

Desarrollo de aplicaciones con el equipo NI USRP 2900

Developing applications with NI USRP 2900

Ixchel Z. Gutiérrez-Meza^a, Susana Sánchez-Urrieta^b

Abstract:

This work presents the development of an application that characterizes, in real time, the noise present in the channel of a wireless communication system in the 2.4 GHz band. The application was created using LabVIEW software with the NI USRP 2900 device, which is a transmitter and receiver of analog signals. The application was developed with the goal of studying the effect of actual noise present in the channel on the performance of a communication system, as this is usually done using signal generators, which provide noise models with specific statistical characteristics, typically Gaussian, that do not necessarily match the noise present in the channel at the time a system is being tested.

Keywords:

Noise, histogram, normal PDF, receptor, statistical parameters.

Resumen:

En este trabajo se presenta el desarrollo de una aplicación que caracteriza, en tiempo real, el ruido presente en el canal de un sistema de comunicación inalámbrico en la banda de 2.4 GHz. La aplicación fue creada a través del software LabVIEW con el equipo NI USRP 2900, el cual es un transmisor receptor de señales analógicas. La aplicación se desarrolló con el objetivo de poder estudiar el efecto del ruido real presente en el canal en el desempeño de un sistema de comunicación, ya que normalmente esto se realiza usando generadores de señales, los cuales proporcionan modelos de ruido con características estadísticas específicas, normalmente Gaussianas, las cuales no necesariamente coinciden con el ruido presente en el canal en el momento que se prueba un sistema.

Palabras Clave:

Ruido, histograma, PDF normal, receptor, parámetros estadísticos.

Introducción

El desarrollo de aplicaciones con el equipo NI-USRP 2900 (NI-USRP por sus siglas en inglés *National Instruments-Universal Software Radio Peripheral*); el cual es un equipo transmisor-receptor de señales analógicas, son una opción para poder medir el desempeño de sistemas de comunicación en tiempo real. Aunque el equipo cuenta con *software* propio, éste presenta algunas limitaciones en configuración del equipo, por lo que en el desarrollo de nuestra aplicación usamos LabVIEW, ya que no presenta limitantes, es un entorno de desarrollo gráfico y cuenta con librerías específicas para el control del equipo USRP 2900.

La aplicación consiste en un receptor, en tiempo real, de ruido presente en el canal en la banda de 2.4 GHz. Esta frecuencia se eligió debido a que es una banda libre donde funcionan sistemas de comunicación de uso masivo como son las redes *WiFi* o *Bluetooth*.

La importancia de caracterizar el ruido de canal es debido a que el desempeño de un sistema de comunicación depende, en gran medida, de las características del ruido presente en el canal. Por ejemplo, una medida de desempeño es la Tasa de Bit Erróneo, BER (BER por sus siglas en inglés *Bit Error Rate*), la cual está directamente relacionada con la Relación Señal a Ruido, SNR (SNR por sus siglas en inglés *Signal to Noise Ratio*), la cual está definida como la división de la potencia de la señal entre la potencia del ruido. La potencia del ruido se obtiene a

^a Autor de Correspondencia, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla | Facultad de Ciencias de la Electrónica | Puebla-Puebla | México, <https://orcid.org/0009-0003-9809-2918>, Email: ixchel.gutierrezm@alumno.buap.mx

^b Benemérita Universidad Autónoma de Puebla | Facultad de Ciencias de la Electrónica | Puebla-Puebla | México, <https://orcid.org/0000-0002-8653-6556>, Email: email@uaeh.edu.mx

través de uno de los parámetros estadísticos del mismo, que es la varianza y es donde entra la importancia de conocer los parámetros estadísticos en tiempo real. [1] [2] De hecho, el conocer las características estadísticas del ruido presente en el canal permite tomar decisiones en los parámetros de las señales a transmitir, de tal manera que en ruido afecte lo menos posible el desempeño del sistema.

Basado en lo anterior, en las siguientes secciones se presenta cómo fue el desarrollo del receptor de ruido y obtención de sus características estadísticas dentro de las que se encuentra su Función de Densidad de Probabilidad, PDF (PDF por sus siglas en inglés *Probability Density Function*).

Objetivos

- Obtener los parámetros estadísticos del ruido real presente en el canal, sus parámetros estadísticos, histograma y función de densidad de probabilidad (PDF).
- Comparar el ruido real presente en el aire desde su histograma contra su PDF para observar qué tan diferente es a un ruido gaussiano.

