



Sistema para la caracterización de Filtros Pasivos utilizando Instrumentación Virtual

Roxana Velázquez Pupo

roxana.velazquez@etecsa.cu

Enrique Ernesto Valdés Zaldívar

enrique.valdes@electrica.cujae.edu.cu

RESUMEN

El trabajo presenta el diseño de un sistema automatizado para realizar prácticas de laboratorio de circuitos eléctricos con estudiantes universitarios. El sistema constituye un instrumento virtual que permite la caracterización de filtros pasivos. El hardware está compuesto por: un generador de señales, una fuente de alimentación, una tarjeta de adquisición de datos, una computadora personal y un módulo formado por 8 filtros pasivos. El software, desarrollado en LabVIEW 2011, realiza el procesamiento de las señales adquiridas asociadas a los filtros pasivos para la posterior presentación de los resultados en un gráfico, que constituye la respuesta de frecuencia del circuito eléctrico. Se comparan los resultados del sistema diseñado con los obtenidos al utilizar instrumentos tradicionales, lo cual permite validar la herramienta diseñada. Finalmente se comentan las experiencias al utilizar la aplicación diseñada en la realización de una práctica de laboratorio automatizada por un grupo de estudiantes de 3er año de la carrera de Biomédica del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (ISPJAE).

Palabras claves: Instrumentación virtual, filtros pasivos, LabVIEW, práctica de laboratorio automatizada.

ABSTRACT

This paper presents the design of an automatic system used by university students in order to perform electrical circuit's labs. The system is a virtual instrument and allows the passive filters characterization. The hardware is composed by a signal generator, a power supply, a data acquisition board, a personal computer and a module of 8 passive filters. The software, developed in LabVIEW 2011, perform the signal's processing associated to the filter module in order to display the diagram of the frequency response. The system results are compared with the results obtained using traditional measurement instruments, which validates the tool designed. To conclude, the experiences obtained by a 3th year Biomedic's career students group of the ISPJAE in an automated laboratory practice using the designed application are mentioned.

Key words: Virtual instrumentation, passive filters, LabVIEW, automated laboratory practice.

System for characterizing Passive filters using Virtual Instrumentation

INTRODUCCIÓN

La vinculación de la educación con la tecnología ha ampliado las oportunidades para transformar y mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje. En la enseñanza de la ingeniería, especialmente en el área de laboratorios, el problema de la rapidez del cambio tecnológico adquiere especial relevancia y se refiere a lo siguiente: ¿cómo suministrar a los estudiantes experiencias significativas, actualizadas, con recursos limitados?

El alto costo de los equipos sigue siendo una limitación, especialmente en nuestro país. Una solución a este problema es emplear en los laboratorios técnicas de enseñanza y aprendizaje basadas en microcomputadoras personales (PC por sus siglas en inglés), en los cuales se reemplacen los equipos convencionales por PC, instrumentos virtuales y sistemas de adquisición de datos, que permitan a los estudiantes adquirir, procesar y controlar señales físicas en tiempo real a costos menores.

La instrumentación virtual consiste en desarrollar instrumentos con un enfoque de sistema, donde el PC es el elemento principal. A través de determinados módulos externos o internos al PC se garantiza la interfaz entre este y el medio. Solo se utilizan los módulos de interfaz necesarios. Por medio del software, el usuario define las funciones de su instrumento. Además, existe la posibilidad de compartir recursos al conectar el sistema a una red de computadoras ¹.

Se puede afirmar que, cada año, aumenta el número de universidades que utilizan laboratorios basados en la instrumentación virtual, en diversas áreas de la ingeniería. En el área de la electrónica específicamente, se pueden mencionar los siguientes trabajos:

- El proyecto VISIR en la Universidad de Deusto: Laboratorio Remoto para Electrónica Básica, 2009 ².
- Plataforma modular para el desarrollo de laboratorios remotos, Universidad Politécnica de Catalunya (UPC), 2010 ³.
- Plataforma teórico-práctica con instrumentación virtual para el estudio y diseño de filtros activos analógicos, Universidad del País Vasco, 2004 ⁴.
- Implementación de un laboratorio virtual para el estudio de dispositivos electrónicos, Universidad del Valle, Colombia, 2007 ⁵.

En nuestro país, específicamente en el ISPJAE, en el área de la electrónica, se han realizado los siguientes trabajos de diploma:

- Aplicación de la Instrumentación Virtual Remota para el desarrollo de prácticas de laboratorio de electrónica, en el año 2003 ⁶.
- Diseño de herramientas para la implementación de prácticas de laboratorio de electrónica digital utilizando instrumentación virtual remota, en el año 2006 ⁷.
- Diseño de un Servidor de Prácticas de Electrónica Digital utilizando Instrumentación Virtual Remota, en el año 2010 ⁸.

Los trabajos realizados en el ISPJAE han contribuido al mejoramiento de la calidad de la enseñanza, en asignaturas como: electrónica analógica y digital, brindando a los estudiantes la posibilidad de contar con un servidor de prácticas remotas de laboratorio que le permite caracterizar diferentes sistemas digitales y analógicos. Sin embargo en el caso de las asignaturas de circuitos eléctricos no se ha hecho ningún aporte significativo. Para dar solución al problema anterior se desarrolla este trabajo, el cual tiene como objetivo: implementar un sistema automatizado para la caracterización de filtros pasivos utilizando instrumentación virtual, con el propósito de complementar los conocimientos teóricos adquiridos en la asignatura de circuitos eléctricos, con prácticas reales.

HARDWARE DEL SISTEMA

La arquitectura del hardware del sistema se muestra en la figura 1. El sistema está compuesto por:

1. Generador de Señales 33210A de Agilent Technologies.
2. Circuito eléctrico objeto de estudio (Módulo de 8 filtros pasivos).
3. Fuente de Alimentación.

4. Tarjeta de adquisición de datos NI USB-6009 de National Instruments.
5. PC.

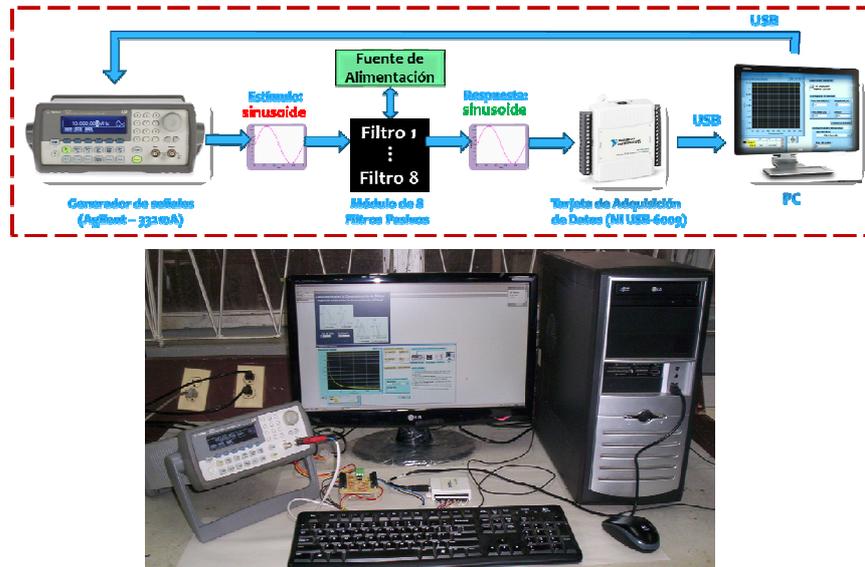


Figura 1. Hardware del sistema: diagrama en bloques (parte superior) y fotografía (parte inferior).

