

UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE

INFORME DE LABORATORIO - SDR

LABORATORIO N° 4

Estudiantes:

Montezuma Diego¹

Narvaez Israel²

Panama Anthony³

Docente: Msc. Edgar Maya.

Técnico de laboratorio: Msc. Alejandra Pinto Erazo

1 de mayo de 2024

1. Título de la práctica

Apertura del modelo de receptor de visualización del espectro.

2. Introducción

La inicialización del modelo del receptor de visualización de espectro en MATLAB marca el inicio de un intrigante viaje hacia la comprensión y exploración del universo de las señales electromagnéticas. Este primer paso nos sumerge en un entorno de análisis y representación que posibilita la exploración de las complejas interacciones entre las ondas electromagnéticas circundantes. Durante este procedimiento, nos sumergimos en una amplia gama de información contenida en el espectro electromagnético, abarcando desde las transmisiones de radio hasta las señales satelitales. Cómo abrir este modelo en MATLAB constituye el primer paso hacia la comprensión y manipulación de datos que nos permitirá desentrañar los enigmas y potencialidades del espectro electromagnético en nuestro entorno.

3. Objetivos

3.1. Objetivo Principal

Desarrollar un receptor utilizando el SDR RTL en MATLAB para captar señales electromagnéticas en un rango específico de frecuencias.

3.2. Objetivos Secundarios

- Utilizar el receptor SDR para demodular señales de modulación de frecuencia (FM) provenientes de estaciones de radio FM dentro del rango de frecuencia soportado por el SDR RTL.
- Emplear las capacidades de análisis y visualización de MATLAB para examinar el espectro de las señales demoduladas, identificar características de interés y comprender las complejas interacciones presentes en las ondas electromagnéticas captadas.
- Explorar posibles aplicaciones prácticas de la demodulación de señales utilizando el SDR RTL en MATLAB, como la recepción de estaciones de radio FM, seguimiento de aeronaves, monitoreo de comunicaciones marítimas, entre otros, dependiendo del rango de frecuencias soportado por el SDR RTL.

4. Fundamentación teórica

RTL SDR Blog V3

El RTL-SDR Blog V3 constituye un avance considerable en relación con los dongles RTL-SDR convencionales. A pesar de que estos dongles fueron inicialmente concebidos para la recepción de televisión digital terrestre (DVB-T), rápidamente se reconoció su potencial para aplicaciones de radio definida por software (SDR), gracias a su bajo costo y capacidad de modificación. No obstante, los dongles estándar presentaban limitaciones que los hacían poco adecuados para una experimentación seria en el ámbito de SDR([Overview](#), 2024).



Figura 1: El RTL-SDR Blog V3 ([Overview](#), 2024)

El RTL-SDR Blog V3 afronta estas limitaciones mediante una reconfiguración del diseño del dongle, teniendo en consideración las necesidades de los usuarios de SDR. Entre las mejoras implementadas se incluyen aspectos como la sensibilidad, la estabilidad de la frecuencia, el rendimiento en términos de ruido y la facilidad de uso en general. Dichas mejoras hacen que el dongle V3 resulte mucho más idóneo para una amplia variedad de aplicaciones SDR, que abarcan desde el ámbito de la radioafición hasta el análisis de señales, entre otros.

Instalación Driver SDR-RTL para Matlab

- Archivos necesarios
- Establezca una ubicación conveniente, ya sea en el Escritorio u otro lugar, para crear una carpeta destinada al trabajo con el Dongle RTL-SDR. Asigne un nombre adecuado a esta carpeta, por ejemplo, RTL-SDR Matlab(*Get started with Communications Toolbox Support Package for RTL-SDR Radio*, s.f.). .
- Descargue el archivo rtlsdrradio.mlpkginstall desde el sitio web correspondiente a la cátedra y guárdelo en la carpeta creada en el paso anterior.
- Conecte el Dongle a un puerto USB 2.0 disponible.
- Inicie Matlab y navegue hasta el directorio RTL-SDR Matlab.
- En el explorador de archivos ubicado a la izquierda de la pantalla, localice el archivo rtlsdrradio.mlpkginstall. Haga doble clic sobre él para iniciar el proceso de instalación del paquete de soporte del Dongle para Matlab.
- Se le solicitará que ingrese un nombre de usuario y una contraseña de MathWorks para continuar con la instalación. Puede utilizar una cuenta personal o los siguientes datos:
- Usuario: comunicaciones.dongle@gmail.com
- Contraseña: Dongle1234
- La instalación requerirá conexión a Internet y suele tardar entre 15 y 20 minutos. Una vez finalizada la instalación, escriba lo siguiente en la ventana de comandos de Matlab:

```
RadioName: 'Generic RTL2832U OEM'  
RadioAddress: '0'  
RadioIsOpen: 0  
TunerName: 'R820T'  
Manufacturer: 'Realtek'  
Product: 'RTL2838UHIDIR'  
GainValues: [29x1 double]  
RTLCrystalFrequency: 28800000  
TunerCrystalFrequency: 28800000  
SamplingMode: 'Quadrature'  
OffsetTuning: 'Disabled'
```

Radio definida por software

El paquete recién instalado está asociado al conjunto de herramientas de comunicaciones de Matlab (Matlab Communications Toolbox), lo que implica que es necesario tener este toolbox instalado para poder utilizar el Dongle de forma adecuada. Para obtener más detalles sobre las funciones y métodos disponibles para acceder al Dongle, por favor, consulte la documentación correspondiente ([Get started with Communications Toolbox Support Package for RTL-SDR Radio](#), s.f.).

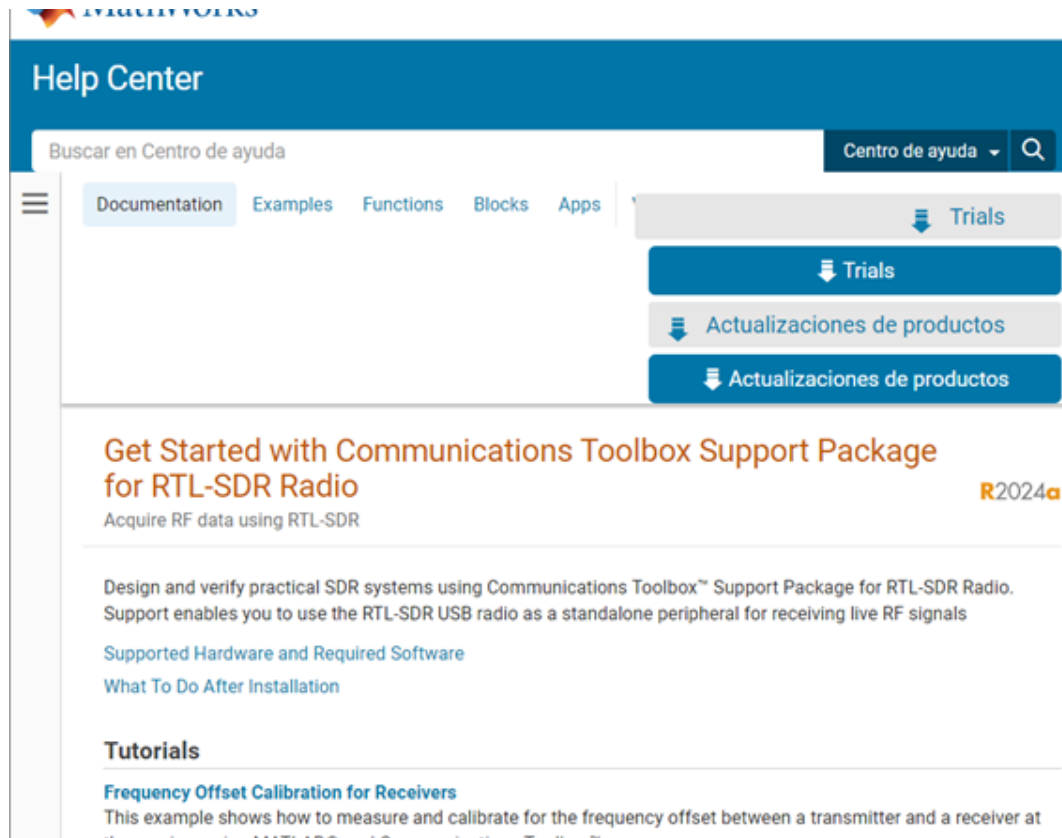


Figura 2: El resultado obtenido al ingresar `comm.SDRRTLReceiver`.^{en} la línea de comandos es lo que se muestra en la pantalla.

Analizadores de espectro

Un analizador de espectro es un dispositivo de prueba de uso extendido que cuantifica y representa gráficamente la potencia de la señal (su amplitud) dentro de un rango específico de frecuencias. En términos generales, se trata de una herramienta destinada a la medición tanto de la potencia como de la frecuencia de señales, ya sean conocidas o desconocidas. Gracias a la diversidad de analizadores de espectro disponibles, es posible evaluar una amplia gama de redes y comportamientos de señales. Además, se puede comparar las frecuencias y los anchos de banda de las señales de salida con respecto a las recibidas inicialmente ([Catedra, 2024](#)).

