencia,fecha in cur.fetchall():str
      print(frecuencia,potencia,fecha)
miConexion.close()
#fin de codigo para ver los resultados

#proceso para insertar

```



```

mydb = mysql.connector.connect(
host="btyl4qb74mmnshfrxsid-mysql.services.clever-cloud.com",
user="urr05itxj2nfxvsl",
password="JtW7VorbVCDMJObDVY0",
database="btyl4qb74mmnshfrxsid"
)

mycursor = mydb.cursor()

sql = "insert into Gnuradio(frecuencia,potencia,fecha) values(%s, %s,now())"
#val = ("mari", "26")
val = (str(self.qtgui_freq_sink_x_0.qwidget()),"20")
mycursor.execute(sql, val)

mydb.commit()

print(mycursor.rowcount, "record inserted.")
#fin de proceso de insertar

#lst = [5, 3, 2, 19, 17, 8, 13, 5, 0, 6, 1, -5, -10, -3, 6, 9, 8, 14, 8, 11, 3,
#2, 22, 8, 2, 1 ]
#index = detect_peaks(lst)
#print(index)

def closeEvent(self, event):
    self.settings = Qt.QSettings("GNU Radio", "options_0")
    self.settings.setValue("geometry", self.saveGeometry())
    self.stop()
    self.wait()

    event.accept()

```

```
def get_samp_rate(self):
    return self.samp_rate

def set_samp_rate(self, samp_rate):
    self.samp_rate = samp_rate
    self.low_pass_filter_0.set_taps(firdes.low_pass(1, self.samp_rate, 75e3, 25e3,
window.WIN_HAMMING, 6.76))
    self.osmosdr_source_1.set_sample_rate(self.samp_rate)
    self.qtgui_freq_sink_x_0.set_frequency_range(self.frecuencia, self.samp_rate)

def get_potencia(self):
    return self.potencia

def set_potencia(self, potencia):
    self.potencia = potencia
    self.osmosdr_source_1.set_bb_gain(self.potencia, 0)

def get_frecuencia(self):
    return self.frecuencia

def set_frecuencia(self, frecuencia):
    self.frecuencia = frecuencia
    self.osmosdr_source_1.set_center_freq(self.frecuencia, 0)
    self.qtgui_freq_sink_x_0.set_frequency_range(self.frecuencia, self.samp_rate)

def main(top_block_cls=options_0, options=None):
```

```
if StrictVersion("4.5.0") <= StrictVersion(Qt.qVersion()) < StrictVersion("5.0.0"):
    style = gr.prefs().get_string('qtgui', 'style', 'raster')
    Qt.QApplication.setGraphicsSystem(style)
qapp = Qt.QApplication(sys.argv)

tb = top_block_cls()

tb.start()

tb.show()

def sig_handler(sig=None, frame=None):
    tb.stop()
    tb.wait()

    Qt.QApplication.quit()

signal.signal(signal.SIGINT, sig_handler)
signal.signal(signal.SIGTERM, sig_handler)

timer = Qt.QTimer()
timer.start(500)
timer.timeout.connect(lambda: None)

qapp.exec_()

if __name__ == '__main__':
    main()
```