

AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE PARÁMETROS EN UN COMPRESOR CENTRÍFUGO DE PRUEBAS EXPERIMENTAL ARMFIELD FM 12

AUTOMATION OF THE PARAMETER MEASUREMENT SYSTEM IN AN EXPERIMENTAL TESTING CENTRIFUGAL COMPRESSOR ARMFIELD FM 12

YORDY GONZÁLEZ-RONDÓN

Universidad de Oriente, Instituto de Investigaciones en Biomedicina y Ciencias Aplicadas, «Dra.
Susan Tai», Cumaná, estado Sucre, Venezuela.
Universidad de Oriente, Centro de Termofluidodinámica y Mantenimiento (CTYM). Puerto La Cruz,
estado Anzoátegui, Venezuela.

Email: yordygonzalez@hotmail.com

RESUMEN

Los bancos de pruebas experimentales para docencia e investigación son herramientas que promueven el desarrollo de habilidades para identificar problemáticas y proporcionan soluciones que conllevan a la innovación. Esta investigación forma parte de un proyecto de recuperación de bancos de pruebas en el Centro de Termofluidodinámica y Mantenimiento (CTYM) de la Universidad de Oriente. En esta oportunidad se presenta el desarrollo de un sistema automatizado de medición de parámetros en un banco de pruebas experimental de compresor centrífugo ARMFIELD FM 12, seleccionando materiales y componentes electrónicos de bajo costo y de fácil acceso en el mercado nacional. La metodología se basa en el estudio del sistema de medición de las variables temperaturas, presión diferencial en la tubería de succión al compresor, presión diferencial en el compresor y velocidad del compresor mediante la frecuencia, así como la calibración de los medidores, el diseño y construcción de una fuente de tensión para alimentar a los sensores, la construcción de la interfaz que conecta los sensores de medición de parámetros en el banco de pruebas con una tarjeta de adquisición de datos NI 6009, y el desarrollo del entorno gráfico en un PC utilizando la herramienta LabVIEW 8.20 disponible en el CTYM. Los resultados mostraron que durante la disminución gradual de la potencia que alimenta al motor que acciona al compresor, la frecuencia que rige la velocidad rotacional del compresor descendió, también disminuyó la caída de presión en la placa de orificio a la succión del compresor debido a que el flujo de aire en la tubería se hizo cada vez menor, y la presión diferencial en el compresor descendió por el cambio de presión entre la entrada y la salida del compresor. Estos comportamientos determinaron que la puesta en marcha del nuevo sistema de medición de parámetros en el banco de pruebas ARMFIELD FM 12 muestra una correcta comunicación entre los sensores y la interfaz gráfica.

Palabras clave: Automatización, medición, compresor centrífugo, banco de pruebas.

ABSTRACT

Experimental test benches for teaching and research are tools that promote the development

of skills to identify problems and provide solutions that lead to innovation. This research is part of a test bench recovery project at the Center for Thermofluid Dynamics and Maintenance (CTYM) of the Universidad de Oriente. On this occasion, the development of an automated parameter measurement system is presented in an experimental test bench for an ARMFIELD FM 12 centrifugal compressor, selecting low-cost materials and electronic components that are easily accessible in the national market. The methodology is based on the study of the measurement system of the variables temperatures, differential pressure in the suction pipe to the compressor, differential pressure in the compressor and speed of the compressor through the frequency, as well as the calibration of the meters, the design and construction of a voltage source to feed the sensors, the construction of the interface that connects the parameter measurement sensors in the test bench with an NI 6009 data acquisition card, and the development of the graphical environment on a PC using the LabVIEW 8.20 tool available at CTYM. The results showed that during the gradual decrease of the power that feeds the motor that drives the compressor, the frequency that governs the rotational speed of the compressor decreased, the pressure drop in the orifice plate at the compressor suction also decreased due to the fact that the air flow in the pipeline became less and less, and the differential pressure in the compressor decreased by the change in pressure between the inlet and outlet of the compressor. These behaviors determined that the implementation of the new parameter measurement system in the ARMFIELD FM 12 test bench shows correct communication between the sensors and the graphical interface.

Keywords: Automation, metering, centrifugal compressor, testing bench.

INTRODUCCIÓN

El avance de la tecnología en los últimos tiempos le ha dado a los procesos industriales otra perspectiva, desplazando en muchas oportunidades una ardua labor de mano de obra humana por la supervisión de los procesos a través de computadoras (ALONSO *ET AL.* 2015; GUTIÉRREZ *ET AL.* 2015; GONZÁLEZ *ET AL.* 2021; GONZÁLEZ *ET AL.* 2021). Actualmente es un requerimiento que en los procesos industriales estén automatizados el monitoreo de las variables y el control de las mismas, debido a la complejidad de los procesos y la necesidad de mantener segura la operatividad de una planta. Es por ello que es importante que el ingeniero mecánico y de procesos, entre otros, del presente y el futuro, tengan un claro conocimiento del manejo de señales entre los instrumentos de medición y los sistemas de adquisición de datos, así como la programación de interfaz para la visualización de variables; de esta manera un profesional que esté en contac-

