

Diseño, implementación y control para un banco de pruebas con bombas centrífugas en conexión serie y paralelo

Ivette **Amores-Silva**
Miriam **Chávez-Estrada**
Mónica **Miranda-Ramos**

Universidad Politécnica Salesiana
Carrera de Ingeniería Electrónica
Guayaquil, Robles 107 y Chambers
ECUADOR

Tels. +593 939292231, +593 959750131
correos electrónicos (emails):
iamoress@est.ups.edu.ec
mchavez1@est.ups.edu.ec
mmiranda@est.ups.edu.ec

Recibido 26-06-2017, aceptado 25-10-2017.

Resumen

El presente artículo muestra un banco de pruebas desarrollado e instalado en la Escuela Superior Politécnica en el Laboratorio de Operaciones Unitarias ESPOL con el objetivo de demostrar a través de la experimentación a los estudiantes de Ingeniería Química la forma en que deben ser operadas las bombas, tanto en paralelo como en serie, infiriendo sus diferentes conclusiones para cada caso. Para lograr este objetivo se ha realizado la implementación y luego la recopilación de datos que aportó al desarrollo del software SCADA en Labview, que permite ingresar el caudal y automáticamente a través de la programación obtener la presión, este proyecto fue concebido desde su diseño, estructura, tanto metalme-cánica como eléctrica y electrónica, además de poseer su propio panel de control y programación.

La metodología utilizada en este proyecto es experimental e inductiva; experimental debido a que parte de su diseño estructural, implementación hidráulica, eléctrica y electrónica, hace posible el accionamiento por medio del panel de control

El proyecto por describir fue financiado por Ing. Carlos Balladares, encargado del laboratorio de la Escuela Superior Politécnica del Litoral ESPOL campus Guayaquil-Ecuador.

o desde el software; inductiva porque a través de los resultados inferidos por medio de las prácticas en el banco de pruebas, se ha podido conseguir datos que favorecen la optimización del sistema.

Palabras clave: SCADA, Arduino, Labview, bombas centrífugas, manómetros, rotámetro.

Abstract (Design, Implementation and Control for a Test Bank with Centrifugal Pumps in Serial and Parallel Connection)

This article shows a testing bench developed and installed in the Escuela Superior Politécnica in the Laboratorio de Operaciones Unitarias ESPOL with the objective of demonstrating Chemical Engineering students, through experimentation, the correct way of operating pumps, on series or parallel layouts, inferring its conclusions on each case. This objective has been attained by performing data collection through it's SCADA software on LabVIEW, that allows the user to set the flow and get, automatically through its software, the pressure.

The design, structure, both metalworking and electrical and electronic equipment, control panel and programming, was conceived for this project.

The methodology applied in this project is experimental and inductive. It's experimental due to it's structural design, hydraulic electric and electronic implementation, enabling the drive through it's control panel or software. It's inductive due to the inferred results through practice on the testing bench, it has been possible to obtain data that favors the optimization of the system.

Index terms: SCADA, Arduino, Labview, centrifugal pumps, pressure gauges, rotameter.

1. Introducción

El presente trabajo busca mejorar la calidad académica mediante el aprendizaje a través de la práctica [1], para lo cual se desarrolló el banco de pruebas [2] con un sistema de adquisición de datos [3]. Un banco de pruebas es una plataforma para

experimentación de proyectos que brindan una forma de comprobación rigurosa, transparente y repetible de gran utilidad en los métodos de enseñanza con importancia relevante en la comprensión de la teoría mediante la implementación [4].

El sistema de adquisición de datos es un método didáctico e ilustrativo que mostrará a los estudiantes y docentes, el comportamiento del banco de pruebas en tiempo real, mismos datos que podrán ser usados para realizar cálculos y comprobar la eficacia del método práctico y el método teórico.

Cuando se realiza algo de forma práctica el ser humano respalda estas acciones en varios tipos de memoria (visual, auditiva, olfativa, lingüística, táctil, contextual, etc.). Es evidente que, si no se memoriza a través de un sentido, se lo hace por los otros [5]. La práctica es la base del aprendizaje [6], por lo que en este caso el banco de pruebas en conjunto con el sistema de adquisición de datos les brinda a los alumnos las herramientas suficientes para la comprensión de la teoría impartida en clases.

El sistema propuesto también le permite al ser humano interactuar con los procesos en los diferentes tipos de industrias sin necesidad de asumir riesgos en la planta, ya que facilitan el control y toma de decisiones de manera remota [7] desde una cabina de mando.

En consecuencia, el presente trabajo tuvo como objetivo diseñar e implementar un sistema de control y adquisición de datos para un banco de pruebas con bombas centrífugas [8] conectadas en serie y paralelo, para lo cual se obtuvo las curvas características de las bombas, se desarrolló un módulo de control manual y remoto del equipo, que es justamente lo que diferencia a este proyecto de otros que han sido aplicados únicamente en forma mecánica como se referencian en los ítems [9],[10], [11], [12], trabajos similares creados para estudiar comportamientos de las bombas, también para la aplicación en laboratorios pero sin el uso de un Sistema SCADA [13],[14].

