

Enseñanza de la programación en LabVIEW® mediante metodologías ABP

Francisco Javier Jiménez Martínez

*Departamento Ingeniería Física. Ingeniería Eléctrica y Física
Aplicada*

*Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistema de
Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid*

Madrid, España
franciscojavier.jimenez@upm.es

Sergio López Gregorio

*Departamento Ingeniería Telemática y Electrónica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistema de
Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid*

Madrid, España
sergio.lopez@upm.es

Abstract—La utilización de la herramienta de programación LabVIEW® en entornos profesionales y educativos está muy extendida en la actualidad. En el ámbito universitario, en los programas académicos de títulos de grado y master relacionados con las ramas de las telecomunicaciones e industriales, es común encontrar asignaturas que incluyan entre sus contenidos temas o bloques didácticos dedicados al uso del entorno de programación LabVIEW®. En este trabajo se muestra el diseño completo de una asignatura que proporciona conocimientos básicos para programar en LabVIEW®, mediante una metodología de aprendizaje basada en problemas y proyectos, que permitirán a los estudiantes el desarrollo de aplicaciones industriales.

Keywords—LabVIEW®, instrumentación virtual, aprendizaje basado en proyectos

I. INTRODUCCIÓN

La herramienta de programación LabVIEW®, desarrollada por la empresa National Instruments, facilita la realización de aplicaciones software en un entorno gráfico relacionadas con la adquisición de datos, la instrumentación programable y el control de procesos [1]. Su uso está muy extendido en el ámbito profesional siendo clave en el desarrollo de numerosos proyectos industriales en campos como la automoción, aeroespacial, robótica o telecomunicaciones.

A nivel universitario el uso del entorno programación LabVIEW® también es muy amplio y su utilización se puede distinguir en dos niveles. Por una parte, se puede utilizar para el desarrollo de aplicaciones que se usen como recurso docente en el ámbito de la enseñanza o la investigación. Pueden mencionarse como ejemplos las aplicaciones desarrolladas para implementar laboratorios remotos muy útiles como recurso docente en la enseñanza de la electrónica [2][3], o para implementar un sistema de adquisición de datos en túneles de viento que faciliten el aprendizaje o la investigación en el área de la aeronáutica [4]. Por otra parte, también se puede utilizar para abordar la enseñanza de bloques o módulos didácticos relacionados con actividades prácticas en diferentes asignaturas de títulos de grado o master universitario. Se pueden mostrar como ejemplos las actividades desarrolladas para cursos de instrumentación, en concreto vinculados con comunicaciones digitales [5], o para cursos de proyectos experimentales en el área de la ingeniería fotónica [6].

Al analizar el uso docente del entorno LabVIEW®, integrado en las prácticas de diferentes asignaturas de títulos de grado o master, se puede detectar que no es posible profundizar en el aprendizaje de ciertas capacidades relevantes que ofrece este entorno software, como por ejemplo

el estudio de las diferentes arquitecturas software requeridas en el desarrollo de muchos proyectos industriales. Esta carencia hace posible justificar, desde un punto de vista formativo, que si se considera como objetivo principal que los estudiantes dispongan de la capacidad de desarrollar aplicaciones industriales en LabVIEW®, es necesario considerar la oferta de asignaturas que dediquen sus contenidos por completo a la enseñanza de la programación en LabVIEW®. Por este motivo surge la idea de diseñar una asignatura, de carácter optativo, que forme parte del plan de estudios de un título de grado en el área de la electrónica y que aborde la enseñanza de la programación en LabVIEW®.

Este artículo se ha estructurado en varios apartados. En la sección II se describe el contexto y antecedentes relacionados con la asignatura relacionada con la enseñanza en la programación en LabVIEW®. En la sección III se describen el conjunto de actividades planificadas en la asignatura. En la sección IV se presenta el proyecto propuesto a los estudiantes basado en el control de la temperatura de un horno. La sección V incluye los resultados obtenidos por los estudiantes y su opinión respecto a la asignatura. Por último, se proporcionan las conclusiones del trabajo.

II. CONTEXTO Y ANTECEDENTES

En el plan de estudios de la titulación de grado en Ingeniería Electrónica de Comunicaciones que se imparte en la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) es necesario cursar 31,5 ECTS de optatividad. Dichos créditos se pueden obtener cursando asignaturas optativas que se ofertan cada curso académico, mediante prácticas externas o mediante actividades universitarias acreditables [7]. Entre las asignaturas que se pueden ofertar existen las denominadas de especialización (Tipo A) que pretenden ofrecer una formación complementaria a los estudiantes en áreas con una fuerte demanda a nivel industrial.