SimuLink

Se trata de un conjunto de herramientas especializado de MATLAB diseñado para simular el comportamiento de sistemas dinámicos. Esta herramienta es capaz de simular sistemas tanto lineales

Radio definida por software

como no lineales, así como modelos en tiempo continuo y tiempo discreto, e incluso sistemas híbridos que combinan ambos tipos. Proporciona un entorno gráfico donde los modelos a simular se construyen mediante la interacción con bloques que representan diferentes componentes del sistema. Los modelos creados en SIMULINK se guardan en archivos con la extensión *.mdl.

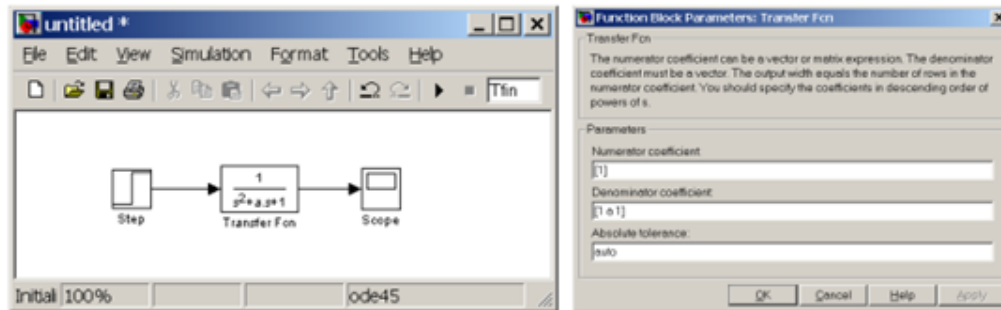


Figura 3: SIMULINK(Catedra, 2024)

Construcción de modelos

Para conectar bloques entre sí, se realiza una acción de arrastre con el ratón desde los puertos de salida de un bloque hacia los puertos de entrada de otro bloque. Alternativamente, se puede seleccionar un bloque y, manteniendo presionada la tecla <ctrl>, hacer clic en otro bloque para establecer una conexión. Además, es posible insertar texto en cualquier ubicación de la interfaz, simplemente haciendo doble clic en el área deseada. Se brinda la opción de cambiar los nombres de los bloques y de aplicar diferentes colores mediante la ruta Formato → Color de texto. Asimismo, se facilita la opción de rotar bloques a través de las acciones Formato → Girar bloque o Voltar bloque, entre otras.

Aplicaciones

Como se ha indicado previamente, el RTL-SDR empleado en este estudio es capaz de recibir señales en un rango de frecuencia que abarca desde los 25 MHz hasta 1.75 GHz. Esta capacidad permite la captación de diversos tipos de señales. A continuación, se detallan algunas de las más relevantes(Catedra, 2024).

- 87.5 - 108 MHz: Emisoras de radio FM.
- 108 - 117.975 MHz: Comunicaciones aeronáuticas, GBAS, ILS, VOR.
- 117.975 - 138 MHz: Comunicaciones aeronáuticas, incluyendo ACARS.
- 154 - 162.0375 MHz: Comunicaciones marítimas.
- 876 - 960 MHz: Comunicaciones móviles (GSM).
- 1164 - 1350 MHz: Sistemas de navegación por satélite, Glonass, Galileo y GPS.

- 1350 - 1427 MHz: Radioastronomía.

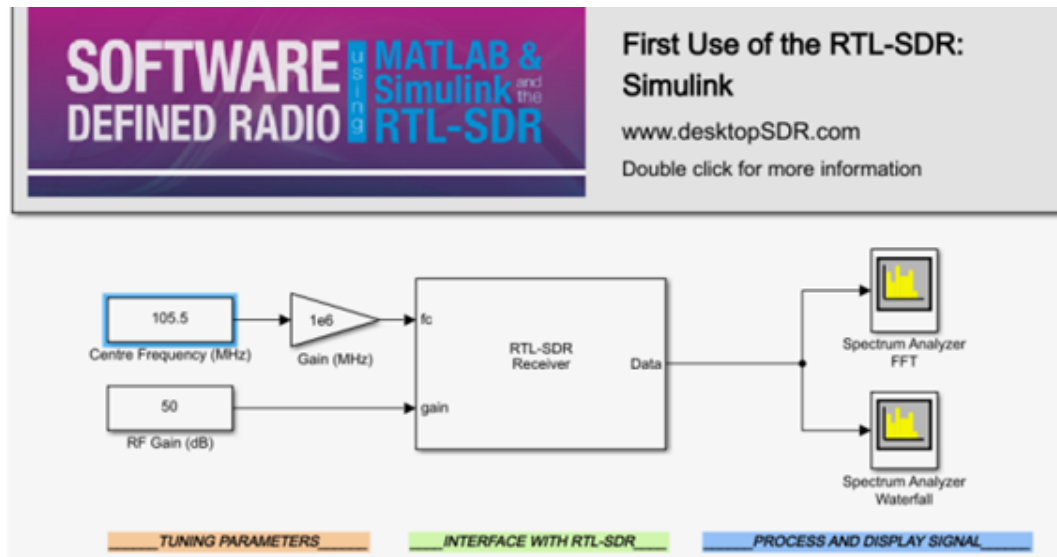


Figura 4: Captación de señal FM en Simulink (Catedra, 2024).

5. Materiales y Equipos

- Matlab
- Simulink
- PC personal
- RTL-SDR

6. Desarrollo

Dentro de la siguiente práctica, se debe lograr capturar frecuencias requeridas dentro de la guía, además, es necesario buscar frecuencias con las que trabajen tanto para radio FM, GSM Mobile, TV digital. De igual manera, es necesario realizar un análisis de las diferentes frecuencias capturadas dentro de la simulación utilizando simulink y el RTL-SDR.

Para iniciar la parte práctica, es necesario ingresar al sitio web de SDR con el fin de descargar los documentos que van a ser utilizados dentro de matlab. Dentro del siguiente link se encuentra el sitio web de descarga <https://www.desktopsdr.com/>.



Figura 5: Sitio web de SDR para Matlab

Al ingresar al sitio de descarga, es necesario descargar el documento que viene con el libro guía, librerías y las simulaciones.

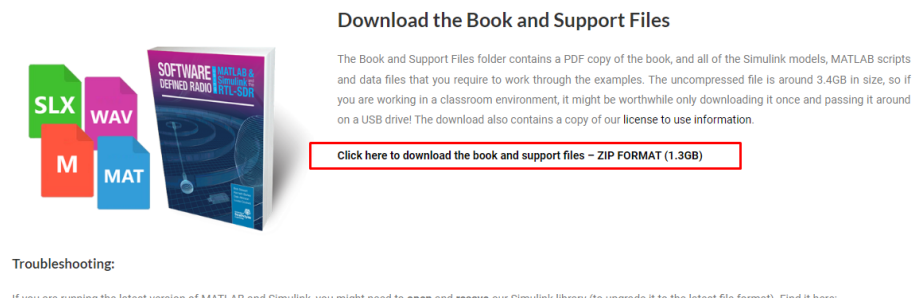


Figura 6: Documento de descarga de SDR

Cargamos la carpeta descargada dentro de matlab, esto se lleva a cabo con el fin de lograr utilizar todos los recursos dentro de la carpeta.

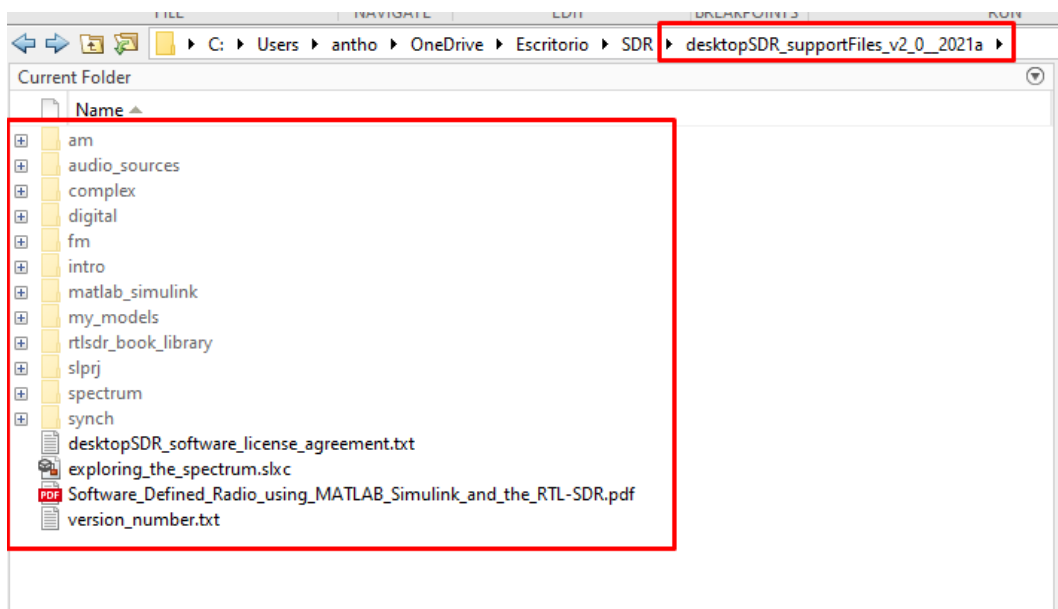


Figura 7: Ingreso de carpeta descargada

Radio definida por software

Dentro de las carpetas es importante abrir la carpeta **spectrum**, dentro de aquella carpeta se encuentra el archivo **exploring-the-spectrum.slx**, es la simulación dentro de simulink utilizando RTL-SDR.

