

Interfaz para el control de amplificador lock in SR860

Elías A. Armenta Espinoza, Mario Camarillo-Ramos, Luis Arturo Martínez-Alvarado,
Verónica Quintero Rosas

Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Mexicali.

Resumen

Hoy en día es más común la interacción usuario maquina como interfaz para el control de diferentes sistemas. La automatización es utilizada con la finalidad de mejorar procesos de manufactura con mayor calidad y mayor cantidad de producción en un tiempo mínimo, eliminar el error humano causado por estrés o fatiga, fabricar sistemas autónomos que realicen el trabajo para evitar riesgos en la integridad de las personas y/o realizar la función que es imposible para un usuario. Actualmente esta área ha avanzado considerablemente, esto se puede observar en diferentes ámbitos de la sociedad moderna como en la industria, el hogar, comercios, y también en la investigación científica como un apoyo para cumplir con los objetivos propuestos.

La instrumentación virtual nos permite operar instrumentos físicos de manera remota y al realizarse mediante una computadora, podemos aprovechar más esos instrumentos sin necesidad de requerir más hardware que significaría costos adicionales. Más allá de guardar información, procesar datos y operar remotamente un instrumento, la instrumentación virtual nos permite también automatizar procesos, de esta forma podemos monitorear y almacenar información continuamente, debido a que nos permite generar rutinas por medio de software para que cuando se le dé la orden de inicio a dicho instrumento, ejecute la acción requerida sin importar si el usuario tiene o no dominio del manejo del instrumento. El usuario es solo un espectador del resultado obtenido en las mediciones logrando facilitar el trabajo.

Un instrumento muy utilizado es el amplificador lock-in (o amplificador de bloqueo). Este equipo se ha convertido en algo esencial sobre todo en el área de investigación científica, ya que se puede utilizar para amplificar señales del rango de los nano volts eliminándole el ruido, así también se puede implementar como un voltímetro vectorial, o un analizador de espectros, entre otros.

Abstract

Nowadays, user-machine interaction is more common as interface for the control of different systems. Automation is used in order to improve manufacturing processes with higher quality and greater production quantity in minimum time, eliminates human error caused by stress or fatigue, build autonomous systems that carry out the work to avoid risks in the integrity of the people and / or perform the function that is impossible for a user. Today this area has advanced considerably, this can be observed in different areas of modern society such as industry, home, business, and also in scientific research as a support to reach proposed objectives.

Virtual instrumentation allows us to operate physical instruments remotely and by being done through a computer, we can take better advantage of those instruments without requiring more hardware that would mean additional costs. Further saving information, processing data and remotely operating an instrument, virtual instrumentation also allows us to automate processes, in this way we can continuously monitor and store information, because it allows us to generate routines through software so that when it is given any order, executes the required action regardless of whether or not the user has control of the instrument. The user is only a spectator of the result obtained in the measurements, making the work easier.

A Widely used instrument is the lock-in amplifier. This equipment has become essential especially in the area of scientific research, since it can be used to amplify signals in the nano volt range, eliminating noise, and it can also be implemented as a vector voltmeter, or spectrum analyzer, among others.

Palabras Clave: Amplificador de bloqueo, Labview, Interfaz, Control de instrumento.

Keywords: Lock in amplifier, Labview, Interface, Instrument control.

1. INTRODUCCIÓN

Gracias a los avances en la ciencia y la tecnología, hoy en día es más común la interacción usuario maquina como interfaz para el control de diferentes sistemas. Su evolución ha ido más allá de controlar equipos automatizados con un simple botón físico para poder controlarlos por medio de pantallas que nos permiten una visualización más completa de lo que sucede y la capacidad de ajustar o mover parámetros que puedan ayudar a la calibración de estos sistemas automáticos. Actualmente conectarse por medio de un computador es factible, y esto nos da acceso a poder controlar a distancia toda clase de equipos de manera individual y simultánea, sin mencionar las grandes capacidades que se puede obtener con esto, como el de almacenar la información obtenida de los procesos que nos puede ayudar a predecir comportamientos futuros, procesar los datos y generar gráficas para su mejor comprensión, dar a conocer estado actual del equipo que nos permita operar de forma segura, y en el caso de manejar sistemas, maquinas o instrumentos especializados, se puede aprovechar esta virtud con la finalidad de generar interfaces en computadora que permita realizar todo un proceso o tarea compleja con la facilidad de presionar un botón.

2. ESTADO DEL ARTE

La instrumentación virtual nos permite operar instrumentos físicos de manera remota y al realizarse mediante un ordenador, podemos aprovechar más estos instrumentos sin necesidad de requerir hardware, ya que el ordenador suma funciones adicionales. Existen varios trabajos realizados en este campo donde algunos son interacción maquina instrumento y otros son diseño del instrumento con procesamiento digital de señales utilizando tableros FPGA.