El Generador de Señales 33210A se maneja desde el PC por medio de la interfaz USB, y tiene como función generar la señal sinusoidal de estímulo al circuito eléctrico objeto de estudio. El módulo de filtros está formado por un amplificador operacional (disponible en el circuito integrado MC1458) y 8 configuraciones de capacitores y resistores que constituyen 8 filtros pasivos. La fuente de alimentación brinda voltajes de DC de +12 Volts (+Vcc) y -12 Volts (-Vcc) para polarizar al amplificador operacional. La TAD NI-USB-6009 tiene como función adquirir la señal sinusoidal a la salida del módulo de filtros, utilizando 8 entradas analógicas, una para cada filtro. Esta tarjeta se comunica mediante la interfaz USB con el PC. Utilizando el software de desarrollo LabVIEW 2011 de National Instruments, se confeccionaron un conjunto de programas que se ejecutan en el PC y permiten controlar el funcionamiento del generador de señales, la adquisición de la señal en la salida de cada filtro, el análisis de la información adquirida y la posterior presentación de los resultados obtenidos.

El circuito impreso del **módulo de filtros pasivos** se diseñó utilizando el software Altium Designer 9.3. La figura 2 muestra la cara de componentes del circuito impreso (izquierda) y el esquema eléctrico (derecha). El módulo está compuesto por:

- Ocho configuraciones de filtros pasivos (Filtro 1 y 2: Pasa bajos, Filtro 3 y 4: Pasa Altos, Filtro 5 y 6: Pasa Banda, Filtro 7 y 8: Rechazo de Banda).
- El circuito integrado MC1458, que dispone de 2 amplificadores operacionales de propósito general; se utiliza solo uno configurado como seguidor de voltaje para proteger al generador de señales. Internamente la salida del seguidor de voltaje (nodo Vin) está conectada a la entrada de cada uno de los 8 filtros pasivos.
- Seis conectores de 2 salidas cada uno (4 para las salidas de los 8 filtros: V1-V8, uno para la tierra de las salidas de los filtros: Gnd, y otro para conectar la salida del generador de señales: VGen) y un conector de 3 salidas para la alimentación del MC1458.

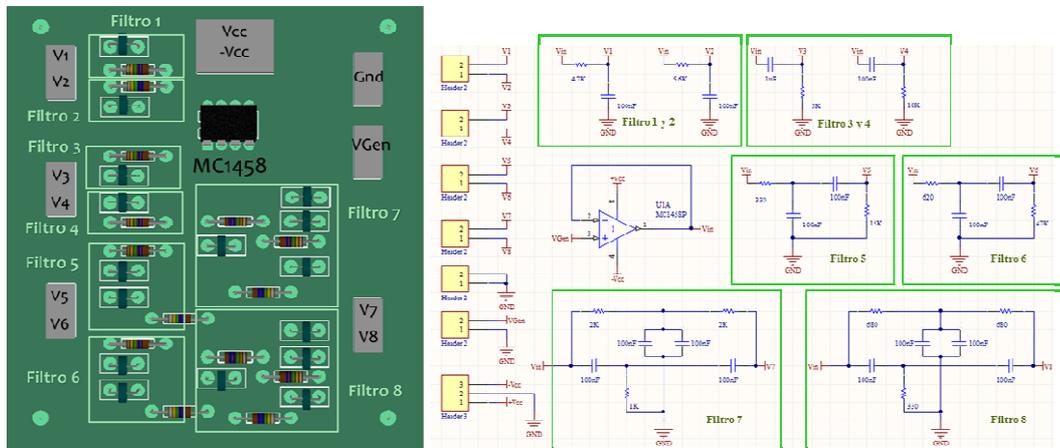


Figura 2. Cara de componentes del circuito impreso (a la izquierda) y diagrama eléctrico del módulo de filtros pasivos (a la derecha).

SOFTWARE DEL SISTEMA

Para ejecutar las diferentes etapas del desarrollo del software de aplicación fue seleccionado el ambiente de desarrollo LabVIEW 2011, el cual brinda excelentes posibilidades para el desarrollo de aplicaciones de instrumentación y control. En la figura 3 se muestra el esquema jerárquico de la aplicación implementada. Como se puede observar el mismo está compuesto por:

- Interfaz Gráfica de Usuario (IGU) conformada por dos Instrumentos Virtuales (VI): Página de inicio.vi y Respuesta de Frecuencia.vi
- Varios SubVIs: Esc. Dato en Excel.vi, Lee Señal Seno.vi, FunGen_v1.vi, Lee Dato del Excel.vi

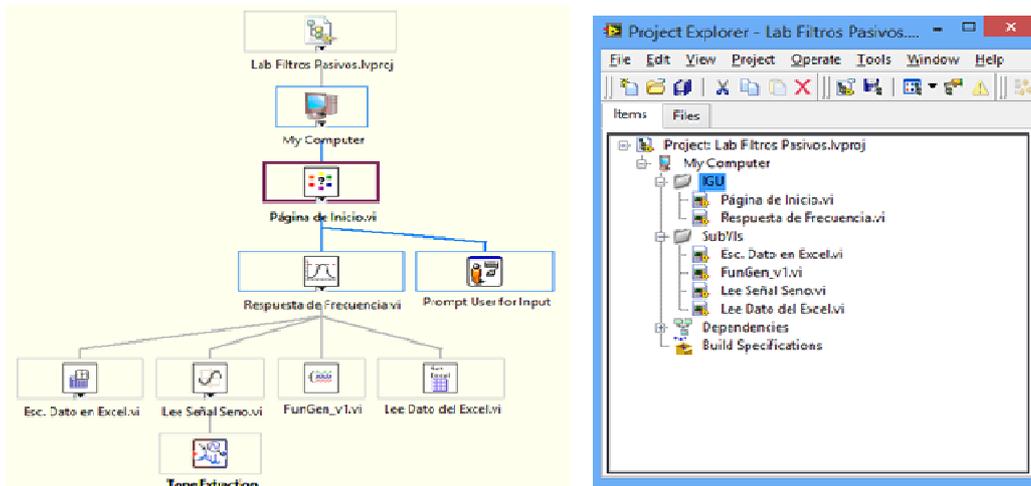


Figura 3. Esquema jerárquico del software asociado a la aplicación implementada que se ejecuta en el PC.