Equipo

- Hardware
 - NI USRP 2900
 - Conector USB 3.0 Tipo A a Tipo B
 - Adaptador AC/DC de 6V
 - Antena TL-ANT2408C
- Software
 - NI LabVIEW 2024
 - NI-USRP Configuration Utility

Conceptos teóricos

NI USRP 2900. *Universal Software Radio Peripheral* por sus siglas en inglés (USRP) es un transceptor de RF (radiofrecuencias) ajustable con operación dúplex. [3]

NI LabVIEW. Entorno de programación gráfica que proporciona aceleradores de productividad únicos para el desarrollo de sistemas de pruebas, como un enfoque intuitivo para la programación, conectividad con cualquier instrumento e interfaces de usuario completamente integradas. El entorno de programación LabVIEW simplifica la integración de hardware para aplicaciones de ingeniería. [4]

VI: Un instrumento virtual o *Virtual Instrument (VI)*, es un módulo software que simula el panel frontal de un instrumento real de medición de variables físicas y apoyándose en elementos hardware accesibles por el ordenador (tarjetas de adquisición de datos, instrumentos

accesibles vía estándares de comunicación, por ejemplo, USB: *Universal Serial Bus*) realiza una serie de medidas como si se tratase de un instrumento real. Estos se componen de:

- Panel Frontal donde se encuentra la parte externa o interfaz hombre maquina (por sus siglas en inglés HMI: *Human-Machine Interface*) del programa.
- Diagrama de Bloques donde está la parte lógica o código fuente del programa.
- Icono/Conector es la huella digital que identifica al programa. [5]

Transmisor. Un transmisor puede ser representado de forma general con el esquema de la Figura 1. Es el dispositivo encargado de procesar la señal de información que se quiere enviar y generar la señal modulada que se propagará por el medio de transmisión. La señal por transmitir se formará a partir de una frecuencia portadora previamente generada, y se amplificará antes de ser radiada hasta alcanzar niveles adecuados para que llegue al receptor. Sus funciones más importantes:

- Producir la señal portadora que transportará la información.
- Modular la señal de información creando la señal modulada.
- Amplificar la señal modulada hasta la potencia necesaria para que alcance el receptor.
- Filtrar la señal modulada para después ser radiada en la antena de éste. [6]

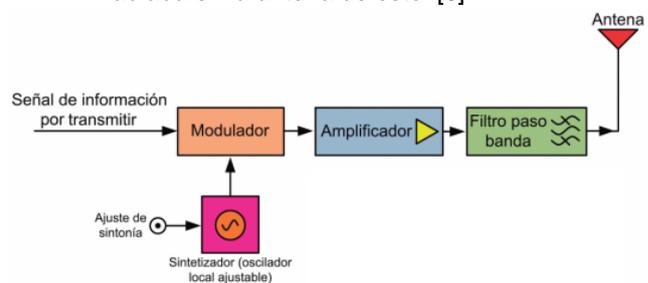


Figura 1. Esquema de un transmisor

Receptor. La Figura 2 muestra un esquema simplificado de un receptor.

Un receptor es capaz de captar, amplificar y demodular la señal RF procedente del transmisor. Tiene las siguientes características:

- Sensibilidad: Determina el alcance del sistema. Podría definirse como el nivel mínimo de señal que es necesaria a la entrada para recibir la información correctamente.
- Selectividad: Capacidad de rechazar aquellas señales muy próximas a la banda de frecuencias de la señal recibida y que no son deseadas.
- Fidelidad: Capacidad de reproducir la señal emitida sin distorsión. [6]

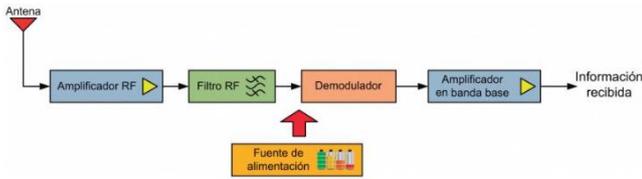


Figura 2. Esquema de un receptor

Ruido. Se utiliza habitualmente para nombrar a señales no deseadas que tienden a perturbar la transmisión y el procesamiento de señales en los sistemas de comunicación. En la práctica, encontramos que hay muchas fuentes potenciales de ruido en un sistema de comunicación. Las fuentes de ruido pueden ser externas al sistema (por ejemplo, ruido atmosférico, ruido galáctico, ruido provocado por el hombre) o internas al sistema. [7]

Estadística. La finalidad de la estadística es utilizar datos obtenidos en una muestra de sujetos para realizar inferencias válidas para una población más amplia de individuos de características similares.

Para ayudar a que las características de una muestra sean evidentes, se calcula el resumen estadístico. Las dos cantidades más usadas en el resumen estadístico son la media de la muestra y la desviación estándar de la muestra. La primera indica el centro de los datos y la segunda señala cómo están distribuidos los datos.

