

Monitoring and obtaining the characterization of a dc motor through the development of a data acquisition system in LabView for practices of ISTCT electronics students

Monitoreo y obtención de la caracterización de un motor dc mediante el desarrollo de un sistema de adquisición de datos en LabView para prácticas de estudiantes de electrónica del ISTCT.

Denys Guañuna Chávez¹ Franklin Pilatuña Álvaro² Israel Molina Santillán³

¹Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador
E-mail: denisrael10@gmail.com

²Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador
E-mail: frank-pol6120@hotmail.com

³Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador
E-mail: imolina@istct.edu.ec

RESUMEN

Este artículo científico contiene fundamentos conceptuales y análisis estadístico de un sistema de adquisición de datos (DAQ) implementado mediante una tarjeta Arduino UNO y el software LabView, que permita de manera automática obtener información de las variables que caracterizan un motor DC como son el voltaje y velocidad. Se describen los componentes electrónicos primordiales requeridos en la adaptación del sistema el cual se ejecuta empleando el software LabVIEW, uno de los más utilizados en sistemas de medidas y control. Adicionalmente el sistema utiliza un Entrenador de Planta de Control (EPC) propiedad del ISTCT, el cual en su instructivo señala desarrollos prácticos y características físicas de cada elemento que conforma el EPC. El presente documento detalla información relevante que asiste al usuario o estudiante para la ejecución práctica del sistema (DAQ), con el objetivo de que pueda comprender y determinar el funcionamiento de un motor DC. Finalmente, se deducen las conclusiones y recomendaciones a partir del análisis de resultados obtenidos.

Palabras clave: Software LABVIEW; tarjeta NI myDAQ; entrenador EPC; adquisición de datos (DAQ); interfaz.

ABSTRACT

This scientific article contains conceptual foundations and statistical analysis of a data acquisition system (DAQ) implemented by means of an Arduino UNO board and the LabView software, which allows automatically obtaining information on the variables that characterize a DC motor such as voltage and velocity. The essential electronic components required in the adaptation of the system are described, which is executed using LabVIEW software, one of the most used in measurement and control systems. Additionally, the system uses a Control Plant Trainer (EPC) owned by the ISTCT, which in its instructions indicates practical developments and physical characteristics of each element that makes up the EPC. This document details relevant information that assists the user or student for the practical execution of the system (DAQ), in order to understand and determine the operation of a DC motor. Finally, the conclusions and recommendations are deduced from the analysis of the results obtained.

Keywords: LABVIEW software; NI myDAQ board; EPC trainer; data acquisition (DAQ); interface.

1. INTRODUCCIÓN

Las máquinas eléctricas son dispositivos sistemáticos cuyo funcionamiento produce energía mecánica, conversión causada por interacciones electromagnéticas que se generan al momento de suministrar energía eléctrica (Jimbo, 2015). Los motores de corriente continua son ocupados en diferentes campos de la industria y/o comercio. También se caracterizan por variables, entre ellas se encuentran el voltaje y la velocidad, las cuales van a ser analizadas en el entorno de programación gráfica LabVIEW, dichos parámetros son obtenidos por medio de una tarjeta DAQ que en inglés significa Data acquisition que significa adquisición de datos, el cual actúa como una interfaz entre un ordenador y las señales físicas.

El estudio de las maquinas eléctricas rotativas busca entender el comportamiento de las variables que caracterizan al motor, obtenidas a través del sistema DAQ, entre ellas el voltaje y la velocidad (RPM) del motor. La figura 1 muestra un cuadro para la implementación del sistema DAQ.