Por lo tanto, la instrumentación virtual se compone de algunas subunidades especializadas, algunas computadoras de uso general, algún software y un poco de conocimiento. Los instrumentos pueden ser simples o muy complejos [1]. Todo esto depende de la finalidad que se requiera, es importante mencionar que un instrumento virtual puede ser desarrollado en diferentes lenguajes como python, C#, C++, java, labview, etc. También otro tema importante es el protocolo de comunicación que se utilizara para dicho trabajo, como mencionan los autores [2] existen varios protocolos de comunicación para la instrumentación disponibles, para instrumentos independientes y modulares, entre estos se encuentran GPIB, USB, PXI, VXI y LAN. Estos buses tienen diferentes potencias, lo que hace que algunos sean más adecuados para ciertas aplicaciones que otros.

En el año 2018, en Portland State University en el área de física, se presentó un artículo donde se realiza un instrumento virtual utilizando FPGA basándose en un amplificador lock-in comercial (SR7265) con la finalidad de implementar instrumentos virtuales tales como analizador de espectros, medidor de impedancia y analizador de semiconductores [3]. Este proyecto se realizó en una placa N17831R FPGA utilizando Labview FPGA con MATLAB aplicando las técnicas de procesamiento digital de señales.

El realizarlo de esta forma, es más económico que comprar los instrumentos comerciales y se pueden lograr resultados favorables. Sin embargo, cuando ya se tiene el instrumento y este se encuentra validado y configurado para cumplir las especificaciones que se requieren, se puede aprovechar la etapa de procesamiento digital de señales que actualmente traen incorporado los instrumentos. De esta forma utilizando algún protocolo de comunicación compatible, (se especifica en el manual del instrumento) podemos establecer una comunicación directa con el instrumento. Los autores [2], hablan sobre utilizar labview para controlar instrumentos que manejan el estándar LXI, y que se puede utilizar el servidor web de LXI que trae cada instrumento y hacer factible el manejo de datos y control de más de uno desde una sola interfaz.

Existe también otro artículo donde se implementa el control de instrumentos a distancia vía internet [4], este fue realizado pensando en que exista la oportunidad para realizar experimentos de manera remota para estudiantes de tiempo parcial o a distancia, también puede ser utilizado en casos de que se trate de un instrumento que por su costo sea de muy difícil acceso para algunas escuelas o facultades y poder experimentar con estos de manera remota, de esta forma se minimizarían las limitaciones en algunas investigaciones.

Se han encontrado trabajos de grados similares, [5] una tesis de maestría con el objetivo de simular de manera autónoma un amplificador lock-in y controlarlo junto a un osciloscopio y generador de funciones utilizando el lenguaje de programación C, desafortunadamente por falta de tiempo el autor no le fue posible el control de amplificador, el cual estaba pensado en hacerlo utilizando GPIB. Sin embargo, este trabajo aporta muchos conceptos interesantes y puede ser de gran apoyo para lograr nuestros objetivos.

En su forma más básica, un amplificador de bloqueo es un instrumento con capacidad dual. Puede recuperar señales en presencia de un ruido de fondo abrumador o, alternativamente, puede proporcionar mediciones de alta resolución de señales relativamente limpias en varios órdenes de magnitud y frecuencia. Sin embargo, los instrumentos modernos ofrecen mucho más que estas dos funciones básicas y esta capacidad incrementada ha llevado a su aceptación, en muchas disciplinas científicas, como unidades que pueden proporcionar la solución óptima a una amplia gama de problemas de medición. Por ejemplo, el amplificador de bloqueo moderno funcionara como un instrumento de recuperación de señal de CA, voltímetro vectorial, medidor de fase, analizador de espectro, unidad de medición de ruido y mucho más.

Un amplificador de bloqueo, al igual que la mayoría de los instrumentos indicadores de CA, proporciona una salida de CC similar a la señal de CA bajo investigación. En las unidades modernas, la salida de CC puede presentarse como una lectura en un medidor de panel digital o como un valor digital comunicado a través de una interfaz de computadora, en lugar de un voltaje en un conector de salida, pero el principio sigue siendo el mismo. El rectificador especial, llamado detector sensible a la fase (PSD), que realiza esta conversión de CA a CC, forma el corazón del instrumento. Es especial porque rectifica solo la señal de interés mientras suprime el efecto del ruido a los componentes interferentes que pueden acompañar a esa señal. El rectificador tradicional, que se encuentra en un voltímetro de CA típico, no distingue entre señal y ruido y produce errores debido a componentes de ruido rectificadas. Sin embargo, el ruido en la entrada de un amplificador de bloqueo no se rectifica, sino que aparece en la salida como una fluctuación de CA. Esto significa que la respuesta de señal deseada, ahora a un nivel de CC, puede separarse del ruido que la acompaña en la salida mediante un simple filtro de paso bajas. Por tanto, en un amplificador de bloqueo, la salida final no se ve afectada por la presencia de ruido en la señal aplicada. Para que funcione correctamente, el detector debe estar “programado” para reconocer la señal de interés. Esto se consigue suministrándole una tensión de referencia de la misma frecuencia y con una relación de fase fija a la de la señal. Se hace comúnmente asegurándose de que se deriven de la misma fuente. El uso de dicha señal de referencia asegura que el instrumento “rastrea” cualquier cambio en la frecuencia de la señal de interés, ya que el circuito de referencia esta “bloqueado” a ella. Es de esta característica que el instrumento deriva su nombre. Esta capacidad de seguimiento inherente permite definir anchos de banda extremadamente pequeños con el fin de mejorar la relación señal / ruido, ya que no hay “desviación” de frecuencia. Porque los amplificadores de seguimiento automático y bloqueo pueden dar valores de “Q” efectivos (una medida de la selectividad del filtro) superiores a 100,000, mientras que un filtro de paso de banda normal se vuelve difícil de usar con Q superiores a 50 [6].