2. Métodos

La metodología aplicada es experimental [15] e inductiva [16], debido a la implementación se tuvo la oportunidad de elegir los materiales e instrumentos, siguiendo con el diseño de la estructura y finalizando con el cableado de los circuitos de fuerza [17] y de control [18], el que está enlazado al programa realizado en Labview [19]. Se debe ingresar al sistema SCADA el valor de caudal que se obtiene de manera práctica del banco de pruebas, la presión que entregan los transmisores [20] es leída mediante el software. Estos permiten que se realicen los cálculos correspondientes para mostrar las curvas características

[21] dando así a conocer a los operadores el comportamiento de las bombas centrífugas, sus componentes y la variación de las magnitudes que intervienen dentro de este banco de pruebas. Debido a todo este cálculo de presión que se deriva de las válvulas [22] que intervienen en el sistema, se cataloga al método inductivo como un componente de este proyecto.

3. Descripción del banco de bombas hidráulicas

Para el correcto entendimiento del software a desarrollarse se debe definir la estructura en la cual se va a trabajar. De forma física, el banco de pruebas está compuesto por todos sus elementos en acero inoxidable, empezando por el tanque, que previamente se deberá llenar sobre los $\frac{3}{4}$ de su capacidad máxima de 80 litros. Este tanque es el encargado de brindar el agua que es succionada por las bombas. Se muestra la figura 1 del Banco de Pruebas implementado.

En la parte inferior del tanque, como se observa en la figura 2, al inicio del recorrido salen 2 tuberías de 1' donde hay dos válvulas manuales V_1 y V_2 encargadas de dar paso a la circulación del agua en dirección a las bombas centrífugas B_1 y B_2 . Los manómetros M_1 y M_2 indican si existe presión negativa en ese punto. TP_1 y TP_2 son sensores de presión, que permiten adquirir datos en tiempo real, mostrar dichos datos en el



Fig. 1. Banco de pruebas instalado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias, ESPOL



Fig. 2. Banco de pruebas con bombas centrífugas.

sistema SCADA y así sacar las curvas características correspondientes del sistema. De los rotámetros R_1 y R_2 se toma datos manualmente sobre el caudal de agua a partir de ese tramo. Se puede observar presión también en M_3 y M_4 ; continuando con el recorrido se encuentran las válvulas solenoides S_1 , S_2 y S_3 , normalmente cerradas, que se activarán desde un panel eléctrico o bien del sistema SCADA, al igual que las bombas centrífugas. La tubería de 1" donde se sitúa S_3 es una retroalimentación que, al elegir un recorrido en serie, alimenta a B_1 mediante B_2 , aplicando nuevos factores al sistema para obtener nuevas curvas características.

Dichas válvulas dan paso al flujo de agua, dependiendo del sistema que se quiera observar, es decir, bombas individuales, serie o en paralelo, para luego desembocar en una tubería común de 2' que recorrerá el camino final hacia el tanque de agua cerrando el circuito, pasando por un rotámetro R_3 para observar un caudal final, y antes de este, por una válvula V_5 que permitirá crear una nueva presión para su enseñanza y poder visualizarla en los manómetros M_3 y M_4 .

El desarrollo del sistema SCADA permite ilustrar de forma digital lo descrito anteriormente, lo que beneficia a docentes y alumnado quienes se desarrollarían académica y profesionalmente por medio de clases prácticas. Además de las instituciones del sector público y privado quienes son los que requieren contratar profesionales altamente capacitados.

3.1. Sistema de bombas centrífugas en serie

Para realizar un sistema en serie se debe crear un camino con la ayuda de las válvulas en la cual una bomba centrífuga alimente a la otra. Para ello se debe cerrar la válvula V_1 , y mantener las demás válvulas manuales abiertas. Así se envía el agua a B_2 siguiendo el camino como se muestra en la Fig. 3, por lo que se deberá mantener cerrada la válvula solenoide S_2 y dar paso a

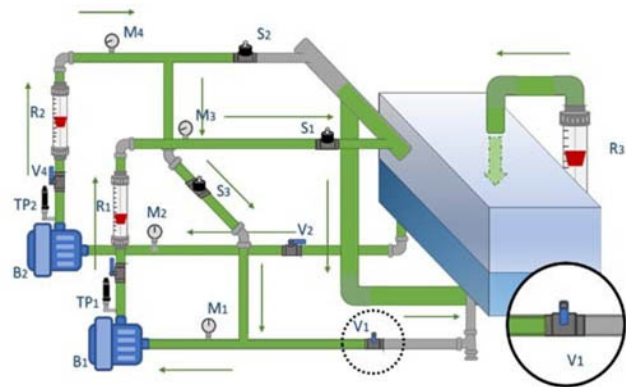


Fig. 3. Sistema de bombas centrífugas en serie.

través del solenoide S_3 . La bomba centrífuga B_1 adsorberá el agua que se le suministre y la enviará a través de S_1 siguiendo el camino restante y desembocando en el tanque.