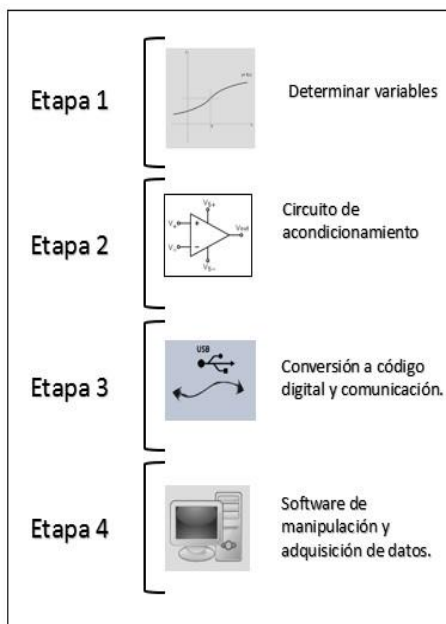


Figura 1: Diagrama para implementación del DAQ
Fuente: Autor

Los sistemas DAQ se componen de cuatro etapas. La primera etapa busca determinar las variables para el caso en mención se verificará el voltaje y velocidad para poder analizar la información registrada, la segunda etapa tiene como fin acondicionar las señales para la lectura correcta e interpretación en el sistema DAQ la tercera etapa tiene como propósito convertir las señales adquiridas en un código digital para enviar a un ordenador mediante la interfaz física USB y la cuarta etapa consiste en la aplicación del software para el caso LabVIEW, con el propósito de interpretar las señales adquiridas en el sistema y obtener los datos requeridos (Osorio, Pérez y Rodríguez, 2010).

La velocidad del motor, el cual es regulada por medio de la variación de la corriente continua que alimenta al motor y asimismo es regulada por medio del PWM (Modulación por Ancho de Pulso) método que se programa en el IDE (Entorno de desarrollo integrado) de Arduino, sin modificar la frecuencia y solo variando el ciclo de trabajo. Mejía (2013), menciona que con el PWM se determina los parámetros eléctricos adecuados para obtener una correcta regulación del motor, con la ayuda de esta variación se pueden controlar a los motores de manera precisa y utilizarlos en operaciones mecánicas de alta precisión.

Utilizando el motor dc del Entrenador de Planta de Control (EPC) disponible en la Escuela de Electrónica del Instituto Superior Tecnológico Central Técnico (ISTCT), se realiza la adquisición de datos de las variables de velocidad y voltaje, que posteriormente servirán para que los estudiantes puedan replicar la práctica y analizar los resultados obtenidos.

2. METODOLOGIA

2.1 COMPONENTES A UTILIZAR.

Dentro del funcionamiento de un motor DC, se encuentran variables esenciales que se relacionan

con la potencia de entrada (eléctrica) y salida (mecánica) del motor, que al pasar por un análisis se puede entender su comportamiento (Rodríguez, 2018). En el motor DC las variables que se relacionan con la potencia son: voltaje y velocidad. Siendo las variables a monitorear, tomando en cuenta la conexión del motor DC, ver figura 2.

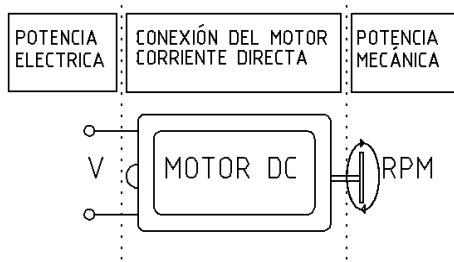


Figura 2: Variable de Voltaje y Velocidad
Fuente: Autor

Los componentes que conforman un típico sistema DAQ son: el sensor (motor encoder), hardware de medida (placa Arduino) para la adquisición datos, y una PC con software programable (LabVIEW), que a diferencia de las medidas tradicionales es más eficiente en el procesamiento, visualización y habilidad de conexión con la PC (Zambrano, 2016).

• **Entrenador de planta de control “EPC”**

Es un equipo electrónico que incluye sensores y actuadores, diseñado para conectar a un computador mediante una tarjeta de adquisición de datos (Hardware Arduino). Dentro de este dispositivo se encuentra el motor DC de imán permanente y escobillas con dirección de rotación en ambos sentidos. El voltaje de operación nominal es de 5V. Se desconoce la velocidad de operación del motor, dato que se pretende obtener en la ejecución del proyecto.

• **Arduino**

Es una empresa de desarrollo de hardware y software de código abierto, que se fundamenta en una placa, que integra un microcontrolador reprogramable, facilitando su utilización en el

campo de la electrónica, robótica, computación o en proyectos multidisciplinarios.

Arduino UNO: es una tarjeta electrónica de calidad estándar que vienen ya manufacturados e incluso están conformados de elementos hechos de fábrica cuyas características hacen esencial al Arduino UNO de los cuales son: un microcontrolador Atmega328: trabaja con un voltaje de 5V, se compone de un regulador de voltaje para fuentes externas que operan de 6 a 20V, sin embargo, Torrente (2013) recomienda trabajar solo hasta los 12V con el fin de dar protección a la placa (p.85). Además, consume una corriente de 40mA, y dispone de 6 entradas analógicas y 14 digitales, memoria flash con capacidad de 32 KB donde reside el programa a ejecutar una vez grabado, y del cual 0.5 KB son usados para el gestor de arranque, conduce a una velocidad de reloj de 16 MHz, Memoria EEPROM de 1 KB y SRAM de 2KB.