Página de inicio.vi

En la parte izquierda de la figura 4 se muestra el panel frontal de este VI donde se brindan las orientaciones (Pasos a seguir:) a ejecutar por el estudiante para realizar la práctica de laboratorio. En este VI el estudiante introduce su número de lista (mediante el control numérico **No. De Lista**) y contraseña (mediante el control tipo string **Contraseña**). Si los datos del estudiante son válidos, al oprimir el control booleano **OK**, aparece el programa para obtener la respuesta de frecuencia. El control booleano **EXIT** permite abandonar la aplicación. El diagrama en bloques está formado por una estructura secuencial plana de dos frames. El primer frame se utiliza para inicializar los controles del panel frontal. El segundo frame está compuesto por una estructura iterativa del tipo **WHILE LOOP**, cuya ejecución se detiene mediante el botón **Exit**, en su interior hay una estructura case condicionada por el botón **OK**. Cuando el estudiante oprime este botón, se validan la contraseña y el número de lista, en caso de que los datos introducidos sean válidos se llama al programa **Respuesta de Frecuencia.vi**, de lo contrario se muestra un mensaje de Error.

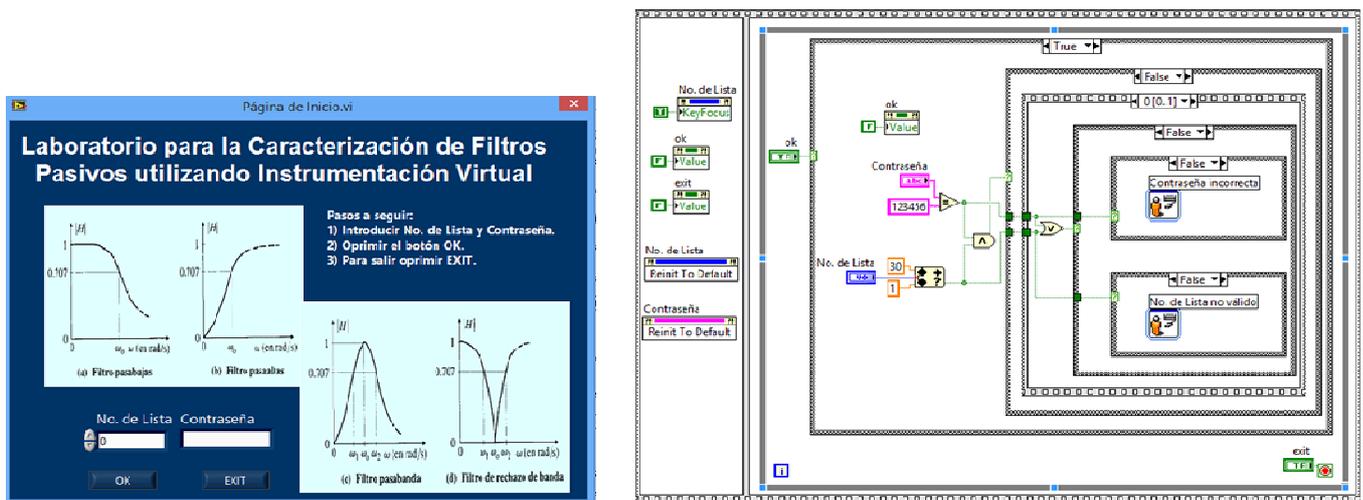


Figura 4. Panel frontal (izquierda) y diagrama en bloques (derecha) del instrumento virtual **Página de inicio.vi**.

Respuesta de Frecuencia.vi

Este VI se ejecuta cuando el estudiante se autentifica en el VI **Página de Inicio**. El panel frontal (figura 5) está formado por los siguientes elementos:

- Figura con el diagrama en bloques del hardware del sistema (arriba a la derecha).
- Líneas de texto con los pasos a seguir por el estudiante para realizar la práctica de laboratorio (abajo a la derecha).
- Cuatro controles numéricos (ubicados arriba y al centro) para configurar el barrido de frecuencia: frecuencia inicial (**Frec. inicial**), frecuencia final (**Frec. final**), amplitud de entrada (**Amplitud_Ent.**) e intervalo de frecuencia (**Delta F**).
- Tres controles booleanos cuyo nombre identifican su acción: **Guardar Barrido**, **Comenzar Barrido** y **Salir**.
- Un indicador Slide (ubicado en el centro del panel frontal) para mostrar el progreso del barrido.
- Un indicador gráfico para mostrar la característica de Amplitud vs. Frecuencia del filtro a caracterizar (ubicado a la izquierda).
- Tres controles (ubicados abajo y al centro) para que el estudiante realice una interpretación de la respuesta de frecuencia obtenida: un control del tipo Ring para seleccionar el tipo de filtro, y dos controles numéricos para que el estudiante introduzca la(s) frecuencia(s) de corte (solo una para filtros pasa bajos y pasa altos) del filtro analizado.

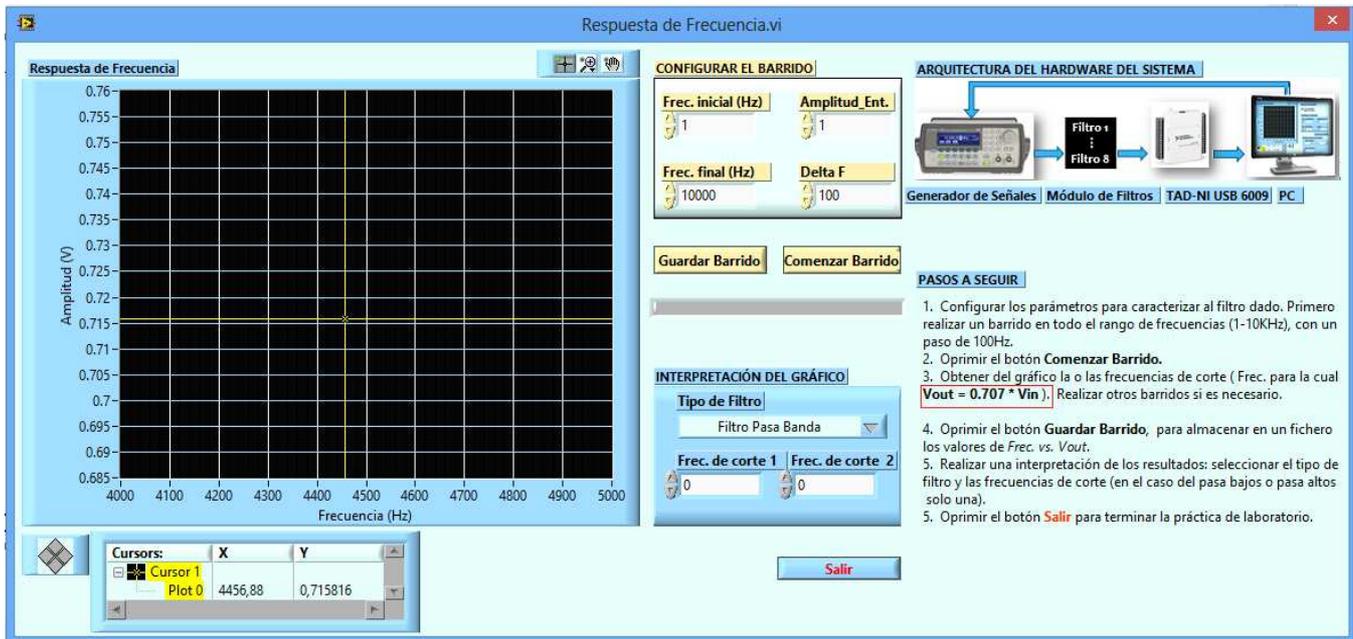


Figura 5. Panel frontal del instrumento virtual Respuesta de Frecuencia.vi.