Como resultado se tendrá que, en un circuito en serie, el caudal (Q_i), donde Q_1 y Q_2 corresponde al caudal de la bomba 1 y bomba 2, respectivamente, se mantiene y la altura total (H_t) del flujo es la suma de la capacidad de ambas bombas.

$$Q_1 = Q_2 \quad (1)$$

$$H_t = H_1 + H_2 \quad (2)$$

3.2. Sistema de bombas centrífugas en paralelo

Aquí el circuito se describe de forma sencilla, ambas absorben agua de formas independiente del tanque solo juntándose al desembocar en el último tramo como se muestra en la Fig. 4.

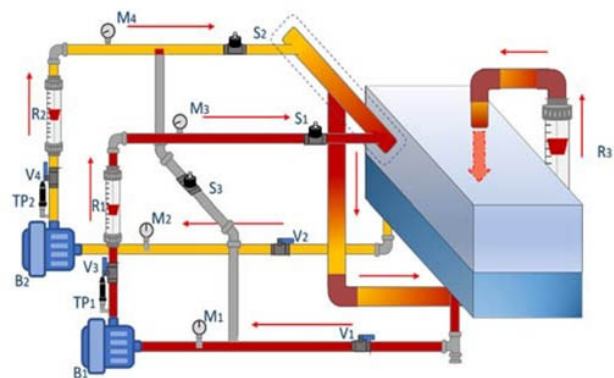


Fig. 4. Sistema de bombas centrífugas en paralelo.

Para ello el sistema debe mantener todas las válvulas manuales abiertas, mientras que solo las válvulas solenoides S_1 y S_2 estarán en el mismo estado, siguiendo con el circuito hasta desembocar de vuelta al tanque.

En un circuito en paralelo el caudal que proporcionan ambas bombas centrífugas se suma, obteniendo un caudal total (Q_t), mientras que la altura (H_t) del flujo será de igual capacidad.

$$Q_t = Q_1 + Q_2 \quad (3)$$

$$H_1 = H_2 \quad (4)$$

4. Marco teórico

Para el desarrollo del programa de modelamiento y simulación se debe obtener los datos de las placas características de ambas bombas centrífugas. Partiendo de estos datos se inicia con el desarrollo del modelo computacional, dentro de la plataforma LabVIEW. Se evaluó todos los parámetros, se crearon hipótesis, se determinaron problemas con sus posibles soluciones y así con los datos recolectados se obtuvieron las curvas características del sistema, por ende, su punto óptimo de trabajo.

4.1. Formulación matemática

El comportamiento de una bomba hidráulica viene especificado en sus curvas características, siendo estas una relación de caudal proporcionado por las bombas en relación con otros parámetros entre los cuales se tiene altura (H), potencia hidráulica (P_h) y rendimiento (N). Estas curvas se obtienen experimentalmente gracias al banco de pruebas y se representan gráficamente en el software SCADA.

A continuación, se detallan las ecuaciones que intervienen:

$$E_p = \frac{P}{\rho g} \quad (5)$$

siendo:

E_p : energía potencial (m)

P : presión (psi=6894,75 Pa), Pa=(kg/ms²)

ρ : densidad del agua (1000 kg/m³)

g : aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

$$E_c = \frac{V^2}{2g} \quad (6)$$

$$V = \frac{Q}{A} \quad (7)$$

$$A = \pi r^2 \quad (8)$$

donde:

E_c : energía cinética (m)

V : velocidad del fluido (m/s)

Q : caudal (lpm), lpm=(1.67 x 10⁻⁵ m³/s)

A : área (m²)

r : radio, 0.0127 m

$$H = E_p + E_c \quad (9)$$

$$P_h = \frac{g \rho Q H}{3600} \quad (10)$$

$$N = \frac{P_h}{VI \cos \phi} \quad (11)$$

Por lo que:

H : altura (m)

P_h : potencia hidráulica (w, vatio)

N : eficiencia de la bomba (%)

$\cos \phi$: constante 0,95

V : voltaje de alimentación (110 V)

I : corriente en bombas ($B_1 = 7,3$ Amp / $B_2 = 8,8$ Amp)

Para trabajar con el sistema computacional es elemental ingresar manualmente los datos del caudal en lpm (litros por minuto) que se observa en los rotámetros R_1 y R_2 , mientras se realiza la interpretación de los valores de presión que se obtiene de los sensores TP_1 y TP_2 .

