



Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riit.com.mx

Librería Integrable en LabVIEW y Firmware para Control de Tarjeta de Adquisición de Datos

Library for Integration in LabVIEW and Firmware for Data Acquisition Card Control

Martínez-Ramírez, A., Fosado-Quiroz, R.E.*, Hernández-Nava, N., Ávila-Rodríguez, R.

Unidad Académica Multidisciplinaria Región Altiplano, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8292-0377>, [https://orcid.org/0000-0002-5344-7274*](https://orcid.org/0000-0002-5344-7274), <https://orcid.org/0000-0002-4965-1045>, <https://orcid.org/0000-0003-3595-7518>.

alejandro.martinez@uaslp.mx; [rosa.fosado@uaslp.mx*](mailto:rosa.fosado@uaslp.mx); nereyda.hernandez@uaslp.mx; raquel.avila@uaslp.mx

Innovación tecnológica: Librería y firmware para instrumentación y automatización.

Área de aplicación industrial: Instrumentación y automatización.

Recibido: 13 enero 2026

Aceptado: 04 junio 2026

Abstract

Data acquisition cards are digital electronic systems that, when controlled by a computer or digital system, capture or measure digital and analog signals from the physical environment. The objective of this project was to design and implement a virtual instrumentation library, compatible with LabVIEW, and firmware to control a data acquisition card based on the PIC18F4550 microcontroller and manage its resources, such as its digital and analog ports and its asynchronous serial communication port, without requiring the microcontroller to be reprogrammed each time it is used for different tasks. Firmware was designed and implemented to allow commands to be entered via the USB port of a DAQPIC18F4550 card based on the PIC18F4550 microcontroller, enabling control of its digital and analog ports and its asynchronous serial port. A LabVIEW library was designed and implemented as a user library, containing function blocks to control the five digital input/output ports of the DAQPIC18F4550 board, a function block for data acquisition via its analog ports, and a function block for asynchronous serial communication. The developed library and firmware enable the DAQPIC18F4550 board to perform basic low-speed data acquisition functions, with up to five digital ports and 30 input/output pins, up to 13 analog input channels, and a bidirectional asynchronous serial communication port that allows remote control and data acquisition by connecting a Bluetooth or radio-frequency communication module. The DAQPIC18F4550 has more digital and analog pins than development boards like the Arduino

UNO and can operate wirelessly, which is an advantage compared to data acquisition boards like the NI USB-6008. Virtual test instruments were created in LabVIEW to verify the functionality of the library and firmware using the DAQPIC18F4550 board. Virtual instruments were run that combined control, data acquisition, and remote communication tasks using low sampling rates, on the order of 400 samples/s.

Keywords: firmware, LabVIEW, library, microcontroller, virtual instrumentation.

Resumen

Las tarjetas de adquisición de datos son sistemas electrónicos digitales que, controlados desde un ordenador o sistema digital, logran capturar o medir señales digitales y analógicas del entorno físico. El objetivo de este proyecto fue diseñar e implementar una biblioteca de instrumentación virtual integrable en LabVIEW y el firmware para controlar una tarjeta de adquisición de datos basada en el microcontrolador PIC18F4550 y gestionar sus recursos, como sus puertos digitales y analógicos, y gestionar el puerto de comunicaciones seriales asíncronas, sin necesidad de reprogramar el microcontrolador de la tarjeta cada vez que se utiliza para realizar tareas diferentes. Se diseñó e implementó un firmware que permite introducir comandos a través del puerto USB de una tarjeta DAQPIC18F4550 basado en el microcontrolador PIC18F4550 para controlar sus puertos digitales, analógicos y su puerto serial asíncrono. Se diseñó e implementó una biblioteca en LabVIEW como biblioteca de usuario, con bloques de funciones para controlar los cinco puertos digitales de entrada y salida de la tarjeta DAQPIC18F4550, un bloque de funciones para adquisición a través de sus puertos analógicos y un bloque de funciones para la comunicación serial asíncrona. La biblioteca y el firmware desarrollados permiten que la tarjeta DAQPIC18F4550 realice funciones básicas de adquisición de datos de baja velocidad, teniendo hasta un máximo de cinco puertos digitales con 30 terminales de entrada/salida, hasta 13 canales para entradas analógicas, un puerto de comunicaciones seriales bidireccionales asíncronas que permite realizar control y adquisición remota de datos conectando a este un módulo de comunicación Bluetooth o un módulo de comunicación por radiofrecuencia. La DAQPIC18F4550 posee más terminales digitales y analógicas que tarjetas de desarrollo como Arduino UNO, y puede operar de forma inalámbrica, lo que es una ventaja en comparación con tarjetas de adquisición de datos como la NI USB-6008. Se crearon instrumentos virtuales de prueba en LabVIEW para verificar la funcionalidad de la biblioteca y el firmware utilizando la tarjeta DAQPIC18F4550. Se ejecutaron instrumentos virtuales que combinaron tareas de control, adquisición de datos y comunicación remota utilizando bajas tasas de muestreo, en el orden de las 400 muestras/s.

Palabras clave: firmware, instrumentación virtual, librería, LabVIEW, microcontrolador.

1. Introducción

Las tarjetas de adquisición de datos (DAQ, por sus siglas en inglés) son sistemas

electrónicos que controladas desde una computadora o sistema digital gestionan operaciones de captura o medición de datos de señales digitales o analógicas procedentes

del mundo físico, y también pueden generar señales analógicas y digitales para ejecutar acciones de control. Estas tarjetas permiten medir y registrar valores de voltaje y de corriente y también generarlos cuando se acompañan de un componente acondicionador de señales, que mediante transductores convierte variables físicas a voltajes o corrientes.

Los principales componentes de las DAQ son: puertos de entradas digitales, puertos de entradas analógicas, puertos de salidas digitales, puertos de salidas analógicas, puertos de comunicaciones y temporizadores.

Entre las aplicaciones más comunes de las tarjetas de adquisición de datos se encuentran: monitoreo y registro de datos en sistemas que requieren de supervisión continua [1], control de procesos en la automatización de sistemas industriales [2], medición de variables en la investigación, desarrollo y experimentación con materiales [3], control y medición en bancos de pruebas de procesos de ingeniería y otras disciplinas midiendo el desempeño de mecanismos, dispositivos y variables de sistemas [4].

En la actualidad existen diversas tarjetas de desarrollo para sistemas embebidos, mismas que han sido utilizadas para implementar DAQ. Azua-Barrón, et al. emplean la tarjeta Arduino para la implementación de un sistema de adquisición de datos de bajo costo [5]. López-Vargas et al. diseñaron un registrador de datos de bajo costo, que puede medir parámetros eléctricos y meteorológicos, almacenando los datos en tarjetas de memoria [6]. El sistema se implementó con software y hardware de código abierto, basado en Arduino UNO. El registrador de datos permite realizar monitoreo en áreas sin instalaciones de telecomunicaciones. En [7] reportan un sistema de adquisición de datos con interface programada en Python y que puede utilizar

diferentes tarjetas de adquisición de datos.

Ojeda-Misses y Jarquín-Jiménez presentan una plataforma para circuitos eléctricos con propósitos educativos basada en Arduino y el software Matlab-Simulink [8]. En el artículo publicado por Kamat et al., desarrollan un sistema IoT para adquisición de datos para mantenimiento preventivo, realizando monitoreo de temperatura y humedad, empleando una tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 3B+ [9].

Ambrož presenta y evalúa un prototipo funcional para un sistema de adquisición de datos usando una placa de desarrollo Raspberry Pi Model B, programada en C/C++, para medir la dinámica de vehículos impulsados por humanos [10].

Los microcontroladores PIC18F4550 de la empresa MICROCHIP y otros de la misma empresa, han sido ampliamente utilizados para tareas de instrumentación debido a los recursos que disponen, ya que cuentan con cinco puertos digitales de propósito general, trece terminales de entradas analógicas, puertos de comunicaciones serie de los tipos USART, SPI, I²C, USB y cuenta con temporizadores [11]. En la literatura científica encontramos trabajos en los que se utiliza este microcontrolador para implementar tareas de adquisición de datos.

Terzioğlu et al. describen el diseño e implementación de una DAQ empleando el microcontrolador PIC18F4550, con el cual utiliza 10 canales analógicos diferentes. Los datos leídos de la DAQ se transfieren usando el puerto USB a un programa de interfaz de computadora elaborado en C# y son grabados en una base de datos en el programa Microsoft Access [12]. La interfaz diseñada, los valores de las señales leídas y sus gráficos se muestran en una pantalla.

Hercog y Gergič desarrollaron una DAQ

basada en el microcontrolador PIC18F27J53, la cual es programada con un firmware que por medio de un comando que recibe desde una computadora, le permite acceder a los recursos del microcontrolador. Diseñaron una librería integrable con LabVIEW para generar los comandos que especifican tareas de adquisición de datos que ha de realizar el microcontrolador. Estos comandos se comunican a la tarjeta mediante comunicación USB HID [13].

Kale et al. utilizan un microcontrolador PIC16F877A para implementar un módulo de adquisición de datos de estructura simple, conectado a un equipo de cómputo por su puerto serie, y diseñaron un instrumento virtual en LabVIEW que se encarga de gestionar la adquisición de datos y la representación gráfica respectiva [14].

Sarma et al. presentan un sistema de adquisición de datos de bajo costo que utiliza una placa Arduino UNO y programación en Python para procesar los datos adquiridos e implementar una interfaz gráfica [15].

En el trabajo de Atmane et al. presentan una cocina solar autónoma que funciona con energía fotovoltaica (PV) renovable. El equipo propuesto incluye paneles PV, convertidores de energía DC/DC, resistencias térmicas y un bloque digital para control, supervisión y adquisición de datos meteorológicos, térmicos y eléctricos con el microcontrolador PIC18F4550. Utiliza una interfase gráfica de usuario implementada en LabVIEW [16].