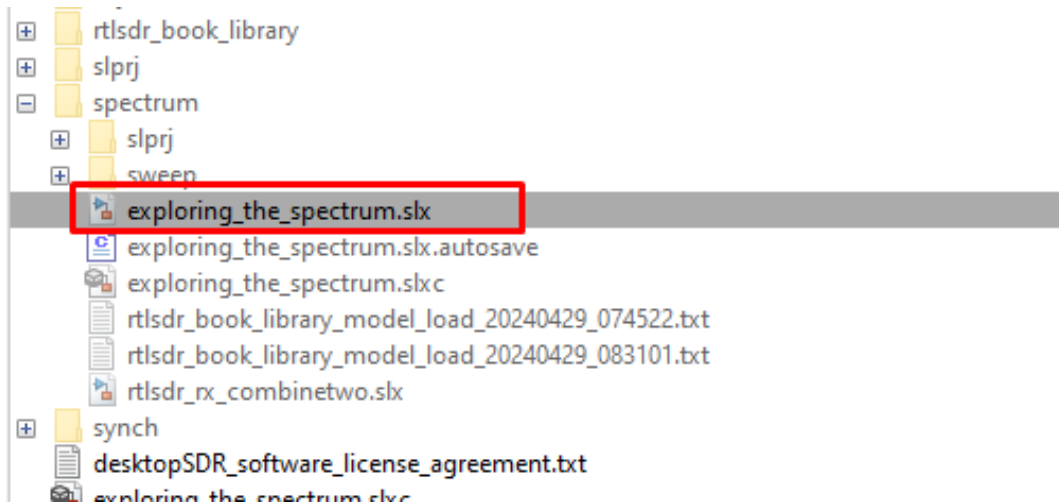


Figura 8: Ingreso a la interface de creada en simulink

Al abrir el archivo se logra visualizar todo el proceso de conexión dentro de simulink para lograr una interface con el RTL-SDR.

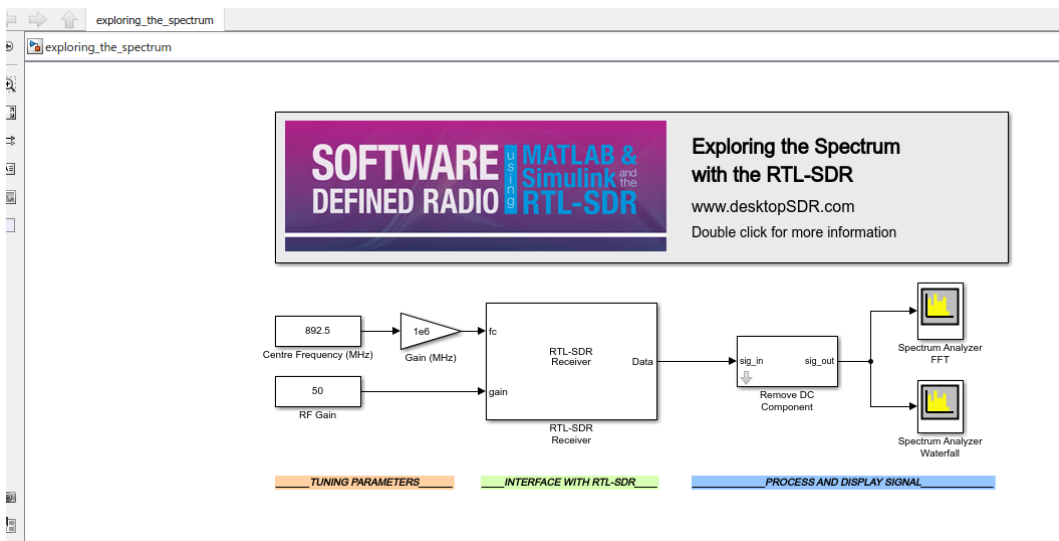


Figura 9: Simulación en simulink

Por otro lado, es necesario agregar una libreria que ya viene dentro de la carpeta descarga, esto realiza con el fin de no tener errores al querer ejecutar la simulación.

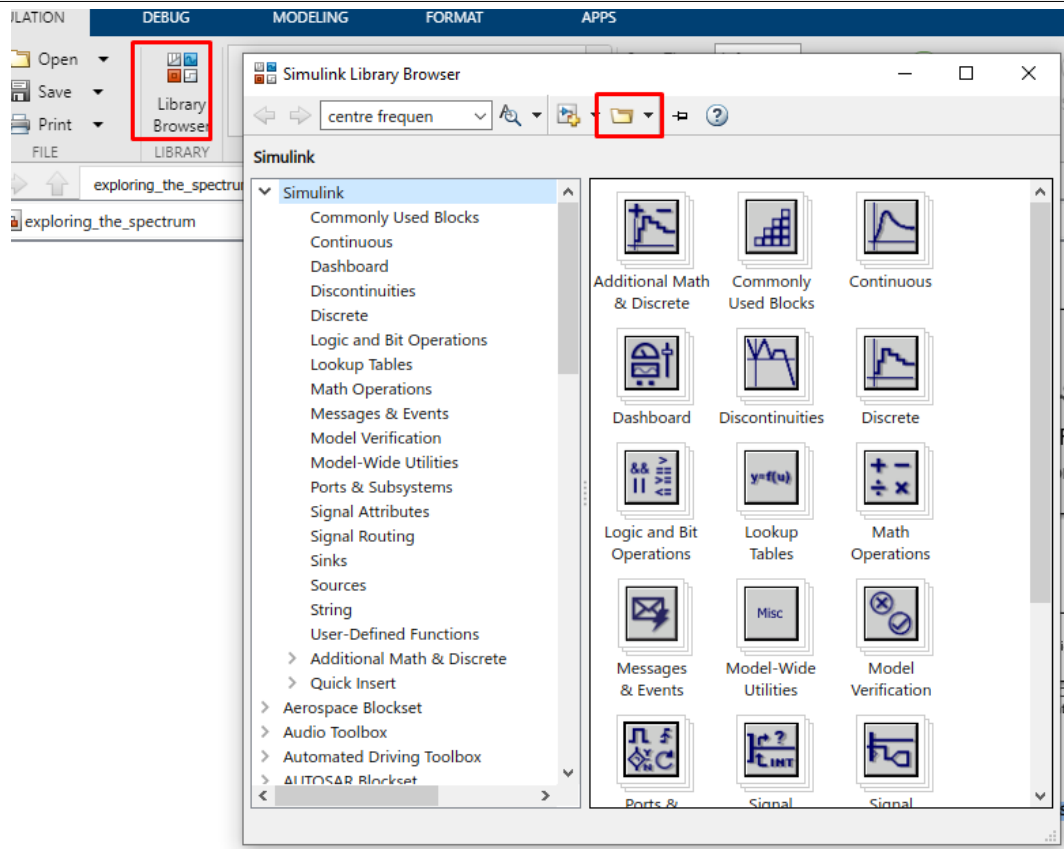


Figura 10: Acceso de nueva librería

Para ingresar la nueva librería, es necesario abrir la carpeta **rtlsdr-book-library**, en donde se encontrara el archivo de la librería requerida..