La propuesta del diseño de una asignatura optativa de especialización que incluyera contenido relacionados con el entorno de programación LabVIEW® surgió ante las colaboraciones de varios profesores del antiguo departamento de Sistemas electrónicos y de control de la Universidad Politécnica de Madrid con empresas e investigadores en la realización de numerosos proyectos industriales y de investigación en áreas como la televisión digital terrestre, los ultrasonidos o la química [8]. En dichos proyectos se detectaron las ventajas y posibilidades que ofrecía el entorno gráfico de programación en LabVIEW® en el desarrollo de aplicaciones dedicadas a la automatización y el control de procesos industriales.

La primera asignatura optativa que se diseñó se denominó Sistemas Automáticos de Medida en la que se introducía la

programación en LabVIEW® con el objetivo de diseñar una aplicación, mostrada en la Fig. 1, en la que mediante instrumentos de excitación y medida se verificaba el correcto funcionamiento de un voltímetro digital en el que se podían programar diferentes averías. Tras analizar durante varios cursos académicos el aprendizaje de los estudiantes que cursaron la asignatura se observó que uno de los resultados de aprendizaje que se pretendía conseguir, relacionado con el manejo de diferentes arquitecturas software no se conseguía obtener en el nivel adecuado, Por este motivo se decidió cambiar la asignatura y diseñar una nueva que permitiera corregir el problema detectado. La nueva asignatura se denominó Programación en LabVIEW®.

III. DESCRIPCIÓN ACTIVIDADES EN LA ASIGNATURA

La asignatura Programación en LabVIEW® es una asignatura optativa de especialización de 4,5 ECTS que se imparte en el cuarto curso (séptimo semestre) de la titulación de grado en Ingeniería Electrónica de Comunicaciones de la UPM.

Se ha diseñado con el objetivo de capacitar al estudiante en el desarrollo de aplicaciones basadas en LabVIEW® como solución en la realización de proyectos relacionados con la instrumentación programable, los sistemas de adquisición de datos y el control de procesos industriales. Las actividades planificadas en la asignatura se pueden agrupar en los siguientes bloques:

- Bloque I (1,5 ECTS): Fundamentos de programación en LabVIEW®. Se realiza el aprendizaje progresivo de todos los recursos básicos que permiten desarrollar sencillas aplicaciones (entorno, tipos de datos, estructuras, gráficos y opciones de depuración).
- Bloque II (0,5 ECTS): Gestión de ficheros, tipos de variables y arquitecturas básicas para el diseño de aplicaciones. Se abordan los patrones software claves que permiten desarrollar cualquier aplicación con especial énfasis en las máquinas de estados.
- Bloque III (0,5 ECTS): Control de instrumentos y tarjetas de adquisición de datos. Se realizan comunicaciones básicas con instrumentos programables y tarjetas de adquisición de datos mediante interfaz USB.
- Bloque IV (2 ECTS): Proyecto final. Se propone la realización de una aplicación que implica la utilización de todos los contenidos previos abordados en la asignatura. La descripción de dicho proyecto se realizará en la sección IV.

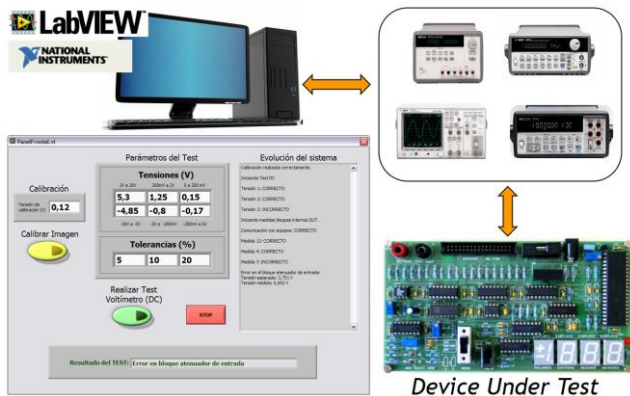


Fig. 1. Aplicación en asignatura Sistemas Automáticos de Medida

Las metodologías de aprendizaje empleadas en la asignatura están centradas en el aprendizaje basado en problemas y proyectos con la intención de aprovechar sus ventajas en cuanto a que los estudiantes asuman la responsabilidad de su propio aprendizaje y que este se focalice en el proceso de adquisición del conocimiento más que en los contenidos en sí mismos [9]. Todas las actividades se realizan en el laboratorio utilizando un modelo de impartición de clases en las que se mezclan de forma continua breves explicaciones teóricas con el desarrollo de sencillas aplicaciones planteadas como problemas o retos.