• **NI LabVIEW**

Julián y Almidón (2018) definen que LabVIEW es un software de programación que posee un entorno de desarrollo gráfico, ofreciendo una sencillez en el despliegue de la interfaz del usuario mediante el uso de elementos gráficos, que reducen la tarea de programación y elaboración de la interfaz Hombre-Máquina. La utilización de este software permitirá simular un instrumento real de medición de las variables de voltaje y velocidad del motor DC apoyados del software y Hardware Arduino que son accesibles por el ordenador.

2.2 CONEXIÓN DEL SISTEMA.

La conexión de la placa con el EPC no presenta complejidades, solo se tiene que reconocer los pines que corresponden al motor y al sensor encoder tal y como se muestran en la figura 3.

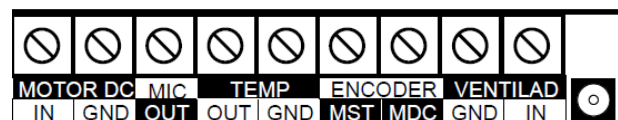


Figura 3: Terminales de conexión del entrenador EPC. MANUAL DE USUARIO Planta Electrónica Para Entrenamiento De Sistemas de Instrumentación y Control (p. 37), por DataLights Cia. Ltda, 2016, Cuenca – Ecuador.

En caso de emplear un motor que opere con un rango que supere los 5V, es recomendable montar un control del motor DC mediante un transistor NPN, semiconductor que aísla la parte de control del circuito conectada a la base de la parte de la carga entre emisor y colector, dando protección a la placa Arduino, tal y como se muestra en la Figura 4. Antes de empezar a montar la placa Arduino con el EPC, es importante asegurarse que se instale todos los paquetes del software de aplicación (NI LabVIEW) antes de instalar el software de controlador (NI VISA) en el ordenador.

Realizada la instalación de los softwares, se conecta el cable del puerto USB de alta velocidad del computador al puerto USB de la placa Arduino.

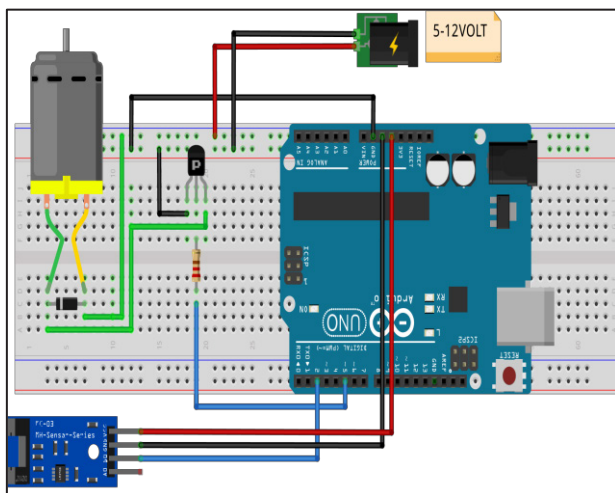


Figura 4: Esquema de conexión del controlador de motor DC y del sensor Encoder.
Fuente: Autor

La placa Arduino cuenta con pines analógicos y digitales, que en el programa se los puede configurar como una señal de entrada y/o señal de salida para la emisión de señales por medio de un puerto USB hacia el ordenador con el propósito de visualizar las señales (voltaje y velocidad) del motor en el ordenador, tomando en cuenta que los cables de señal deben estar bien fijados en las terminales,

para asegurar una adecuada conexión. Al ejecutar la conexión de las señales se debe determinar en primer lugar que el conector de alimentación del EPC esté conectado a una fuente de 12V, también revise que el borne de los pines del EPC estén bien sujetos con los cables que conectan a la placa Arduino, todo para evitar posibles errores en el funcionamiento del sistema.

2.3 COMUNICACIÓN DE LA PLACA ARDUINO Y PC

La evolución del microcontrolador ha permitido de una manera más práctica y eficiente la comunicación vía USB con el ordenador. Torrente (2013) explica que la comunicación de la placa Arduino y la PC mediante vía USB, se ejecuta gracias al entorno de desarrollo integrado (IDE) que se encarga de trasladar la información al microcontrolador que es almacenada y procesada, con el objetivo de ejecutar los comandos asignados en la estructura de programación. El software de código (IDE) posee funciones que permite que el microcontrolador de la placa Arduino sea reconocido como un dispositivo personalizado.