- Media muestral. La media muestral también se llama “media aritmética”, o, simplemente, “promedio”. Representa la suma de los números en la muestra, dividido entre la cantidad total de números que hay.
- Desviación estándar. La desviación estándar es una cantidad que mide el grado de dispersión en una muestra.
- Mediana. La mediana, al igual que la media, representa una medida de tendencia central de los datos.
- Moda. La moda muestral es el valor que tiene más frecuencia en una muestra. Si algunos valores tienen una frecuencia igual, cada uno representa una moda. [8] [9]

Distribución normal (gaussiana). Es el modelo de uso más generalizado para la distribución de una variable aleatoria. La media determina el centro de la función de densidad de probabilidad y la varianza determina la anchura. Su característica es la curva en forma de campana, pero el centro y la dispersión varían. Matemáticamente se define como [9] [10]:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Donde

σ =desviación estándar

σ^2 =varianza

μ =media

Histograma. Una distribución de frecuencia es un resumen de datos. Para construirla el rango de los datos debe dividirse en intervalos, de ser posible, los intervalos deberán ser de la misma anchura a fin de reforzar la información visual de la distribución de frecuencia. El número de intervalos depende del número de observaciones y del grado de dispersión de los datos. Una distribución de frecuencia que emplea muy pocos intervalos de clase o demasiados no será informativa. En general, se encuentra que entre 5 y 20 intervalos de clase son satisfactorios en la mayoría de los casos.

Resulta conveniente presentar la distribución de frecuencia en forma gráfica, a esta representación se le llama histograma. [9] [10]

Error estándar. Cuando se reporta el valor numérico o estimación puntual de un parámetro, suele ser conveniente dar cierta idea de la precisión de la estimación. La medida de la precisión que se usa generalmente es el error estándar.

$$se = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

Donde

σ =desviación estándar

n =tamaño de la muestra

Cuando se sigue una distribución normal, puede tenerse una seguridad razonable de que el valor real del parámetro está entre dos errores estándar de la estimación. [9] [10]

Uso general de LabVIEW para USRP 2900

Crear un proyecto

Para comenzar se crea un proyecto abriendo LabVIEW. La Figura 3 muestra la ventana de inicio.

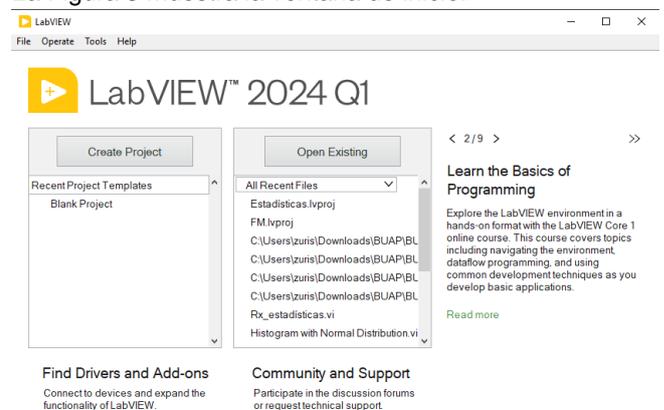


Figura 3. Ventana de inicio de LabVIEW

Se selecciona *Create Project* > *Blank Project* > *Finish*.

Crear un VI

Al finalizar los pasos anteriores se abre otra ventana, en ella se selecciona el ícono *New*, como se muestra en la Figura 4

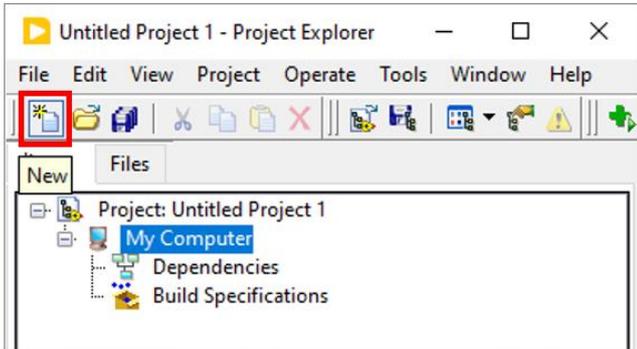


Figura 4. Ícono *New*

En la siguiente ventana se selecciona *Blank VI* > *Add to Project* > *OK*. De esta manera el VI se agrega al proyecto. Automáticamente aparecen dos ventanas, las cuales se muestran en la Figura 5.