La amplitud de la señal sinusoidal con la que se realizará el barrido será de 1 V. La frecuencia inicial y final pueden ser definidas entre 1 Hz y 10 kHz, lo cual está limitado esencialmente por las características de muestreo de la tarjeta, que en el caso de la USB-6009 es de 48 KS/s. Con el objetivo de adquirir una señal de buena calidad, cumpliendo con el teorema de Nyquist, se decidió tomar una frecuencia de actualización y muestreo 4.8 veces mayor que la máxima frecuencia a generar (10 kHz) lo cual corresponde a la máxima frecuencia de muestreo (48 KS/s) permitida por la tarjeta.

El diagrama en bloques del instrumento virtual (figura 6) está formado por una estructura secuencial plana de tres frames. El primer frame se utiliza para inicializar los controles e indicadores del panel frontal. El segundo frame está compuesto por una estructura iterativa del tipo WHILE LOOP, cuya ejecución se detiene mediante el control booleano **Salir**, en su interior hay una estructura case condicionada por el botón **Comenzar Barrido**. Cuando el estudiante oprime este botón, se llama al SubVI **Lee Dato del Excel.vi**, el cual devuelve el canal físico de la NI-USB 6009 asociado al filtro que le corresponde al estudiante. A continuación se lee el estado de los controles numéricos asociados al barrido de frecuencia. Después se llama al SubVI **FunGen_v1.vi**, que interactúa con el generador de señales y configura la señal sinusoidal a la entrada del módulo de filtros pasivos. Por último se llama al SubVI **Lee Señal Seno.vi**, que tiene como función leer la salida del filtro pasivo asociado al estudiante, y extraer la frecuencia y la amplitud de la señal, para conformar el gráfico de Amplitud vs. Frecuencia que se mostrará en el panel frontal de la aplicación. En el segundo frame hay además otra estructura case condicionada por el botón **Guardar Barrido**, si el estudiante oprime este botón se almacenan en un fichero los valores de Frecuencia vs. Voltaje de salida del filtro caracterizado.

En el tercer frame se llama al SubVI **Esc Dato en Excel.vi** para almacenar los resultados de la interpretación del gráfico que realiza el estudiante en una tabla de Excel, para que el profesor le pueda dar una calificación.

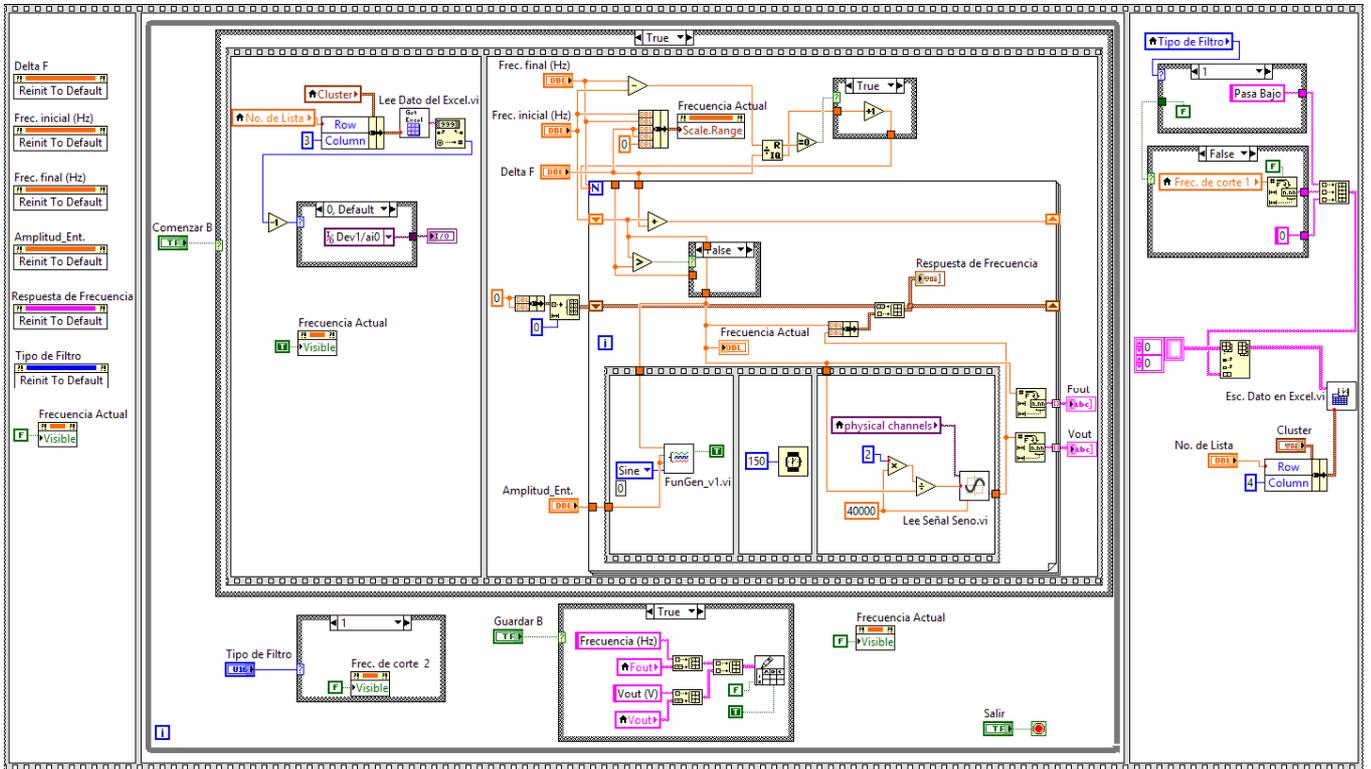


Figura 6. Diagrama en bloques del instrumento virtual Respuesta de Frecuencia.vi.

Lee Dato del Excel.vi

La función de este SubVI es extraer de un archivo de Excel (cuyo formato se presenta en la figura 7), el tipo de configuración (1-8) que se le ha asignado a cada estudiante. La asignación del tipo de filtro para cada estudiante la realiza el profesor actualizando el archivo anterior antes de comenzar el laboratorio. El alumno no tiene acceso a este archivo.