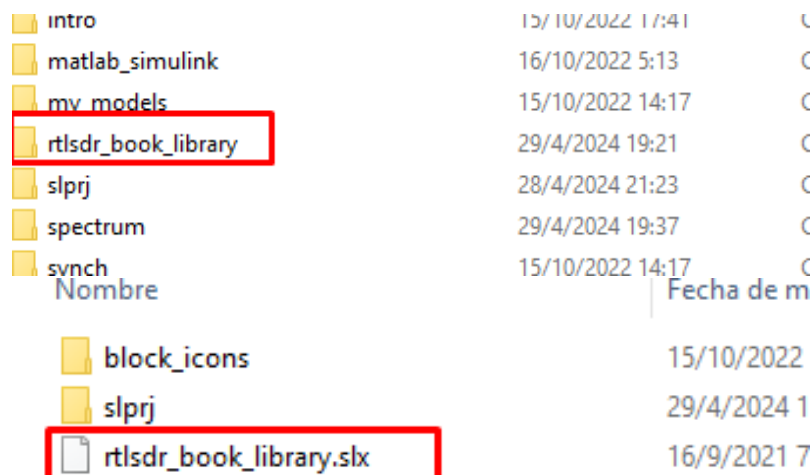


Figura 11: Ingreso de librería

Dentro del sitio web de matlab, es necesario descargar el toolbox para RTL-SDR dentro de matlab,

Radio definida por software

este paquete de instalación es necesario para que identifique el RTL-SDR y logre captar las frecuencias ingresadas.

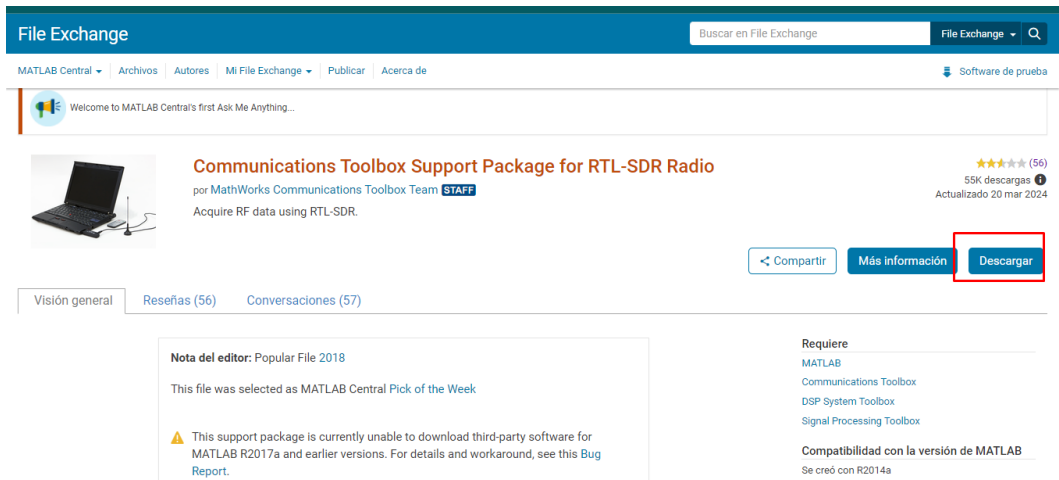


Figura 12: Descarga de toolbox en matlab web

De igual manera, es necesario cargar el archivo descargado y subirlo dentro de las librerías de simulink. Para cargar este archivo depende del sitio de donde lo guardo al momento de descargar y luego subir al simulink.

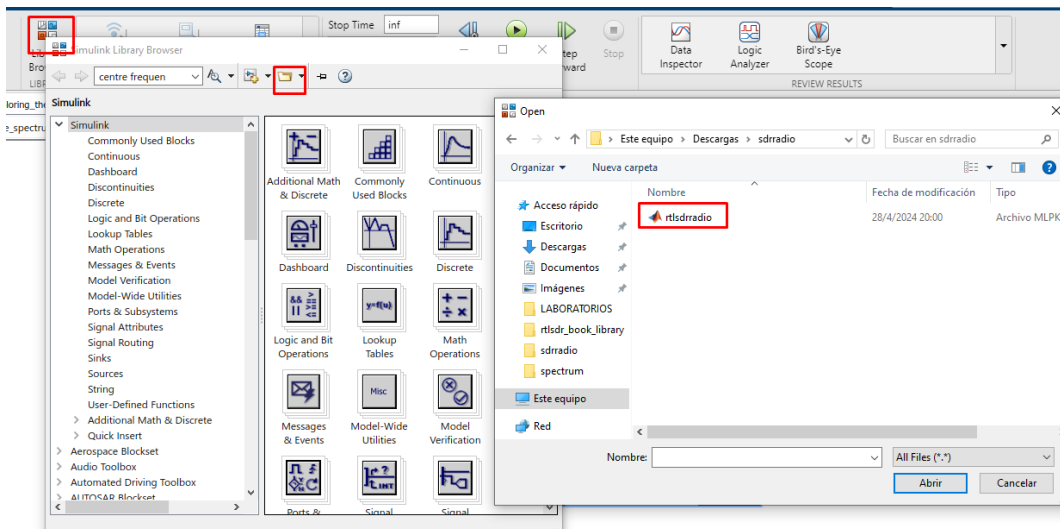


Figura 13: Acceso a nueva librería

Al finalizar la instalación de la librería de RTL-SDR, aparecerá el ícono dentro de los toolbox de matlab. Principalmente, el toolbox requerido es RTL-SDR para lograr ejecutar la simulación.

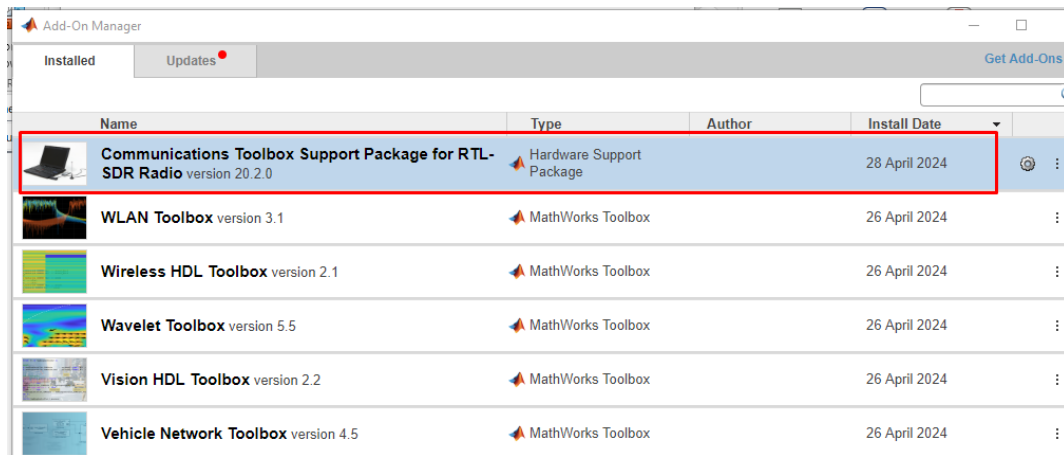


Figura 14: Visualización de nuevo toolbox dentro de matlab

Por otro lado, al finalizar los pasos anteriores, es necesario abrir el archivo **control-panel.fig**, este archivo se encuentra dentro de la carpeta **rtlsdr-book-library**.

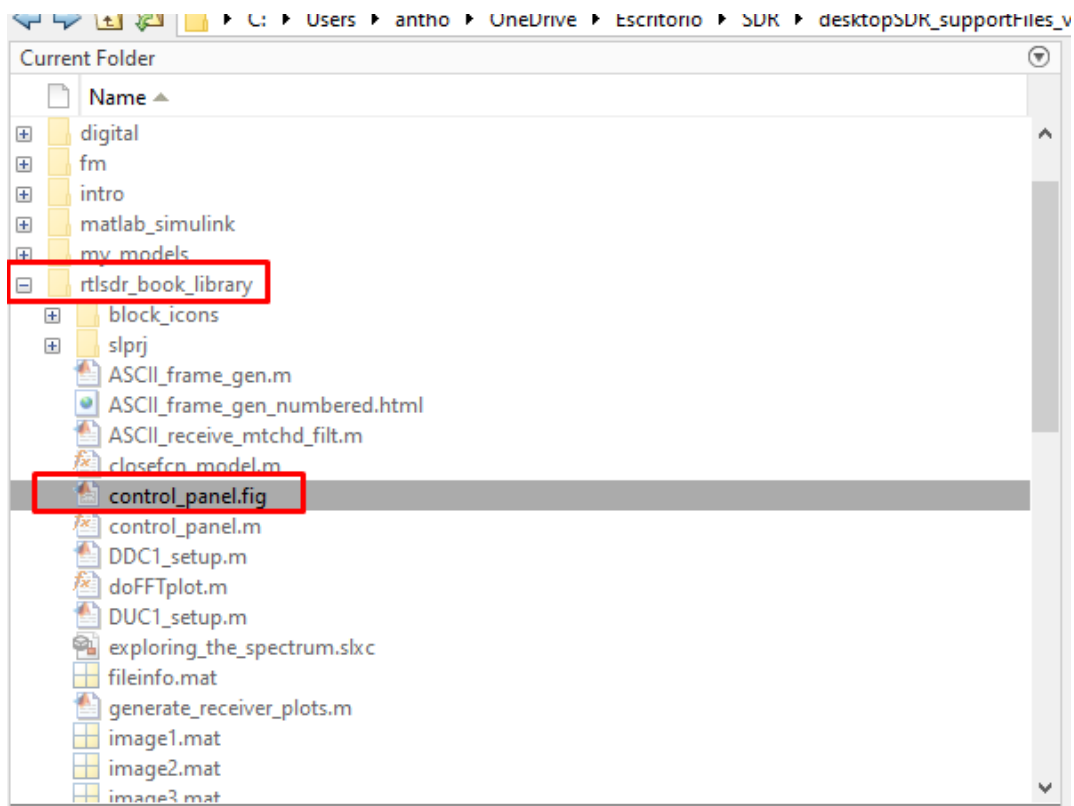


Figura 15: Ejecución de archivo .fig

Al ejecutar el archivo, se puede visualizar la interfaz de panel de control, dentro de esta interfaz se puede agregar las frecuencias requeridas dentro de cada rango de trabajo.