En el ordenador se descarga el software que proporciona Arduino en su página web. Instalado el software en la PC se procede a conectar el dispositivo por vía USB cuando el programa lo solicite al momento de compilar.

2.2 CONTROL PWM Y MEDICION DE VELOCIDAD.

El método que proporciona un control en la variable de entrada (voltaje), será la modulación de ancho de pulso (PWM) que intercede cantidades intermedias de voltaje de corriente continua entre el máximo (5V) y apagado (0V). Esta técnica programable envía pulsos al motor con valores que varían entre 0-255, ya que la salida PWM posee un registro de salida analógica de 8 bits.

Dentro del entrenador EPC viene incorporado en el eje del motor DC, un encoder de 36 pulsos de revolución, mecanismo que permitirá medir la velocidad de rotación que se produce con la acción del motor. Yi Sun (2018) define que el encoder es

un dispositivo que se compone de un sensor óptico con 1 o 2 señales digitales que se crean a partir de ranuras equidistantes de un disco enclavado en el eje de motor.

Para conocer la velocidad con la que trabaja el motor es importante conocer las interrupciones de hardware, que responden a hechos que suceden en ciertos pines físicos. Las entradas que ocupan las interrupciones en el hardware Arduino son capaces de detectar flanco de bajada a subida y viceversa, ver figura 5.

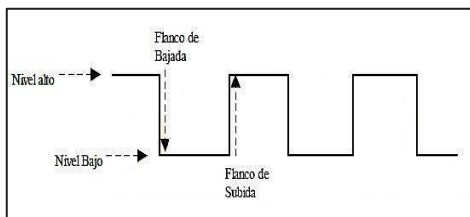


Figura 5: Cadena de pulsos, flanja de subida y bajada
Fuente: Propia

Cuando se inicia el proceso de giro del motor el led del encoder emite una luz que traspasa las ranuras del disco generando una señal de subida y cuando se interrumpe el paso de luz se genera una señal de bajada, las cuales son detectadas por el sensor óptico y para indicarle al procesador que ejecute una subrutina que determinara la velocidad del motor.

Para la medición de velocidad el circuito de la figura 4 se encarga de amplificar la señal generada que se lee del encoder, para obtener el acondicionado de una señal cuadrada de (0-5v), que permite a la tarjeta Arduino leer esta señal con precisión por el pin 2 de entrada. El opto acoplador genera una señal al detectar la interrupción en las ranuras del encoder, esta señal produce una secuencia que es enviada a la entrada de la tarjeta Arduino para ser empleado en la medición de velocidad. Los datos obtenidos del contador son procesados por el Arduino y convertido a RPM por medio de una fórmula que se lo realiza en el programa IDE de Arduino:

$$RPM = (Contador \times 60) / 12 \quad (1)$$

En la cual se multiplica la entrada del contador de pulsos por 60 que son los segundos en un minuto, y se divide por el número de ranuras que posee el encoder y de esa manera se realiza la conversión de frecuencia a RPM.

2.4 DISEÑO DEL SOFTWARE DE ADQUISICIÓN EN LABVIEW.

En cuanto al software de adquisición se decide utilizar la herramienta LabVIEW, software que cuenta con funciones adecuadas para la adquisición de datos mediante el manejo de lenguaje gráfico en un amplio entorno de visualización. Para que el software inicie la comunicación y cumpla con las operaciones de lectura, escritura, y manejo de eventos en instrumentación, se emplea el uso de la librería VISA (Virtual Instruments Software Architecture) la cual proporciona un estándar de operación de comunicación transparente para el programador, es decir no se realizaría un cambio en el programa si se usara USB, RS-232, GPIB O TCP/IP (Lajara y Pelegri ,2011). En la Figura 6, se puede apreciar el diagrama de bloques del sistema.