No.	Nombre	Apellidos	Tipo de Conf.	Tipo de Filtro	Frec. Corte 1	Frec. Corte 2
1	Javier	Ajete García	5			
2	Laidy Maidei	Alvero González	2			
3	Manuel Antonio	Barrios Gutiérrez	8			
4	Daniel Damián	Batista Rodríguez	3			
5	Melanys	Benítez Pérez	6			
6	Dairon	Campos Dominguez	4			
7	Josier	Capote Medina	1			
8	Rosmery	Castro Alemán	7			

Figura 7. Archivo de Excel donde se almacenan los datos de los estudiantes.

En la parte izquierda de la figura 8 se muestra el panel frontal del subVI Lee Dato del Excel.vi, donde se ubican tres objetos: un control del tipo filepath para especificar la dirección del archivo de Excel, un cluster numérico formado por dos elementos para indicar la fila y la columna del dato a leer en el documento Excel; y un indicador tipo string que devuelve el dato leído. Al centro de la figura 8 se muestra el diagrama en bloques del subVI donde se utilizan secuencialmente cuatro funciones de la subpaleta Report Generation que permiten leer el archivo Excel. A la derecha de la figura 8 se muestra el icon/connector del subVI y todas las funciones disponibles en la subpaleta Report Generation.

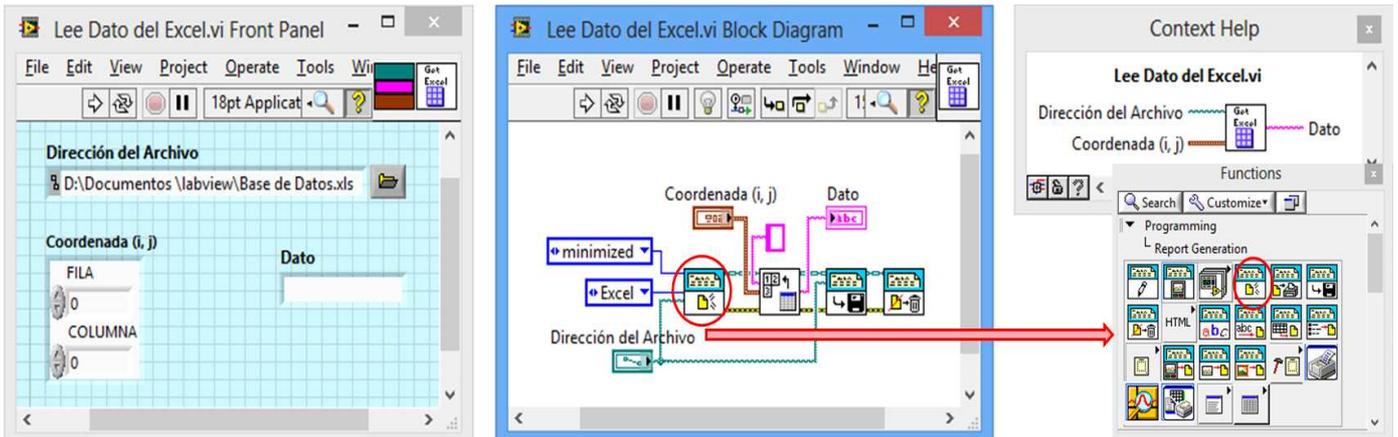


Figura 8. Panel frontal (izquierda), diagrama en bloques (centro) e icon/connector (derecha) del subVI Lee Dato del Excel.vi. Funciones de la subpaleta Report Generation (abajo a la derecha).

Esc. Dato en Excel.vi

Este SubVI tiene como función almacenar en la tabla Excel de la figura 7, los resultados que introduce el estudiante (tipo de filtro y frecuencia(s) de corte) en el panel frontal de **Respuesta de Frecuencia.vi** después de interpretar el gráfico. El panel frontal (figura 9) de este SubVI presenta: un control para la dirección del archivo de Excel, un cluster numérico para especificar la fila y la columna del dato a almacenar, y un arreglo de una dimensión del tipo String (Dato). Para el diseño del diagrama en bloques (figura 9) se utilizaron, al igual que en el SubVI **Lee Dato del Excel.vi**, las funciones que ofrece LabVIEW en la subpaleta *Report Generation*.

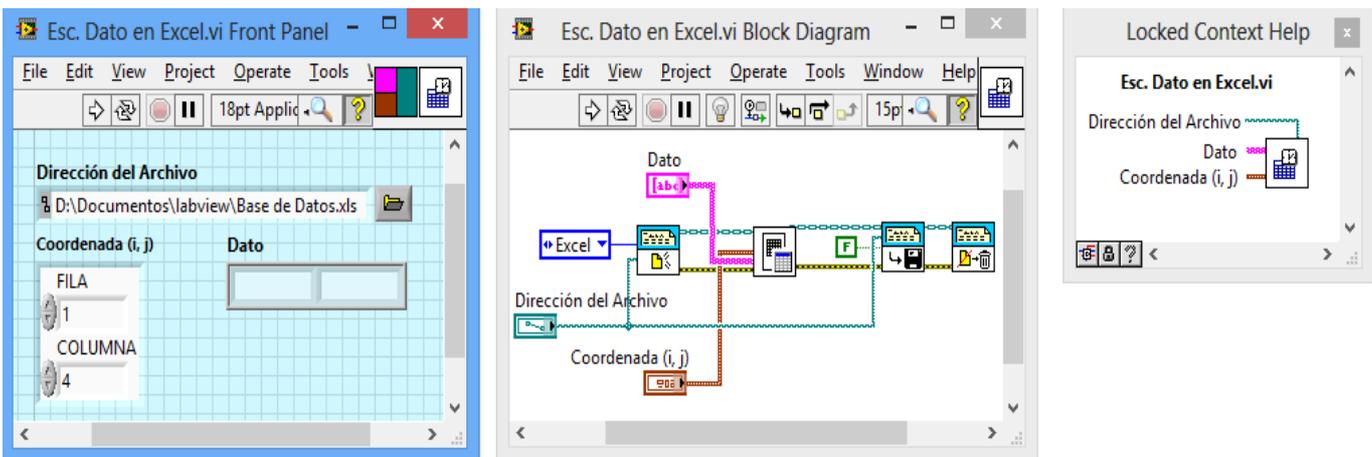


Figura 9. Panel frontal (izquierda), diagrama en bloques (centro) e icon/connector (derecha) del subVI Esc. Dato en Excel.vi.