Si bien un amplificador de bloqueo es una herramienta de medición extremadamente importante y poderosa, también es bastante simple. El diagrama de bloques de un amplificador de bloqueo se muestra en la figura 1.

1. Amplificador AC, llamado amplificador de la señal.
2. Oscilador Controlado por Voltaje (VCO).
3. Multiplicador, Detección Sensible de Fase (PSD).
4. Filtro pasa bajas.
5. Amplificador DC.

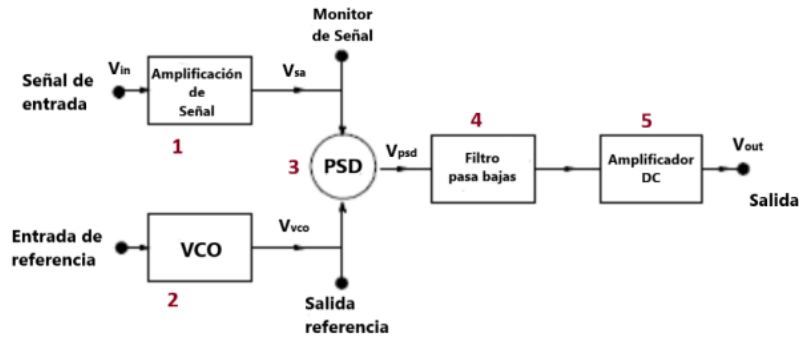


Figura 1. Diagrama a bloques de un amplificador lock-in [7].

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En este departamento se observa la oportunidad de crear un software que permita la interacción entre el usuario y el amplificador de bloqueo SR860, que es utilizado en el área de investigación para la caracterización de matrices de electrodos de 100 micrómetros de diámetro, el objetivo es automatizar el proceso y que con presionar un botón desde la interfaz poder obtener los resultados de forma rápida y quitarle la carga al investigador de que permanezca horas haciendo pruebas frente al instrumento moviendo de forma manual los parámetros cuando realice el barrido. También esto permite la facilidad de que cualquier usuario puede poner en marcha el funcionamiento del equipo sin la necesidad de saber utilizar el amplificador de bloqueo SR860, como por ejemplo algún estudiante que esté realizando su servicio o prácticas profesionales en conjunto con el investigador y que solo al conectar el circuito en prueba pueda obtener todos los resultados tanto en formatos de datos numéricos como en graficas que permitan su comparación y análisis de manera más sencilla solo manipulando la interfaz.

4. COMUNICACIÓN.

Para conectarnos a un instrumento nos enlazamos utilizando el estándar LXI con la finalidad de garantizar la interoperabilidad, ya que hoy en día cualquier instrumento utiliza este estándar, LXI engloba la comunicación GPIB, VXI y PXI.

El estándar LXI define los protocolos de comunicación para la instrumentación mediante Ethernet. Al extender la LAN al soporte de sistemas de medición, el estándar LXI simplifica el uso de Ethernet para instrumentación, proporcionando una interfaz de computadora multiplataforma de bajo costo que se puede controlar a cualquier distancia. Además, algunos instrumentos basados en LXI admiten mecanismos avanzados de

sincronización y activación que mejoran y facilitan las aplicaciones de medición. Hay tres clases funcionales en las que se pueden dividir los instrumentos LXI:

Clase C: es la más básica. Los instrumentos que pertenecen a esta clase proporcionan una interfaz de navegadora web estandarizada que cumple con el estándar LXI. Los dispositivos de LXI clase C no necesitan admitir ningún disparo.

Clase B: proporciona todas las características de la clase C más las características adicionales del disparador o API de sincronización y soporte para los elementos de temporización IEEE 1588.

Clase A: es la más completa. Incorpora todas las características de la Clase B y, además, también es compatible con la interfaz de bus de disparo cableado.