Las actividades de evaluación que se realizan en la asignatura se centran en la entrega de diferentes aplicaciones asociadas a los contenidos de los Bloques I, II y III y en el desarrollo de un proyecto final realizado por parejas de estudiantes. Adicionalmente a las entregas, al término del Boque II, los estudiantes tienen que realizar una prueba en el aula que permite verificar su progresión en la consecución de los resultados de aprendizaje propuestos en la asignatura. Esta prueba consiste en el desarrollo de una aplicación que simule el funcionamiento de un generador de señal y basa su funcionamiento en un autómata. En la Fig. 2 se muestra el panel frontal de la aplicación y en la Fig. 3 se muestra el diagrama de estados del autómata a implementar. Los resultados de esta prueba se comunican en la siguiente clase a los estudiantes proporcionando además una realimentación gráfica de los errores más relevantes que se han detectado y que deben ser considerados para no cometerlos al desarrollar el proyecto final.

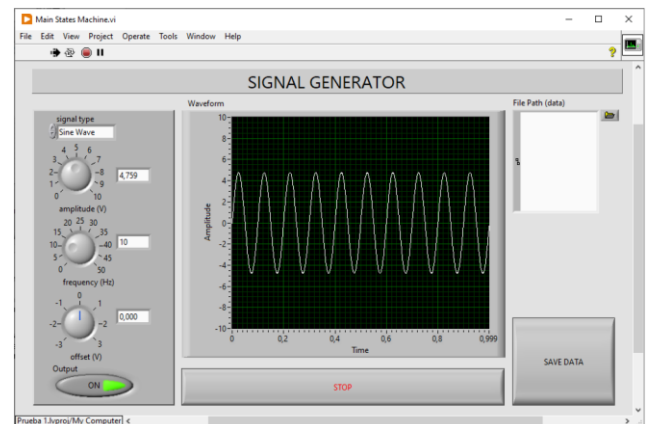


Fig. 2. Panel frontal aplicación generador señal simulado

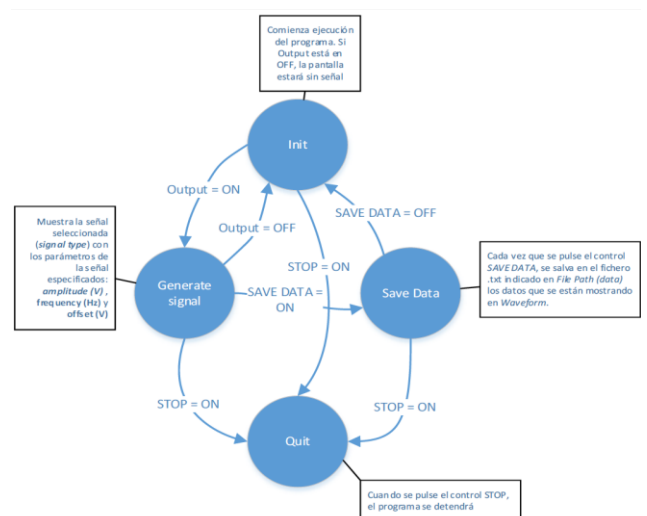


Fig. 3. Diagrama de estado del autómata del generador señal simulado

IV. PROYECTO FINAL

Tras la realización de las actividades correspondientes a los Bloques I, II y III se propone a los estudiantes un proyecto final que engloba todos los contenidos de la asignatura. En concreto los estudiantes, gracias a las actividades que han realizado previamente, disponen de conocimientos para la creación de proyectos usando las arquitecturas software típicas. Han aprendido a realizar un diagrama de estados y a implementarlo en LabVIEW®. Se les ha mostrado las ventajas de la máquina de estados desde el punto de vista de la legibilidad, escalabilidad y mantenibilidad del software, así como, la metodología de creación de módulos software independientes que pueden ser programados y probados de forma independiente.

El proyecto trata de la implementación de un Instrumento Virtual encargado de realizar el control de temperatura sobre un hardware diseñado específicamente para la asignatura. Dicho hardware ha sido denominado “Oven Simulator”. El Instrumento Virtual se debe implementar con una arquitectura basada en una máquina de estados.

El hardware del Instrumento Virtual a diseñar está compuesto por una tarjeta de adquisición de datos de propósito general DAQ (NI USB 6001) [10] y la placa “Oven Simulator”. Esta placa es la que se ha utilizado previamente en los ejercicios relativos a la creación de tareas de adquisición y generación de señales con un DAQ usando las funciones de National Instruments NI-DAQmx [11].