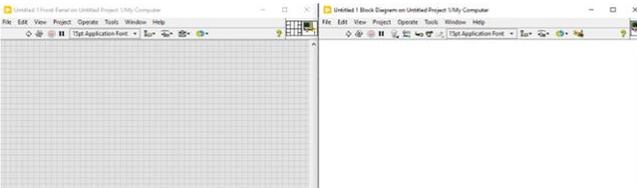


Figura 5. Ventanas: Panel frontal y Diagrama de bloques

La ventana gris con cuadros es el Panel frontal, la ventana blanca es el Diagrama de bloques.

- Panel frontal: Aquí se muestra la interfaz con el usuario. Las gráficas, botones, recuadros para insertar texto, etc. aparecen aquí.
- Diagrama de bloques: En esta ventana se hacen las conexiones de VIs.

Conexiones de Vis

Para agregar los VIs que sirven para configurar el USRP se coloca el cursor en la ventana Diagrama de bloques. Con *click* izquierdo aparece el menú con los VIs para el receptor y transmisor. En la Figura 6 se observa la ruta

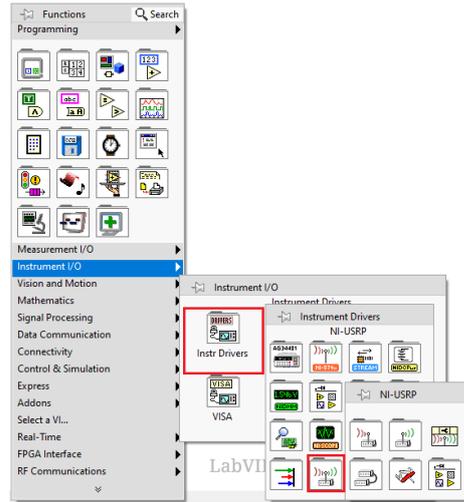


Figura 6. Ruta para VIs del USRP

Dando *click* en la chincheta se puede anclar el menú. En la Figura 7 se muestra el menú Rx y Tx.

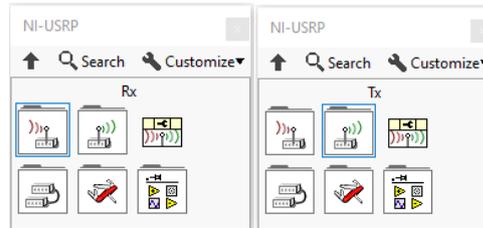


Figura 7. Menú Rx y Tx

Rx: Receptor

Usando el menú Rx se colocan y conectan los VIs como se muestra en la Figura 8

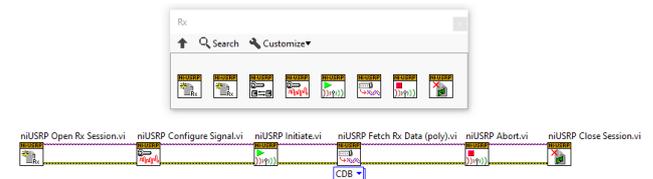


Figura 8. Conexiones de Rx

A partir de esto se comienzan a crear constantes, controles e indicadores para cada VI. Esto se logra colocando el cursor en los puntos de cada VI (Figura 9(a)) y dando *click* derecho. La Figura 9(b) muestra la ruta para crear una entrada o salida.

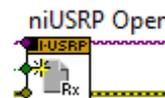


Figura 9(a). Puntos del VI

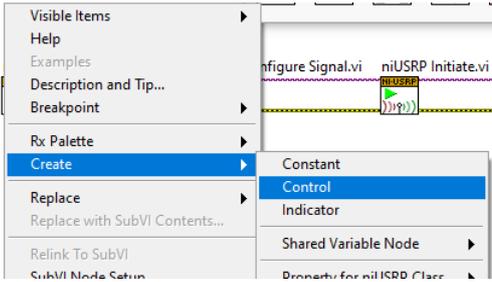


Figura 9(b). Ruta para crear entradas o salidas

Cada vez que se agrega un control en las entradas, éste se observa en el Panel frontal (Figura 10).



Figura 10. Control observado en Panel frontal

Tx: Transmisor

Para el transmisor se colocan los VIs del menú Tx, tal como lo muestra la Figura 11

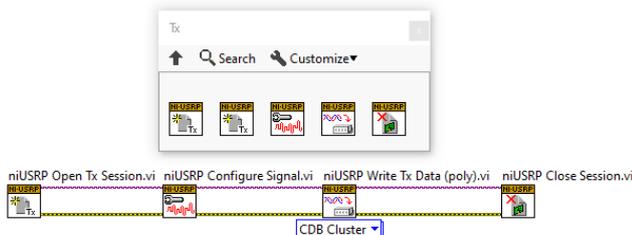


Figura 11. Conexiones de Tx

De la misma manera que en el receptor, las constantes, controles e indicadores se crean en las entradas y salidas de los VIs. Esto depende de lo que la aplicación requiere, pues no es necesario usar todas las entradas y salidas.