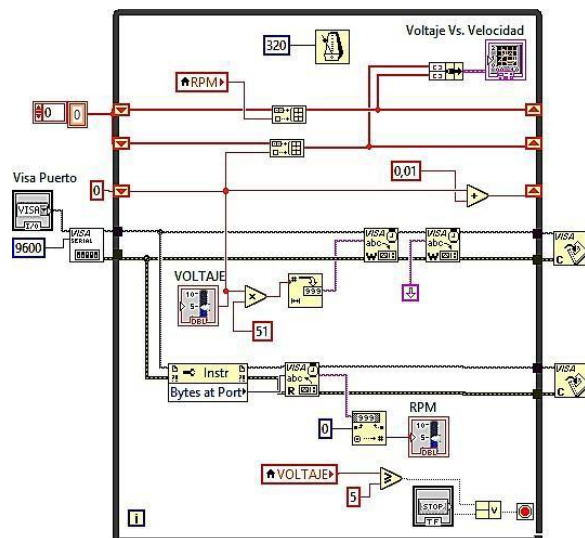


Figura 6: Diagrama de bloque de emisión y recepción de señales
Fuente: Propia

El puerto del sistema consta de dos registros: el primer registro se encarga de escribir los bits para que la electrónica los envíe de forma serie por el

cable USB, mientras que en el segundo registro es donde se almacenan los bits que llegan. En el bloque VISA configure Serial port se configura 2 parámetros, el “baud rates (9600)” velocidad con la que trabaja el sistema en baudios y el “VISA resource name” donde se le asigna un control y se selecciona el puerto.

El bloque VISA Write, escribe datos desde el buffer hasta el otro dispositivo, por medio de este bloque se envían los datos que llegaran al Arduino para variar el voltaje con el que trabaja el motor DC.

dispositivo, en esta sección se tiene que indicar el número de bytes que debe leer del buffer a través del bloque VISA Bytes at Serial Port, el cual obtiene los bytes que hay en el buffer del puerto y aguardándolo para ser leídos. Por último, el bloque VISA Close que se encarga de cerrar la sesión VISA.

En la Figura 8, se observa un diagrama de bloques del archivo TDMS (Sistema de gestión de datos técnicos), esta interfaz almacena los datos capturados de medidas o simulación en una hoja de Microsoft Excel, en este caso se registran los datos de velocidad (0 -4500 rpm) que se producen al variar el voltaje (0 -5volts) con el que opera el motor DC.

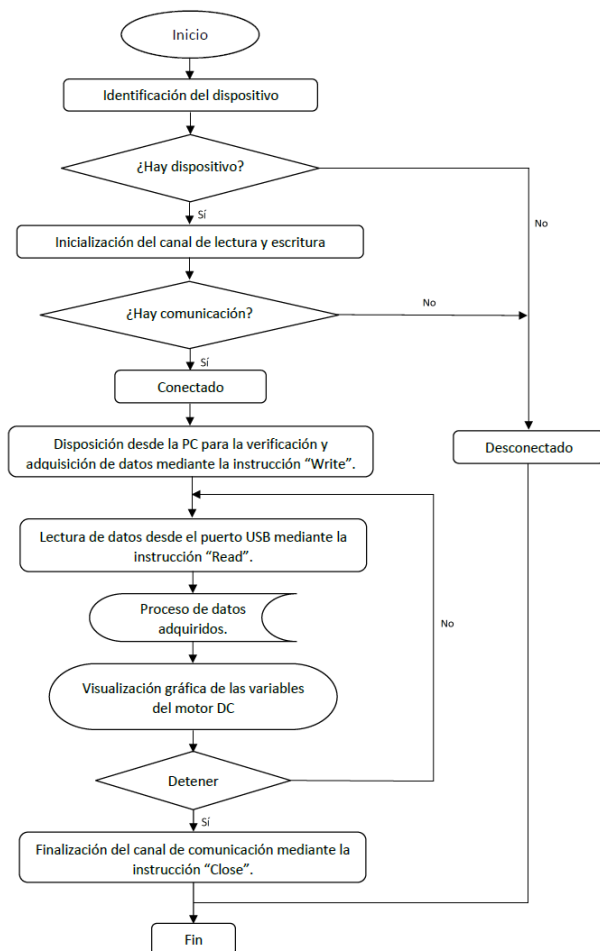


Figura 7: Diagrama de flujo de la comunicación con la tarjeta Arduino y el Software del Ordenador
Fuente: Propia

El bloque VISA Read, se encarga de recibir e interpretar los datos enviados por el otro