Se han diseñado también unas herramientas virtuales especialmente diseñadas para poder trabajar con una DAQ (NI USB 6001) y un “Oven Simulator”, virtuales. Estas herramientas han sido implementadas por los autores para poder solventar el problema de la no presencialidad impuesta por la pandemia del COVID-19. Con estas herramientas los estudiantes han podido realizar el Instrumento Virtual que se va a describir a continuación sin necesidad de tener el hardware físicamente. En el apartado D de esta sección se describen las particularidades.

A. Hardware del Instrumento virtual

1) DAQ (NI USB 6001)

Se trata de una tarjeta de adquisición de datos de bajo coste, pequeño tamaño y alimentada por USB. Dicha tarjeta dispone de 4 canales analógicos diferenciales (8 no diferenciales), dos puertos I/O digitales de 8 y 4 bits respectivamente, dos canales de salida analógica y un contador. En Fig. 4 se muestra una imagen de la tarjeta conectada a la placa “Oven Simulator”.

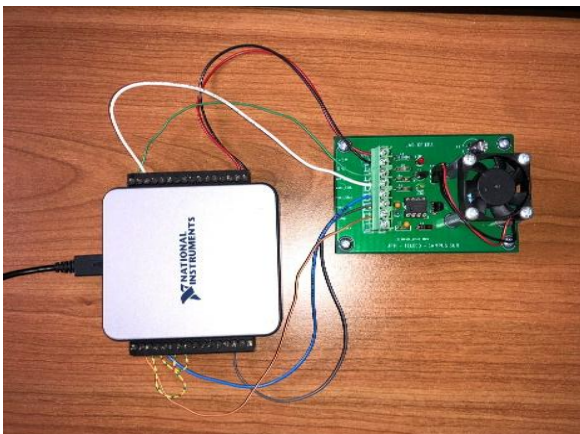


Fig. 4. DAQ (NI USB 6001) y “Oven Simulator”

2) OVEN SIMULATOR

El circuito diseñado pretende ser un simulador de horno de forma que pueda realizarse un control sencillo de temperatura comandado por una señal de tensión analógica para calentar y una señal digital TTL, que activa un ventilador, para enfriar. Además, el circuito proporciona las señales de medida y estado de los diferentes bloques funcionales que lo conforman. En Fig. 5 se muestra el esquema del “Oven Simulator”. En Fig. 6 se muestran las señales de entrada salida, su conexionado con la DAQ y el tipo de las señales (digital o analógica). En Fig. 7 se muestra una imagen de la PCB del “Oven Simulator”.

El “Oven Simulator” tiene tres bloques funcionales:

- “TEMPERATURE”, encargado de medir la temperatura con un circuito integrado LM35 que tiene una sensibilidad de 10 mV/°C. Este bloque funcional proporciona la señal analógica de medida de la temperatura (Señal “Temp” en Fig. 6).
- “VENTILATOR”, es un ventilador con un driver, se activa con una señal TTL. Este bloque funcional acepta una señal de comando digital y proporciona una señal de estado del “VENTILATOR” (Señales “Vent Ctrl” y “Vent St” respectivamente en Fig. 6).
- “HEATER” es un calefactor basado en tres resistores conectados en serie de bajo valor óhmico (15 Ω) y un driver. Este subsistema acepta una señal analógica como comando de calentamiento, y proporciona una señal de estado de la señal aplicada a las resistencias calefactoras. (Señales “Heat Ctrl” y “Heat St” respectivamente en Fig. 6).

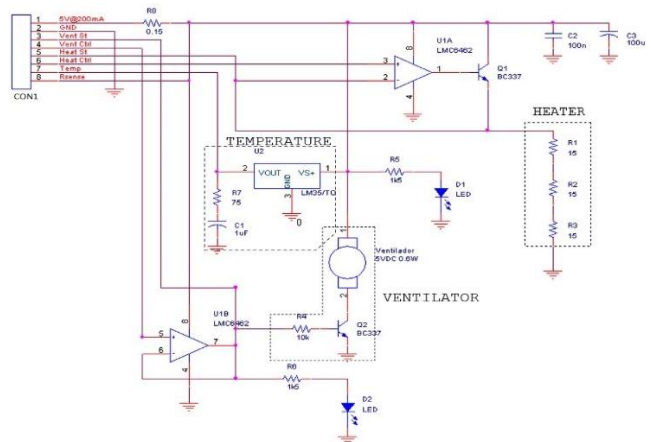


Fig. 5. Oven Simulator

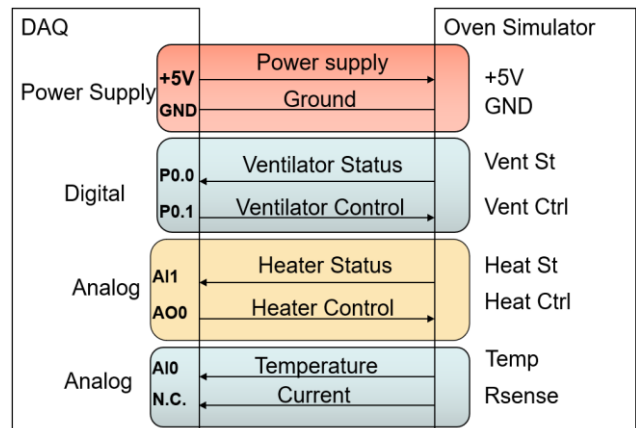


Fig. 6. Conexionado entre la DAQ y el “Oven Simulator”