to con los procesos automatizados tendrá las bases necesarias para operarlos, modificarlos y mejorarlos (LÓPEZ *ET AL.* 2005; GONZÁLEZ 2011; ALONSO *ET AL.* 2015; GONZÁLEZ Y SÁNCHEZ 2019). Una forma experimental para adquirir este conocimiento es mediante la familiarización con prototipos o bancos de pruebas en laboratorios que simulen procesos industriales (GONZÁLEZ PATIÑO Y ESPINOZA 2009). En este sentido, el Centro de Termofluidodinámica y Mantenimiento (CTYM) de la Universidad de Oriente (U.D.O.) ha venido recuperando bancos de pruebas para el servicio de la docencia e investigación, entre estos se puede mencionar bombas reciprocantes (GONZÁLEZ 2007), bombas centrifugas (TOBIA 2010), turbinas tipo pelton (GUZMÁN 2007), turbinas de acción (GOMES 2011) y de reacción (OLIVEROS 2010), también aletas finitas en convección forzada y natural (SUÁREZ 2012). En los últimos años, estas recuperaciones permitieron elevar el conocimiento científico de estudiantes de pregrado y postgrado, de las carreras de inge-

nería mecánica y eléctrica respectivamente de la U.D.O, y se promovió el desarrollo de investigaciones donde los resultados experimentales fueron validados mediante simulaciones numéricas (SUÁREZ 2012; SALAZAR 2015). Entre los equipos que urge en integrarse a estos prototipos están los compresores, debido a su gran utilidad, pues son diseñados para aumentar la presión y desplazar ciertos tipos de fluidos llamados compresibles (TELLO 2018). Esto lo logra a través de un intercambio de energía entre la máquina y el fluido, donde el trabajo ejercido por el compresor es transferido a la sustancia que pasa por él convirtiéndose en energía de flujo, aumentando su presión y energía cinética impulsándola a fluir (TORRES 2016). En la industria es común el uso de compresores en sistemas de generación de energía eléctrica, refrigeración y sistemas neumáticos, entre otros; así como en el procesamiento y producción de una gran variedad de materias primas (GONZÁLEZ PATIÑO Y ESPINOZA 2007; GONZÁLEZ PATIÑO ET AL. 2008).

En el departamento de mecánica de la U.D.O se encuentra un banco de pruebas ARMFIELD FM 12 de un compresor centrífugo. Esta máquina rotodinámica es del tipo flujo radial, en la que el fluido ingresa al rotor o impulsor en un radio y sale en un mayor radio, produciendo cambios en la energía cinética, potencial y de presión. El compresor se encuentra en condiciones inoperativas, dado que el sistema de adquisición de datos sufrió deterioro por fallas eléctricas, falta de mantenimiento y mala manipulación, por estas razones no es posible cumplir las funciones académicas y de investigación. Aunado a esto, el software destinado para el manejo del equipo es propio del fabricante ARMFIELD que para la actualidad está obsoleto y se requieren grandes cantidades de recursos económicos para su actualización. Por tales razones, en la siguiente investigación se automatiza el sistema de medición de parámetros del compresor centrífugo de pruebas experimentales ARMFIELD FM 12, con la fina-

lidad de que el equipo pueda cumplir las funciones académicas y de investigación en la U.D.O. En el desarrollo se construye un sistema de alimentación de voltaje a los sensores, se utiliza una tarjeta de adquisición de datos NI 6009 y se diseña la interfaz gráfica con el software LabVIEW 8.20, el cual es un programa muy confiable y utilizado tanto en el ámbito industrial como en el de investigación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Evaluación del banco de pruebas ARMFIELD FM-12

Se estudia el banco de pruebas de compresor centrífugo marca ARMFIELD modelo FM-12 que se muestra en la **Fig. 1**.

El equipo consta de un compresor centrífugo (GUZMÁN 2007) de siete etapas, accionado por un motor eléctrico montado sobre un soporte de acero inoxidable (ALONSO ET AL. 2015). Contiene tuberías acrílicas de entrada y salida (GONZÁLEZ PATIÑO Y ESPINOZA 2009; OLIVEROS 2010) para permitir que el aire pase a través de la unidad. El flujo de aire se regula mediante un dispositivo de control del acelerador (SALAZAR 2015) instalado en la salida del conducto de descarga. El banco de pruebas tiene incorporado sensores que facilitan el análisis del funcionamiento del compresor centrífugo. Las señales de estos sensores, son acondicionadas y enviadas a una consola de interfase IFD 1 que digitaliza las señales y transfiere los datos a una tarjeta computarizada de adquisición de datos acoplado a un equipo. Los sensores que forman parte del banco de pruebas son los siguientes:

- Sensor de presión diferencial SPG2: Este se compone de un dispositivo de presión piezoresistivo sensible con acondicionamiento de señales, todo contenido en un estuche protector (GONZÁLEZ Y SÁNCHEZ 2019) y se utiliza para medir la caída de presión en la placa de orifi-