Algunas de las características principales de la instrumentación LXI incluyen:

- LXI se basa en estándares industriales abiertos ampliamente utilizados, como Ethernet, TCP / IP, IPv4 o IPv6, navegadores web y controladores IVI.
- LXI se basa en la tecnología Ethernet, uno de los principales formatos utilizados para redes y transferencia de datos. Ethernet I/O proporciona compatibilidad con versiones anteriores y conexiones estándar. Casi todas las computadoras se fabrican con una interfaz Ethernet integrada y el hardware de red es cada vez más económico.
- Para habilitar el disparo y la sincronización, los instrumentos LXI pueden tener un disparador cableado. Si se requiere una sincronización de nano segundos, los disparadores controlados por software a través de la interfaz LXI no son lo suficientemente rápidos.
- El Estándar LXI garantiza que los equipos de prueba admitan información basada en navegador que sea compatible con W3C. Con interfaz web, los usuarios pueden configurar y operar fácilmente los instrumentos desde una interfaz gráfica de usuario, recopilar y analizar datos sin programación, operar instrumentos de forma remota, ya sea en el laboratorio o a través de los diferentes lugares.
- Los dispositivos LXI se integran a la perfección en los sistemas de prueba existentes que usan GPIB o arquitecturas modulares. Esto permite migrar a LXI en cualquier momento [8].

5. METODOLOGÍA

Labview es un entorno muy similar a java, C o Basic. Sin embargo, mientras otros sistemas de programación usan lenguajes basados en texto para crear código, Labview usa un lenguaje de programación gráfico llamado G. En labview los programas se forman como diagramas de bloques, se utiliza el modelo de programación de flujo de datos, donde el orden de ejecución está determinado por el flujo de datos entre bloques [9].

El panel frontal es la interfaz de usuario interactiva del VI. Se llama panel frontal porque simula el panel frontal de un instrumento físico. Se construye el panel frontal con controles e indicadores como se muestra en la figura 2. Una de las características más poderosas que Labview ofrece a los ingenieros y científicos es su entorno de programación gráfica para diseñar instrumentos virtuales personalizados mediante la creación de una interfaz gráfica de usuario en la pantalla de la computadora para:

- 1.- Operar el programa de instrumentación.
- 2.- Controlar el hardware seleccionado.

- 3.- Analizar los datos adquiridos.
- 4.- Mostrar resultados.

El panel frontal puede incluir perillas, botones pulsadores, gráficos y varios otros controles (que son entradas de usuario) e indicadores (que son salidas de programa). Los controles son entradas que se utilizan para simular dispositivos de entrada de instrumentos y suministrar datos al diagrama de bloques del VI, y los indicadores son salidas y pantallas que se utilizan para simular dispositivos de salida de instrumentos y mostrar datos que el diagrama de bloques adquiere o genera. El panel frontal esta personalizado para emular los paneles de control de los instrumentos tradicionales, crear paneles de prueba personalizados o representar visualmente el control y la operación de los procesos [10].