Radio definida por software

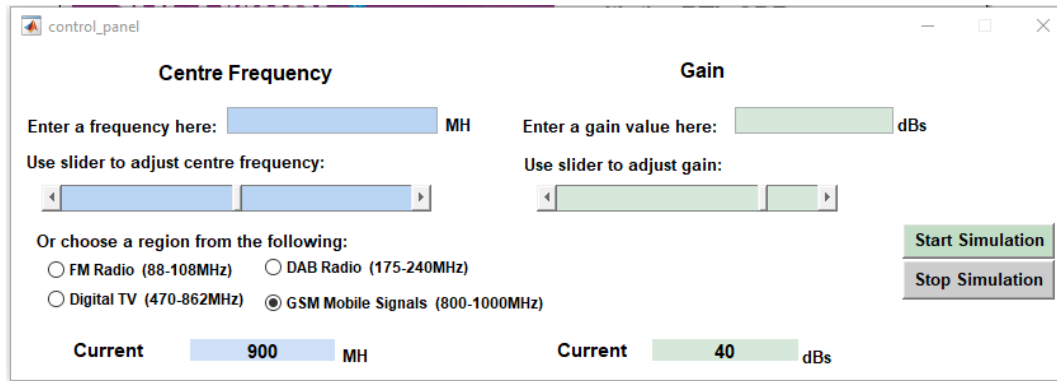


Figura 16: Visualización de panel de centro de frecuencias

Finalmente, para iniciar el proceso de visualización de las frecuencias se debe ejecutar la simulación en dentro de simulink y seleccionar las frecuencias dentro de la interface de panel de control. Además al seleccionar las diferentes frecuencias, se puede visualizar los diferentes espectros de frecuencia tanto en FTT y el analizador de espectro en cascada.

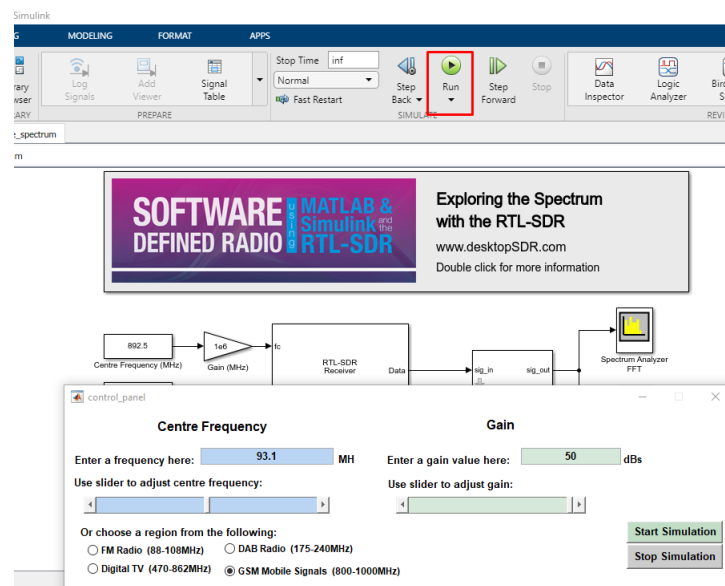


Figura 17: Visualización de interfaces simulink y centro de frecuencias

Como resultado de la ejecución de la simulación, se puede ingresar las diferentes frecuencias en base a los rangos requeridos ya sea para Radio FM, GSM mobile, TV digital y DAB radio.

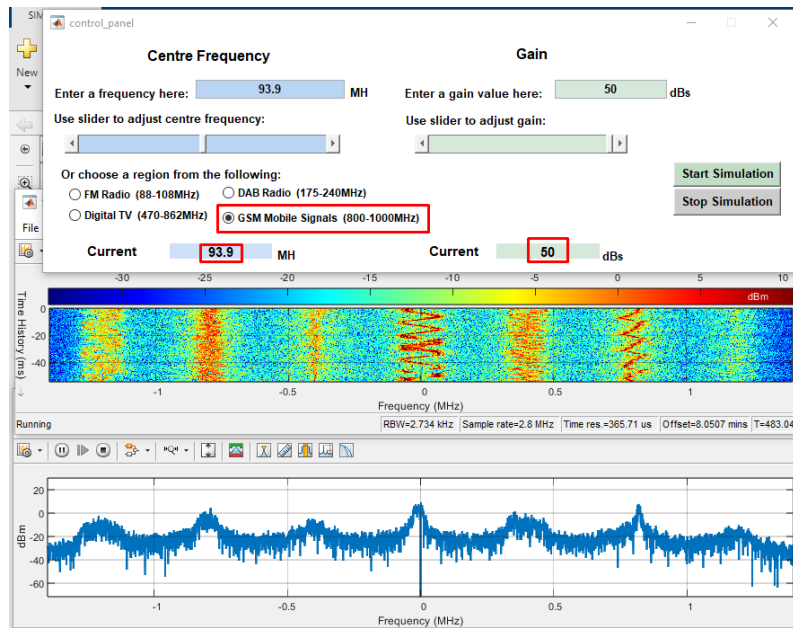


Figura 18: Visualización de espectros y centro de frecuencias

7. Interpretación de Resultados / Discusión

7.1. Frecuencias de radio FM

Las frecuencias capturadas dentro de matlab utilizando la herramienta simulink con el RTL-SDR, sirve de tal manera que se puede visualizar los espectros de las frecuencias seleccionadas, de igual manera, dentro de estas señales se puede visualizar los picos más altos en donde se entiende que la señal esta con poco ruido.

Al seleccionar una frecuencia en este caso 101.1 MHz, se puede modificar el valor de ganancia, esto se realiza con el finde ajustar de manera óptima la frecuencia capturada, de igual manera, sirve para maximizar la relación señal-ruido y con esto evitar generar saturación en el receptor.

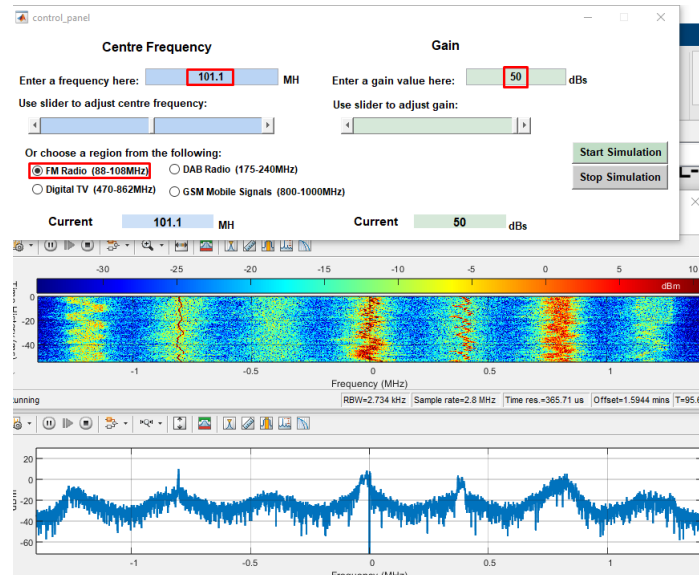


Figura 19: Frecuencia FM 101.1 MHz

De igual manera, se captura otra frecuencia, esta vez la 91.9 MHz en frecuencia modulada con el fin de visualizar los picos más altos de frecuencias, además, es necesario cambiar los valores de ganancia para lograr tener una señal óptima. Esta vez también se ha establecido esta ganancia en 50 dBm, y como se observa en la figura siguiente, su espectrograma muestra que la frecuencia central utilizada nos arroja la intensidad de la señal recibida en un amplio porcentaje.