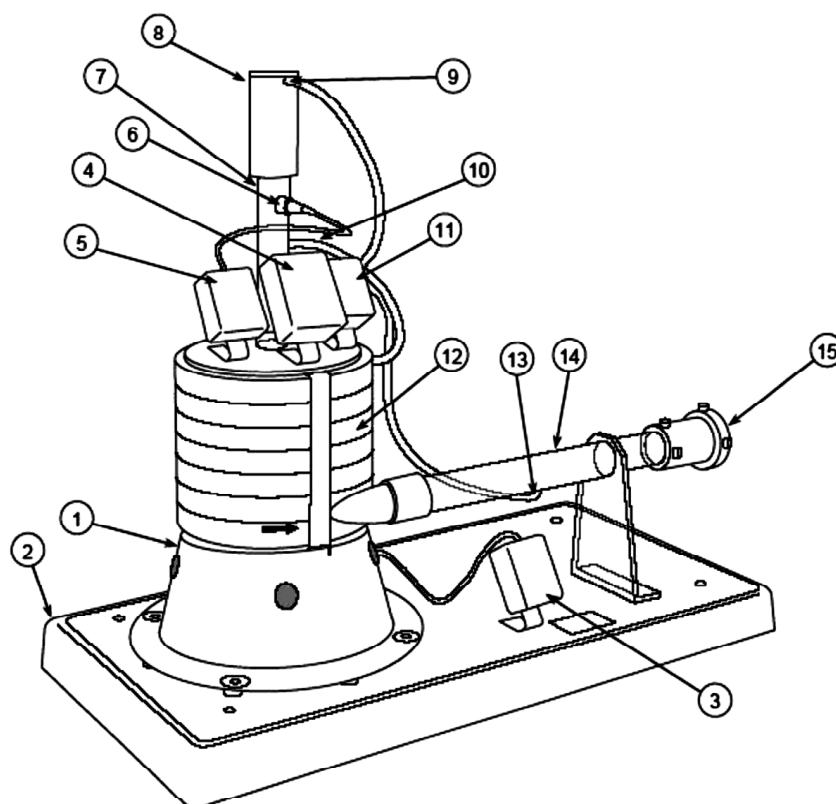


Figura 1. Banco de pruebas FM-12.

cio concéntrica (GONZÁLEZ PATIÑO Y ESPINOZA 2007) instalada al comienzo de la tubería de entrada (GONZÁLEZ PATIÑO Y ESPINOZA 2009).

- Sensor de presión diferencial SPW1: Este es un dispositivo de presión piezorresistivo sensible con acondicionamiento de señales, todo contenido en un estuche protector (GONZÁLEZ ET AL. 2021) y se utiliza para medir la diferencia de presión entre la entrada y la salida del compresor.

- Sensor de velocidad rotacional SSO1: Es un instrumento formado por un interruptor infrarrojo reflexivo, con acondicionamiento de señal en una carcasa protectora (GOMES 2011) y es utilizado para medir la velocidad de rotación del motor impulsor del compresor.

- Sensor de temperatura STS1: Es un dispositivo semiconductor sensible a la temperatura (GONZÁLEZ 2011) con acondicionamiento de

señal, en una carcasa protectora (GONZÁLEZ 2007) y se utiliza para medir la temperatura del aire que entra al compresor.

- Generador SWA1: Este componente es un vatímetro disponible en el banco de pruebas de compresor centrífugo ARMFIELD FM 12. Recibe alimentación eléctrica de 240,00 Volios de la consola IFD 1, y tiene como función variar la potencia que alimenta el compresor desde 0,00 a 100,00 indicando porcentajes de potencia de suministro eléctrico (**Fig. 2**).

Condiciones actuales del banco de pruebas.

Luego de una revisión del equipo, se verificó que los componentes que conforman el sistema de compresión se encontraban en buen estado, incluyendo los sensores y acondicionadores SSO1 y STS1 los cuales solo carecían de calibración y ajuste de rango y alcance, sin

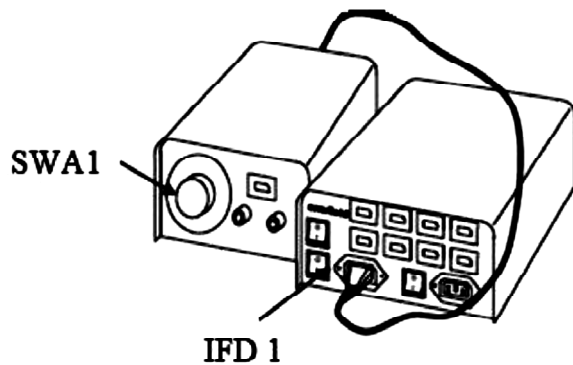


Figura 2. Generador de potencia eléctrica y fuente de poder.

embargo, los sensores SPG2 y SPW1 presentaron deterioro en el sistema de acondicionamiento de señales, dado a que la cablería que esta posee se encontró desinstalada y en mal estado. Además, los cables que comunican los acondicionadores con el sistema de adquisición de datos no fueron encontrados; por lo que se hace necesario restituir los sistemas de cableado y conexión.

También se determinó que la tarjeta de adquisición de datos sufrió un corto circuito, ésta era de conexión PCI y utilizaba el software Windows Armfield proporcionado por los fabricantes del banco. Los daños ocasionados en la tarjeta son irreparables, por tal razón se debe sustituir el sistema de adquisición de datos por otra que sea competente y utilizar un software que sea práctico y usado actualmente en la industria.