FunGen_v1.vi

Este SubVI es el encargado de interactuar con el generador de funciones 33210A de Agilent, para configurar la señal a la entrada del filtro. El panel frontal (izquierda de la figura 10) presenta 7 controles para configurar las operaciones que realiza el generador de funciones. El primer control (VISA resource name) es para asignar la dirección obtenida desde el MAX que identifica el dispositivo USB. Otro control (Forma de Onda) selecciona el tipo de onda que se debe generar. Además existen tres controles numéricos para asignar los valores de Frecuencia, Amplitud y Nivel de Offset de la señal sinusoidal a generar. Un control booleano (OutPut) activa y desactiva la salida de señal del generador de funciones. Por último otro control booleano (Stop) detiene la ejecución del VI una vez que este ha comenzado.

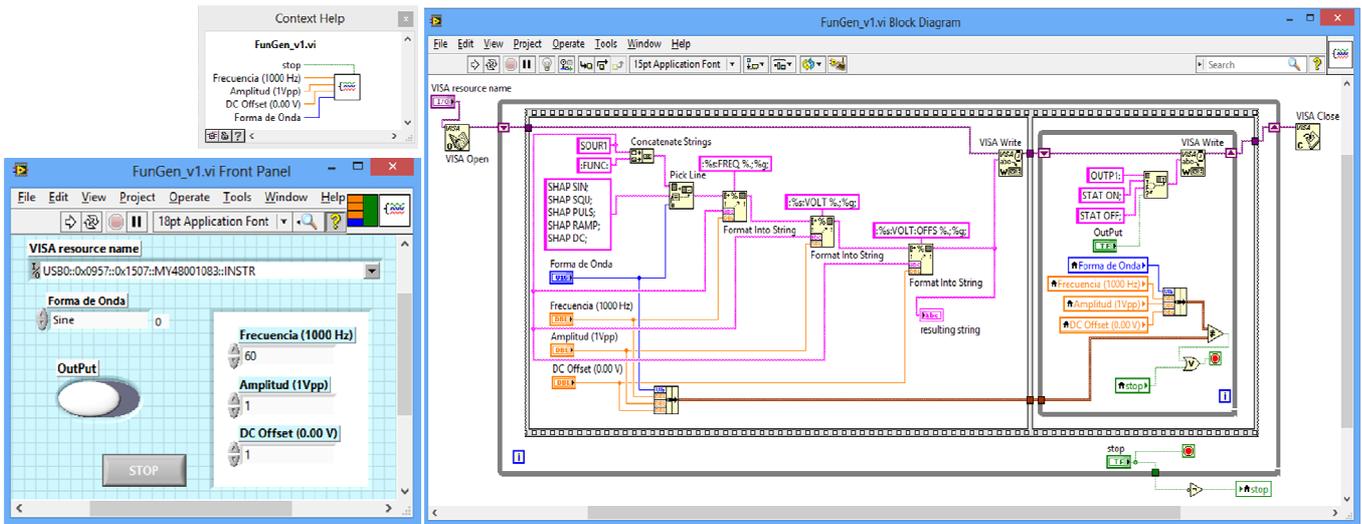


Figura 10. Panel frontal (izquierda abajo), diagrama en bloques (derecha) e icon/conector (izquierda arriba) del subVI FunGen_v1.vi.

El diseño del diagrama en bloques está formado por una estructura iterativa del tipo WHILE LOOP cuya ejecución se detiene mediante el control (Stop). En su interior hay una estructura secuencial plana de dos frames. El primer frame configura el string con el tipo de onda a generar y seguidamente envía la información hacia el generador vía USB. El segundo frame se encarga de activar o desactivar la salida del generador de funciones, así como de actualizar los cambios de los parámetros de la forma de onda que se está generando.

Lee Señal Seno.vi.

La función de este SubVI es leer la entrada analógica de la NI-USB-6009 correspondiente al tipo de filtro a caracterizar por el estudiante. El diseño del panel frontal (figura 11) de este SubVI presenta: un control para seleccionar el canal físico de la USB-6009 que se va a encuestar, dos controles numéricos para especificar el número de muestras y la razón de muestro con que se desea obtener la señal, un indicador gráfico y dos indicadores para mostrar la frecuencia y la tensión de la señal a la salida del filtro. Para el diseño del diagrama en bloques (figura 11) se utilizaron los driver que ofrece LabVIEW en la subpaleta *DAQmx-Data Acquisition*, que se encuentra a su vez en la subpaleta *Measurements I/O*. Luego con el VI *Express: Tone Extraction*, se extrae la frecuencia y la tensión de la señal a la salida del filtro.

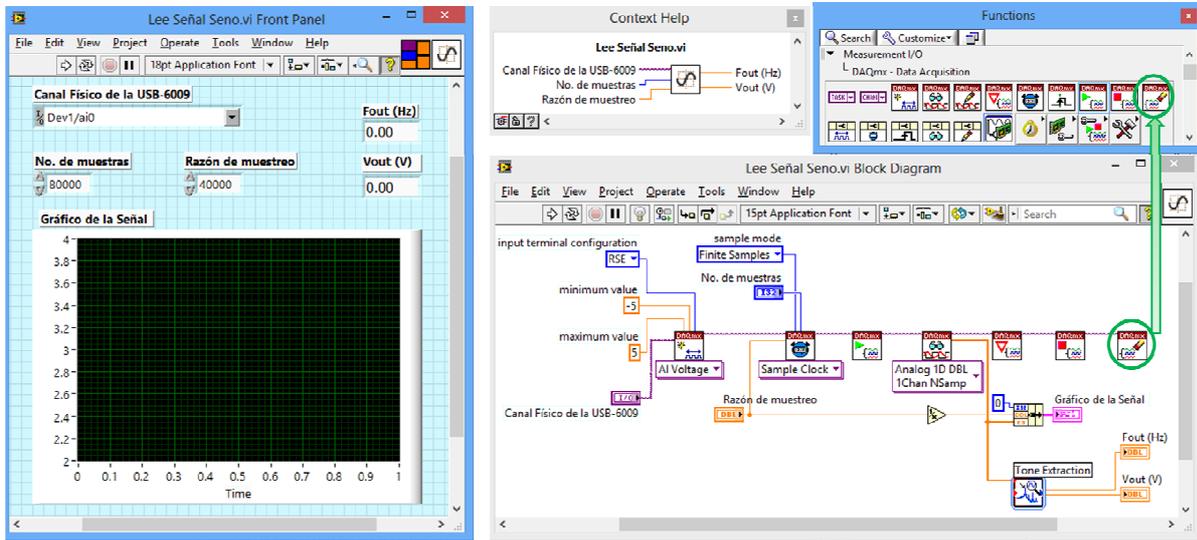


Figura 11. Panel frontal (izquierda), diagrama en bloques (derecha abajo) e icon/conector (arriba al centro) del subVI Lee Señal Seno.vi. Funciones de la subpaleta DAQmx (arriba a la derecha).

VALIDACIÓN DEL SISTEMA

Para validar el sistema se realizó un barrido de frecuencia de forma manual a cada filtro del módulo, sustituyendo la TAD y el PC por el osciloscopio TDS 1012 de Tektronix, como se puede apreciar en la figura 12. El objetivo de estas mediciones es determinar mediante un instrumento tradicional la(s) frecuencia(s) de corte de cada filtro, para comparar estos valores con los obtenidos mediante el instrumento virtual diseñado y con los calculados teóricamente.