4.2. Obtención de presión hidráulica

Los sensores de presión hidráulica colocados en puntos estratégicos del sistema funcionan a 24 volt dc y proporciona una corriente de salida de 4-10 mA, que, en relación a psi, significa que la presión va de 0 a 100 psi. La gráfica de la Fig. 5 nos muestra dicha relación haciendo uso de la ecuación de la recta dando 2 puntos .

$$y - y_1 = \left[\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right] (x - x_1) \quad (12)$$

Con la tarjeta Arduino no se puede leer corriente, solo voltaje, es por eso que por medio de ley de Ohm se sabe que añadiendo una resistencia de 250 ohm, en este caso, tendrá un voltaje de salida de 1-5 volt, del cual se debe realizar otra relación para poder trabajar sobre este nuevo dato y relacionarlo a psi.

Luego de considerar estas conversiones, se procede con la programación del software. Así, una vez que se tuvo despejados todos los factores dominantes para la obtención de resul-

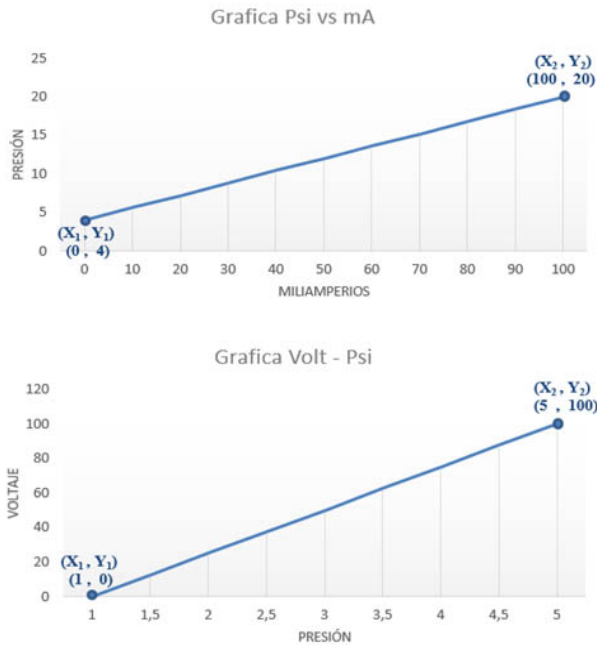


Fig. 5. Relación Psi-mA (arriba) y relación Volt-Psi (abajo).

tados, se procede a poner en marcha el banco de pruebas para solo así poder construir las curvas características con datos reales y poder sacar conclusiones sobre estas.

5. Resultados

Las bombas implementadas transformaron un trabajo mecánico convirtiéndolo en uno de tipo hidráulico, en conjunto con una correcta instalación eléctrica y electrónica, se plantea obtener un ambiente óptimo de estudio. El banco de pruebas con bombas centrífugas se encuentra en estado funcional tanto física como lógicamente, e instalado en el Campus Gustavo Galindo, ESPOL para la práctica de los estudiantes, obteniendo los siguientes resultados.

5.1. Curvas características del sistema

Dentro del software Labview se hizo la programación respectiva para poder presenciar en tiempo real el comportamiento de las bombas centrífugas. Se pide ingresar los parámetros de caudal, que se obtiene de forma visual a través de los rotámetros R_1 Y R_2 , y el valor de presión que brinda los sensores TP_1 y TP_2 e interpretadas por la tarjeta Arduino, donde el software toma valor automáticamente una vez encendido el equipo. Para presentar la primera curva, caudal vs altura, hacemos uso de las ecuaciones 5, 6 y 9, donde se

detalla a continuación un ejemplo para la obtención de un punto.

$$E_c = \frac{[(6.41)0,03287 \text{ m/s}]^2}{19.62 \text{ m/s}^2}$$

$$E_c = 0,0023 \text{ m}$$

$$E_p = \frac{68}{1,4228} \text{ m} = 47,78 \text{ m}$$

$$H = 47,78 + 0,0023 = 47,79 \text{ m}$$

Si siguiendo el mismo proceso, se obtiene 9 puntos estratégicos de forma práctica para Bomba 1 y Bomba 2, véase tabla 1, para crear una curva simulada y proceder a comparar con los puntos dados por el fabricante.

Dentro de esta comparación se forman dichas curvas mostradas en la Fig. 6, se observa similitudes en sus puntos manejando un margen de discrepancia del $\pm 5\%$, debido al valor de la resistencia para la lectura de los sensores de presión y al recorrido que el flujo realiza donde intervienen diversos factores.