Ayuda

Para conocer las características de cada VI, así como el uso de cada entrada y salida se puede conseguir la información dando *click* derecho sobre el VI y seleccionando *Help* (Figura 12).

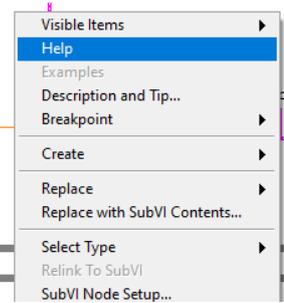


Figura 12. Conseguir información de un VI

Esto abre una ventana (Figura 13) con información completa del VI.



Figura 13. Información de un VI

Agregar gráfica

Si se desea observar una gráfica, ésto se hace desde el Panel frontal dando *click* derecho y siguiendo la ruta *Modern>Graph*. El menú ofrece diferentes opciones de gráficas: *Waveform Chart*, *Waveform Graph*, *XY Graph*, entre otras.

La Figura 14 muestra el menú de gráficas.

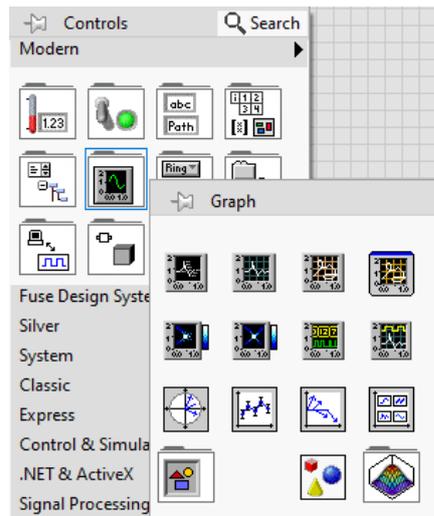


Figura 14. Menú de gráficas

Conexión de USRP 2900

En el equipo se conectan la(s) antena(s), el adaptador AC/DC y el conector USB.

Al conectar el USB a la computadora se puede verificar si la conexión fue exitosa en el software NI USRP Configuration Utility. Antes de conectar el equipo o si no se reconoce el equipo la pantalla no muestra un listado (Figura 15)

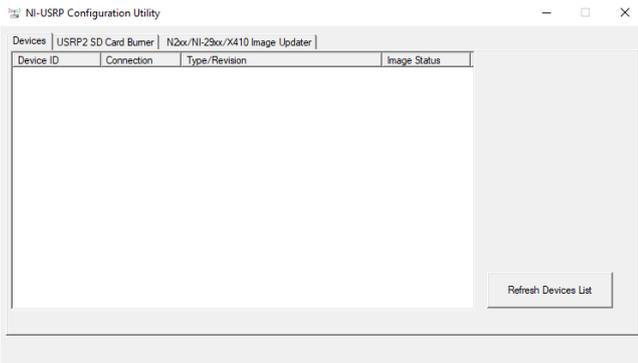


Figura 15. Pantalla antes de conectar el equipo

Cuando la computadora reconoce el equipo, la pantalla muestra el nombre y el estado de la conexión (Figura 16).

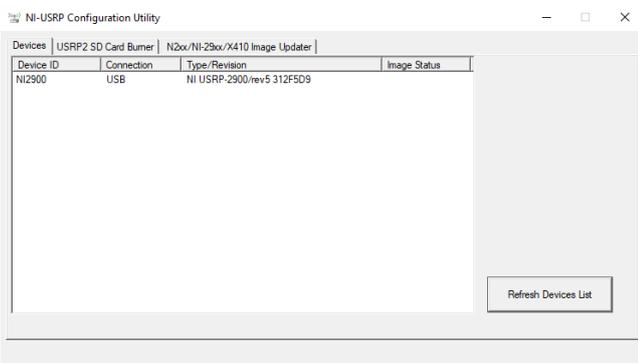


Figura 16. Pantalla al conectar el equipo

Correr VI

Desde el Panel frontal o el Diagrama de bloques se presiona el botón Run (Figura 17) para correr el VI.

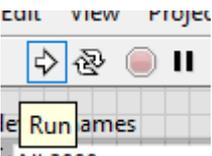


Figura 17. Botón Run

Aplicación

Parámetros estadísticos de ruido real

Desarrollo

Se va a estudiar el ruido presente en el aire que recibe la antena del USRP 2900. Este equipo puede usar hasta dos antenas; por lo tanto, en esta aplicación sólo se usa la antena de recepción RX1/TX1.

Para la configuración de receptor se toma como base lo realizado en Uso general de LabVIEW para USRP 2900.