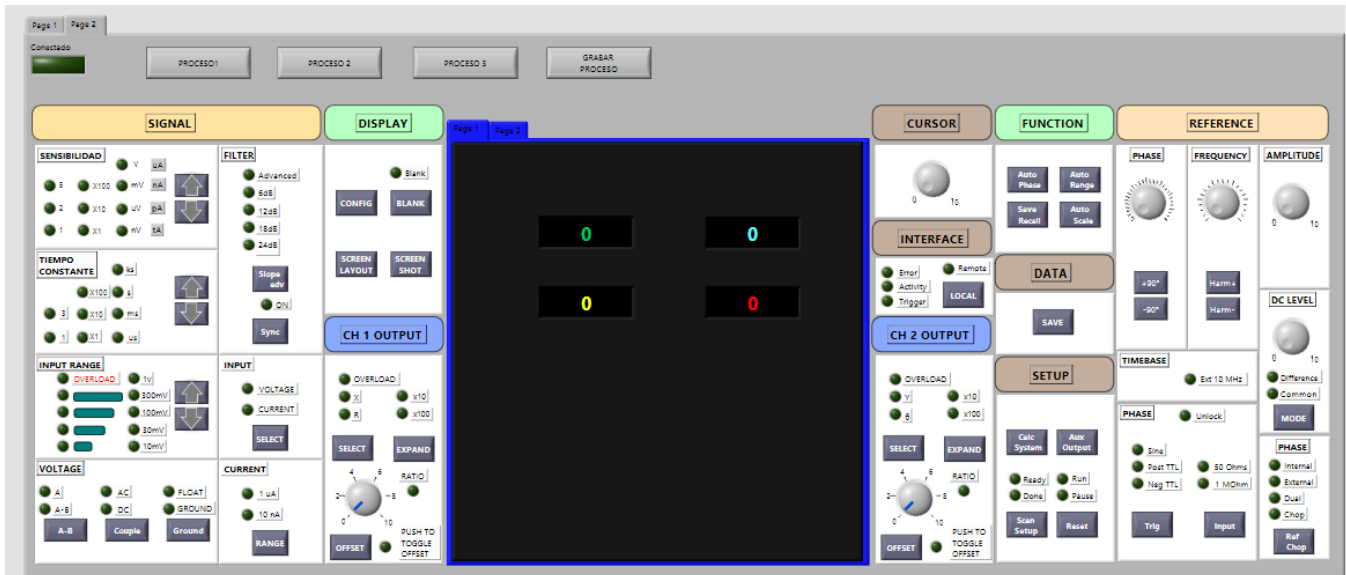


Figura 2. Panel frontal de la interfaz para el control de un amplificador SR860.

Los diagramas de bloques acompañan al programa del panel frontal. Los objetos del panel frontal aparecen como terminales en el diagrama de bloques y los componentes están conectados entre sí. Una vez construido el panel frontal, se agregan códigos mediante representaciones graficas de funciones en el diagrama de bloques para controlar los objetos del panel frontal. El diagrama de bloques contiene el código fuente grafico compuesto por nodos, terminales y cables. El diagrama de bloques es el programa ejecutable real como se muestra en la figura 3. Los componentes de un diagrama de bloques son VI de nivel inferior, funciones integradas, constantes y estructuras de control de ejecución de programas. Deben dibujarse cables para conectar los objetos correspondientes entre sí para indicar el flujo de datos entre cada uno de ellos. Los objetos del panel frontal tienen terminales análogos en el diagrama de bloques para que los datos puedan pasar fácilmente del usuario al programa y de regreso al usuario. Los terminales son puertos de entrada y salida que intercambian información entre el panel y el diagrama. Estas son análogos a los parámetros y constantes de los lenguajes de programación basados en texto [10].

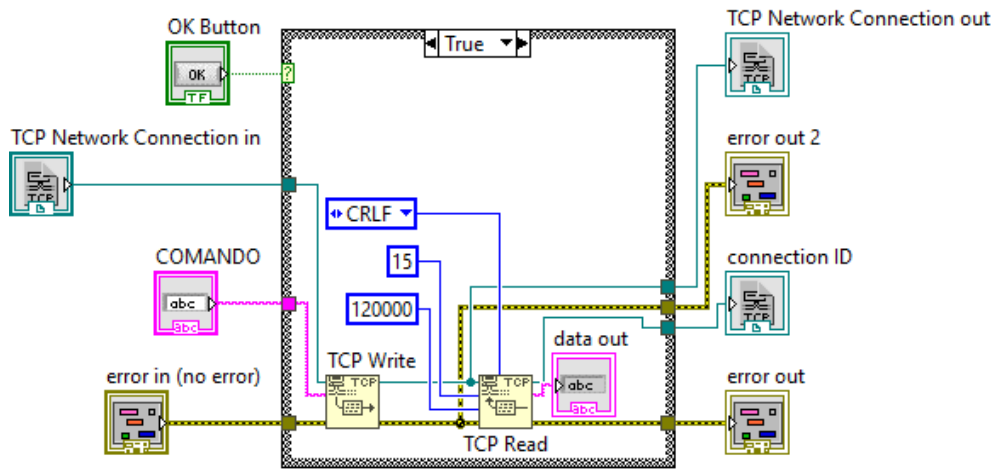


Figura 3. Diagrama a bloques para comunicación TCP.

Labview permite utilizar diferentes protocolos de comunicación para la conexión con diferentes instrumentos, cuenta con la opción de conectarse utilizando VXI, GPIB, TCP/IP, entre otros. También en las páginas de la mayoría de los fabricantes de instrumentos se puede descargar drivers para labview que permitan una interacción más fácil y directa con su instrumento.

Para la comunicación con el SR860 se optó por utilizar el protocolo VXI-11 ya que es una de los protocolos compatibles con el instrumento y se puede enlazar mediante la conexión física de un cable Ethernet [11].

VXI-11 era parte de un conjunto de especificaciones desarrolladas a principios de la década de 1990 cuando se creó el concepto VXIbus. VXI-11 describe como los instrumentos u otros dispositivos se pueden conectar al estándar de redes TCP/IP de la industria. Los paradigmas de comunicaciones y programación admitidos por la especificación VXI-11 son de naturaleza similar a las técnicas admitidas por IEEE-488.1 e IEEE 488.2. El protocolo descrito permite que las comunicaciones basadas en ASCII tengan lugar entre un controlador y un dispositivo a través de una red informática.