Hamil et al. presentan el diseño de un sistema de adquisición de datos y control de temperatura en tiempo real utilizando LabVIEW [17]. Se comunica con la PC

utilizando el puerto USB para controlar la temperatura con un sistema portátil y de bajo costo. El prototipo del sistema utiliza un microcontrolador PIC18F4550.

Los sistemas de adquisición de datos mencionados fueron diseñados para realizar tareas específicas, para lo cual se requiere la programación a detalle tanto del instrumento virtual como del microcontrolador de la tarjeta de adquisición de datos. El objetivo de este proyecto fue diseñar e implementar una biblioteca de instrumentación virtual integrable en LabVIEW y el firmware para controlar una tarjeta de adquisición de datos basada en el microcontrolador PIC18F4550 y gestionar sus recursos, como sus puertos digitales y analógicos, y también gestionar el puerto de comunicaciones seriales asincrónicas, sin necesidad de reprogramar el microcontrolador de la tarjeta cada vez que se utiliza para realizar tareas diferentes. La librería debe servir para realizar de forma simple tareas básicas de adquisición de datos y está dirigida a usuarios con conocimiento básico tanto de instrumentación virtual con LabVIEW como de diseño de sistemas embebidos para adquisición de datos.

2. Materiales y métodos

2.1. Diseño de la tarjeta de adquisición DAQPIC18F4550

En este apartado se detalla el proceso de diseño de la tarjeta de adquisición de datos DAQPIC18F4550, la cual está basada en el microcontrolador PIC18F4550, que es capaz de mantener comunicación por medio de un puerto USB en la clase CDC y puede recibir voltaje de alimentación desde una fuente externa o directamente del puerto USB. El Diagrama esquemático de la tarjeta se muestra en la Figura 1.

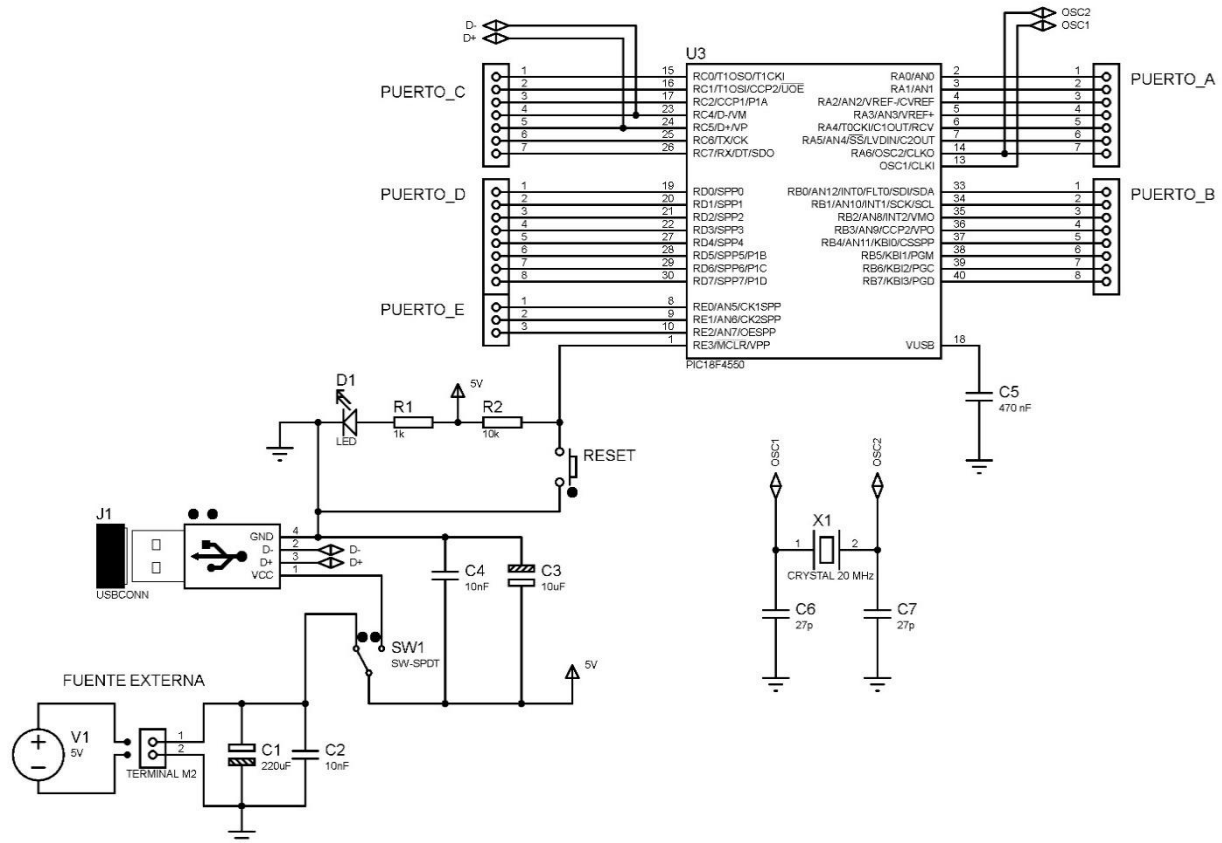


Figura 1. Diagrama esquemático de la tarjeta de adquisición de datos DAQPIC18F4550.

En la primera versión (v1.0) de la tarjeta, se dispone de cinco puertos digitales de entradas y/o salidas de propósito general, de un convertidor analógico a digital de trece canales y de un puerto para comunicaciones USART usando el protocolo RS232 con niveles de voltaje TTL de 5V.

La tarjeta cuenta con un microcontrolador PIC18F4550 con un firmware nativo desarrollado en este trabajo, el cual permite el control de los recursos de la tarjeta mediante comandos que le pueden ser proporcionados por una computadora por medio de su puerto USB.

El firmware de la tarjeta puede también ser configurado para que esta reciba los comandos por su puerto serie, y funcionar inalámbricamente conectando módulos de comunicación RF o Bluetooth a su puerto

serie.

2.2. Diseño PCB

El diseño de la tarjeta de circuito impreso (PCB, por sus siglas en inglés), se realizó con el software Easy EDA versión V6.5.51, usando una placa de PCB con largo = 10 cm y ancho = 5 cm. En la Figura 2 se muestra el circuito impreso de la placa. La Figura 3 muestra una imagen de la DAQPIC18F4550 con los componentes enumerados.

La Tabla 1 muestra la lista de componentes que integran la placa de circuito impreso de la tarjeta DAQPIC18F4550.

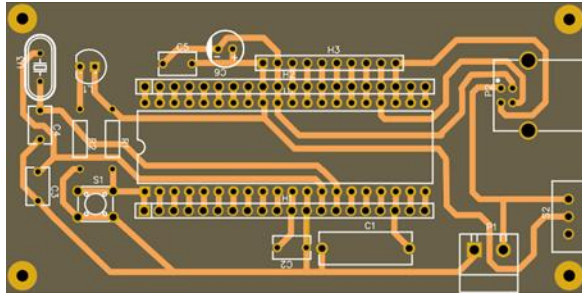


Figura 2. Circuito impreso de la tarjeta DAQPIC18F4550.

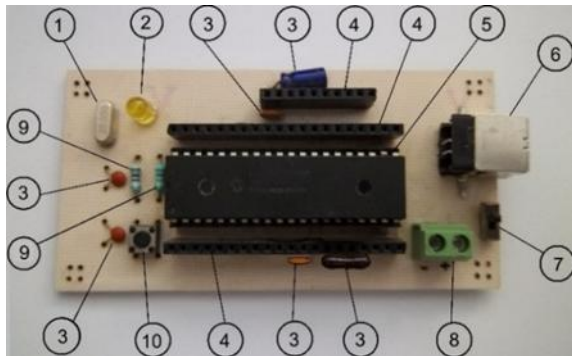


Figura 3. Integración de componentes de la DAQPIC18F4550.

Tabla 1. Componentes de la tarjeta DAQPIC18F4550.

No.	Componente
1	Cristal oscilador de cuarzo de 20 MHz
2	Diodo LED indicador de sistema activo
3	Capacitores, dos de 27 pf, dos de 10 nF, uno de 470 nF y uno de 10 µF
4	Regletas hembra de una línea, una de 20 terminales y una de 10 terminales
5	Microcontrolador sobre base de 40 pines
6	Conector USB Tipo B hembra
7	Mini switch un polo 2 tiros
8	Terminales para alimentación externa de 5V
9	Resistencias, de 1kΩ y de 10 kΩ
10	Botón de presión para restablecer el sistema

Para comunicar la computadora con la tarjeta y gestionar sus funciones, se diseñó y se implantó en el microcontrolador un firmware en el cual se programaron las instrucciones para utilizar los recursos disponibles. El firmware se programó en lenguaje C, y consiste de un programa principal que recibe tres comandos:

Comando 1: Se recibe y se carga en la

variable `Id_Operation`. Efectúa la identificación del recurso del microcontrolador que se desea utilizar, los cuales están clasificados en esta versión del firmware de acuerdo al valor recibido, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Comando 1 para el uso de los recursos.

Id_Operación	Recurso a utilizar del microcontrolador
0	Configura los puertos digitales como salidas en estado alto.
1	Se utilizará un puerto digital.
2	Se utilizará el puerto analógico.
3	Se utilizará un puerto USART.

Comando 2: Se recibe y se carga en la variable `PUERTO`. Efectúa la identificación del puerto del microcontrolador que se utilizará, clasificado de acuerdo al valor recibido como se indica en la Tabla 3.

Tabla 3. Comando 2 para selección del puerto.

PUERTO	Puerto a utilizar
0	PUERTOA
1	PUERTOB
2	PUERTOC
3	PUERTOD
4	PUERTOE

Comando 3: Se recibe y se carga en la variable `OPERACION`. Efectúa la identificación de la operación del puerto o recurso del microcontrolador, ya sea de entrada o salida, clasificado como se indica en la Tabla 4.