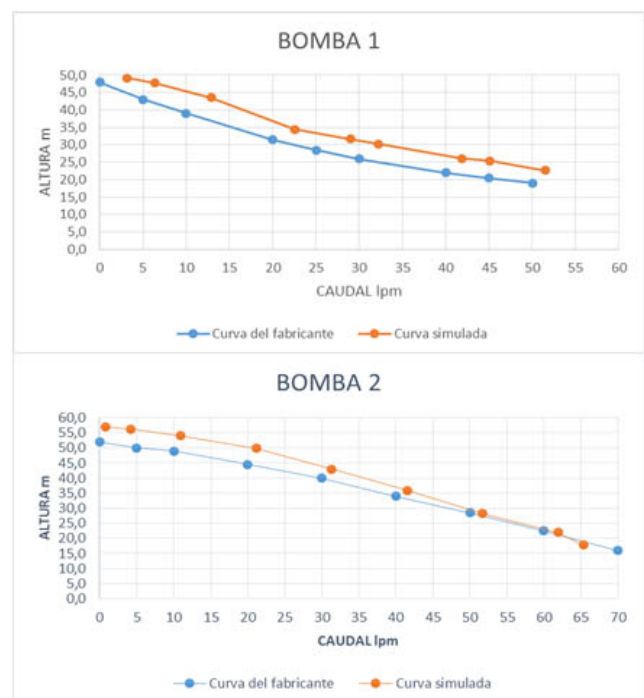


Fig. 6. Comparación entre la curva del fabricante con la curva simulada.

Tabla. 1. Puntos de bomba 1 y bomba 2.

BOMBA 1				
núm.	DEL FABRICANTE		CURVA SIMULADA	
	Q_1 /min	H metros	Q_1 /min	H metros
1	0	48,0	3,19	49,19
2	5	43,0	6,41	47,79
3	10	39,0	12,86	43,58
4	20	31,5	22,52	34,46
5	25	28,5	28,96	31,67
6	30	26,0	32,18	30,28
7	40	22,0	41,85	26,10
8	45	20,5	45,07	25,41
9	50	19,0	51,51	22,63

BOMBA 2				
núm.	DEL FABRICANTE		CURVA SIMULADA	
	Q_1 /min	H metros	Q_1 /min	H metros
1	0	52,0	0,75	56,92
2	5	50,0	4,15	56,22
3	10	49,0	10,94	54,12
4	20	44,5	21,14	49,92
5	30	40,0	31,34	42,92
6	40	34,0	41,53	35,94
7	50	28,5	51,73	28,26
8	60	22,5	61,93	22,00
9	70	16,0	65,33	17,80

Para que el software presente una curva Caudal vs. Altura simulada, tomando más de 9 puntos para mejorar la presentación de la curva, ya que por encima de esta se va a proyectar en tiempo real un "punto informativo" o "punto óptimo" en donde señala su realidad en ese instante.

Para un mejor entendimiento se toma de ejemplo un caudal en Bomba 1 de $Q = 16,08$ lpm, presentando una presión $P = 57$ psi y siguiendo con el ejemplo anterior obtendremos una altura de $H = 40,06$ m. Este nuevo punto se sitúa entre los ya dados 3 y 4 en la tabla 1, y se proyecta a continuación en la figura 7.

La curva Caudal vs. Altura es la única que nos brinda el fabricante de ambas bombas como información, pero ya partiendo con estos datos se obtiene las demás curvas características. Tomando el resultado anterior, se calcula el siguiente punto de trabajo para las demás gráficas de Bomba 1.

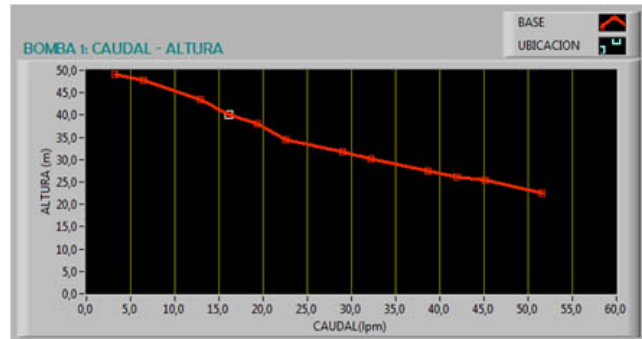


Fig. 7. Punto óptimo de trabajo de la Bomba 1: Caudal vs. Altura.

$$P_h = \frac{(9,81)(1000)(0,964635)(40,06)}{3600} w$$

$$P_h = 105,33 w$$

$$N = \frac{123,62}{(110)(7,3) \cos(0,95)} (100)$$

$$N = 13,1197\%$$

Para hacer posible la presentación de cada una de estas curvas, se empieza por guardar los puntos tomados en pruebas y asignarlos a su matriz respectiva. En el nodo de fórmulas ingresan los valores de Presión y Caudal devolviendo los valores de altura, potencia hidráulica y rendimiento.

La visualización de las gráficas y el punto de trabajo se logran a través de un bloque de trabajo que interpreta estos valores en el plano xy.