La especificación VXI-11 tiene los siguientes objetivos:

- 1.- Permitir que los mensajes ASCII, incluidos los mensajes IEEE 488.2 y los mensajes de control de instrumentos IEEE 488.1 se pasen entre un controlador y un dispositivo a través de una red TCP/IP.
- 2.- Definir un protocolo de instrumento que pueda utilizarse para la comunicación de este controlador / dispositivo a través de una red TCP/IP.
- 3.- Permitir la interconexión de aparatos fabricados independientemente en un único sistema funcional.
- 4.- Proporcionar un mecanismo para extender el protocolo.
- 5.- Definir un protocolo de instrumento que pueda soportar diversas interfaces de aplicación.
- 6.- Permitir otros protocolos de red según lo dicte la funcionalidad de los dispositivos y controladores, como NFS o telnet.

Hay dos formas principales de programar dispositivos VXI-11: realizar llamadas a una biblioteca VISA compatible con VXI-11 o instalar el RPCL del VXI-11 en su computadora y escribir su programa con llamadas RPC (Remote Procedure Call). Los usuarios de Windows les resultara más fácil usar una biblioteca VISA que tiene una salida TCP/IP VXI-11 y programar con programas gráficos como Labview de NI o Vee de agilent o hacer llamadas VISA

desde lenguajes de programación familiares como C/C++ o Visual Basic [12]. En la figura 4 se muestra el control de instrumento a través de VISA.

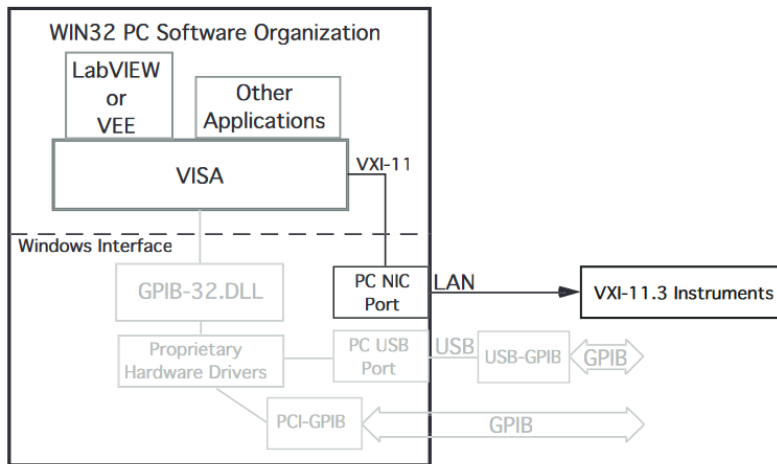


Figura 4. Control de instrumento VXI-11.3 a través de VISA.

La Arquitectura de Software de Instrumento Virtual (VISA) es la capa inferior de funciones en los Vis del controlador de instrumentos de Labview que se comunica con el software del controlador. VISA por sí sola no proporciona capacidad de programación de instrumentos. Como se muestra en la figura 5, VISA puede controlar instrumentos VXI, GPIB, seriales o basados en computadora y realizar las llamadas de controlador apropiadas según el tipo de instrumento utilizado.

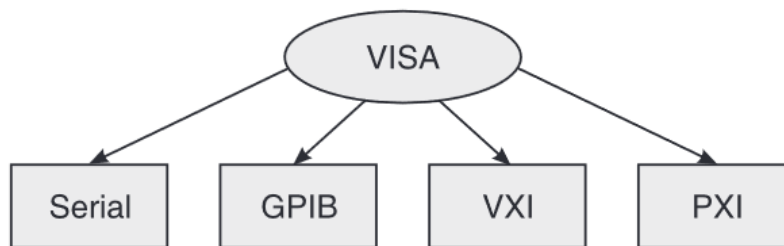


Figura 5. Arquitectura de software de instrumento virtual.

En Labview, VISA es una biblioteca única de funciones que usa para comunicarse con GPIB, serial, VXI e instrumentos basados en computadora. No es necesario utilizar paletas de I/O independientes para programar el instrumento. Por ejemplo, algunos instrumentos le permiten elegir el tipo de interfaz. Si el controlador de instrumentos de Labview se escribió con funciones desde paleta Funciones>>Todas las funciones>>I/O de instrumentos>>GPIB, esos Vis de controladores de instrumentos no funcionarían para el instrumento con la interfaz de puerto serie. VISA resuelve este problema proporcionando un único conjunto de funciones que operan para cualquier tipo de interfaz. Por lo tanto, muchos controladores de instrumentos de Labview usan VISA como lenguaje de I/O. Durante muchos años, la industria se ha movido hacia la compra de instrumentación de una variedad de proveedores. Estos permiten a los ingenieros seleccionar el mejor equipo posible para sus aplicaciones sin estar limitados a un proveedor específico. Esta tendencia requirió la definición de estándares de hardware para asegurar la compatibilidad entre diferentes módulos. Este fue uno de los factores que