Propuesta para automatizar el sistema.

Sistema de comunicación. Es necesario sustituir los conectores originales de los acondicionadores por conectores que sean universales por la facilidad de adquirirse en el mercado de la electrónica. Para ello se realizó un estudio de los cables de alimentación y de las señales de entrada y salida en cada uno de los acondicionadores de señales (**Fig. 3**).

El esquema eléctrico propuesto se rige mediante conectores RJ11 de cuatro hilos, los cuales se distinguen por colores y donde cada color representa lo siguiente: Rojo: alimentación al acondicionador de +12,00 V, Amarillo: alimentación al acondicionador de -12,00 V, Negro: común o tierra (GND), Verde: señal o salida. Siguiendo el esquema mencionado se cambiaron los conectores originales de los acondicionadores por conectores tipo RJ-11, del mismo modo se construyeron 4 cables (telefónico) para interconectar los acondicionadores a la tarjeta de adquisición de datos. Es de resaltar, que, al proponer este sistema de comunicación, se restableció la cablería dañada de los sensores SPG2 y SPW1, manteniendo la normalización descrita anteriormente.

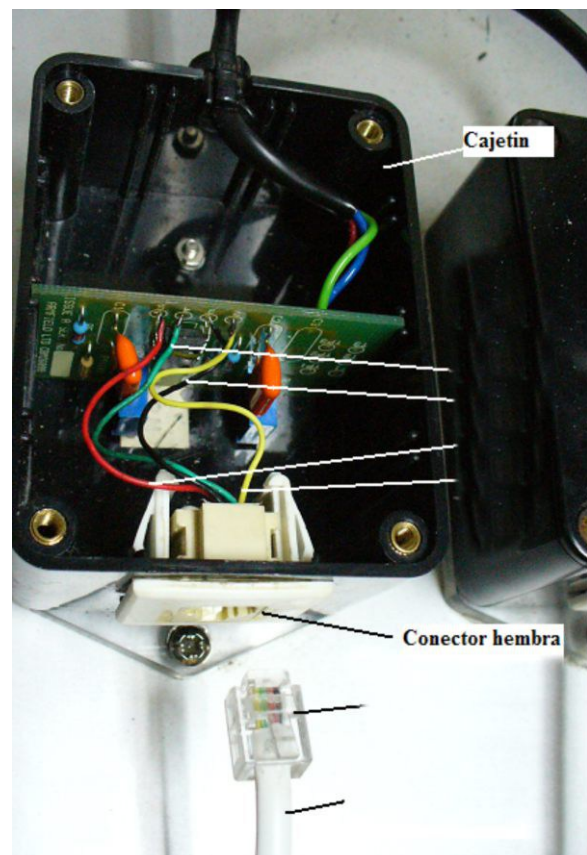


Figura 3. Acondicionador de señales con nuevos conectores.

Calibración de sensores. Se procedió hacer un estudio de los voltajes de salida de cada sensor/amplificador para calibrar. Con un osciloscopio (Instek OS-653, 50Hz) se registraron los rangos de voltaje arrojados por cada uno de ellos. Además, se utilizaron instrumentos de medición como manómetros de columna de agua, termómetro de mercurio y lámpara estroboscopia para hacer las mediciones de presión, temperatura y velocidad respectivamente.

· Sensor de presión diferencial SPW1. Con el equipo encendido se midieron los valores de voltaje del acondicionador y la caída de presión en el compresor para distintas posiciones del SWA1. Estos valores se observan en la **Tabla 1**. Con estos valores tabulados se determinó que el sensor tiene un comportamiento lineal tal como se muestra en la **Fig. 4**, donde se grafican los valores de voltaje y las presiones registradas en el banco de pruebas.

De igual forma, se obtuvo la ecuación que rige

el comportamiento del instrumento de medición. Esta expresión matemática será de gran utilidad posteriormente en el desarrollo de la interfaz gráfica, debido a que permitirá convertir la cantidad de voltaje que recibe el sistema de adquisición de datos en unidades de Kpa.

· Sensor de presión diferencial SPG2. Al igual que en el sensor SPW1, para determinar el comportamiento del sensor que mide la caída de presión en la tubería de succión del compresor, fue necesario el uso del osciloscopio para medir los voltajes salida del acondicionador y del manómetro de agua para medir las presiones correspondientes a dichos voltajes, obteniéndose los resultados mostrados en la **Fig. 5**.

· Sensor de velocidad rotacional SSO1. Siguiendo la metodología en los sensores anteriores, en la **Fig. 6** se muestra la ecuación que determina la salida del acondicionador de velocidad (en voltios) cuando se producen variaciones en la frecuencia que determinan la ve-

Tabla 1. Muestras de voltajes de los sensores SPW1, SS01 y SPG2.