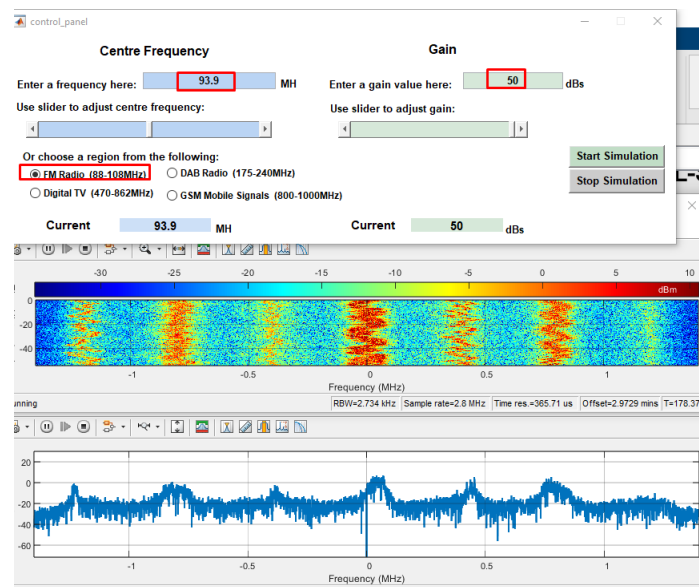


Figura 20: Frecuencia FM 93.9 MHz

En la siguiente figura se puede observar la captura de la frecuencia 88.1 en frecuencia modulada, en este caso como en el anterior se utilizan 50 dBm de ganancia, esta también nos arroja el espectrograma correspondiente a la frecuencia sintonizada, así como su espectro de frecuencia, esta vez podemos ver que la captura de frecuencia es un poco pobre, pero a su alrededor podemos visualizar que existen más canales de frecuencia.

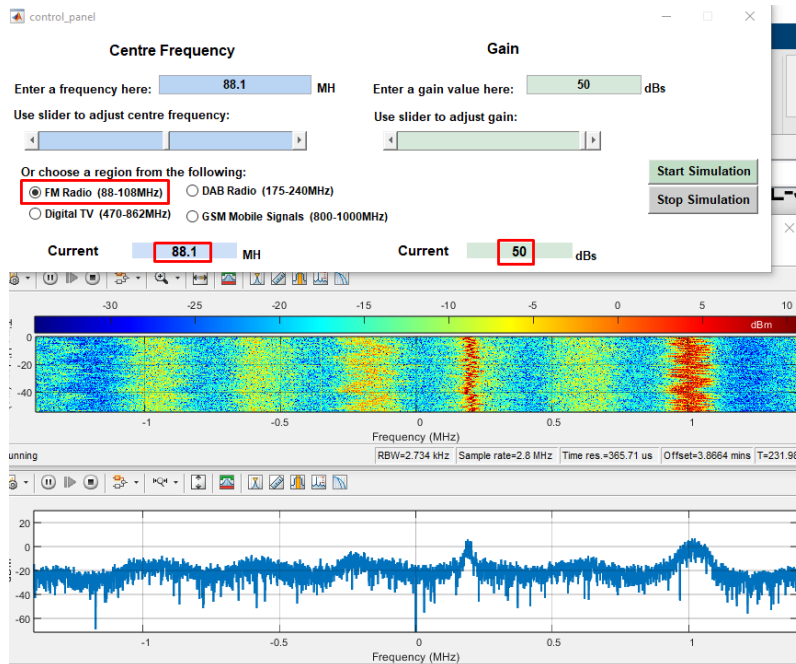


Figura 21: Frecuencia FM 88.1 MHz

7.2. Frecuencias TV digital

También nos es posible capturar frecuencias de TV digital, aunque como se observa en la siguiente figura, algunas de estas no generan una frecuencia central muy intensa, en este caso hemos trabajado con una frecuencia de 535 MHz, a una ganancia de 50 dBm. En el espectrograma se observa que en la frecuencia central se genera ruido, pero podemos observar 2 canales a los costados, los cuales están generando a la señal capturada por el RTL.

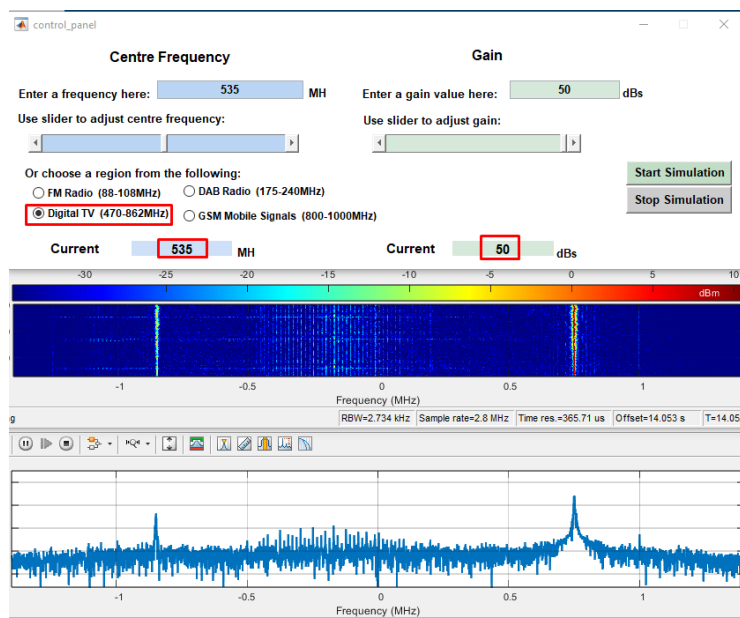


Figura 22: Frecuencia TV digital 535 MHz

Radio definida por software

Otra frecuencia que hemos seleccionado es la de 576 MHz, en este caso en el espectrograma se observa la llegada de una señal a baja intensidad, aunque en este caso hemos utilizado la misma ganancia para la recepción, esta no llega con la intensidad suficiente, pero aun así se genera un pico en el espectro de frecuencia, el cual demuestra que es un canal de televisión digital en la frecuencia seleccionada.

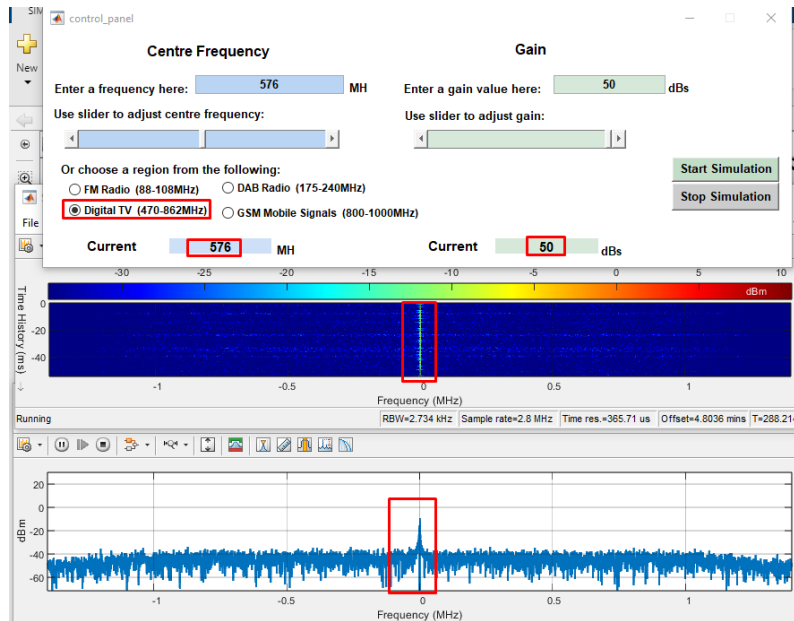


Figura 23: Frecuencia TV digital 576 MHz

7.3. Frecuencias en DAB Radio

Al igual que la televisión digital, en este caso también hemos sintonizado señales de DAB Radio, la cual es una tecnología utilizada para transmitir estaciones de radio de forma digital en lugar de la transmisión analógica, como se observa en la siguiente figura, una de las frecuencias capturadas es la de 234.5 MHz, la cual en su espectrograma y espectro de frecuencias, nos da como resultado un pico e señal e intensidad de datos moderada que el dispositivo RTL se encuentra capturando. También capturamos otra frecuencia a 205 MHz, como se puede observar en la siguiente figura, contiene un espectrograma visible entre los -40 dBm de potencia y un pico de espectro de frecuencia igualmente visible.