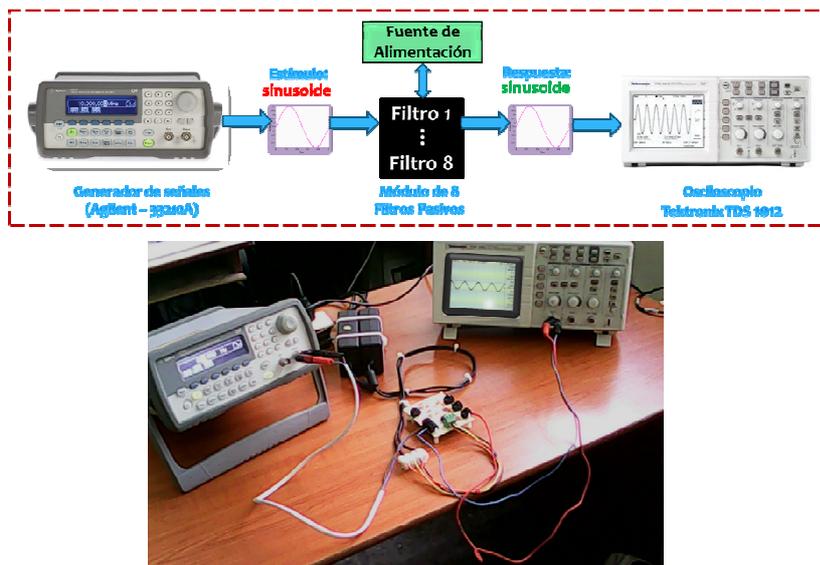


Figura 12. Montaje experimental para validar el sistema: diagrama en bloques (parte superior) y fotografía (parte inferior).

El procedimiento empleado para realizar el barrido de frecuencia de forma manual, fue el siguiente:

1. Generar una señal sinusoidal (V_{in}) de 1 V pico a pico y una frecuencia de 1 Hz, a la entrada del módulo de filtros pasivos, utilizando el generador de señales 33210A.
2. Medir la salida del filtro pasivo (V_{out}) utilizando el osciloscopio TDS 1012.
3. Repetir los pasos 1 y 2 aumentando la frecuencia de la señal sinusoidal a la salida del generador, hasta que se cumpla que:
 $V_{out} = (\sqrt{2}/2) * V_{in}$.
4. Anotar el valor de la(s) frecuencia(s) de corte.
5. Repetir los pasos del 1 al 4 para cada filtro pasivo.

En la tabla 1 se muestran la(s) frecuencia(s) de corte de cada filtro, adquirida(s) por tres vías diferentes: cálculo teórico, medición virtual utilizando instrumentación virtual y medición tradicional utilizando el osciloscopio. Además en la tabla se muestra el error absoluto que se comete al realizar ambas mediciones, con respecto al valor calculado teóricamente.

Tabla 1. Medición virtual y tradicional de la(s) frecuencia(s) de corte de los filtros pasivos, y cálculo del error absoluto con respecto al valor calculado teóricamente.

No. del filtro	Valor calculado teóricamente (Hz)	Medición virtual (Hz)	Error absoluto de la medición virtual (Hz)	Medición tradicional (Hz)	Error absoluto de la medición tradicional (Hz)
1	fc=338	fc=336	E= 2	fc=420	E= 82
2	fc=284	fc=280	E= 4	fc=350	E= 66
3	fc=159	fc=168	E=9	fc=134	E=25
4	fc=53	fc=57	E=4	fc=48	E=5
5	fc1= 106 ; fc2=4822	fc1= 116 ; fc2=4800	E1=10; E2=22	fc1= 90 ; fc2=5640	E1=16; E2=818
6	fc1= 33; fc2=2567	fc1= 43; fc2=2500	E1=10; E2=67	fc1= 20; fc2=3170	E1=13; E2=603
7	fc1= 187; fc2=3375	fc1= 175; fc2=3295	E1=12; E2=80	fc1= 225; fc2=3050	E1=38; E2=325
8	fc1= 554; fc2=9929	fc1= 550; fc2=9995	E1=4; E2=66	fc1= 650; fc2=9200	E1=96; E2=729

Al terminar las mediciones se pueden llegar a las siguientes conclusiones:

1. Para identificar el tipo de filtro no importa el método que se utilice para realizar el barrido de frecuencias, ambos dan el mismo resultado.
2. En la tabla 1 se puede apreciar que con la medición virtual se comete un error absoluto menor al determinar la magnitud de la frecuencia de corte. El mayor error absoluto cometido en la medición virtual fue de 80 Hz, mientras que en la medición tradicional fue de 818 Hz.

La explicación de la última conclusión se debe a que las mediciones utilizando el osciloscopio pueden estar afectadas por la existencia de ruidos e interferencias en la banda de trabajo. Este problema no ocurre en la medición virtual, pues se utiliza el VI Express: **Tone Extraction** de LabVIEW 2011. Este VI actúa como un filtro por software ya que identifica el tono (señal sinusoidal) con la amplitud más alta de la señal a su entrada, y solo devuelve la frecuencia y la amplitud de la señal sinusoidal que predomina en la salida del filtro.

Otro aspecto a tener en cuenta para explicar por qué la medición tradicional es menos fiable, se debe a que en la misma se cometen errores, tales como:

- Errores debido al instrumento de medida. En este caso el osciloscopio TDS 1012 fue configurado para obtener 500mV/div, lo que implica un error de medición máximo de 20mV.
- Errores humanos al utilizar los instrumentos tradicionales (osciloscopio) para validar el sistema.

UTILIZACIÓN DEL SISTEMA

Para evaluar las prestaciones del sistema se realizó una práctica de laboratorio en un grupo de 25 estudiantes de 3er año de la carrera de Biomédica del ISPJAE. El alumno no conoce previamente el tipo de filtro que va a caracterizar, esta característica tiene que obtenerla a partir de la interpretación de la respuesta de frecuencia que se muestra en el panel frontal de la aplicación. Además el estudiante debe extraer del gráfico la(s) frecuencia(s) de corte e introducirla(s) en los controles asociados a la interpretación de los resultados (figura 5).

En la tabla 2 se muestra la cantidad de estudiantes que analizó cada tipo de filtro; así como el porcentaje de alumnos que identificó correctamente el tipo filtro. Además se presenta un análisis de los errores asociados a la(s) frecuencia(s) de corte obtenidas por los estudiantes.

Tabla 2. Medición y análisis de errores, de la magnitud de la(s) frecuencia(s) de corte, obtenidas por los estudiantes de 3er año de Biomédica.