% SWA1	Presión diferencial del compresor SPW1		Velocidad compresor SS01		Presión diferencial placa orificio SPG2	
	V	KPa	V	Hz	V	KPa
100	0,46	1,06	4,85	53,98	4,30	1,03
90	0,43	0,90	4,49	50,41	3,60	0,88
80	0,40	0,64	3,84	44,12	2,37	0,60
70	0,37	0,37	2,94	33,83	1,39	0,35
60	0,34	0,21	2,20	24,99	0,80	0,20
50	0,33	0,15	1,75	19,81	0,50	0,14
40	0,32	0,10	1,46	16,07	0,28	0,08

locidad del compresor centrífugo al aumentar la potencia eléctrica de entrada.

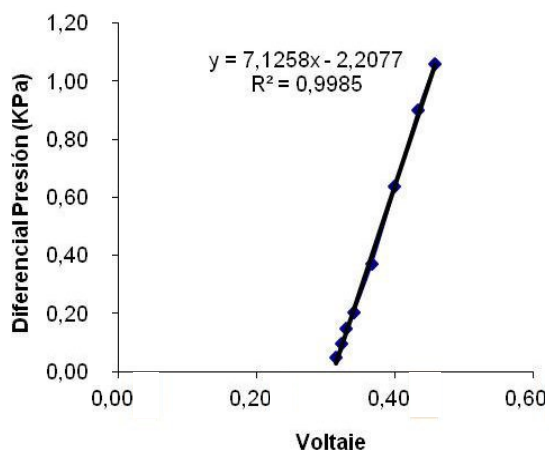


Figura 4. Curva del sensor/acondicionador de presión SPW1.

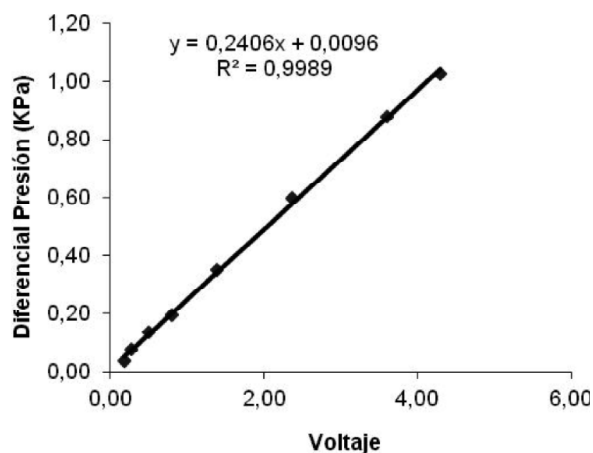


Figura 5. Curva del sensor/acondicionador de presión SPG2.

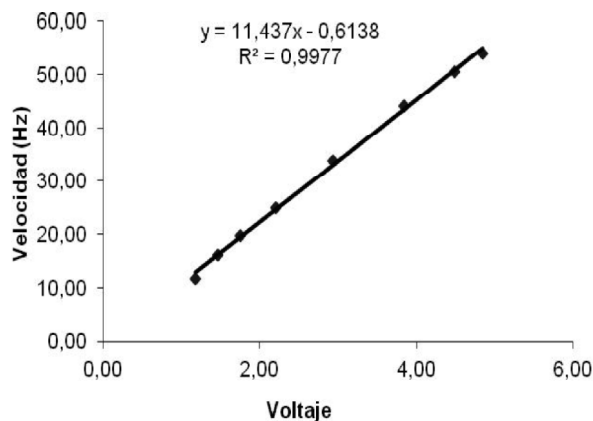


Figura 6. Curva del sensor/acondicionador de velocidad SSO1.

· Sensor de temperatura STS1. En la **Tabla. 2** se muestran los cambios de voltajes a la salida del acondicionador de señales respecto a los cambios de temperatura mostrados en un termómetro de mercurio. En la **Fig. 7** se muestran los resultados sobre la relación lineal entre el voltaje de salida del acondicionador y el incremento de temperatura cuando se sometió el medidor de temperatura a cambios graduales de temperatura.

Tabla 2. Muestras de voltaje del sensor de temperatura STS

TEMPERATURA FLUIDO STS1	
V	°C
1,49	30,00
2,41	50,00
3,32	70,00
3,81	80,00
4,24	90,00
4,74	100,00

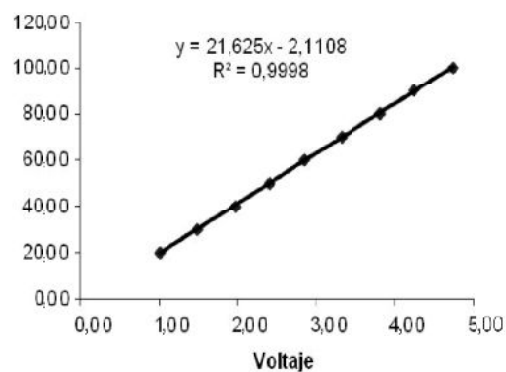


Figura 7. Curva del sensor/acondicionador de temperatura STS1.

Diseño del módulo de adquisición de datos.