Receptor

1. Parámetros

Se define la antena que se usa y el nombre del equipo (Figura 18). No se definen más parámetros, pues se va a recibir el ruido con todas sus características.

- active antenna: Se usa una antena, puede ser RX1/TX1 o RX2.
- device names: Nombre del equipo, NI 2900.

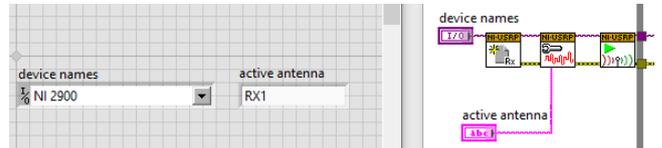


Figura 18. Parámetros

2. Recepción de señal

Con el VI *Fetch Rx Data (poly)* se obtiene la señal y se agrega una gráfica para observar el ruido recibido (Figura 19).

La opción CDB obtiene datos complejos de punto flotante de doble precisión del canal especificado.

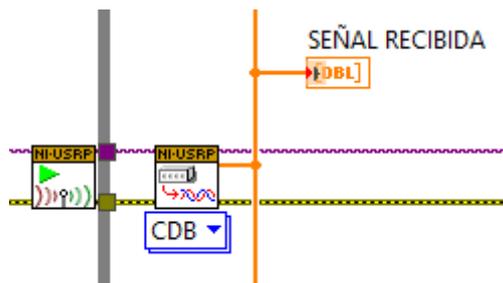


Figura 19. Recepción de señal

El ruido que se obtiene es el ruido que la antena capta en su rango de frecuencia (2.4 GHz). La aplicación permite que el equipo obtenga la señal en tiempo real (y *obtener hasta 100,000 muestras*), al igual que los parámetros estadísticos y las gráficas; por lo tanto, las mediciones se hacen en el momento y ubicación requeridos eliminando la necesidad de varias tomas de datos.

3. Espectro de frecuencia

De la salida de *Fetch Rx Data (poly)* se obtiene también el espectro de frecuencia con el VI *Spectral Measurements*, agregando una gráfica para observar el espectro (Figura 20).

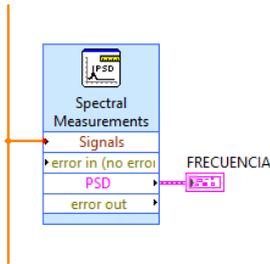


Figura 20. Espectro de frecuencia

4. Parámetros estadísticos

Con el VI *Statistics* (Figura 21) se obtienen los datos estadísticos (media aritmética, desviación estándar, varianza, etc). Su entrada requiere datos dinámicos. Debido a que la salida de *Fetch Rx Data (poly)* da como resultado una matriz de datos complejos, se usa un convertidor a datos dinámicos.

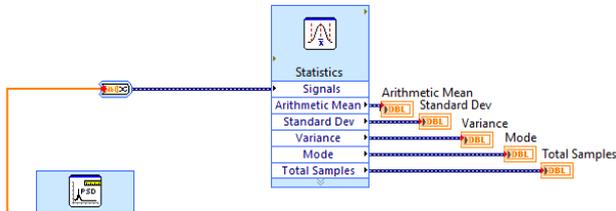


Figura 21. Parámetros estadísticos

5. Histograma

Para obtener el histograma se usa el VI *histogram* obteniendo los datos de entrada del VI *Fetch Rx Data (poly)*. Se agrega una entrada para los intervalos (*bins* del histograma) y una gráfica para observar el histograma (Figura 22).

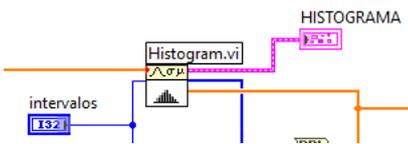


Figura 22. Histograma

6. Histograma vs PDF

La salida del VI *histogram* es una matriz que se lleva al VI *Array Max and Min* para obtener los valores mínimos y máximos; estos valores son la entrada para obtener un patrón de rampa del VI *Ramp Pattern*. Este VI puede generar patrones de rampa ascendente y descendente en la configuración *Ramp by Samples*. Para obtener la PDF del ruido se utiliza el VI *Continuous PDF* en la configuración deseada, en este caso se usa la *Normal*. Sus entradas son la media, la desviación estándar y la salida de *Ramp Pattern*. Para unir ambas gráficas se utilizan matrices; después se trae la gráfica de la PDF al frente con un VI *Bundle*. La salida se envía a un constructor de matrices *Build Array* y

se agrega una gráfica para observar las gráficas superpuestas.

La Figura 23 muestra este proceso.