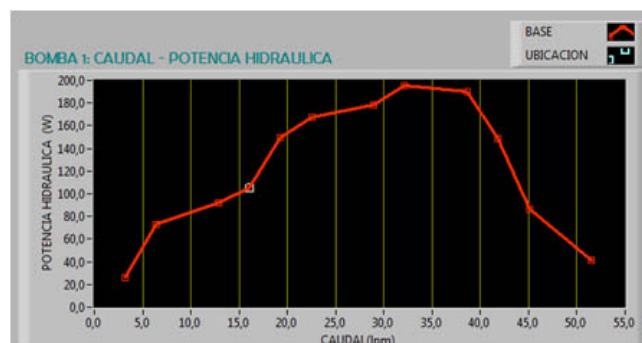


Fig. 8. Punto óptimo de trabajo de la Bomba 1: Caudal vs. Potencia Hidráulica.

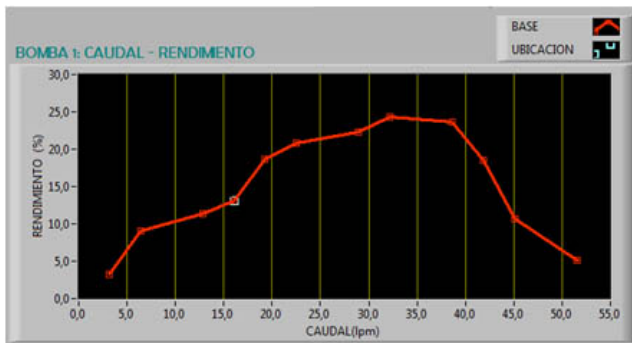


Fig. 9. Punto óptimo de trabajo de la Bomba 1: Caudal vs. Rendimiento.

Para la Bomba 2 se realizó el mismo procedimiento. Las gráficas de bombas en serie se calculan con la ecuación 1, 2 y en paralelo con la 3, 4.

6. Conclusiones

El Sistema SCADA tiene la capacidad de calcular y mostrar el punto de operación en tiempo real en el cual se está trabajando, y a través de la gráfica Caudal vs. Altura permite observar si dicho punto está dentro de los parámetros óptimos, de manera que al ubicarse el punto fuera de la gráfica indica que la bomba tiende a cavitarse, es decir, que las condiciones de trabajo no son ideales, como consecuencia de esto la bomba hace un ruido característico seguido del calentamiento de la misma.

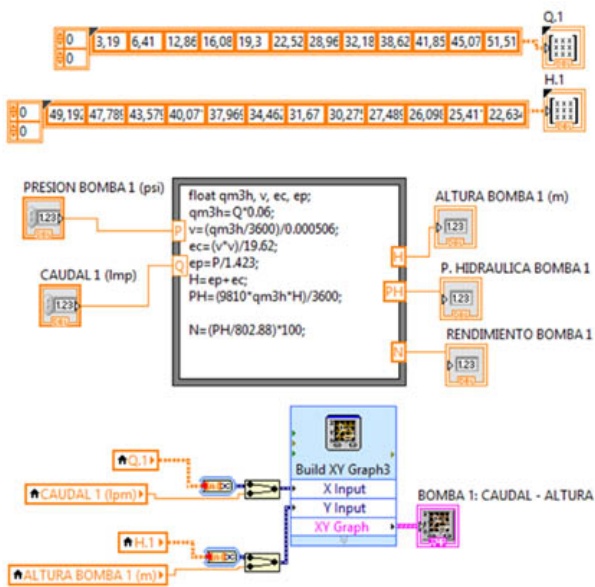


Fig. 10. Captura de la programación dentro del software Labview.

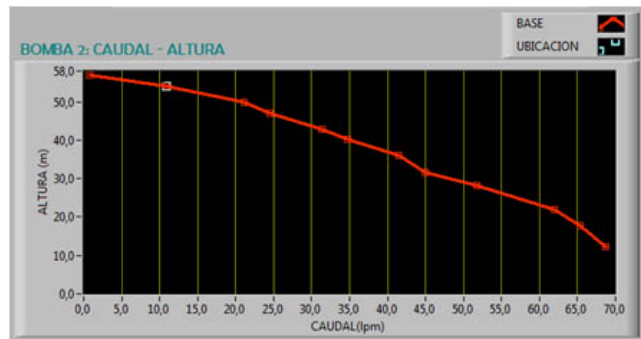


Fig. 11. Punto óptimo de trabajo de la Bomba 2: Caudal vs. Altura.