Se ha diseñado un nuevo módulo de adquisición de datos y alimentación de voltaje siguiendo la metodología propuesta en el CTYM, conservando normativas de disposición de componentes, cables y conectores telefónicos, tipo de tarjeta de adquisición de datos y fuente de alimentación de voltaje, entre otros (LÓPEZ *ET AL.* 2005; GONZÁLEZ 2007; OLIVEROS 2010, TOBIA 2010). Dado que la unidad de sensores y acondicionamiento de señales requiere de alimentación de 12,00 voltios, se construye la unidad de voltaje (GONZÁLEZ 2011). Esta unidad será la responsable de alimentar a los acondicionadores para se distribuya la alimentación hacia los sensores y a la tarjeta de adquisición de datos. La tarjeta de adquisición de datos seleccionado en este proyecto fue NI USB-6009 de la Nacional Instruments, es una tarjeta muy versátil y sencilla capaz de convertir las señales de forma analógica a digital para ser procesadas por un computador a través de un puerto USB, con la incorporación de un driver adecuado que permita el uso correcto de la tarjeta.

Se llama módulo de adquisición de datos a una caja plástica porta circuitos que contiene la unidad de voltaje y la tarjeta de adquisición, como se muestra en la **Fig. 8**.

Diseño del entorno gráfico mediante LabVIEW 8.20

Los programas desarrollados mediante LabVIEW 8.20 se denominan instrumentos virtuales (VIs), porque su apariencia y funcionamiento imitan los de un instrumento real. Sin embargo, son análogos a las funciones creadas con los lenguajes de programación convencionales. Los VIs tienen una parte interactiva con el usuario y otra parte de código fuente que aceptan parámetros procedentes de otros VIs. Todos los instrumentos virtuales poseen un panel frontal (**Fig. 9**) y un diagrama de bloques (**Fig. 10**). Cuentan además con paletas que contienen las opciones que se emplean para crear y modificar los VIs.

Para lograr la automatización del sistema de medición y visualizar el funcionamiento del banco de pruebas de compresor centrífugo, fue



Figura 8. Módulo de adquisición de datos y alimentación de voltaje.

necesario implementar un entorno gráfico para registrar los cambios en las variables del proceso y mostrar las gráficas del compresor centrífugo. Para esto se utilizó la herramienta LabView, con ella se diseñó la página de variables del proceso y el diagrama de bloques donde se realiza la implementación del programa para controlar o realizar cualquier procesamiento de las entradas y salidas que se crearon en el panel frontal (GONZÁLEZ 2007; GUZMÁN 2007; GONZÁLEZ PATIÑO *ET AL.* 2008; OLIVEROS 2010; TOBÍA 2010; GOMES 2011). Luego de diseñar el entorno gráfico, se procedió a realizar

pruebas de funcionamiento para determinar los valores de las variables (temperatura del fluido, caída de presión en la placa, caída de presión en el compresor y velocidad del compresor mediante la frecuencia) que se arrojan mediante la automatización del banco de prueba, para esto se fijó en el panel frontal el número de muestras (en este caso fue 15) y tiempo de almacenamiento por cada muestra (5,00 s). En el procedimiento se fue variando la perilla en el SWA1 para lograr reducir la potencia al compresor mediante la frecuencia suministrada.