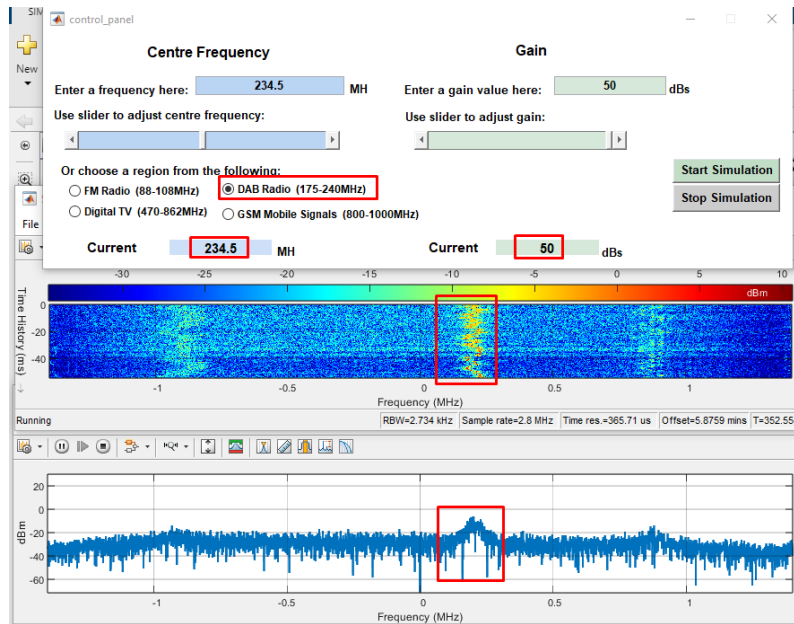


Figura 24: Frecuencia DAB Radio 234.5 MHz

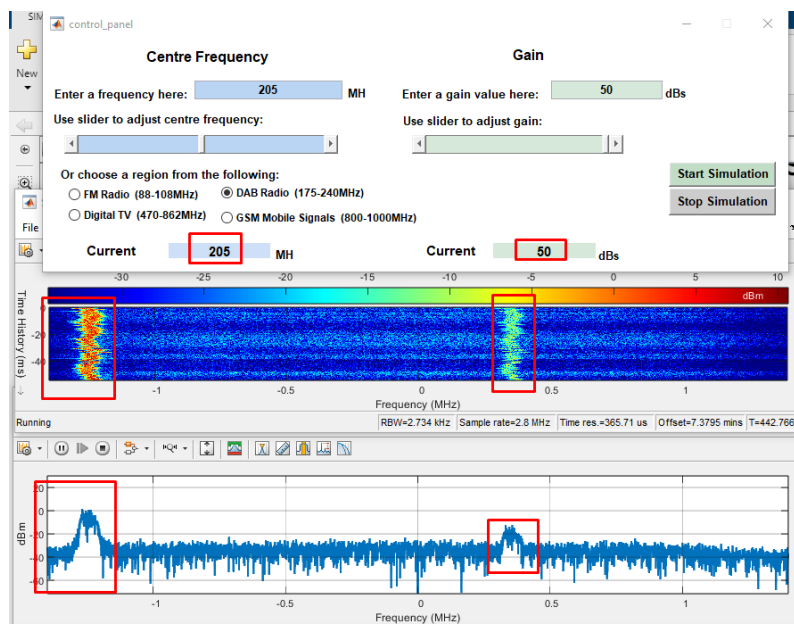


Figura 25: Frecuencia DAB Radio 205 MHz

7.4. Frecuencias de señales GSM

Ahora continuamos con la captura de frecuencias que representan señales en la tecnología GSM, para el caso, como primer frecuencia hemos seleccionado la 875 MHz, con una ganancia de 50 dBm, como se puede apreciar en la siguiente figura, la visualización en el espectrograma demuestra un alto índice de ruido, así como un ancho de banda mayor representado por el ancho del espectro de frecuencia.

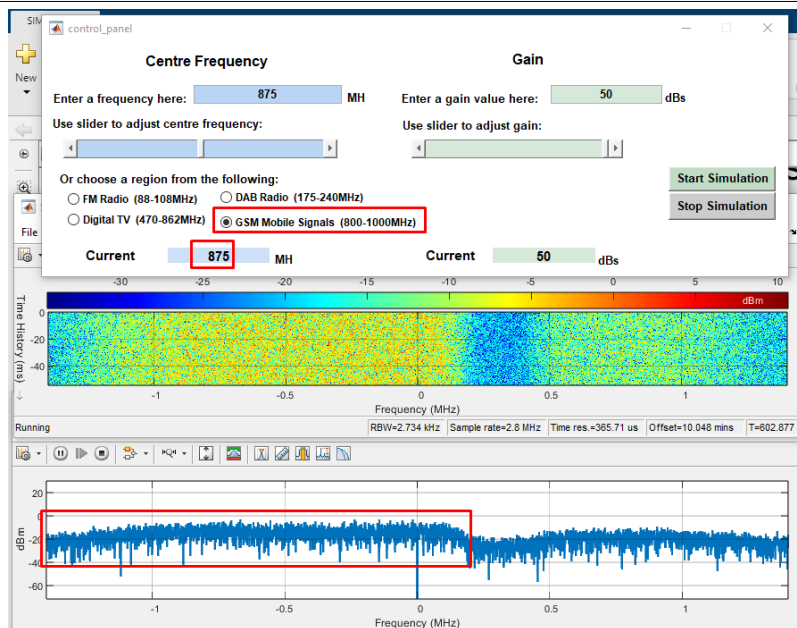


Figura 26: Frecuencia GSM 875 MHz

En la siguiente figura observamos como en la frecuencia 892.5 MHz, en el espectrograma se observa la llegada de señales en diferentes canales, así como diferentes picos en el espectro de frecuencias.

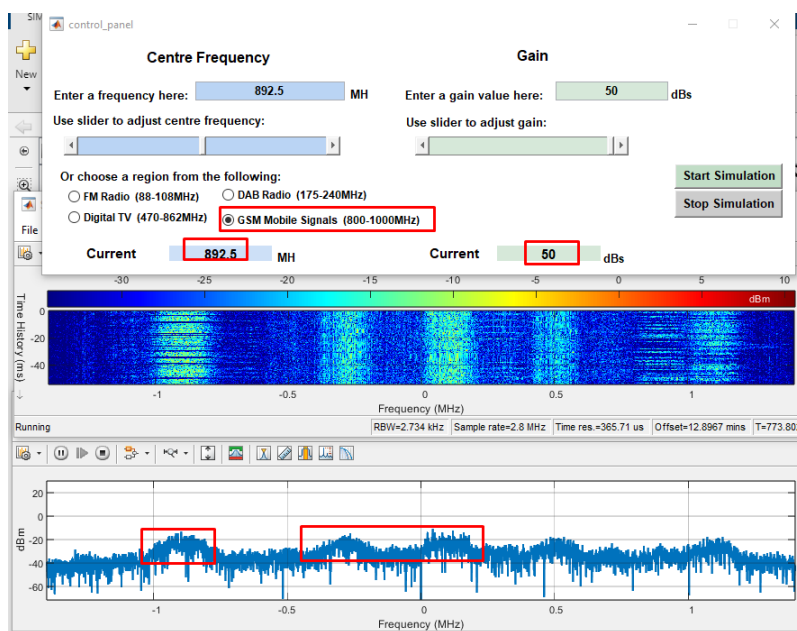


Figura 27: Frecuencia GSM 892.5 MHz

7.5. Preguntas

7.5.1. Pregunta 1: ¿Cuál es el rango de frecuencias en el que trabajan las señales capturadas en el laboratorio de: radio FM, Televisión Digital y Telefonía GSM?

- **Radio FM:** 87.5 MHz a 108.0 MHz
- **Televisión Digital:** 470 MHz a 790 MHz.
- **GSM:** 850 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, y 1900 MHz

7.5.2. Pregunta 2: ¿Qué ocurre con una señal capturada de telefonía GSM al tener un valor de ganancia de 5dBs y un valor de ganancia de 50dBs?

Como podemos observar en la siguiente figura, mediante una frecuencias de 875 MHz, en una configuración de 5 dBm de ganancia, el dispositivo RTL, no es capaz de capturar ningún tipo de señal, por ende el fondo del espectrograma se torna azul, mientras que el espectro de frecuencias no obtiene ningún pico. Estos e debe a la baja ganancia de la antena en frecuencias que nos llegan con una intensidad elevada.

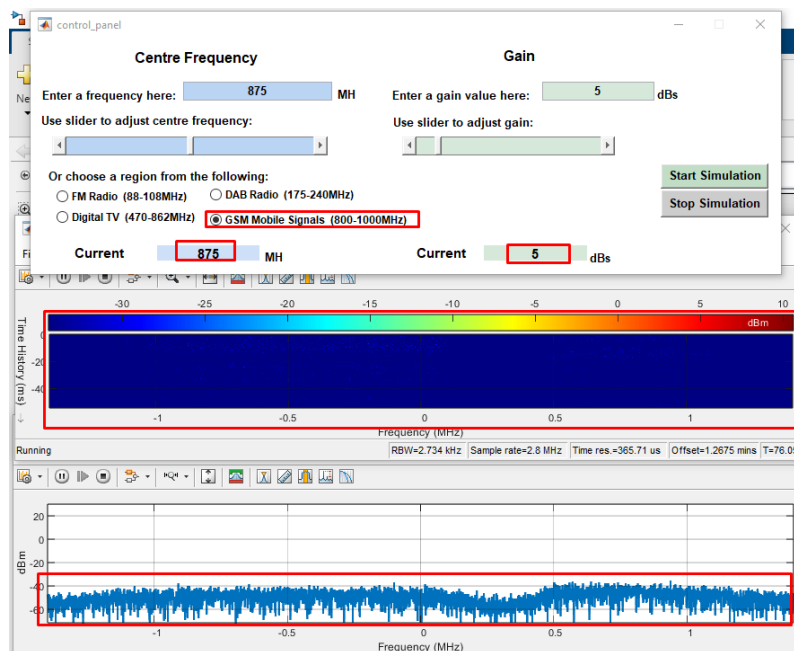


Figura 28: Frecuencia GSM con 5dBs

Si se realiza una modificación de la ganancia a 50 dBm, se puede observar que la señal llega con bastante ruido, en este caso trabajando con la misma frecuencia, mientras que en la gráfica de espectro de frecuencias, de igual forma el ruido generado cubre un amplio porcentaje del espectro. en esta frecuencia no se logra capturar señales.