Tabla 4. Comando 3 de selección del modo de operación.

OPERACION	Modo de operación del puerto o recurso
0	Salidas
1	Entradas

Si un recurso es seleccionado en el modo de salidas, se procede a capturar un comando más, que se cargará en la variable `DATO`.

Comando 4: Se recibe y se carga en la variable `DATO`. Contiene el valor que ha de

sacarse a través del recurso seleccionado por los tres comandos previos.

Los comandos se entregan a la tarjeta a través del puerto USB. En este trabajo se dispuso que el conjunto de comandos de configuración provenga desde LabVIEW para entregarse a la tarjeta de adquisición DAQPIC18F4550 y gestionar su funcionamiento.

2.4. Modos de operación de la DAQPIC18F4550

El diagrama de bloques de la Figura 4 muestra a bloques la función del firmware. Una vez que el conector USB de la tarjeta se conecta a una computadora, la tarjeta estará en modo de encuesta al puerto USB, y cuando se reciben los comandos de configuración, se codifican los datos para indicar los recursos a emplear del microcontrolador, posterior a ello se habilita el recurso seleccionado, que puede ser un puerto digital, un puerto análogo o un puerto de comunicación USART.

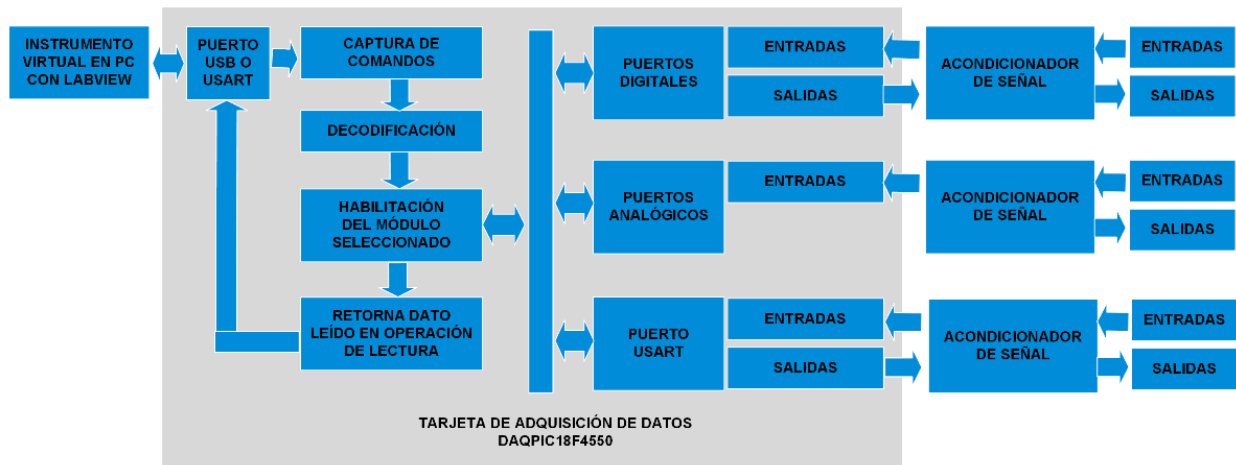


Figura 4. Diagrama de bloques de la operación del firmware de la DAQPIC18F4550.

En el caso de operaciones de lectura, el resultado de esta operación se devuelve al puerto USB para entregarlo a la aplicación en LabVIEW que lo solicitó, y estará disponible para desplegarlo o procesarlo en LabVIEW. Una vez completada la operación, el puerto permanece en esa configuración, pero ya no captura los datos hasta recibir un nuevo comando de lectura.

2.5. Diseño de librería de control de la DAQPIC18F4550 integrable en LabVIEW

Para el desarrollo de esta investigación y desarrollo se utilizó la versión de LabVIEW 2009 bajo licencia institucional. Los instrumentos virtuales y las librerías

desarrolladas funcionan para esta versión de LabVIEW y posteriores con el único requerimiento de contar con la librería VISA.

LabVIEW cuenta con instrucciones y bloques de programación para establecer comunicación con diversos tipos de dispositivos, sus librerías están organizadas de acuerdo a las funciones que realizan, tales como programación, medición, entradas y salidas, comunicación de datos, adquisición de datos y muchas otras. Pero no se cuenta con una librería o bloque genérico que permita en forma directa manipular puertos y recursos de los microcontroladores PIC, lo que es un área de oportunidad y por ello en este trabajo se diseñó una librería en

LabVIEW para el desarrollo de aplicaciones de propósito general usando la DAQPIC18F4550. Se ha programado usando lenguaje gráfico propio del software LabVIEW y se integró en la ruta Tools Palette>User Libraries> DAQPIC18F4550, como se muestra en la Figura 5. La librería se

ha denominado DAQPIC18F4550, y en ella se han guardado un conjunto de subinstrumentos virtuales (subIV), que sirven para configurar puertos analógicos, puertos digitales y puerto serie USART. Las secciones siguientes describen cada subIV de la librería.



Figura 5. Librería integrable en LabVIEW para controlar la DAQPIC18F4550.

2.6. Bloque de configuración de comunicación.

La tarjeta de adquisición de datos DAQPIC18F4550 se conecta en un puerto USB como clase de dispositivo de comunicaciones (USB-CDC), y cuando la computadora la reconoce, crea un puerto serie virtual de comunicaciones COM. La librería que se diseñó en este trabajo utiliza el protocolo de comunicación VISA-Serial (Serial Virtual Instrument Software Architecture) para comunicarse con el puerto serial virtual creado. Los drivers instalados en la computadora convierten los datos de la comunicación serial al protocolo USB con el cual se comunican con el microcontrolador de la tarjeta DAQPIC18F4550. El bloque de configuración integra los parámetros de operación del microcontrolador de la DAQPIC18F4550 y el tipo de comunicación precargados, el usuario solo deberá insertar este bloque y añadir un control para seleccionar el puerto COM deseado. La Figura 6 muestra el ícono, el panel frontal y el diagrama de bloques de esta función.



Figura 6. SubIV CONECTAR-DAQPIC18F4550. Ícono, Diagrama de bloques y panel frontal del subIV.

2.7. Puertos digitales

Este subIV lee los datos residuales existentes en el buffer y lo limpia. Después escribe una palabra de configuración que indica al microcontrolador que realizará una operación de tipo digital, se envía un dato con el cual selecciona el puerto a utilizar y se configura dicho puerto como digital. Envía otro comando, el cual indica si el puerto será de entrada o de salida. Si es de entrada, el puerto capturará un dato y luego lo transmitirá hacia la computadora y el dato será leído por el subIV.

La Figura 7 muestra el subIV de la función denominada PUERTOS DIG y su panel frontal, que controla los puertos digitales. La

Figura 8 muestra el diagrama de bloques configurado para lectura de datos.



Figura 7. Ícono y panel frontal del subIV PUERTOS DIG.

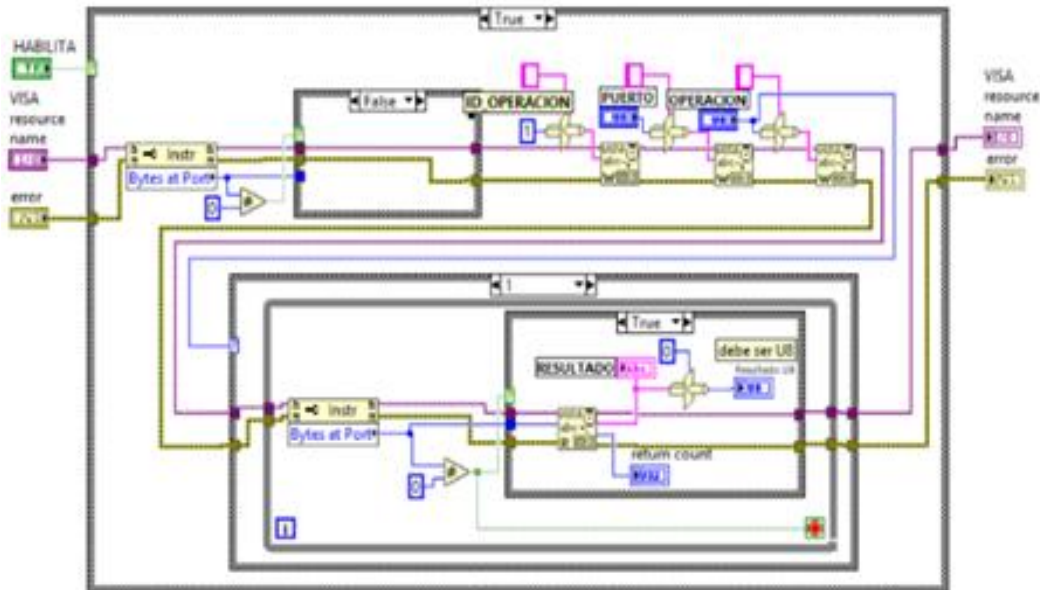


Figura 8. Diagrama a bloques del subIV PUERTOS DIGI. Configuración para lectura.

La Figura 9 muestra el diagrama de bloques con la configuración para escritura de datos. El subIV tiene una entrada de habilitamiento,

la cual permite al subIV realizar su función o inhabilitarlo.