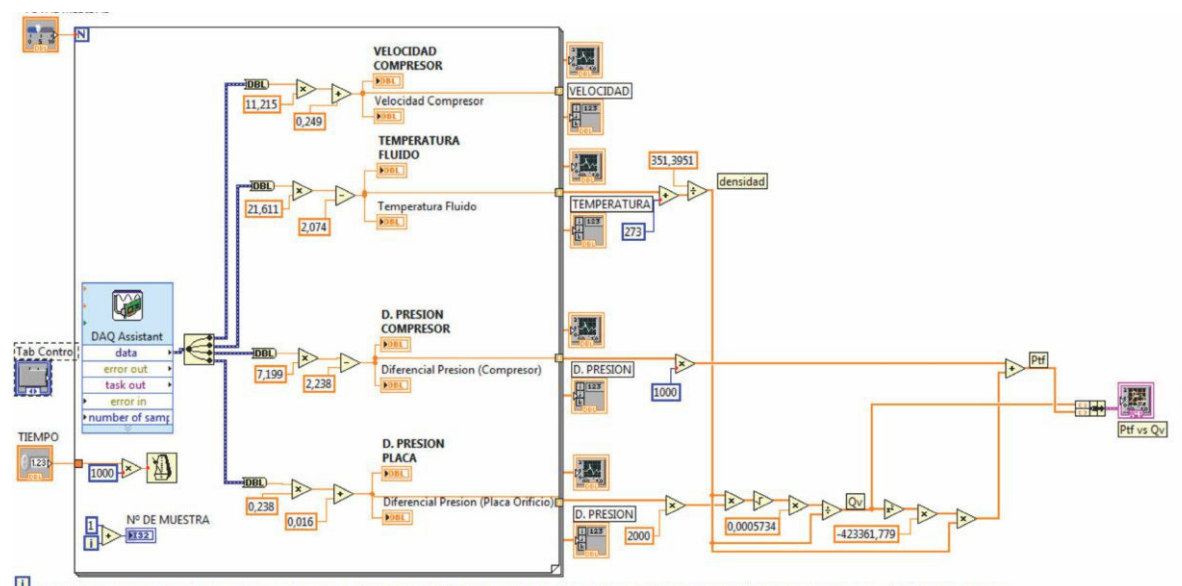


Figura 10. Diagrama de bloque del banco de pruebas FM12

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Puesto en funcionamiento el compresor centrífugo y el nuevo sistema de adquisición de datos, se procedió a realizar un reconocimiento experimental del banco de pruebas. En la interfaz gráfica se visualizaron las curvas correspondientes a las variables medidas durante la variación de la velocidad del compresor cada 5,00 segundos (**Fig. 11**). Las gráficas correspondieron a la temperatura del fluido en la tubería de succión del compresor, la frecuencia de giro del compresor, la caída de presión en el compresor y el diferencial de presión en la placa de orificio ubicada a la salida del compresor. Se observó que la temperatura del fluido se mantuvo constante y fue consistente con los valores de referencia en el área de operación. El compresor mostró una reducción de la velocidad debido a la disminución gradual de la potencia que se le suministró al motor. La caída de presión en la placa de orificio se

hizo menor dado que al disminuir gradualmente la velocidad del compresor, el flujo de aire aspirado por el equipo a su succión, se fue haciendo cada vez menor. Respecto a la presión diferencial en el compresor se mostró el descenso del cambio de presión entre la entrada y la salida del compresor que ocurre a medida que se reduce la velocidad del motor.

Los resultados obtenidos en este estudio son consistentes con el comportamiento operacional de un compresor centrífugo, donde el fluido se introduce en el centro de un impulsor giratorio y se expulsa hacia el exterior por acción centrífuga. Debido a que el equipo estudiado es de siete etapas, como resultado de la alta velocidad de rotación, el fluido adquiere una alta energía cinética. La diferencia de presión entre los lados de succión y entrega surge de la conversión de esta energía cinética en energía de presión, desde luego, esta presión se incrementa progresivamente de una etapa a

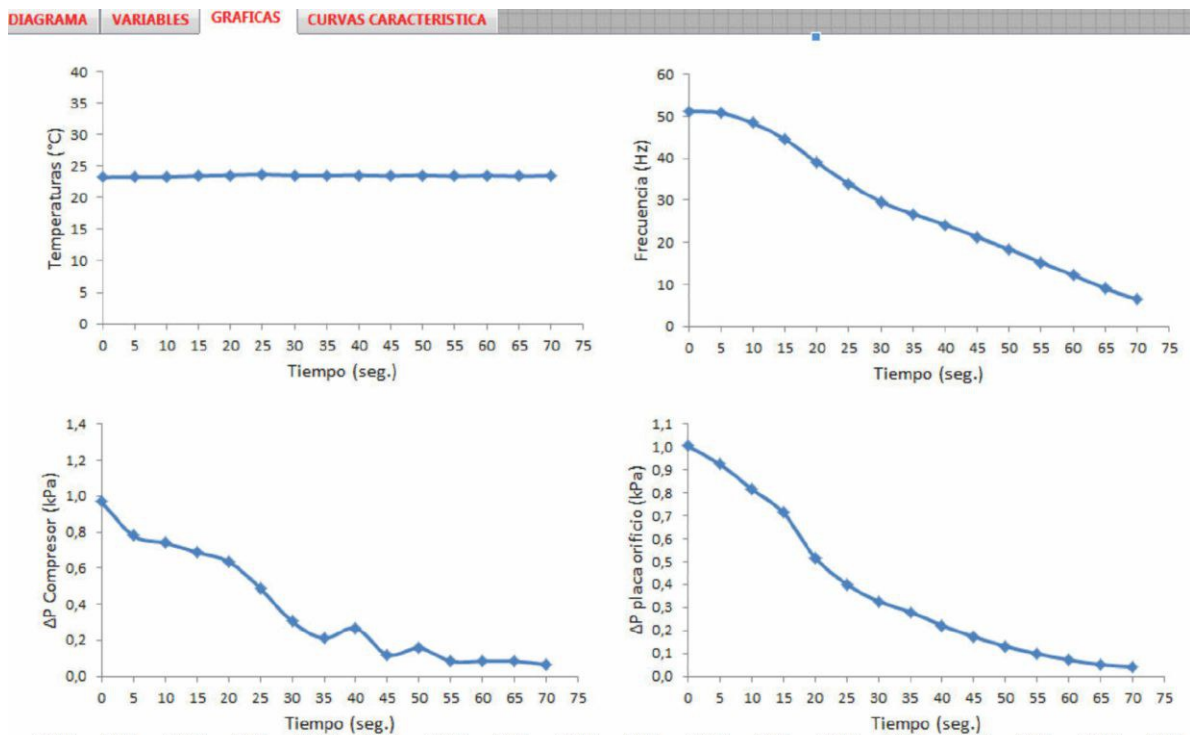


Figura 11. Gráficas obtenidas del banco de pruebas.

otra en el compresor.

Resulta pertinente resaltar, que en la **Fig. 11** se destinó una pestaña denominada «curvas características» con la finalidad de que el operario modifique el diagrama de bloque y genere en esta pestaña curvas de interés (ejemplo de esto la eficiencia del compresor, entre otros) que sea de gran provecho en la docencia e investigación.