No. del Filtro	Cant. de estudiantes	Identificaron correctamente el tipo de filtro	Valor real de la frecuencia de corte (fc)	Media aritmética	Error absoluto	Error relativo
1	2	100%	fc = 336	337.67	1.67	0.50%
2	5	100%	fc = 280	280.16	0.16	0.06%
3	3	100%	fc = 168	169.25	1.25	0.74%
4	4	100%	fc = 57	58.47	1.47	2.58%
5	3	100%	fc1 = 116	113.66	2.34	2.02%
			fc2 = 4800	4807.66	7.66	0.16%
6	2	100%	fc1 = 43	43.50	0.5	1.16%
			fc2 = 2500	2500.5	0.5	0.02%
7	3	100%	fc1 = 175	177.6	2.6	1.49%
			fc2 = 3295	3310.4	15.4	0.47%
8	3	100%	fc1 = 550	549.75	0.25	0.05%
			fc2 = 9995	9950.2	44.8	0.45%

En la tabla 2 se puede apreciar que los resultados alcanzados en la práctica de laboratorio son excelentes: el 100 % de los estudiantes identificó correctamente el tipo de filtro, además el error relativo con respecto al valor real está entre 0.02 % y 2.58 %. Para conocer el grado de satisfacción del grupo, al finalizar la práctica se les pidió a 15 de los estudiantes, llenar la encuesta que se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Resultados de la encuesta realizada a los estudiantes de 3er año de Biomédica.

Pregunta	Sí	No
¿Te ha resultado interesante realizar esta práctica de laboratorio automatizada (PLA)?	100 %	
¿Has adquirido alguna nueva habilidad al realizar la PLA?	93.33%	6.67%
¿Consideras útil y adecuado realizar prácticas de laboratorio automatizadas?	100 %	
¿Consideras que se deben preparar PLA para otros contenidos de electrónica y circuitos eléctricos?	100 %	

Evalúa globalmente la PLA (M, R, B ó E)	E (66.67 %), B (33.33 %)
---	--------------------------

De manera general los alumnos encontraron la práctica de laboratorio automatizada muy útil e interesante, manifestando satisfacción e interés en el hardware y la tecnología que soporta la aplicación. Como resultado de este trabajo los estudiantes cuentan con una herramienta de aprendizaje más, que complementa los conocimientos teóricos adquiridos en la asignatura de circuitos eléctricos.

CONCLUSIONES

Este artículo presenta el diseño de un sistema para la caracterización de diferentes topologías de filtros pasivos utilizando instrumentación virtual. Como aspectos más relevantes se deben citar:

- La aplicación diseñada constituye una herramienta de aprendizaje, que complementa los conocimientos teóricos adquiridos por los estudiantes en la asignatura de circuitos eléctricos, con prácticas reales. Brinda un ambiente propicio para el autoaprendizaje, donde el estudiante tiene plena libertad de modificar los parámetros del barrido de frecuencia a un circuito eléctrico; así como puede realizar tantos barridos como estime conveniente en el rango de 1-10KHz.
- Para evitar posibles plagios, se creó un archivo de Excel (el estudiante no tiene acceso a este archivo) donde el profesor asigna previamente a cada estudiante el tipo de filtro que le corresponde caracterizar. Al salir de la aplicación los resultados del barrido que introduce el estudiante en el panel de control de la aplicación son almacenados en este archivo, para la posterior calificación por parte del profesor.
- El sistema fue validado midiendo la magnitud de la(s) frecuencia(s) de corte de cada filtro del módulo diseñado, utilizando el osciloscopio TDS 1012 de Tektronix. Luego se compararon estos valores con los obtenidos mediante el instrumento virtual y con los calculados teóricamente, dando como resultado que en la medición virtual se comente un menor error absoluto que en la medición tradicional. El mayor error absoluto cometido en la medición virtual fue de 80 Hz, mientras que en la medición tradicional fue de 818 Hz. Este resultado se debe a que en el sistema diseñado se implementó un filtro por software utilizando el VI *Tone Extraction* de LabVIEW 2011, mediante el cual se obtiene una respuesta de frecuencia más inmune al ruido y a la interferencia.
- Se evaluó las prestaciones del sistema realizando una práctica de laboratorio con un grupo de 25 estudiantes de 3er año de la carrera de Biomédica del ISPJAE. Al finalizar el laboratorio se realizó una encuesta, en la cual los estudiantes manifestaron gran satisfacción e interés en el hardware y la tecnología que soporta la aplicación, pidiendo que se realicen más trabajos sobre este tema.

REFERENCIAS

1. VALDÉS, E., y V. ESCARTÍN: "Instrumentación Virtual: conceptos y aplicaciones" en *Ingeniería Electrónica, Automática y Telecomunicaciones*, Vol.XXI. No. 3, ISPJAE, La Habana, Cuba, 2000.
2. GARCIA ZUBIA, J.: El proyecto VISIR en la universidad de Deusto: laboratorio remoto para electrónica básica [en línea]. 2010 [citado 12 Septiembre 2013], pp. 1-12. Disponible en Internet: <http://e-spacio.uned.es>.
3. BRAGÓS BARDIA, R.: Plataforma modular para el desarrollo de laboratorios remotos [en línea]. 2011 [citado 13 Septiembre 2013], pp. 1-8. Disponible en Internet: <http://upcommons.upc.edu>.
4. ANCHUSTEGUI-ECHARTE, E., I. OLEAGORDÍA, y J. ORTIZ: Plataforma teórico-práctica con instrumentación virtual para el estudio y diseño de filtros activos analógicos [en línea]. 2004 [citado 13 Septiembre 2013], pp. 1-12. Disponible en Internet: <http://e-spacio.uned.es>.
5. IBARRA, C.A., S. MEDINA S, y Á. BERNAL N.: Implementación de un laboratorio virtual para el estudio de dispositivos electrónicos. TE & ET, 2007 [citado 14 Septiembre 2013], pp. 1-9. Disponible en Internet: <http://teyet-revista.info.unlp.edu.ar>.
6. CARRAZANA, C.P.: Aplicación de la Instrumentación Virtual Remota para el desarrollo de prácticas de laboratorio de electrónica, ISPJAE, La Habana, Cuba, 2003.

7. FUENTES, H.C.: Diseño de herramientas para la implementación de prácticas de laboratorio de electrónica digital utilizando instrumentación virtual remota, ISPJAE, La Habana, Cuba, 2006.
8. RAMÍREZ, F.E.N.: Diseño de un servidor de prácticas de electrónica digital utilizando instrumentación virtual remota, ISPJAE, La Habana, Cuba, 2010.
9. TEKTRONIX, INC.: Manual de usuario del osciloscopio TDS 1012. Disponible en Internet: <http://www.tektronix.com>.

AUTORES

Roxana Velázquez Pupo, Ing. Automática, Empresa ETECSA, La Habana, Cuba.
e-mail: roxana.velazquez@etecsa.cu

Enrique Ernesto Valdés Zaldívar, Ing. Electrónico, Doctor en Ciencias Técnicas, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba
e-mail: enrique.valdes@electrica.cujae.edu.cu