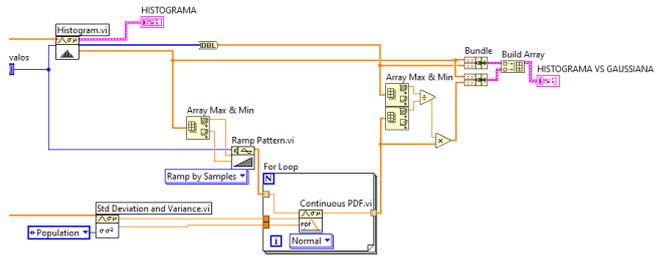


Figura 23. Histograma vs PDF

7. Diagrama de bloques final

Los procesos van dentro de un ciclo *while* para que el receptor reciba señal de manera continua. La Figura 24 muestra el diagrama completo.

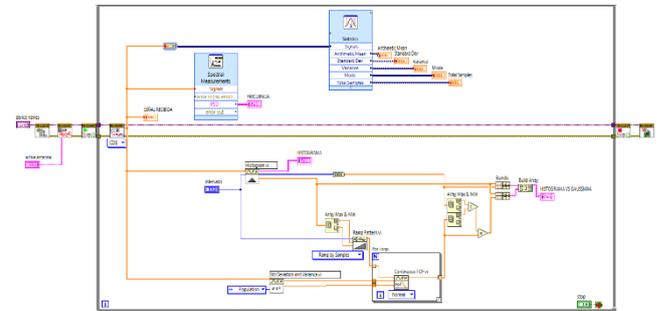


Figura 24. Diagrama de bloques final

Resultados

Al correr el VI se observan las gráficas con los diferentes datos recibidos. La Figura 25 muestra dos gráficas: la señal (ruido) recibida y el espectro de frecuencia. Donde la amplitud de la señal recibida tiene unidades de *volts [V]* y la amplitud de la frecuencia está dada en decibeles [*dB*].

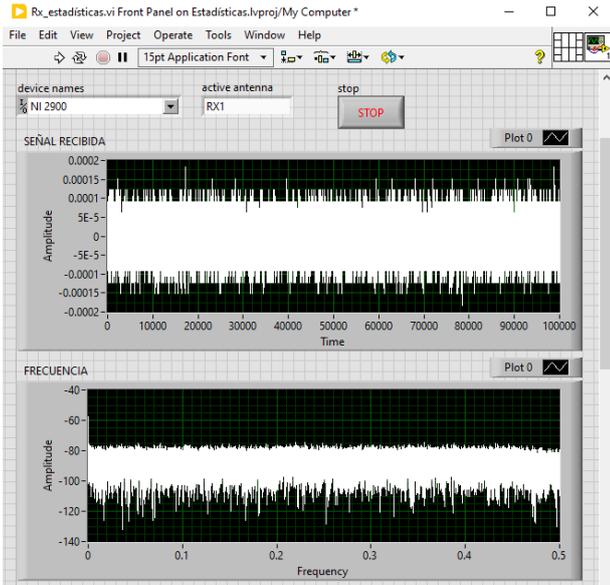


Figura 25. Gráficas: señal recibida y espectro

Si se requiere obtener un documento excel con los datos de cada gráfica, se puede hacer posicionando el cursor sobre la gráfica y dando *click* derecho *Export>Export Data To Excel*, como lo muestra la Figura 26. También se puede exportar la imagen de la gráfica en la opción *Export Simplified Image*.

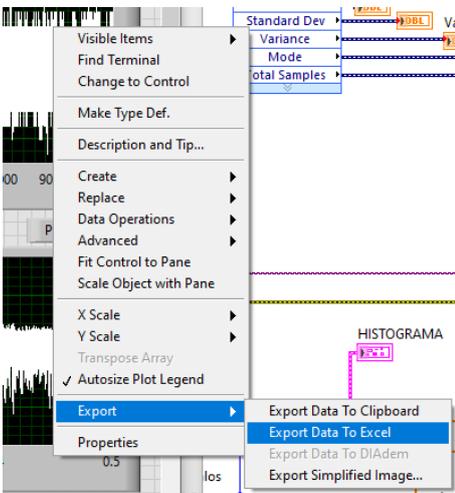


Figura 26. Exportar datos a Excel

En la Figura 27 se observan otras dos gráficas: el histograma y el histograma vs la PDF de los datos del ruido.