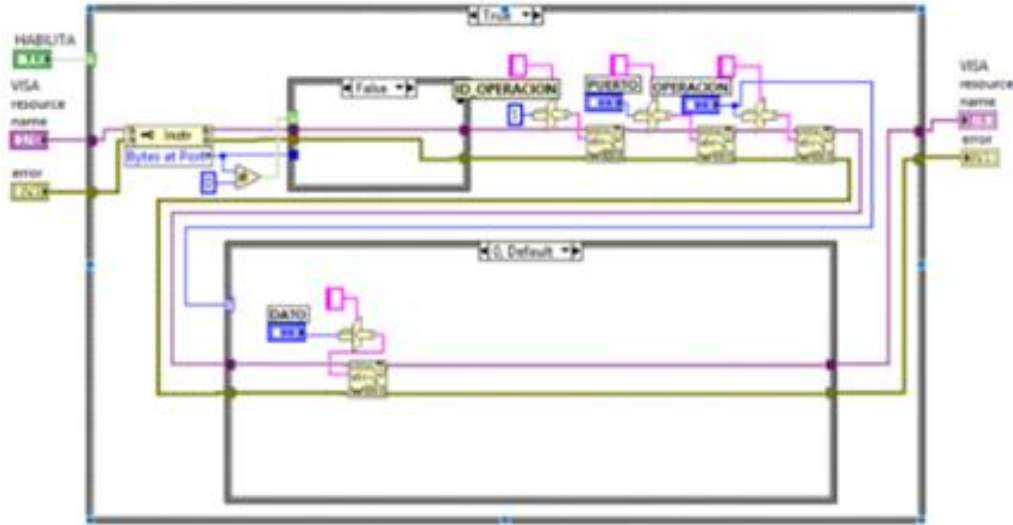


Figura 9. Diagrama a bloques del subIV PUERTOS DIGI. Configuración para escritura.

2.8. Puertos analógicos

Esta función de la librería DAQPIC18F4550 es un subIV que primeramente lee los datos residuales existentes en el buffer y limpia el mismo, para escribir una palabra de configuración que indica la operación a realizar en el puerto, es decir, envía un dato que se recibe en el microcontrolador e indica que trabajará como entrada de señal analoga, después se envía un dato con el cual se selecciona el puerto a utilizar y se configura como analógico; se envía otro dato el cual indica uno de 13 canales disponibles a utilizar, posterior a ello se envía otro dato, que indica el voltaje o señal de referencia a emplear.

La Figura 10 muestra el ícono y el panel frontal del subIV denominado PUERTOS ANALOG. La Figura 11 muestra el diagrama de bloques de la programación del subIV.

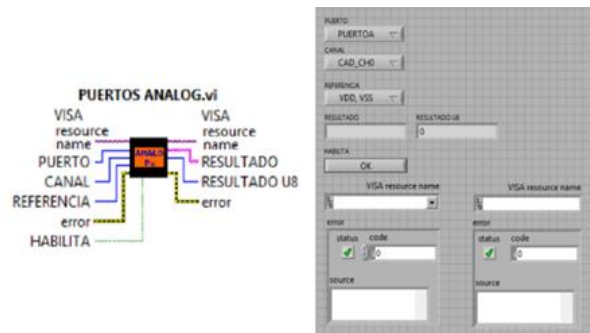


Figura 10. Ícono y panel frontal del SubIV PUERTOS ANALOG.

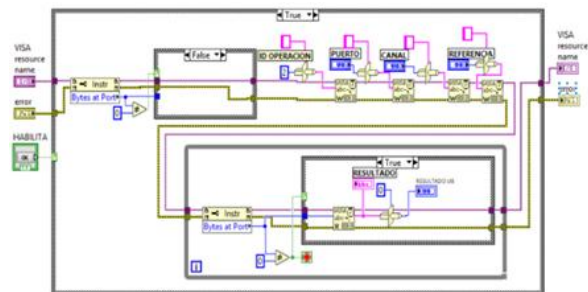


Figura 11. Diagrama de bloques del subIV PUERTOS ANALOG. Funcionamiento cuando el subIV se encuentra habilitado.

Para realizar desde LabVIEW la captura de un dato analógico se procede en dos partes. La primera parte comienza con el vaciado del buffer de entrada mediante la lectura del total de sus datos, que son ignorados una vez que han sido leídos. Esto se hace para no capturar datos residuales no deseados del buffer.

En seguida se hace el envío a la DAQPIC18F4550 de los cuatro comandos de configuración del puerto: ID_OPERACIÓN, PUERTO, CANAL y REFERENCIA.

La segunda parte consiste en la recepción de los datos que la DAQPIC18F4550 envía a LabVIEW. Para ello se encuesta el número de datos presentes el buffer y a continuación se leen todos. El resultado será presentado en formato de entero sin signo de 8 bits y también como carácter.

2.9. Puerto USART

De manera similar a los anteriores, este subIV lee los datos existentes en puerto y lo limpia, escribe una palabra de configuración que indicará al microcontrolador que trabajará con el puerto USART, después se envía un comando que selecciona el puerto a utilizar y se envía otro comando que indica si el puerto USART será usado como entrada o salida, si es salida escribe un dato y de ser entrada lee un dato.

La Figura 12 muestra el subIV PUERTOS USART y su panel frontal. El diagrama de bloques del subIV es similar al del subIV PUERTOS DIGI, la diferencia reside en que para los puertos digitales la constante ID_OPERACION tiene un valor igual a uno y para el puerto serie tiene un valor de tres.

2.10. Bloque DESCONECTAR

En la Figura 13 se muestra el bloque de la función DESCONECTAR DAQPIC18F4550 utilizada para cerrar la comunicación con la tarjeta de adquisición de datos. Usando esta función se cierra el canal de comunicación través del puerto serie virtual con el que se haya establecido comunicación.

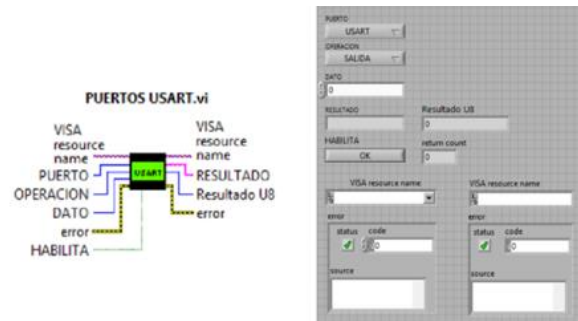


Figura 12. Ícono y panel frontal del SubIV PUERTOS USART.

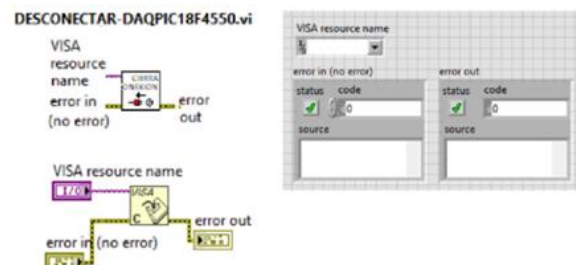


Figura 13. Ícono, bloques y panel frontal del subIV DESCONECTAR-DAQPIC18F4550.

3. Resultados

Se diseñaron instrumentos virtuales en LabVIEW para desempeñar tareas de adquisición de datos y probar la funcionalidad de la librería DAQPIC18F4550 integrada en LabVIEW y del firmware propuesto para la tarjeta de adquisición de datos DAQPIC18F4550.

3.1. Prueba de los puertos digitales

Para probar la funcionalidad de los puertos digitales se realizaron dos instrumentos virtuales. En la Figura 14 a) se muestra el diagrama de bloques y en la Figura 14 b) el panel frontal, del instrumento virtual que lee un dato procedente del PUERTO B de la tarjeta DAQPIC18F4550 y lo muestra mediante un par de indicadores, uno de los cuales es un arreglo de ocho diodos LED virtuales y el otro es un indicador numérico.

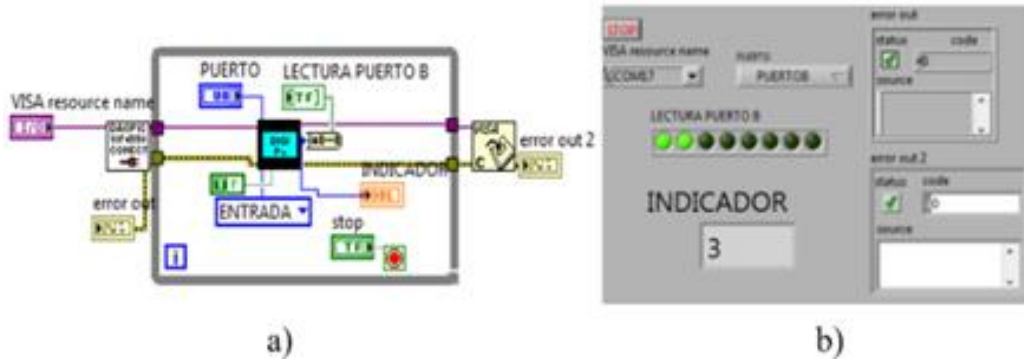


Figura 14. Prueba de lectura del PUERTO B como puerto digital. a) Diagrama de bloques. b) Panel frontal.

La Figura 15 muestra el diagrama de bloques de un instrumento virtual que utiliza los puertos digitales PUERTOB, PUERTOD y

PUERTOE, de la tarjeta DAQPIC18F4550, como puertos de salida.

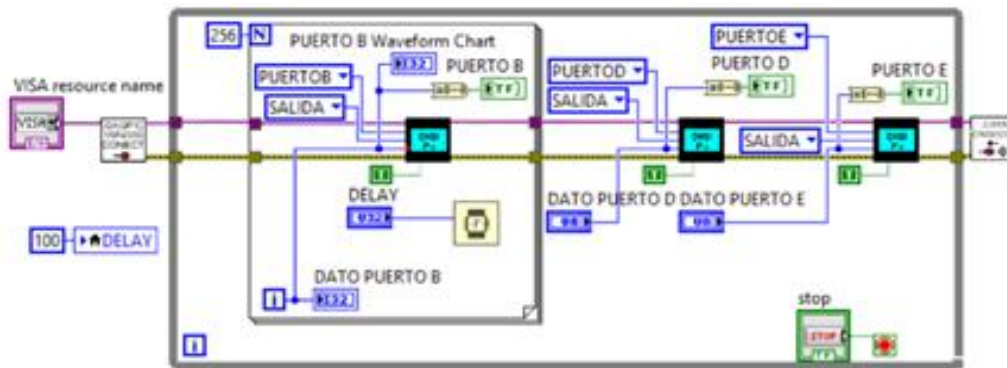


Figura 15. Diagrama de bloques que configura PUERTOB, PUERTOD y PUERTOE como puertos digitales de salida.