Fig. 7. PCB del "Oven Simulator"

B. Operaciones a realizar por el Instrumento Virtual

El Instrumento Virtual que deben implementar los estudiantes debe realizar, como mínimo, las siguientes operaciones:

- La monitorización y el control de temperatura del "Oven Simulator" mediante una máquina de estados.
- Poder almacenar los datos de temperatura monitorizados en un fichero.
- Cargar y mostrar los datos de un fichero de datos guardado previamente.

Para controlar la temperatura del "Oven Simulator", se debe fijar una temperatura máxima, "Temp. Max" y una temperatura mínima, "Temp. Min". El software de control realizará las acciones necesarias para que la temperatura del "Oven Simulator" se encuentre entre "Temp. Max" y "Temp. Min".

C. Requerimientos de funcionamiento y modo de operación del Instrumento Virtual

Los requerimientos del Instrumento Virtual a implementar se enumeran a continuación atendiendo al menú de operaciones, mostrado en la Fig. 8, que debe incorporar la aplicación final:

1) *Control "Login"*: El usuario debe identificarse con un nombre y una contraseña para poder operar con el instrumento.

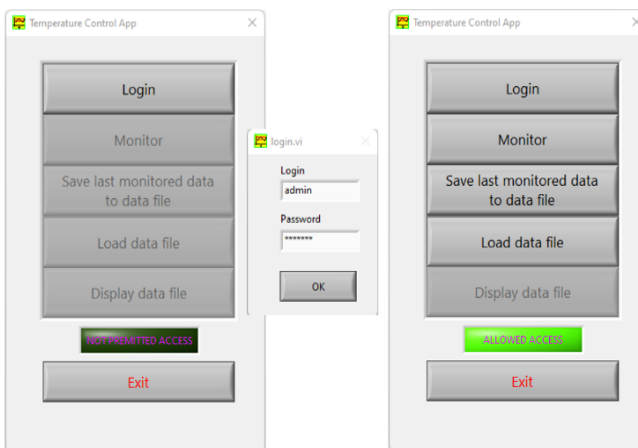


Fig. 8. Menú principal (antes y después de una identificación válida)

2) *Control "Monitor"*: Aparece una ventana emergente, mostrada en la Fig. 9, que refleja la ejecución del subVI "Oven Control".

Con los controles "Temp. Max" y "Temp. Min" se fijan las temperaturas máxima y mínima respectivamente mencionadas en el apartado B. Dichos controles deben tener unos valores predeterminados cuando aparezca esta ventana, y el indicador "User name" mostrará el usuario que ha accedido.

Cuando el usuario activa el control "START Acquisition" comenzará el proceso de control de temperatura descrito a continuación y que servirá a los estudiantes para obtener el diagrama de estados del autómat a implementar en la aplicación a desarrollar:

1. La temperatura del "Oven Simulator" será adquirida cada 500ms aproximadamente.
2. El panel del "Oven Control" mostrará en "tiempo real" la temperatura medida en el indicador "Temp".
3. El indicador gráfico "Temperature Data" mostrará las temperaturas máxima y mínima establecidas en los controles "Temp. Max" y "Temp. Min", así como la temperatura medida "Temp" en el "Oven Simulator".
4. El usuario debe poder variar los controles de temperatura "Temp. Max" y "Temp. Min" durante el proceso de operación.
5. Si la temperatura en el "Oven Simulator" "Temp." es inferior a la temperatura mínima "Temp. Min", el sistema debe encender el "HEATER" con el valor máximo de excitación (Maximum). El "VENTILATOR" debe estar apagado.
6. Si la temperatura en el "Oven Simulator" "Temp." está entre la temperatura máxima y mínima (Temp. Max) y (Temp. Min), el sistema debe encender el "HEATER" con el valor de excitación medio (Medium) y apagar el "VENTILATOR".
7. Si la temperatura en el "Oven Simulator" ("Temp.") es mayor que la temperatura máxima (Temp. Max), el "Oven Control" debe poner el "HEATER" sin excitación (Off) y el "VENTILATOR" debe encenderse.