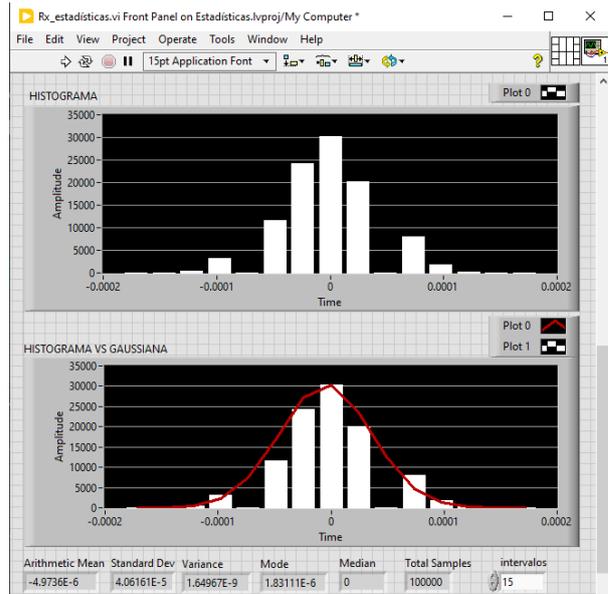


Figura 27. Gráficas: histograma y PDF vs histograma

Al final de las gráficas se observan los datos estadísticos del ruido recibido; así como los intervalos o *bins* del histograma, los cuales se pueden modificar al mismo tiempo que se recibe el ruido. Estos datos se muestran a continuación en la Tabla 1 de un total de 100 000 muestras.

Dato estadístico	Dato obtenido	Unidad de medición
Media aritmética	-4.9736	[μV]
Desviación estándar	40.6161	[μV]
Varianza	1.64967	[nW]
Moda	1.83111	[μV]
Mediana	0	[V]

Tabla 1. Datos estadísticos obtenidos

Calculando el error estándar de los datos se obtiene que

$$se = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{40.6161 \mu V}{\sqrt{100\,000}} = 0.128 \mu V$$

Debido a que la gráfica y los datos obtenidos sugieren una distribución normal (gaussiana), entonces el valor real se obtiene mediante

$$2 * se = (2)(0.128 \mu V) = 0.256 \mu V$$

Esto quiere decir que el ruido medio real está entre $-5.2296 \mu V$ y $-4.7176 \mu V$. Dando un porcentaje de error de 2.57 %.

Teniendo en cuenta que la varianza es la potencia de la señal, se concluye que si se transmite una señal con una potencia cercana a 1.64967 nW, la señal no podrá ser

recuperada en la recepción pues la calidad de la señal recibida será ineficiente. Mientras mayor es la potencia de la señal enviada (>1.64967 nW), mejor se podrá recuperar en el receptor.

Conclusiones

Se presentó el desarrollo de un receptor, en tiempo real, de ruido presente en el canal de comunicación, específicamente en la banda de 2.4 GHz. El cual se realizó como una aplicación en el equipo NI URSP 2900 y el software LabVIEW.

Con esta aplicación se obtuvieron las características estadísticas del ruido, entre las que se encuentran la media, desviación estándar, moda, PDF, entre otras.

También se calculó el error estándar de medición.

De los parámetros que se pueden obtener, tiene especial importancia la varianza, ya que al ser esta la medida de la potencia del ruido permite tomar decisiones para que el ruido dañe lo menos posible el desempeño de un sistema de comunicación.

En este trabajo sólo se caracterizó ruido en la banda de 2.4 GHz, sin embargo, éste estudio podría extenderse a otras bandas, cuya limitante actual podría ser el rango de frecuencias en el que trabaja el equipo con el que contamos.

Referencias

- [1] John G. Proakis, Masoud Salehi. (2008). Digital Communications. New York, USA. McGraw Hill.
- [2] Bernard Sklar. (2001). Digital Communications: Fundamentals and Applications. California, USA. Prentice Hall.
- [3] National Instruments Corp., (2024). USRP-2900. Disponible en: <https://www.ni.com/es-mx/shop/model/usrp-2900.html>.
- [4] LabVIEW. (2024). Disponible en: <https://www.ni.com/es/support/downloads/software-products/download.labview.html#544096>.
- [5] 1Library. Instrumento Virtual (VI). Disponible en: <https://1library.co/article/instrumento-virtual-vi-manual-programacion-labview-nivel-b%C3%A1sico.yj71r25m>.
- [6] Sergio Gallardo Vázquez. (2015). Elementos de sistemas de telecomunicaciones. Madrid, España. Paraninfo.
- [7] Simon Haykin. (2001). Communication Systems. USA. Wiley & Sons.
- [8] William Navidi. (2006). Estadística para ingenieros y científicos. México D.F, México. McGraw Hill.
- [9] Athanasios Papoulis, S. Unnikrishna Pillai. (2002). Probability, random variables and stochastic processes. USA. McGraw Hill.
- [10] George C. Runger Douglas C. Montgomery. (2003). Probabilidad y estadística aplicada a la ingeniería. México D.F, México. Wiley & Sons.