En la Figura 16 se muestra el panel frontal de ese instrumento virtual, el cual, se comunica con la DAQPIC18F4550 y por el PUERTOB saca un conteo de 0 a 255 que se repite; por el PUERTOD saca un valor que el usuario proporciona con un control numérico a través del panel frontal, y de manera similar se proporciona un dato de tres bits que se exhibe por el PUERTOE, de tres bits.

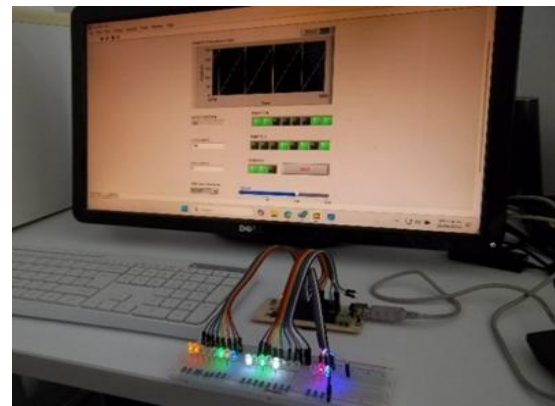


Figura 16. Instrumento virtual para probar simultáneamente tres puertos de salida digitales.

3.2. Prueba de los puertos analógicos.

Para probar los puertos analógicos se realizaron dos pruebas. La primera con el instrumento virtual mostrado en la Figura 17,

utilizando el PUERTO B de la DAQPIC18F4550 como puerto digital de salida y el canal 0 del PUERTO A, como entrada analógica. El instrumento virtual generó una secuencia de valores de 0 a 255 que se entregó a la DAQPIC18F4550 para desplegarse por su PUERTO B.

En las terminales del PUERTO B se conectó un módulo convertidor digital a analógico en escalera R-2R de 8 bits, cuya salida se conectó a su vez a la entrada del canal AN0 del PUERTO A de la DAQPIC18F4550. El convertidor produjo a su salida una señal analógica de voltaje, que medida con el osciloscopio mostró una señal con forma de onda de rampa escalonada ascendente, con valores en el rango de 0V a 5V, con una resolución de 19.6mV/escalón. El instrumento virtual leyó la entrada analógica y graficó en el panel frontal la señal de voltaje recibida con forma de onda de rampa lineal escalonada ascendente, con valores enteros en el rango de 0 a 255.

En la Figura 17 a) se muestra el diagrama de bloques del instrumento virtual empleado

para la prueba. En la Figura 17 b) muestra el panel frontal, con la señal leída por el canal AN0 del PUERTO A de la tarjeta DAQPIC18F4550. En la Figura 17 c) se muestra en el osciloscopio, la señal de salida del convertidor de digital a analógico, colocado a la salida del PUERTO B. En la Figura 17d) se muestra el módulo convertidor de digital a analógico tipo escalera R-2R conectado a la salida del PUERTO B, y que se utiliza para producir la señal en rampa escalonada ascendente que se entrega al osciloscopio y que se reingresa a través del canal AN0.

La segunda prueba de la función PUERTOS ANALOG, se realizó capturando las señales Ax, Ay y Az producidas por un acelerómetro ADXL335 de tres ejes analógico, cuyas salidas se conectaron a las terminales de los canales AN0, AN1 y AN2 del PUERTO A analógico.

El diagrama de bloques del instrumento virtual utilizado para esta prueba se muestra en la Figura 18 y el panel frontal se muestra en la Figura 19.

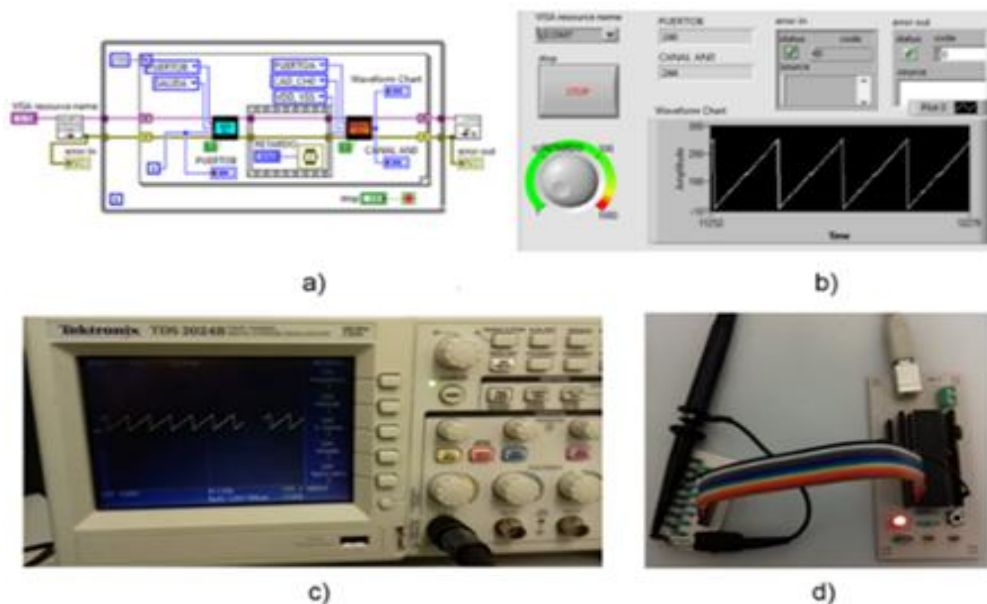


Figura 17. Prueba de adquisición por puerto analógico. a) Diagrama de bloques del instrumento virtual. b) Panel frontal. c) Señal producida por el convertidor digital a analógico en escalera. d) Convertidor R-2R conectado al PUERTO B digital.

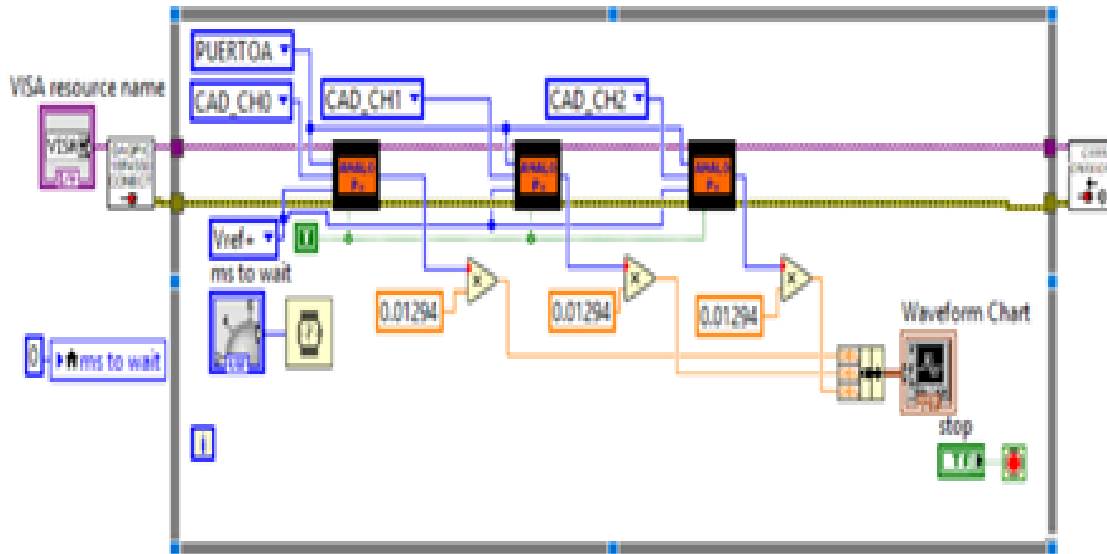


Figura 18. Diagrama de bloques de un instrumento virtual para lectura de las señales producidas por un acelerómetro ADXL335.

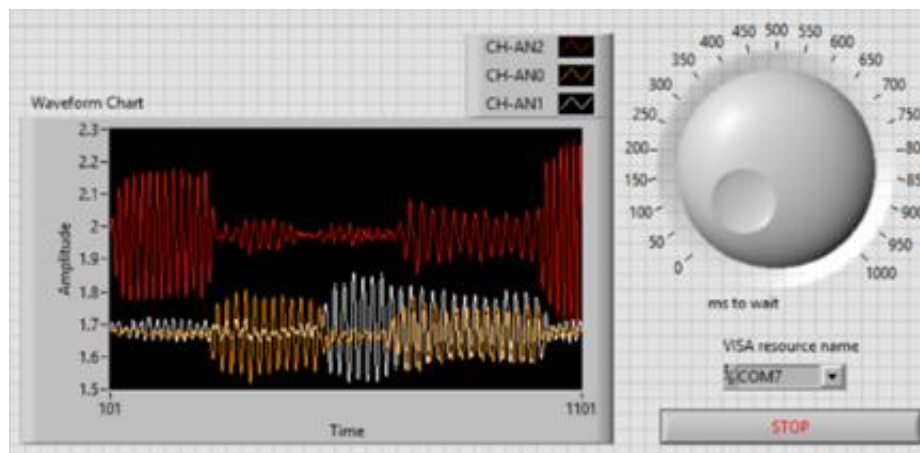


Figura 19. Panel frontal del instrumento virtual para lectura de las tres señales producidas por un acelerómetro ADXL335.