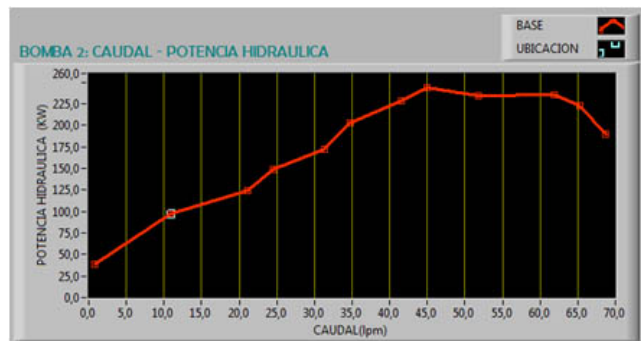


Fig. 12. Punto óptimo de trabajo de la Bomba 2: Caudal vs. Potencia Hidráulica.

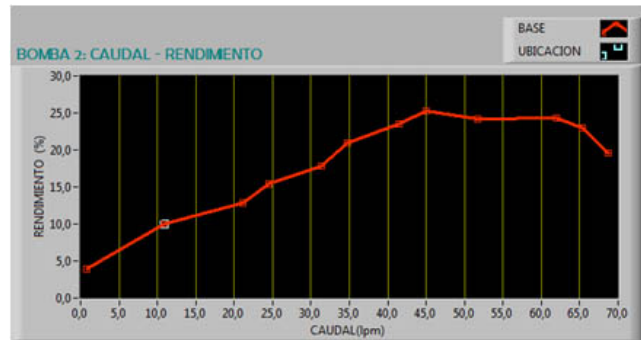


Fig. 13. Punto óptimo de trabajo de la Bomba 2: Caudal vs. Rendimiento.

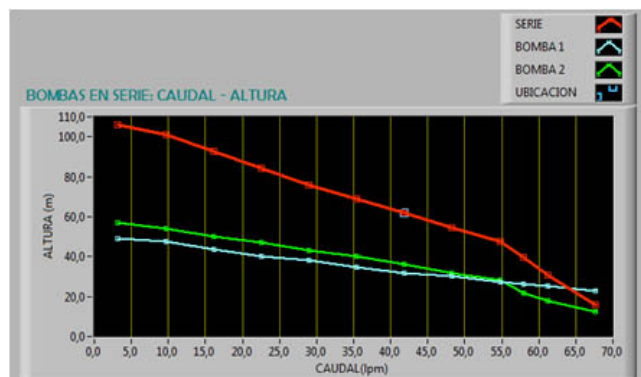


Fig. 14. Gráfica Caudal-Altura con bombas en serie.

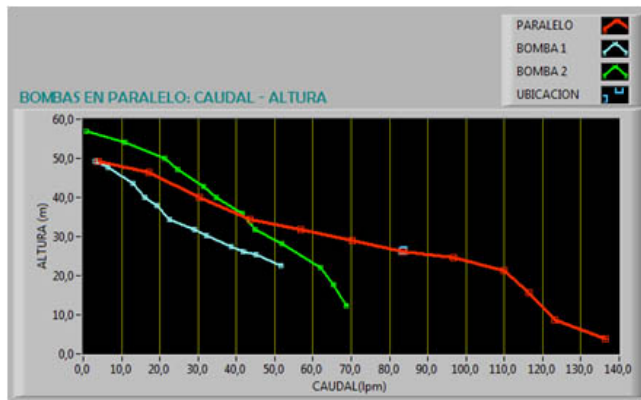


Fig. 15. Gráfica Caudal-Altura con bombas en paralelo.

Dicha curva base es aquella que fue tomada de manera práctica con el banco de bombas, después de haber sido comparada con la curva ideal del fabricante como se observó en la Fig. 6, y del cual se partió para obtener las demás curvas.

Este trabajo cumple la función de instruir a los estudiantes de Mecánica de Fluidos acerca de los diferentes comportamientos de los sistemas en serie y paralelo.

El análisis teórico vs. práctico se logró obtener un margen de error de aceptable, puesto que al conseguir los valores prácticos existe oscilación por las mediciones tomadas en tiempo real de los sensores, por las pérdidas de líquido, pérdidas de camino y otros factores externos.

La eficiencia da a conocer su rendimiento mecánico para verificar su optimización, si el caudal es nulo por ende su rendimiento es nulo.

El resultado de potencia hidráulica se considera de importancia, al haber pérdidas o fugas, se presenta una deficiencia de trabajo en el equipo.

Por las razones antes mencionadas, este trabajo se destaca en capacitar al futuro ingeniero sin experiencia profesional aún, que el mismo pueda, a través de la experimentación de la planta vs. SCADA, encontrar el punto óptimo de funcionamiento y así evitar el daño de la bomba, por lo que este banco de pruebas es un entrenamiento dentro del área hidráulica y electromecánica.

Un sistema SCADA al supervisar, controlar y monitorizar datos en remoto y tiempo real con el fin de mejorar las maniobras de un equipo desde una cabina de mando, dan paso al ingeniero en área de electrónica, que se encuentran capacitado para diseñar circuitos, construir mecanismos, crear alertas y prevenir desvíos de forma efectiva, independientemente del lugar en el que estén localizados tanto el operador y el equipo.