llevaron al desarrollo de la especificación VXI. Pero incluso con estos estándares de hardware mejorados, un sistema requería mucho tiempo y era costoso de armar. La integración exitosa de un sistema de múltiples proveedores requiere que todos los productos de hardware y software trabajen juntos, eliminando los problemas de compatibilidad a nivel del sistema para los usuarios finales. National Instruments abordó inicialmente los problemas de software con controladores de instrumentos, lo que ayudó a reducir tanto el tiempo de integración como los costos de desarrollo de software. En 1993, National Instruments se unió a GenRad, Racal Instruments, Tektronix y Wavetek para formar VXI plug and play Systems Alliance. Los objetivos de la alianza son garantizar la interoperabilidad de múltiples proveedores para los sistemas VXI y reducir el tiempo de desarrollo de un sistema operativo [10].

Por cuestiones de la contingencia derivada por la pandemia por COVID-19, el acceso al instrumento fue limitado y a causa de esto se realizó un programa en Labview el cual simula el instrumento. Conectándolo con la interfaz por medio de TCP/IP utilizando un puerto libre en la computadora y la dirección “localhost”, en la figura 6 se muestra el diagrama a bloques del programa simulador de instrumento. Cuando este programa recibe un comando en “string” lo compara con un arreglo de instrucciones definidas en el instrumento [13], mientras esa instrucción sea válida el programa devuelve el valor que le pertenece a la instrucción para ser leído por la interfaz y mostrar al usuario los valores del “instrumento”.

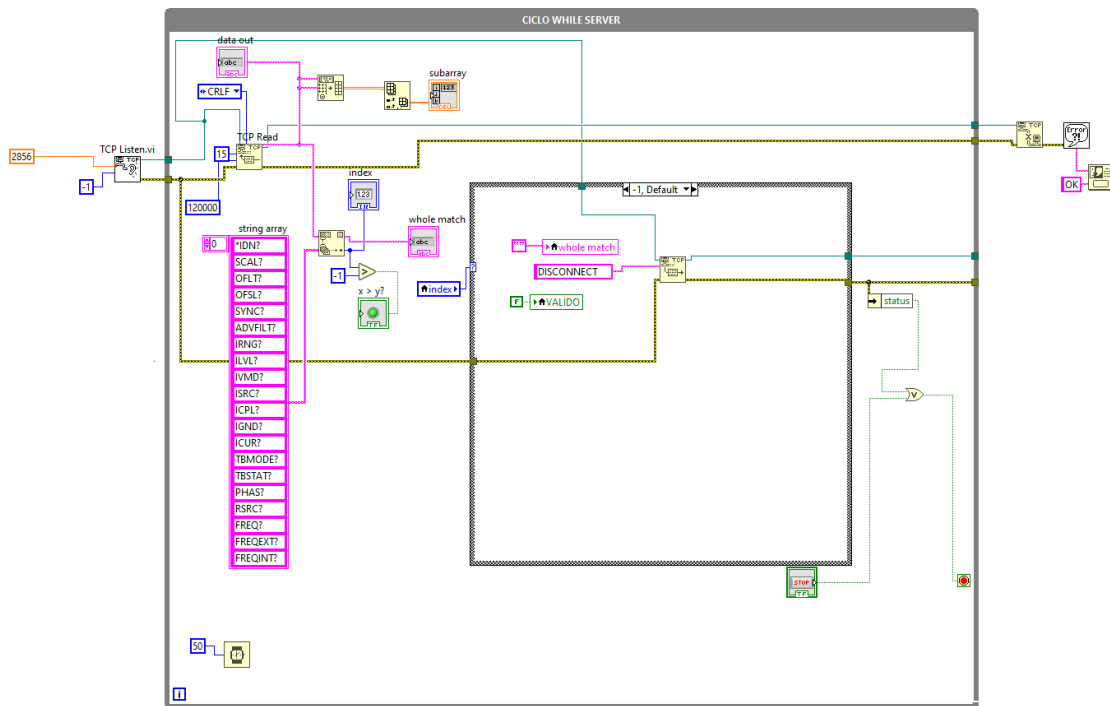


Figura 6. Diagrama a bloques de simulador de instrumento SR860.

La interfaz se programó siguiendo un modelo de máquina de estados, esta depende de la entrada del usuario o de los valores actuales para determinar el estado que ira después, la figura 7 muestra el diagrama de máquina de estados. La primera etapa es la conexión con el instrumento, cuando la conexión es exitosa se muestra una segunda ventana donde se observa todos los controles e indicadores del instrumento SR860, figura 2. En ese instante de tiempo el programa hace un barrido donde envía comandos al instrumento preguntando por el estado actual de cada parámetro para hacerlos visibles en la pantalla principal de la interfaz. Al terminar se mantiene en ese estado al menos que se detecte algún evento como el presionar algún botón o mover una

perilla, de ser así el programa envía los cambios al instrumento y recibe confirmación de que el valor solicitado por el usuario está presente en el instrumento.