3.3. Pruebas del puerto USART

Se realizaron dos pruebas para comprobar el funcionamiento de la función PUERTO USART. En la primera prueba se emplearon un par de tarjetas DAQPIC18F4550 que se comunicaron entre ellas por medio de módulos de radiofrecuencia HC-12 conectados al puerto USART de cada una.

La Figura 20 muestra una tarjeta DAQPIC18F4550 con módulo de comunicación HC-12 y antena de radiofrecuencia.

Una tarjeta DAQPIC18F4550 funcionó como emisora y transmitió una secuencia numérica del 0 a 9 empleando el módulo transmisor de radiofrecuencia conectado a su puerto USART. La secuencia transmitida se captó en el módulo receptor de la segunda tarjeta y la señal fue retransmitida de regreso hacia la primera tarjeta.

En la Figura 21 se muestra el diagrama de bloques del instrumento virtual que se utilizó para manejar la DAQPIC18F4550, que

transmitió la señal de radio y recibió la señal retransmitida.

En la Figura 22 se muestra el panel frontal del instrumento virtual para la prueba de envío y recepción con la función PUERTO USART.

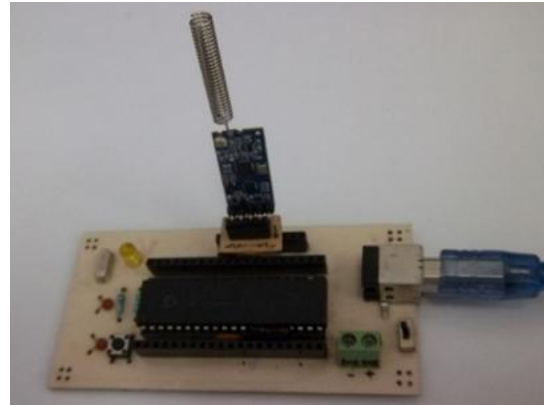


Figura 20. Tarjeta DAQPIC18F4550 con módulo de comunicación HC-12 y antena de radiofrecuencia, para prueba de puerto USART.

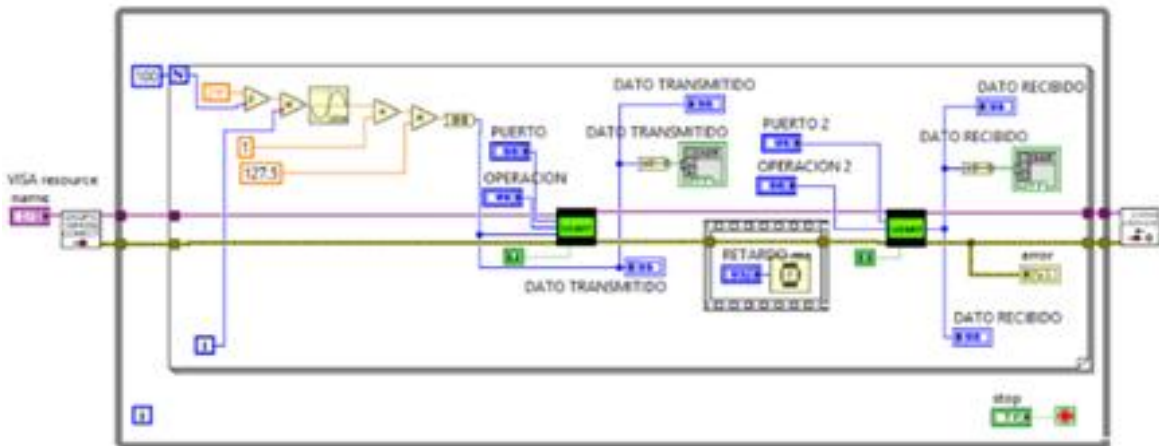


Figura 21. Diagrama de bloques del instrumento virtual para la prueba de transmisión con la función PUERTO USART enviando y recibiendo de regreso una secuencia numérica.

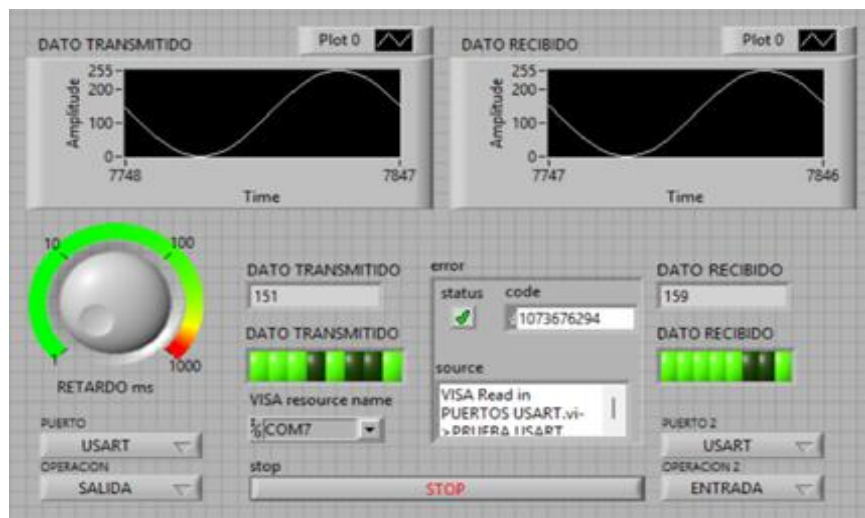


Figura 22. Panel frontal del instrumento virtual para la prueba de transmisión y recepción con la función PUERTO USART.

La segunda prueba de la función PUERTO USART consistió en generar una secuencia periódica de N valores de una señal senoidal de valores enteros sin signo, de amplitud 127.5 y offset de 127.5. Como argumentos se emplearon N valores en intervalo de 0 a 2π distribuidos uniformemente.

Los valores enteros de la secuencia senoidal periódica se entregaron a la DAQPIC18F4550 para ser transmitidos mediante su puerto USART, en el cual se conectó un módulo de comunicaciones Bluetooth HC-05 que se enlazó con una aplicación diseñada para esta prueba. La aplicación residente en un teléfono móvil, recibió los valores que fueron transmitidos de la señal senoidal entera, los graficó en su interface de usuario y los publicó en una base de datos en un servidor en internet, donde pueden ser consultados y graficados de forma remota por una aplicación similar.

Los valores de la señal senoidal generada por el instrumento virtual de prueba también fueron entregados al PUERTO B, configurado como puerto de salida y en el cual se colocó un módulo convertidor de digital a analógico en escalera, de 8 bits, cuya terminal de salida generó voltajes analógicos en el rango de 0V a 5V.

La terminal de salida del convertidor se conectó a la terminal analógica de entrada AN0 de la DAQPIC18F4550 y la señal de voltaje generada fue capturada por el instrumento virtual y graficada junto con la señal original generada. La terminal de salida del convertidor también fue entregada a un osciloscopio digital mostrando una onda senoidal escalonada que oscila entre 0V y 5V.

La Figura 23 muestra la graficación en el teléfono móvil de la señal transmitida desde la tarjeta DAQPIC18F4550 mediante comunicación Bluetooth, así como la señal analógica generada, mostrándola tanto en el

osciloscopio como en panel frontal del instrumento virtual que controla este sistema.

3.4 La frecuencia de muestreo

La librería y el firmware proveen a la tarjeta con recursos digitales, analógicos y de comunicación que le permiten ejecutar tareas de instrumentación virtual básicas para control o monitoreo en sistemas de variables de dinámica lenta. Constituyen un sistema tipo maestro – esclavo, en donde el instrumento virtual en LabVIEW se comporta como el maestro y la tarjeta como el esclavo. El maestro, por medio de una función de la librería, envía una instrucción o tarea mediante un grupo reducido de comandos y el esclavo responde ejecutando la tarea de actuación o de adquisición.

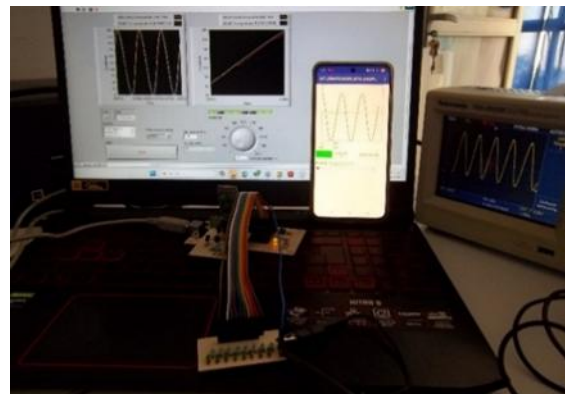


Figura 23. Prueba de transmisión – recepción con la función PUERTO USART.

Los tiempos de ejecución dependen del tipo de tarea que realiza el microcontrolador. El instrumento virtual de la Figura 24 se utilizó para medir el tiempo de ejecución de los tipos de tarea que realiza la tarjeta. La figura 25 muestra el diagrama de bloques. El instrumento virtual tiene una función de escritura digital del valor 255 o el valor 0, alternadamente, en el puerto B. La segunda función es de lectura digital en el puerto digital D. El tercer bloque es una función de lectura del canal analógico AN0, y el cuarto bloque es una función de escritura sobre el puerto USART, en el cual coloca el valor 235.

Todos los bloques de función se encuentran contenidos en un lazo While. En cada interacción se captura el tiempo del sistema medido en segundos y se resta del tiempo obtenido en la iteración anterior, midiendo así el tiempo que transcurre entre iteraciones consecutivas, que es el tiempo en el que se ejecutan las funciones dentro del ciclo While, al que llamaremos T_{fn} . En cada iteración se calcula también el promedio de las últimas 10 iteraciones, $T_{fn_promedio}$. También se midió el tiempo de ejecución usando un osciloscopio digital.



Figura 24. Instrumento virtual de prueba para medir T_{fn} y $T_{fn_promedio}$.