Agradecimientos

A nuestra tutora de la carrera de ingeniería electrónica, Ing. Mónica Miranda M.Sc. y un especial agradecimiento a la Econ. Gloria Chávez M.Sc., por su apoyo e inversión de tiempo al momento de corregirnos y alentarnos a continuar superarnos académicamente. Gracias a Dios, a nuestros padres y aquellas personas que formaron parte directa e indirecta en este proceso.

Referencias

- [1] C. Álvarez-Álvarez, "La relación teoría-práctica en los procesos de enseñanza-aprendizaje," 2012 [online]. Disponible en: <https://goo.gl/3F3jKT>
- [2] J. Rodríguez, "Realización de un banco de pruebas casero," 14 de enero del 2012 [online]. Disponible en: <https://goo.gl/VBHjZ9>
- [3] National Instruments, *Definición: sistema de adquisición de datos*, 2017 [online]. Disponible en: <https://goo.gl/Ryrdok>
- [4] C. Álvarez-Álvarez, "Teoría frente a práctica educativa: algunos problemas y propuestas de solución," 2013, [online]. Disponible en: <https://goo.gl/RK5nnf>
- [5] Instituto de Formación de Práctica Judicial, *Importancia de la práctica en la educación*, 10 de diciembre del 2012 [online]. Disponible en: <https://goo.gl/7gzxT2>
- [6] M. Vásquez-Reina, "Aprender haciendo," 13 de febrero del 2012 [online]. Disponible en: <https://goo.gl/YR52hm>
- [7] M. Rodríguez-Cerezo, "Sistemas de control remoto para aplicaciones domóticas a través de internet", octubre 2014 [online]. Disponible en: <https://goo.gl/xV8xQb>
- [8] A. R. Manchegiani, "Bombas centrífugas," septiembre 2014 [online]. Disponible en: <https://goo.gl/Bvxx9V>
- [9] F. Agila-Díaz, & I. Calahorrano-Pérez, "Diseño y construcción de un banco de pruebas para bombas centrífugas conectadas en serie y paralelo," 14 de junio del 2011 [online]. Disponible en: <https://goo.gl/kcEBjP>
- [10] A. Correa-Haz, "Proyecto de banco de pruebas para bombas centrífugas," septiembre del 2016 [online]. Disponible en: <https://goo.gl/yPL4P1>
- [11] S. A. Cajo-Solano, L. E. López-López, "Diseño y construcción de un banco de pruebas para la determinación de la eficiencia de bombas centrífugas domiciliarias," 2012 [online]. Disponible en: <https://goo.gl/bs8XZy>
- [12] C. A. Moncada-Brochero, & J. Vacca-Duran, "Implementación de un banco de pruebas de bombas centrífugas conectadas en serie y en paralelo para el Laboratorio de Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña," 2010 [online]. Disponible en: <https://goo.gl/71cXRc>
- [13] E. Pérez-López, "Los sistemas SCADA en la automatización industrial", 27 de febrero del 2015 [online]. Disponible en: <https://goo.gl/5yXyhZ>

- [14] L. Corrales, "Interfases de protocolos de comunicación," diciembre 2007 [online]. Disponible en: <https://goo.gl/eS8tc6>
- [15] A. Marradi, "Método experimental, método de la asociación y otros caminos de la ciencia," 2013 [online]. Disponible en: <https://goo.gl/jfLbXG>
- [16] M. Sierra-Guzmán, "Métodos generales," 2012 [online]. Disponible en: <https://goo.gl/Me5vkn>
- [17] J. Ribas, "Circuito de fuerza y circuito de maniobra en instalaciones automatizadas," 2017 [online]. Disponible en: <https://goo.gl/Eds4qH>
- [18] J. Ribas, "Definición de circuitos de maniobra," 2017 [online]. Disponible en: <https://goo.gl/Eds4qH>
- [19] I. Jiménez-Escamilla, "Control de temperatura de un horno eléctrico con lógica difusa," junio 2012 [online]. Disponible en: <https://goo.gl/CFVLQ4>
- [20] E. Saldaña, M. Santos, & H. Zúñiga, "Diseño y construcción del sistema de control para un intercambiador de calor tubular," mayo 2013 [online]. Disponible en: <https://goo.gl/aGYZNM>
- [21] A. F. Salas, A. F. Salas, & L. P. Urrestarazu, "Curvas Características de una bomba," agosto 2008 [online]. Disponible en: <https://goo.gl/zxsI36>
- [22] Y. Matarollo, "¿Cómo funcionan las electroválvulas o válvulas solenoides de uso general?," enero 2014 [online]. Disponible en: <https://goo.gl/CyFeCJ>