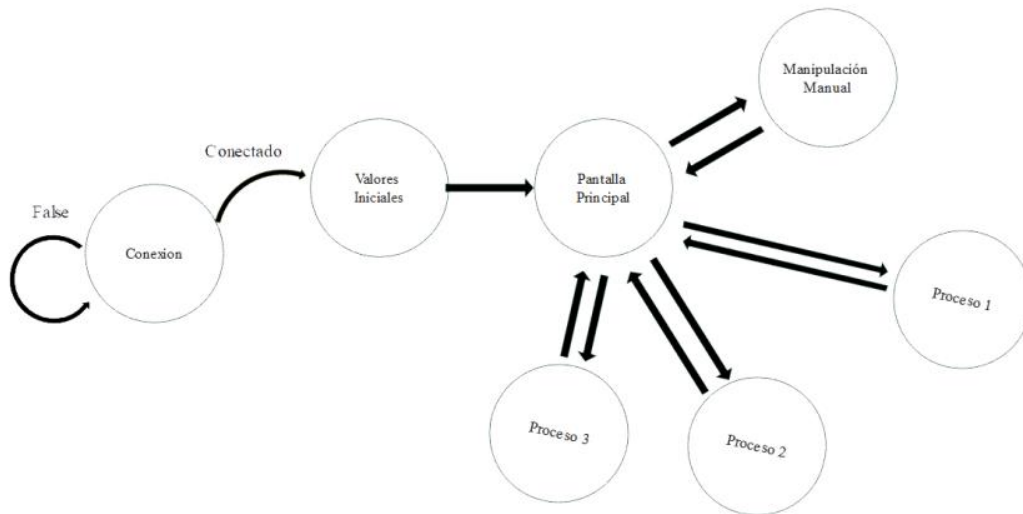


Figura 7. Máquina de estados para la interfaz del SR860.

6. CONCLUSIONES

El desarrollo de interfaces utilizando el programa Labview de NI, permite una interacción casi directa con los instrumentos, esto debido a la unión entre la compañía NI y las empresas fabricantes de instrumentos que otorgan de manera gratuita a sus clientes los drivers necesarios para la comunicación. También en los manuales los fabricantes incluyen una sección de programación donde se puede encontrar los diferentes protocolos de comunicación que se puede utilizar para enlazarse con el instrumento, de igual forma se encuentran los comandos de referencias.

El diseño de estas interfaces nos otorga la oportunidad de controlar instrumentos que manejamos en un laboratorio y nos da la posibilidad de automatizar los procesos que se requieren analizar en algún experimento. Como el de realizar un barrido de frecuencia a un circuito con la intención de medir su impedancia para observar su comportamiento, como se muestra en la figura 8. Esto le tomaría horas a cualquier ingeniero investigador, pero con esta interfaz se puede realizar en tiempo record y quitarle la carga al investigador de estar al pendiente del instrumento lo que le permitirá enfocarse en distintas tareas, sin mencionar que toda la información requerida se encontrara ya almacenada en una computadora haciendo más fácil su interpretación y análisis.



Figura 8. Impedancia VS Frecuencia

7. REFERENCIAS

- [1] H. Golberg, "What is virtual instrumentation?" Nature, pp. 10–13, 2000.
- [2] B. N. G. Nikolov, "Using labview to control lxi instruments,"
- [3] J. F. Bai, "A virtual lock-in amplifier, spectrum analyzer, impedance meter and semiconductor analyzer implemented on an sr7265 hardware target," 2018.
- [4] R. C. S. H. Chen, "Development of remote laboratory experimentation through internet," 1999.
- [5] E. R. Gutiez, "Implementación software de un amplificador lock-in. Universidad de Valladolid,"
- [6] "What is a lock-in amplifier?," tech. rep., Perkin Elmer Instruments, 2000. Technical Note: TN 1000.
- [7] <https://www.lehigh.edu/jph7/website/Physics262/LockInAmplifierAndApplications.pdf>. Lehigh University Bethlehem, PA. Department of Physics.
- [8] B. N. G. Nikolov, "Using labview to control lxi instruments,"
- [9] Obrenović, D. Starčević, and E. Jovanov, Virtual Instrumentation. Wiley Encyclopedia of Biomedical Engineering, 2006.
- [10] J. Jerome, Virtual Instrumentation Using Labview. PHI Learning Private Limited, 2010
- [11] Stanford Research Systems, "500 kHz Lock-In Amplifier," SR860 – 500kHz dual phase lock-in amplifier datasheet.
- [12] "Vxi-11 tutorial and rpc programming guide," ICS Electronics.
- [13] Sanford Research Systems, "SR860 500 KHz DSP Lock-in Amplifier Manual Operation Manual," Revision 2.05.