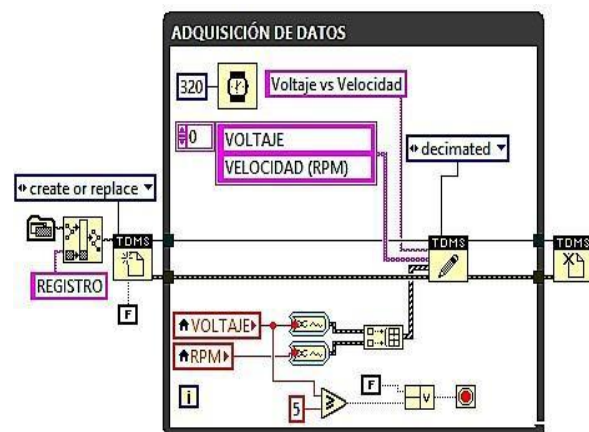


Figura 8: Diagrama de bloques para el registro de datos en Microsoft Excel.
Fuente: Propia.

El programa gráfico es sencillo, consiste en crear variables locales de las señales de voltaje y velocidad del motor DC que se conectan en la entrada del bloque de DDT (Convert from Dynamic Data) que se encarga de convertir los datos dinámicos a tipo de datos numéricos para usarlos con otras funciones TDMS que establecen los atributos (nombre, canal) de las señales que se almacenan en el archivo que se crea y abre en Microsoft Excel.

2.6 PROGRAMACIÓN ARDUINO PARA LA COMUNICACIÓN CON LABVIEW.

Para que la placa Arduino pueda enviar y recibir datos del software de aplicación LabVIEW, este necesita una programación estructurada a base de comandos que permitan la comunicación con el ordenador.

Para inicializar el puerto serie se establece la velocidad de conexión dentro de la función *setup* (). El valor que ejecuta la conexión comúnmente es de 9600 baudios.

```
void setup ()
```

```
{Serial.begin(9600) ;// Establece comunicación}
```

Para enviar datos a través del puerto serie y que sean visualizados en el software de aplicación LabVIEW, se debe usar la instrucción que imprima en pantalla la información.

```
Serial.print(dato, tipo de dato); Serial.println(dato,  
tipo de dato);
```

Esta instrucción permite enviar datos a través del puerto serie, simplemente se indica el dato a enviar y el formato que define dicho dato.

La señal que envía el ordenador a la placa Arduino, para que este permita almacenar y leer el dato entrante del puerto serie se ejecuta la siguiente instrucción.

```
dato=Serial.read() ;// lee y almacena la  
información
```

```
Serial.println() ;// imprime el valor
```

Las instrucciones dichas anteriormente permiten leer constantemente el puerto serie, pero esto ocasiona errores cuando no hay datos que leer. Existe una instrucción *Serial.available* que evita este problema y optimiza el programa.

```
if (Serial.available)>0; // si hay dato disponible para  
leer
```

```
{Valor=Serial.read();}
```

Esta instrucción comprueba si hay caracteres disponibles en el puerto serie a leer. *Serial.available* recibe el valor entero con el número de bytes utilizables que se almacena en el buffer del puerto serie. Si no hay dato a tomar el *Serial.available* tendrá un valor de 0, por lo que es sencilla la utilización de esta función junto a la condicional *if*.

Los comandos mencionados anteriormente cumplen un papel importante para la comunicación con el ordenador además de permitir el control del motor DC por medio de la interfaz que utiliza el sistema, para obtener datos de sus características de operación que en este caso son voltaje y velocidad.

3. ANALISIS DE RESULTADOS

A continuación, se presenta los resultados que el sistema DAQ desarrollado es capaz de entregar, variando las características de operación de la máquina, en este caso el motor.

Los resultados se obtienen con la ayuda del sistema implementado en el software LabVIEW, consiste en enviar una señal, para el control del voltaje el cual irá variando de forma automática con la función numérica *Add*, dicha función calcula la suma de sus entradas, es decir suma valores en el tiempo, configurada con una constante para graduar el aumento de la señal una vez se inicie el programa y poder analizar en tiempo real lo que sucede con la velocidad del motor medida RPM, ver figura 6.

La intención de la interfaz es poder analizar la velocidad del motor en un rango de voltaje de 0 a 5 voltios, esto gracias al método utilizado en el diseño del software LabVIEW el cual logra el control y frenado del motor DC al llegar al máximo rango de trabajo es decir 5V, para ello se colocó una función de comparación *Greater Or Equal?*, esta función se conecta directamente al bloque *stop* del bucle que al detectar una señal mayor o igual a 5 detiene las repeticiones que se ejecutan en el programa, ver figura 5, de acuerdo a los

valores configurados la prueba se ejecuta cada 162 segundos, tiempo suficiente para adquirir los datos de forma detallada el cual proporciona suficiente tiempo al procesador de completar la tarea y así poder obtener los datos de la velocidad del motor en función del voltaje.