CONCLUSIONES

En el trabajo se logró la automatización de un banco de pruebas de compresor centrífugo para fines didácticos e investigación. Se evaluó el sistema de medición y se determinó la inoperatividad del mismo, por lo que se construyó un nuevo sistema de adquisición de datos que consistió en la adecuación del sistema de conversión de voltaje a la salida de los sensores en señal digital, así como la programación de una interfaz gráfica mediante la aplicación del software LabVIEW 8.20. Los resultados mostraron que la metodología empleada en este estudio, acopló de manera adecuada el sistema de medición del banco de pruebas y la presentación en pantalla del comportamiento del compresor en un PC, caracterizado por la descripción de la curva característica de temperatura del fluido, velocidad de rotación del compresor, caída de presión en el compresor y diferencia de presión en una placa de orificio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALONSO D. 2015. Acondicionamiento electrónico de la instrumentación para la automatización de un banco de ensayo de un compresor alternativo. [Trabajo de Grado para optar al título de ingeniero de la energía]. Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones de Minas y Energía, Madrid. 61 pp.
- GOMES G. 2011. Automatización del banco de pruebas ARMFIELD FM30 de una turbina de acción. [Trabajo de grado para optar al título de ingeniero]. Universidad de Oriente, Venezuela.
- GONZÁLEZ J. Y SÁNCHEZ J. 2019. Diseño e implementación de un sistema automático para el control y monitoreo de una planta prototipo de refrigeración con compresores en paralelo. La Libertad, UPSE, Matriz. Facultad de sistemas y telecomunicaciones. 117p.
- GONZÁLEZ Y. 2007. Automatización del sistema de adquisición de datos de una bomba reciprocante tipo pistón. [Trabajo de grado para optar al título de especialista en ingeniería eléctrica], Universidad de Oriente, Venezuela.
- GONZÁLEZ Y. 2011. Teoría de Ingeniería de Medición e Instrumentación. [Trabajo de grado para optar al título de ingeniero], Universidad de Oriente, Venezuela.
- GONZÁLEZ Y., PATIÑO L. Y ESPINOZA H. 2007. *Metodología para diseñar un banco de bombeo bifásico*. Editorial ALCION Montajes e Instalaciones. Madrid-España.
- GONZÁLEZ Y., PATIÑO L. Y ESPINOZA H. 2009. Diseño de un banco de prueba experimental de bombeo de flujo multifásico. *Revista Ingeniería UC*. 16(2): 7-13.
- GONZÁLEZ Y., PATIÑO L., GUZMÁN J. Y DIÓGENES S. 2008. *Automatización de las curvas P-V en una bomba reciprocante*. Editorial ALCION Ingeniería Química. Madrid-España.
- GONZÁLEZ Y., RENGEL J. Y MARTÍNEZ J. 2021. Optimización de parámetros con enjambre de partículas en un molde de colada

- continua. *Ingeniería Industrial*. 41: 29-48.
- GONZÁLEZ Y., RENGEL J. Y MARTÍNEZ J. 2021. Optimización de parámetros en procesos de fundición a presión y compresión mediante el algoritmo de enjambre de partículas. *Memoria Investigaciones en Ingeniería*. 21: 43-55.
- GUTIÉRREZ L. 2022. Diseño de un sistema de automatización para una cámara de vacío empleada para la calibración de barómetros en presión absoluta. [Trabajo de grado para optar al título de ingeniero mecánico]. Fundación Universidad de América, Colombia. 95 pp.
- GUZMÁN J. 2007. Desarrollo de un sistema de adquisición de datos para un banco de pruebas de una turbina hidráulica». [Trabajo de grado de especialización en ingeniería eléctrica], Universidad de Oriente, Venezuela.
- LÓPEZ J., REYES L., TOBÓN J., OTÁLORA J. Y VELÁSQUEZ A. 2005. Aplicación de LabVIEW como instrumento virtual en mediciones de campo magnético (Gaussímetro). *Rev. Colomb.* 37(1): 195-198.
- OLIVEROS M. 2010. Automatización del banco de pruebas ARMFIELD FM-31 de una turbina de reacción. [Trabajo de grado para optar al título de ingeniero]. Universidad de Oriente, Venezuela.
- SALAZAR Y. 2015. Evaluación del comportamiento fluidodinámico del chorro de agua en las cucharas de una turbina tipo PELTON FM-32 mediante un software de CFD. [Trabajo de grado para optar al título de ingeniero]. Universidad de Oriente, Venezuela.
- SUÁREZ L. 2012. Estudio de transferencia de calor por convección natural y convección forzada en la superficie extendida ARMFIELD HT15C, mediante la aplicación de CFD. [Trabajo de grado para optar al título de ingeniero]. Universidad de Oriente, Venezuela.
- TELLO C. 2018. Automatización del estudio de cascadas de álabes de compresor en entorno CFD. [Trabajo de grado para optar al título de ingeniero]. Universidad de Sevilla, España.
- TOBIA G. 2010. *Automatización de un banco de pruebas de bomba centrífuga*. Editorial ALCION Ingeniería Química. Madrid-España.
- TORRES J. 2016. Efecto que se obtiene en la industria con la automatización del sistema de aire comprimido. *Yachana Rev. Cient.* 1(1): 15-22.