En la Tabla I se muestran las señales de comando descritas en los puntos 5, 6 y 7 con sus correspondientes valores de voltaje.

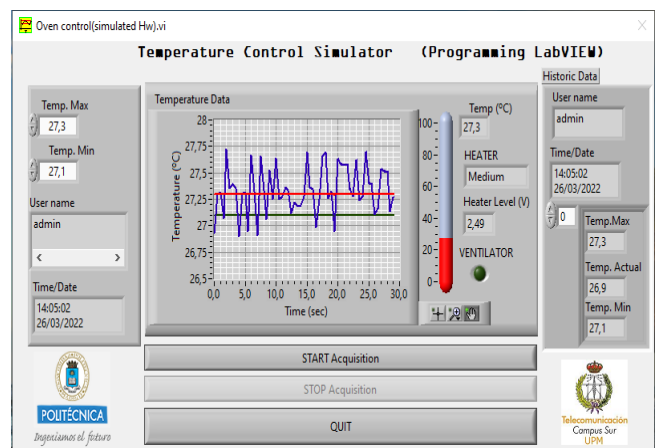


Fig. 9. Oven Control

TABLA I. SEÑALES DE COMANDO

Bloque funcional que recibe la señal de comando	Señales, valores y Subsistemas de la DAQ		
	Señal de comando	Valor (V)	Subsistema de salida en la DAQ
HEATER	Minimum	0	Analog Output
HEATER	Medium	2,5	Analog Output
HEATER	Maximum	5	Analog Output
VENTILATOR	Off	0	Digital Output
VENTILATOR	On	5	Digital Output

Cuando el usuario activa el control “STOP Acquisition”, se dejará de adquirir datos. Una vez detenida la adquisición de datos, se visualizarán en el indicador “Historic Data” los datos temperatura adquiridos, los límites de la temperatura máxima y mínima, fecha y hora de la operación y el usuario que ha ordenado dicha operación.

Cuando el usuario activa el control “QUIT”, se debe dejar el “Oven Simulator” en modo seguro, es decir, “VENTILATOR” apagado y “HEATER” en Off. Se cerrará la ventana “Oven Control” y se devolverá el control al Menú principal (ver Fig. 8).

3) Control “Save last monitored data to file”: El usuario podrá guardar los últimos datos monitorizados en un fichero.

4) Control “Load data file”: El usuario podrá cargar en memoria un fichero de datos previamente guardado. Si posteriormente a la carga de un fichero de datos el usuario activa el control “DISPLAY data file”, el sistema mostrará la ventana de la Fig. 10 con los datos registrados.

D. Descripción de la DAQ (NI USB 6001) y del “Oven Simulator” virtuales

Tal y como se ha mencionado anteriormente, para solucionar la no presencialidad impuesta por la pandemia del COVID-19 se desarrollaron programas que permitieran trabajar con la tarjeta DAQ (NI USB 6001) y el “Oven Simulator”, descritos en los apartados A.1) y A.2) de esta sección, sin disponer de ellos físicamente.

La filosofía adoptada para conseguir esta funcionalidad se resume en el diseño y programación de un paquete software que realice lo siguiente:

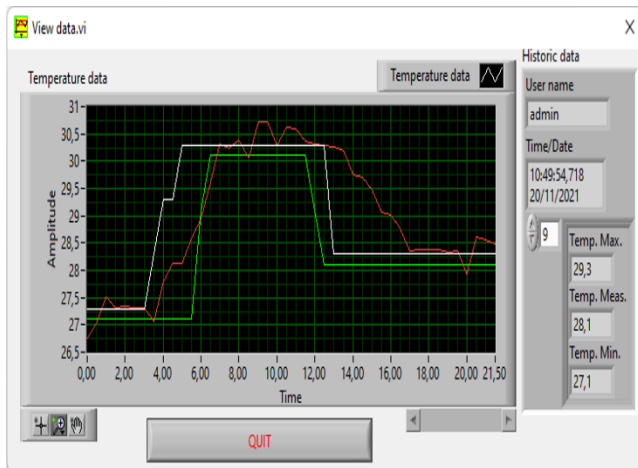


Fig. 10. Visualización de un fichero de datos

- Instalación de una tarjeta DAQ (NI USB 6001) virtual. Esta acción es proporcionada por National Instruments a través del software Measurement Automation Explorer (MAX) tal y como se muestra en la Fig. 11.

- Conexión virtual entre la tarjeta DAQ y el “Oven Simulator”. Diseño e implementación de un software que permita un “conexión” virtual entre las entradas/salidas de la DAQ (NI USB 6001) y la placa “Oven Simulator”. Este software se ha denominado “Connections OVEN SIM to NI USB DAQ 6001”. Se muestra una imagen del panel frontal de este software en la Fig. 12.