La obtención de la gráfica de voltaje vs velocidad que envían las señales de voltaje y velocidad a una función *Build Array* esta función adecua las señales en la salida para la conexión en el control *XY Graph*, esta función muestra en el software LabVIEW una gráfica en el plano XY en tiempo real de la velocidad en función del voltaje, ver figura 9.

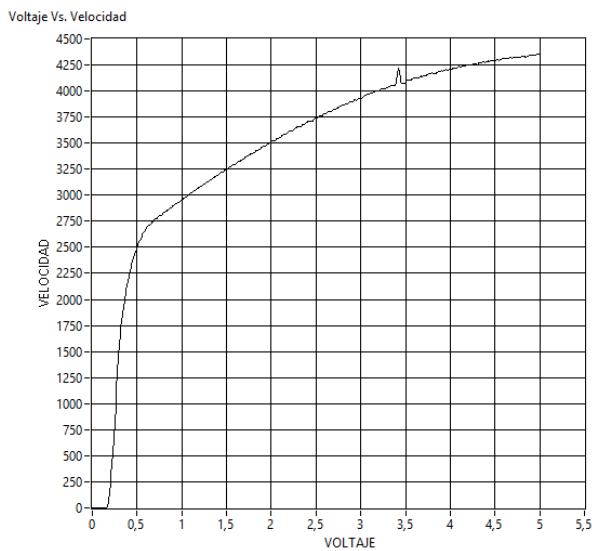


Figura 9: Gráfica XY en el software LabVIEW
Fuente: Propia.

La gráfica de voltaje vs velocidad obtenida muestra el inicio de la prueba desde 0 vcc hasta aproximadamente 0.25 vcc, en este rango se obtiene una velocidad 0 es decir el motor no inicia el movimiento debido que aun el motor no alcanza el voltaje de ruptura, que representa el valor mínimo para iniciar el movimiento de motor, a partir de los 0.25 vcc aproximadamente el motor inicia el movimiento de forma gradual hasta llegar a los 5V, en este punto se puede observar que la velocidad del motor se estabiliza en su máximo valor, ver figura 9.

Los datos son enviados y registrados automáticamente a un documento de Microsoft Excel.

Tabla 1. Registro de datos de voltaje y velocidad del motor DC.

VOLTAJE	VELOCIDAD (RPM)
0	0
0,25	1176
0,5	2643
0,75	2818
1	3103
1,25	3132
1,5	3305
1,75	3563
2	3697
2,25	3739
2,5	3937
2,75	4033
3	4012
3,25	4229
3,5	4308
3,75	4380
4	4432
4,25	4486
4,5	4520
4,75	4556
5	4583

Fuente: Propia

Obtenido los datos en Excel por medio del sistema DAQ, se procede a realizar un análisis con la ayuda de una herramienta designada como *línea*

de regresión o línea de tendencia, el cual brinda la oportunidad de visualizar la relación entre las variables del motor DC y sacar una ecuación aproximada.

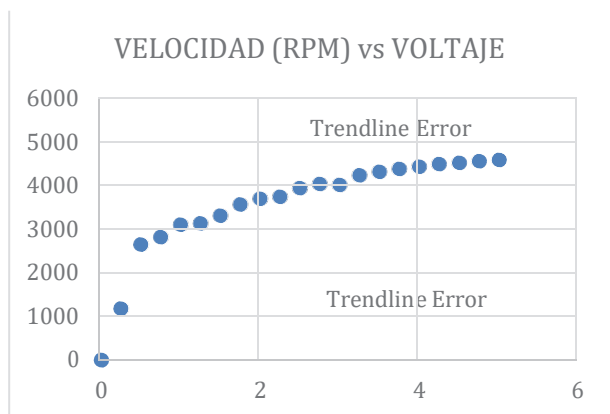


Figura 10: Grafica XY en Excel
Fuente: Propia.

La ecuación aproximada de la curva resulta ser la siguiente.

$$Y = 96,881x^3 - 946,77x^2 + 3163,5x + 554,05 \quad (2)$$

Donde x representa la variación del voltaje que se aplica al motor y y es el valor de la velocidad (RPM) del motor, la ecuación muestra que la velocidad del motor tiene un aumento directamente proporcional al voltaje aplicado.