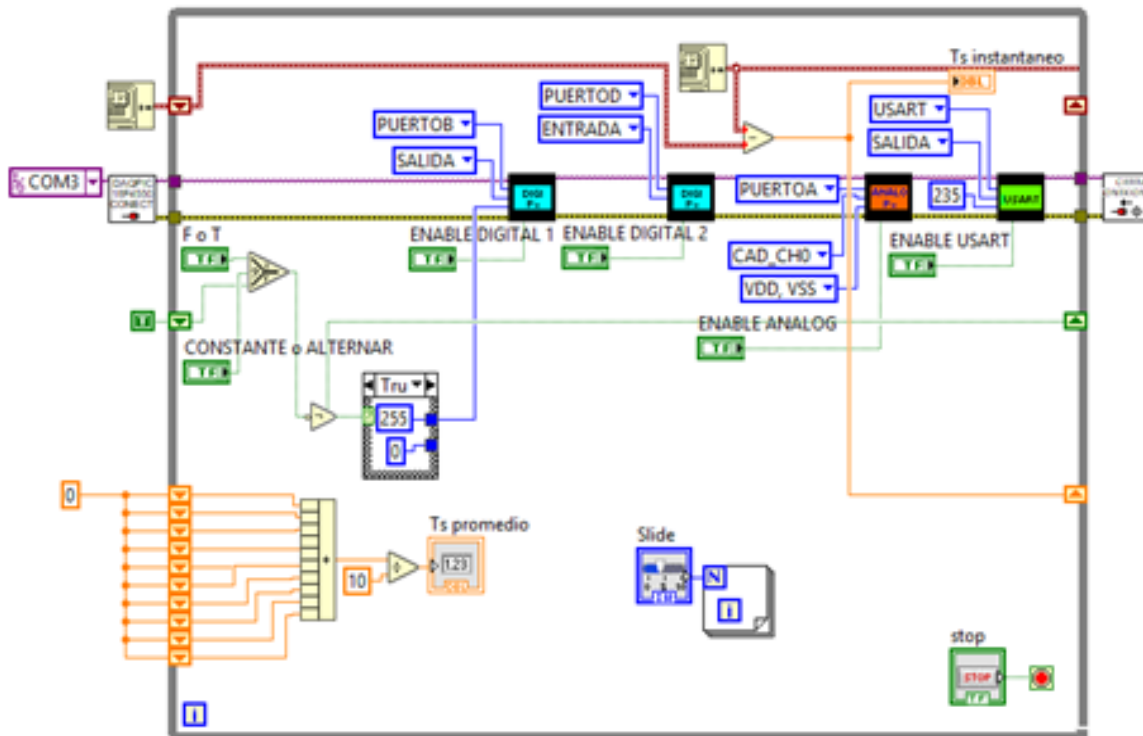


Figura 25. Diagrama de bloques del instrumento de prueba de la Figura 23.

Cada uno de los bloques de las funciones tiene una entrada de habilitación. La primera medición del tiempo de ejecución se hizo con la función digital de escritura, deshabilitando los demás bloques. El bloque escribe alternadamente los valores 255 en un ciclo y 0 en el siguiente, en el PUERTO B. Con el osciloscopio se midió el voltaje que se produce en la terminal 40, correspondiente a

la terminal PB7 del PUERTO B. La forma de onda que se produce se muestra en la Figura 26.

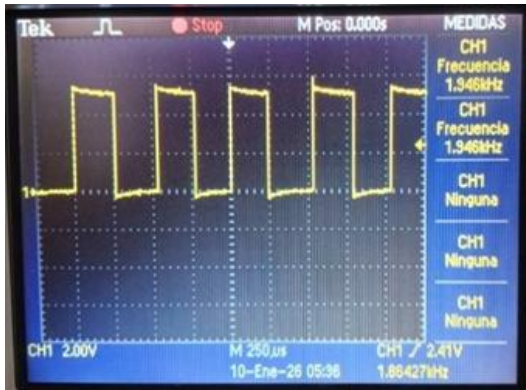


Figura 26. Tiempo de ejecución de una función digital de escritura, $T_{fn} = 257 \mu\text{s}$.

La Figura 27 muestra la medición del tiempo de ejecución de dos bloques digitales. El primero realiza la operación de escritura y el segundo de lectura del PUERTOD. Los bloques analógico y USART se deshabilitan.

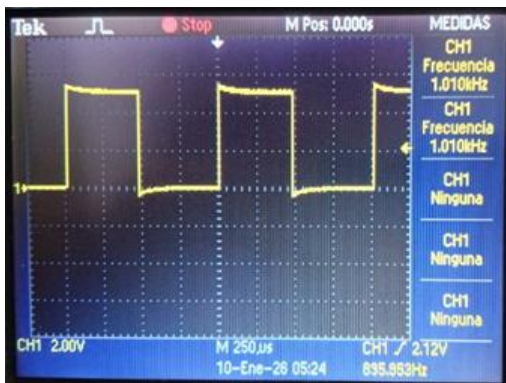


Figura 27. Tiempo de ejecución de dos funciones digitales escritura y lectura, $T_{fn} = 495 \mu\text{s}$.

La Figura 28 muestra la medición del tiempo de ejecución de un bloque digital de escritura y un bloque analógico de lectura.



Figura 28. Tiempo de ejecución de una función digital y una analógica, $T_{fn} = 2020 \mu\text{s}$.

La Figura 29 muestra el tiempo de ejecución de un bloque de función digital de escritura y el bloque de función de transmisión por el puerto USART.

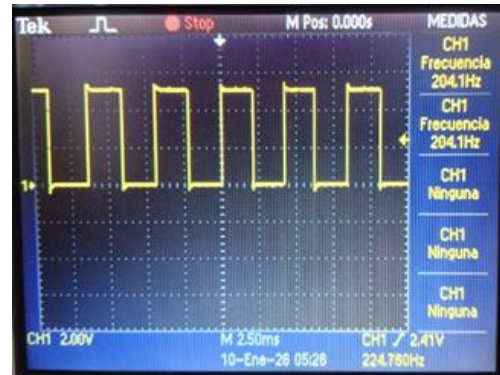


Figura 29. Tiempo de ejecución de una función digital y una función USART de escritura, $T_{fn} = 2450 \mu\text{s}$.

De esto se deduce que para la función digital de escritura la frecuencia de ejecución es de 3906 ejecuciones/s. Para las tareas de lectura digital el tiempo de ejecución es de 4201 ejecuciones/s. La función de lectura analógica tiene una frecuencia de ejecución de 567 ejecuciones/s y la función de escritura en el puerto serie USART es 456 ejecuciones/s, todas ellas con valores aproximados.

Cada función de la librería se ejecuta sobre demanda, y en el caso de ejecutarse sola una de ellas en un ciclo while en LabVIEW, alcanzarían la frecuencia de ejecución que se ha descrito. Para una tarea de toma o entrega de muestras, esta frecuencia de ejecución sería la equivalente a la frecuencia o tasa de muestreo, sin embargo esta no sería uniforme debido a la variabilidad de condiciones entre la ejecución de un ciclo y el siguiente.

También se debe considerar que cada tarea se ejecuta en forma secuencial en la tarjeta, aún cuando se programen de forma concurrente en LabVIEW, por lo que si hay dos tareas ejecutándose en forma concurrente en LabVIEW, la DAQPIC18F4550 las ejecuta en forma secuencial y la frecuencia de

ejecución por ciclo o de muestreo se reducirá.

3.5. Comparación con la DAQ NI USB 6008

La NI USB-6008 es una tarjeta de adquisición de datos, multifunción, comercial, de bajo costo, ampliamente usada en la instrumentación virtual con las librerías DAQMx.

La Tabla 5 muestra una comparación de los recursos disponibles en la tarjeta DAQPIC18F4550 con el firmware realizado y los recursos de la NI USB 6008.

Tabla 5. Comparación de DAQPIC18F4550 con NI USB-6008.

Características	NI USB-6008	DAQPIC18F4550
Terminales digitales I/O	12	30
Entradas analógicas	8	13
Entradas analógicas diferenciales	4	No
Resolución	10 bits	10 bits
Salidas analógicas	2	No (disponibles con módulo de expansión R-2R)
Frecuencia de muestreo	10 kS/s	400 S/s
Puerto USART	No	Sí
Contador	Sí	No
Costo en USD	\$400 - \$520	\$35
Librería de control	NI-DAQMx	DAQPIC18F4550

La DAQPIC18F4550 no tiene puertos de salida analógicos, pero se usaron tarjetas de expansión que implementan un convertidor de digital a analógico en escalera R-2R de 8 bits, el cual puede ser utilizado con los puertos digitales PUERTO B y PUERTO D.

La tarjeta DAQPIC18F4550 tiene puerto de comunicaciones USART que la habilitan para aplicaciones de control y monitoreo remoto.

La frecuencia de muestreo de la NI-USB es mucho mayor que la correspondiente a la DAQPIC18F4550.

4. Discusión de resultados

Las tarjetas de desarrollo que llevan a cabo tareas específicas de adquisición de datos, requieren de realizar la programación de la interfase de usuario, la programación de la tarjeta de desarrollo para desempeñar esa tarea específica y la comunicación de la interfase de usuario con la tarjeta.

A diferencia de ese tipo de sistemas reportados en la literatura científica, el conjunto formado por la tarjeta de adquisición de datos DAQPIC18F4550, su firmware y su librería de control integrada en LabVIEW presentada en este trabajo, permite desarrollar una variedad de tareas sin tener que reprogramar para cada una de ellas al microcontrolador de la tarjeta de desarrollo, como se mostró en los instrumentos virtuales de las pruebas de las funciones de la librería, donde se llevaron a cabo tareas múltiples con los diferentes tipos de funciones.