- Instalación de la librería con las funciones modificadas para que las respuestas del “Oven Simulator” sean acordes a como se comportaría en función de:
 - Si está bien conectado a la DAQ (NI USB 6001)
 - Las señales de comando enviadas por parte de la DAQ (NI USB 6001) a la placa “Oven Simulator”

Esta librería ha sido desarrollada expreso y se le ha denominado “Read_Write_Simulated, modified NI-DAQmx functions”.

Gracias a estos recursos diseñados los estudiantes pueden desarrollar el proyecto final sin necesidad de tener el hardware con ellos.

V. RESULTADOS

La asignatura Programación en LabVIEW® comenzó a impartirse en el curso académico 2019-20. En la Tabla II se muestran los resultados académicos obtenidos en los tres cursos en los que se ha impartido la asignatura siendo necesario indicar que el curso 2020-21 la impartición se hizo

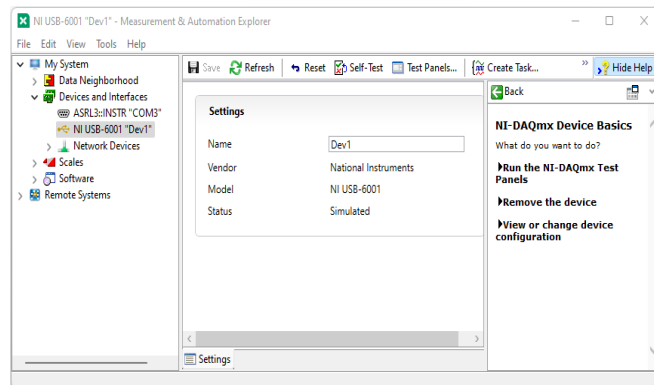


Fig. 11. NI USB DAQ 6001 simulada en MAX

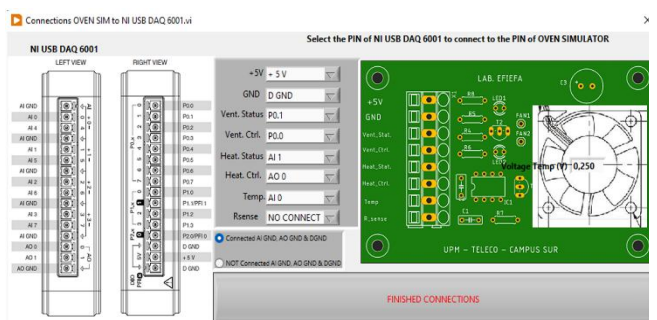


Fig. 12. Conexiones entre OVEN SIM y NI USB DAQ 6001

de forma online a causa de la pandemia de COVID-19 y que en el curso 2021-22 no están considerados los datos de la convocatoria extraordinaria. Se observa que las tasas de rendimientos conseguidas son muy altas reflejando una elevada implicación de los estudiantes.

Como complemento a los resultados académicos mostrados en la Tabla II es importante analizar las opiniones de los estudiantes incluidas en las encuestas que se realizan al final de la impartición de la asignatura. Lamentablemente la participación de los estudiantes en las encuestas oficiales que se realizan, de forma online, desde la universidad es muy escasa y no es posible extraer conclusiones relevantes sobre el desarrollo de la asignatura. Ante esta circunstancia en el curso 2021-22 se decidió realizar una encuesta específica para la asignatura que se propuso completar a los estudiantes, de forma presencial y anónima en el aula, el último día de la impartición de la asignatura. En la encuesta participaron doce estudiantes y los resultados se muestran en la Tabla III. Del análisis de los resultados se puede extraer como conclusión principal el apoyo a la metodología de aprendizaje utilizada en la asignatura. Por otra parte, también se puede observar que se igualan o superan las opiniones relativas a las cuestiones Q1, Q3 y Q4 al ser comparadas con otro trabajo centrado en el uso de LabVIEW® en el ámbito universitario [12].