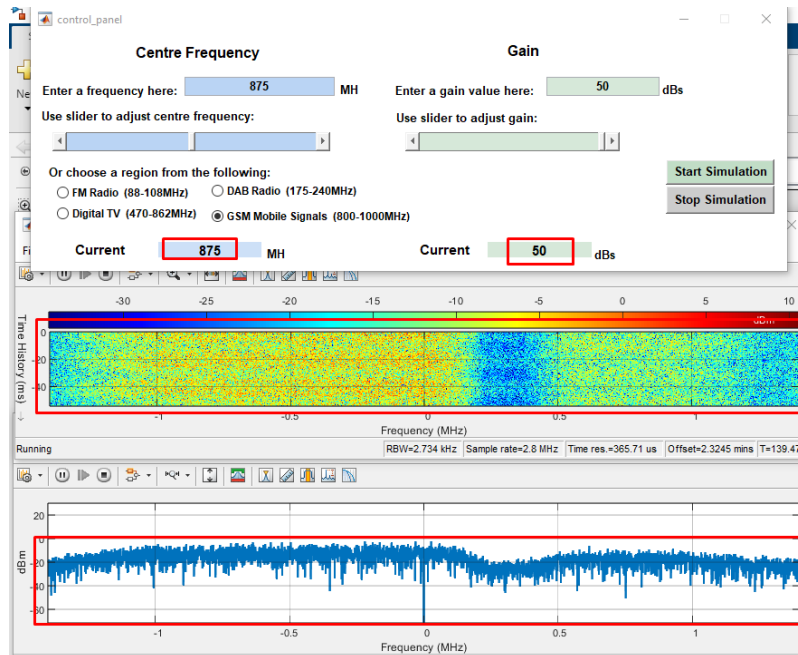


Figura 29: Frecuencia GSM con 50dBs

7.5.3. Pregunta 3: Explique cómo capturar la señal GSM entre una llamada mediante el SDR

Una vez que se tiene el dispositivo RTL-SDR conectado a una computadora, es necesario el uso de un software como GNU Radio, SDR Angel o MATLAB como en este caso, con el uso de su respectivo ToolBox, se ingresa la frecuencia en la cual se esta realizando la llamada, generalmente en GSM utiliza las frecuencias de 850 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, y 1900 MHz. Si una señal esta en línea, deberían verse en el espectrograma la intensidad de la señal que atraviesa el mismo, así como una gráfica de su espectro de frecuencias en la frecuencia central sintonizada.

7.5.4. Pregunta 4: Indique y explique las señales que se muestran en el analizador de espectro Transformada Rápida de Fourier FFT y el analizador de espectro en cascada

La señal que representa la transformada rapida de Fourier en el analizador de espectro, representa una señal en el dominio de la frecuencia, con su espectro de frecuencia, el cual brinda información como la potencia de la señal que esta entrando en dBm, su ancho de banda, así como su frecuencia central. Por otro lado en espectrograma, demuestra la intensidad con la que la señal esta llegando en función del tiempo.

7.5.5. Pregunta 5:Cuál es la principal característica del bloque RTL-SDR Receiver de Matlab Simulink e indique como interactúa en el laboratorio

El bloque RTL-SDR Receiver, se encarga de recibir la señal capturada por el RTL en nuestra computadora, una de sus principales características es la captura de señales en diferentes rangos de frecuencia, sirve como intermediario entre MATLAB y RTL.

En este laboratorio, este bloque ayuda a capturar las señales que provienen desde el dispositivo RTL-SDR para posteriormente enviarla a través de los diferentes bloques que componen la estructura, generando así los diferentes procesamiento de esta señal que permiten obtener el resultado de las gráficas de espectrograma y espectro de frecuencias.

8. Video

[Equipo05_Video04_SDR](#)

9. Conclusiones y Recomendaciones

9.1. Conclusiones

- La demodulación de señales utilizando el SDR RTL en MATLAB ha demostrado ser una herramienta versátil y potente para la exploración del espectro electromagnético. Hemos podido captar y demodular una variedad de señales, desde emisoras de radio FM hasta comunicaciones aeronáuticas, gracias a la flexibilidad del SDR RTL y las capacidades de procesamiento de señales de MATLAB.
- La demodulación de señales utilizando el SDR RTL en MATLAB ha demostrado ser una herramienta versátil y potente para la exploración del espectro electromagnético. Hemos podido captar y demodular una variedad de señales, desde emisoras de radio FM hasta comunicaciones aeronáuticas, gracias a la flexibilidad del SDR RTL y las capacidades de procesamiento de señales de MATLAB.
- Como otra conclusión, vemos que las gráficas generadas por MATLAB, en cuanto a espectrograma y espectro de frecuencias, nos dan una información similar a las proporcionadas por SDR Angel, SDR Share y GNU Radio.
- También se puede concluir que gracias a Simulink, es posible realizar diferentes esquemas de captura de simulación, así como aplicar filtros o decodificar una señal a diferencia de SDR Share que es una herramienta solo de visualización o escucha.
- Simulink al ser una interfaz más fácil de entender e implementar, se puede visualizar los diferentes espectros requeridos ya sea en cascada o FFT, de igual manera, el RTL-SDR es compatible dentro de simulink mediante librerías y esto facilita de mejor manera el uso de la herramienta de matlab.
- De igual manera dentro del código de matlab para capturar las frecuencias o configurar la ganancia, estos parámetros pueden ser aún mas modificados ya que dentro del código se especifica un límite, de igual manera, para tener una señal óptima dentro de una frecuencia seleccionada es ideal corregir con la ganancia a la señal de frecuencia para lograr tener una señal sin mucho ruido.
- Finalmente, se evaluó diferentes frecuencias en cada sistema ya sea FM, GSM, TV digital o DAB radio, dentro de las capturas de las diferentes frecuencias se logra visualizar los picos

en donde existe la señal de audio y de igual manera se da a conocer lo útil que es simulink para capturar diferentes señales y graficar su espectro.

9.2. Recomendaciones

- Se recomienda continuar explorando las capacidades del SDR RTL en MATLAB mediante la experimentación con diferentes tipos de señales y técnicas de procesamiento de señales. Esta exploración nos permitirá ampliar nuestro conocimiento y habilidades en el campo de la radio definida por software.
- Es importante mantenerse actualizado con las últimas versiones de hardware y software disponibles para el SDR RTL y MATLAB, ya que esto puede ofrecer nuevas funcionalidades y mejoras en el rendimiento. Además, considerar la posibilidad de complementar el SDR RTL con accesorios adicionales, como antenas especializadas, para mejorar la recepción de señales en diferentes frecuencias y entornos.
- Es recomendable realizar la instalación de los drivers del modulo RTL-SDR antes de iniciar la descarga del ToolBox de MATLAB, puesto que este puede dar inconvenientes al instalarlo después.
- Se recomienda realizar las diferentes configuraciones, ya sea agregar una nueva librería en simulink, quitar permisos de funcionamiento, etc. Estos parámetros ocasionalmente son requeridos al realizar una simulación poco común.
- Se recomienda capturar otras frecuencias y observar más a detalle el cambio de cada espectro según la frecuencia seleccionada.

10. Referencias bibliográficas

Referencias

- Catedra. (2024). Instalación driver sdr-rtl para matlab. *catedra.ing.unlp.edu.ar*. Descargado de <https://catedra.ing.unlp.edu.ar/comunica/wp-content/uploads/2018/11/InstalacionDriverMatlab.pdf>
- Get started with communications toolbox support package for RTL-SDR radio.* (s.f.). <https://la.mathworks.com/help/comm/getting-started-with-communications-system-toolbox-support-package-for-rtl-sdr-radio.html>. (Accessed: 2024-5-1)
- Overview, P. (2024). Sdr active learning module. *Analog.com*. Descargado de <https://www.analog.com/media/en/news-marketing-collateral/product-highlight/adalm-pluto-product-highlight.pdf>