La gráfica muestra el rango de trabajo del motor de 0 a 5 voltios de corriente continua, el rango de voltaje más aproximado a la curva característica obtenida es de 0,5 a 3,3 voltios de corriente continua, se puede realizar la comprobación de los datos obtenidos en la gráfica, al reemplazar los valores de la variable x en la ecuación dada en cualquier punto, como resultado se debe obtener el valor de variable y , este valor debe ser muy cercano o igual al valor obtenido en la gráfica.

4. CONCLUSIONES

Se realizó el diseño de la interfaz hombre máquina (HMI), para este fin se utilizó el software LabVIEW y Arduino, el software Arduino para la programación a utilizar y las funciones de LabVIEW

como son la comunicación USB. El sistema DAQ que envía la información a un documento de Excel, se incluye también la gráfica XY para la verificación de la curva característica en tiempo real del voltaje vs la velocidad.

Para la adquisición de datos se utilizó la tarjeta Arduino UNO y el circuito para el arranque entre en el sistema físico y el ordenador por medio del software LabVIEW.

Se realizó el análisis de las variables en la gráfica voltaje vs velocidad del motor DC y se determina que el motor se encuentra detenido durante los primeros 0.25V, debido a que el motor no alcanza el voltaje de ruptura. A partir de los 0.25V el motor inicia con el movimiento el cual sube de forma gradual siguiendo una ecuación donde las revoluciones del motor aumentan directamente proporcional al voltaje aplicado, la gráfica indica que, al valor máximo de voltaje, la velocidad es aproximadamente 4500 RPM, con lo que se puede concluir y determinar que el voltaje es directamente proporcional a la velocidad.

El análisis realizado en el motor de corriente continua en el entrenador EPC puede ser replicado por los estudiantes del ISTCT en forma de práctica, con el objetivo de adquirir nuevos conocimientos y observar el comportamiento de este tipo de motores.

5. RECOMENDACIONES

Se sugiere al usuario o estudiante tener conocimientos básicos de la programación de Arduino y LabVIEW, para que interprete de manera lógica el funcionamiento del sistema DAQ de un motor DC.

El análisis de la gráfica depende principalmente de la capacidad del procesador del dispositivo donde se ejecuta la interfaz y la obtención de datos, por lo que se recomienda que se realicen pruebas en dispositivos de adquisición de alta eficiencia, para observar de manera adecuada el rendimiento del sistema.

Dentro de un proyecto tan práctico como fue éste, siempre se desea que haya una mejora continua del mismo, por lo tanto, se recomienda a los estudiantes que tengan interés en el proyecto, que implementen nuevos métodos de caracterización de modo que optimicen el proceso de análisis y de esta forma hacer comparaciones con los resultados obtenidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Jimbo, E. (2015). *Caracterización del funcionamiento de un motor eléctrico de corriente continua sin escobillas brushless con 1000 watts de potencia* (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Ecuador, Cuenca.
- Osorio, J., Pérez, J., y Rodríguez, M. (2010). Implementación de un sistema de adquisición de datos para monitorear una máquina de corriente directa. *Revista Tecnura*. 14(27), 68-60.
- Mejía, C. (2013). *Análisis de los parámetros eléctricos para la regulación de velocidad óptima de motores asincrónicos mediante control escalar con modulación de ancho de pulso* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Cetro de Perú, Huancayo, Perú.
- Rodríguez, M. (2017). *Máquinas de corriente continua*. Universidad Cantabria. España.
- Zambrano, R. (2016). Adquisición, control y monitoreo de parámetros eléctricos y velocidad de un motor trifásico. *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa*. 5(1), 1-31.
- Julián, E., y Almidón, A. (2018). Manual de programación LabVIEW 9.0. *Ait Green Energy*. 1-80. doi: 10.5281/zenodo.2557815
- Lajara, J., y Pelegri, J. (2011). *LabVIEW: Entorno gráfico de programación*. Barcelona, España: MARCOMBO, S.A.
- Yi Sun, W. (2019). *Diseño e implementación de un sistema de control de velocidad para motores de corriente continua basado en microcontrolador* (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica de Valencia. España, Valencia.
- Torrente, O. (2013). *Arduino curso práctico de formación*. Madrid, España: RC Libros.