VI. CONCLUSIONES

El trabajo presentado muestra el diseño completo de una asignatura que tiene como objetivo ofrecer una formación al estudiante que le capacite en el desarrollo de aplicaciones basadas en LabVIEW®. El enfoque de la asignatura se centra, no solo en proporcionar los fundamentos básicos que permiten el desarrollo y depuración de aplicaciones basadas en

TABLA II. RESULTADOS ACADÉMICOS

Curso	Datos Académicos		
	Matriculados	Aprobados	Tasa de rendimiento
2019-20 (presencial)	17	16	94%
2020-21 (online)	16	16	100%
2021-22 (presencial)	14	12	85%

TABLA III. RESULTADOS ENCUESTA

Cuestión	Media (0-10)	SD
Q1. El lenguaje de programación gráfica utilizado en el entorno LabVIEW me ha resultado más fácil de aprender que los lenguajes de programación basados en texto	7,1	1,0
Q2. El aprendizaje basado en la realización de ejercicios y de un proyecto considero que es la metodología docente más adecuada para conseguir los resultados de aprendizaje previstos en la asignatura	9,1	1,0
Q3. Entorno de programación LabVIEW considero que es un complemento muy útil en la formación en ingeniería	9,1	1,2
Q4. En mi futuro académico y profesional considero relevante seguir utilizando esta herramienta de programación	8,0	1,6
Q5. Teniendo en cuenta los conocimientos adquiridos recomendaría a otros compañeros cursar esta asignatura optativa	9,0	1,1

LabVIEW®, sino que además se pretende poner especial énfasis en mostrar cómo diseñar aplicaciones en las que se tome como punto de partida la arquitectura software (máquina de estado, maestro-esclavo, productor-consumidor, etc.) que mejor se adapte a la hora de proporcionar la solución más adecuada al proyecto a desarrollar.

Por otra parte, resulta interesante destacar que la elección de una metodología de enseñanza basada en problemas y proyectos es una opción muy útil para conseguir que el estudiante, resolviendo cada reto que se le propone, obtenga una mayor motivación e influya positivamente en su aprendizaje.

Por último, es importante destacar que la elección y diseño del proyecto final en este tipo de asignaturas, debe ser orientado, teniendo en cuenta que se trata de estudiantes de cuarto curso de grado, para afrontar situaciones muy cercanas a las que se van a encontrar en un futuro muy cercano en el ámbito profesional.

REFERENCIAS

- [1] R. Lajara Vizcaíno and J. Pelegrí Sebastiá, LabVIEW : entorno gráfico de programación, 2ª ed. Barcelona: Marcombo, 2011.
- [2] M. Tawfik et al., "Virtual instrument systems in Reality (VISIR) for remote wiring and measurement of electronic circuits on breadboard," IEEE transactions on learning technologies, vol. 6, no. 1, pp. 60–72, 2013.
- [3] S. Lopez, A. Carpeño, and J. Arriaga, "Remote laboratory eLab3D: a complementary resource in engineering education," IEEE-RITA, vol. 10, no. 3, pp. 160–167, 2015.
- [4] A. A. Rodríguez-Sevillano, M. A. Barcala-Montejano, and S. Sacristán-Callejo, "Development of a wind tunnel DAQ using LabVIEW tools," Applied mechanics and materials, vol. 629, pp. 467–474, 2014.
- [5] W. Zhan, J. R. Porter, and J. A. Morgan, "Experiential learning of digital communication using LabVIEW," IEEE transactions on education, vol. 57, no. 1, pp. 34–41, 2014.
- [6] O. Esteban, R. Vergaz, X. Quintana, and M. Cano-García, "A spectrophotometer implementation as project-based learning in photonics engineering," Óptica pura y aplicada, vol. 52, no. 4, pp. 51022–10, 2019.
- [7] Plan de estudios Grado en Ingeniería Electrónica de Comunicaciones (UPM), 2022, [online] Available: <https://www.etsist.upm.es/estudios-ingenieria-sistemas-telecomunicaciones-madrid/grados-ingenieria-madrid/grados-ingenieria-teleco-Madrid/grado-ingenieria-electronica-comunicaciones-madrid/plan-de-estudios>
- [8] E. Junquera, M. Ruiz, S. López, and E. Aicart, "A technique and a method for the continuous, simultaneous, and automatic measurement of density and speed of sound in pure liquids and solutions," Review of scientific instruments, vol. 73, no. 2, pp. 416–421, 2002.
- [9] J. Guisasola Aranzabal and M. Garmendia, "Aprendizaje basado en problemas, proyectos y casos: diseño e implementación de experiencias en la universidad," Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias, vol. 12, no. 1, pp. 227–228, 2015.
- [10] DAQ USB 6001, 2022, [online] Available: <https://www.ni.com/es-es/support/model.usb-6001.html>
- [11] NI-DAQmx, 2022, [online] Available: <https://www.ni.com/es-es/innovations/videos/16/learn-10-functions-in-ni-daqmx-and-handle-80-of-your-data-acqui0.html>
- [12] P. Tierman, "Enhancing the learning experience of undergraduate technology students with LabVIEW™ software," Computers and education, vol. 55, no. 4, pp. 1579–1588, 2010