Se pueden desempeñar funciones similares a las de tarjetas comerciales de bajas prestaciones, como la NI USB-6008, superándola en algunos recursos, como mayor número de puertos y terminales digitales, mayor número de canales de entrada analógicos, disponibilidad de un puerto de comunicaciones seriales para transmisión y recepción de datos, con el cual se puede acceder a otras funcionalidades como la de comunicación bluetooth, conectando a él un módulo como el HC-05 o comunicación por radiofrecuencia mediante la conexión del módulo RF HC-12, lo que permite utilizarla para tareas de monitoreo y control remoto de muy baja tasa de datos por segundo.

Los módulos de comunicaciones bluetooth habilitan la comunicación de la tarjeta con otros dispositivos con esa conectividad, por ejemplo, computadoras o dispositivos móviles como tabletas y teléfonos inteligentes.

La DAQPIC18F4550 es de bajo costo y no fue desarrollada para tareas de alta frecuencia de muestreo. Con el firmware y la librería desarrollados, es funcional para tareas básicas de adquisición de datos en sistemas cuyas variables tienen dinámica lenta. Entre otros, es apropiada para su uso en aplicaciones como las que se describen en la Tabla 6.

Tabla 6. Ejemplos de aplicación.

Aplicación	Ancho de banda	Justificación
Invernaderos	< 10 Hz	Dinámica lenta
Riego automatizado	< 1 Hz	Control discreto
Domótica	Eventos	Baja latencia requerida
Instrumentación térmica	< 5 Hz	Procesos lentos
Pruebas mecánicas	< 10 Hz	No continua

5. Conclusiones

En este trabajo se logró el objetivo de diseñar e implementar una biblioteca de instrumentación virtual integrable en LabVIEW y el firmware para controlar una tarjeta de adquisición de datos basada en el microcontrolador PIC18F4550, que gestiona sus puertos digitales, analógicos y de comunicaciones seriales asíncronas, sin reprogramar el microcontrolador de la tarjeta cada vez que se utiliza para realizar tareas diferentes. Las funciones de la librería controlan la tarjeta como un sistema maestro – esclavo y la tarea de cada función se ejecuta bajo demanda. Cada tarea encargada a una función de la librería se atiende hasta que se completa la ejecución de la misma. Se pueden combinar funciones en los instrumentos virtuales en LabVIEW y el firmware las

ejecutará en forma secuencial.

Las librerías y el firmware de la tarjeta de adquisición de datos DAQPIC18F4550, permiten programar instrumentos virtuales para realizar tareas de control o monitoreo en sistemas de dinámica lenta que requieran bajas tasas de muestreo. En tales sistemas se monitorean variables como temperatura y humedad, se realiza control de entradas y salidas digitales, así como control de actuadores. En este tipo de operaciones no se compromete el funcionamiento del sistema con la baja tasa de muestreo.

La disponibilidad del manejo del puerto serie USART de la tarjeta permite conectarla con módulos de comunicaciones bluetooth con lo cual podemos enlazar los instrumentos virtuales en LabVIEW con aplicaciones residentes en dispositivos móviles como teléfonos o tabletas usando la función USART de la librería propuesta. Además, si se conecta un módulo de comunicación por radiofrecuencia al puerto serie, se habilita que la tarjeta se enlace de manera inalámbrica con otros dispositivos, permitiendo implementar sistemas distribuidos de control o monitoreo remoto, que requieran baja tasa de muestreo.

El sistema compuesto por la librería, el firmware y la tarjeta de adquisición de datos de este trabajo no está diseñado para la adquisición continua de datos de alta velocidad. Este tipo de enfoque usado en este trabajo es adoptado por ejemplo en sistemas de monitoreo que usan el protocolo ligero de IoT denominado MQTT, que está orientado al manejo discreto de mensajes entre dispositivos.

La lógica del firmware y de las librerías DAQPIC18F4550 en LabVIEW es simple, modular, escalable y migrable para implementarse con otros tipos de tarjetas de desarrollo o microcontroladores. El software y el firmware asociado con este trabajo están

disponibles en: <https://github.com/Alex-MaRa/Integrable-Library-on-LabVIEW-and-Firmware-for-Data-Acquisition-Card-Control>.

Como trabajo futuro se desarrollarán aplicaciones de monitoreo y control utilizando la librería y la tarjeta de adquisición de datos presentada en este trabajo. También se ampliarán las capacidades de la tarjeta DACPIC18F4550 mediante la incorporación de nuevos módulos de adquisición y control, se implementarán funciones de conversión digital a analógica y soporte para protocolos de comunicación industrial como I²C, SPI y CAN. Se desarrollarán librerías integrables en LabVIEW como librerías de usuario para controlar otras tarjetas de adquisición y tarjetas de desarrollo de bajo costo y mejores prestaciones basadas en microcontroladores ESP32, con el propósito de incorporar funciones asociadas al internet de las cosas.

6. Referencias

- [1] Miron C., Olteanu S. C., Christov N. and Aitouche A., (2018), “Architecture for Embedded Supervisory System of Distributed Renewable Energy Sources”, *2018 7th International Conference on Systems and Control (ICSC)*, Valencia, Spain, pp. 258-262, doi: 10.1109/ICoSC.2018.8587771.
- [2] Abdelsattar A., Park E. J. and Marzouk A., (2022), “An OPC UA Client/Gateway-Based Digital Twin Architecture of a SCADA System with Embedded System Connections”, *2022 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM)*, Sapporo, Japan, pp. 798-803, doi: 10.1109/AIM52237.2022.9863367.
- [3] Royandi M. A., Effendi I. A., Komara A. I., and Hung J. P., (2024), “Development of low-cost wireless monitoring system and its implementation on computer numerical control machine tool”, *Sensors and Materials*, vol. 36, no. 3, pp. 957–971, doi:10.18494/SAM4386
- [4] Suresh S., Yaswant S., Narendra Reddy T., and Vinod P., (2024), “Preliminary investigation on the development of low-cost vibration-based condition monitoring DAQ system in industry 4.0”, *MTT*, vol. 23, no. 5-6, pp. 1–7, doi:10.58368/MTT.23.5-6.2024.1-7
- [5] Azúa-Barrón M., Vázquez-Peña A., Arteaga-Ramírez R. and Hernández-Saucedo R., (2017), “Sistema de adquisición de datos de bajo costo con la plataforma Arduino”, *Rev. Mexicana cienc. agric.*, vol. 8, no. 1, pp. 1-12, doi:10.29312/remexca.v8i1.67.
- [6] López-Vargas A., Fuentes M., García M. V. and Muñoz-Rodríguez F. J., (2019), “Low-Cost Datalogger Intended for Remote Monitoring of Solar Photovoltaic Standalone Systems Based on Arduino™”, *IEEE Sensors Journal*, vol. 19, no. 11, pp. 4308-4320, doi: 10.1109/JSEN.2019.2898667.
- [7] Martins S. A. M., (2023), “PYDAQ: Data acquisition and experimental analysis with Python”, *Journal of Open Source Software*, vol. 8, no. 92, p. 5662, doi:10.21105/joss.05662
- [8] Ojeda-Misses M. A. and Jarquín-Jiménez N., (2021), “Development of a Platform with Real-Time Performance for Electrical Circuits Education”, *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 19, no. 12, pp. 2147–2155, doi:10.1109/TLA.2021.9480158.
- [9] Kamat P., Shah M., Lad V., Desai P., Vikani Y., and Savani D., (2021), “Data acquisition using IoT sensors for smart manufacturing domain”, in *Innovations in*

- Information and Communication Technologies (IICT-2020)*, Singh P. K., Polkowski Z., Tanwar S., Pandey S. K., Matei G., and Pirvu D., Eds. Cham, Switzerland: Springer, doi: 10.1007/978-3-030-66218-9_46.
- [10] Ambrož M., (2007), “Raspberry Pi as low-cost data acquisition system for human powered vehicles”, *Measurement*, vol. 100, pp. 7-18, doi:10.1016/j.measurement.2016.12.037.
- [11] Microchip Technology Inc., PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet, 2009. [Online]. Available: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632e.pdf>
- [12] Terzioğlu H., Herdem S., and Bal G., (2015), “The designing of data acquisition card through PIC18F4550 and an interface study”, in *Applied Mechanics and Materials*, vol. 752–753, Kim D., Hu J. W., Jung J., and Seo J., Eds. Stafa-Zurich, Switzerland: Trans Tech Publications Ltd., pp. 1191–1197. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.752-753.1191.
- [13] Hercog D. and Gergič B., (2014), “A flexible microcontroller-based data acquisition device”, *Sensors*, vol. 14, no. 6, pp. 9755-9775, doi:10.3390/s140609755.
- [14] Kale A. V., Bankar S. A. and Jagtap S. R., (2014), "Design of PIC microcontroller-based data acquisition module with lab VIEW interfacing", *2014 International Conference on Communication and Signal Processing*, Melmaruvathur, India, pp. 858-861, doi: 10.1109/ICCSP.2014.6949965.
- [15] Sarma P., Singh H. K., and Bezboruah T., (2018), “A real-time data acquisition system for monitoring sensor data”, *International Journal of Computer Sciences and Engineering*, vol. 6, no. 6, pp. 539–542, doi:10.26438/ijcse/v6i6.539542
- [16] Atmane I., El Moussaoui N., Kassmi K., Deblecker O., and Bachiri N., (2021), “Development of an innovative cooker (hot plate) with photovoltaic solar energy”, *J. Energy Storage*, vol. 36, Art. no. 102399, doi:10.1016/j.est.2021.102399.
- [17] Hamil H., Azzaz M. S., Sakhi S., Kaibou R., and Hamil A., (2023), “Design of a thermal stabilizer based on USB data acquisition and control using LabVIEW and PIC microcontroller”, in *Proc. 2023 Int. Conf. Adv. Electron., Control Commun. Syst. (ICAECCS)*, Blida, Algeria, pp. 1–6, doi:10.1109/ICAECCS56710.2023.10104863.