



UNIVERSIDAD DE OVIEDO
EP de Ingeniería de Gijón
EI Minas, Energía y Materiales
de Oviedo.

Máster Universitario en
Ingeniería Energética
Curso 2017-2018

DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE UN BANCO DE PRUEBAS HIDRAULICO

CADENA, V. Jairo*; BLANCO, M. Eduardo**

[*]Alumno [**]Tutor

Uo266987@uniovi.es

Departamento de Energía de la Universidad de Oviedo

RESUMEN

En el creciente campo de la industria y sus nuevas tecnologías, tanto los estudiantes como profesionales se ven atraídos a comprender los fenómenos que suceden en un proceso tecnológico, para de esta manera tener un mejor desarrollo profesional y un mayor campo laboral.

En cualquiera de los procesos, la necesidad de medir y controlar variables físicas o químicas como presión, caudal, temperatura, nivel, velocidad entre otras, nos han llevado a disponer de herramientas que facilitan nuestra necesidad de controlar mayor cantidad de procesos por un solo operador y en tiempo real.

Este proyecto tiene como objetivo principal diseñar una interfaz de control y supervisión capaz de brindarnos todas las herramientas necesarias para nuestros requerimientos con la más mínima complejidad.

Este estudio se enfoca en entender el funcionamiento y la operación energética de las dos bombas hidráulicas de tipo centrífugas, operándolas Individualmente y de manera integrada en serie y en paralelo.

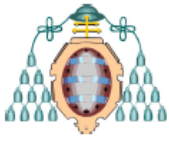
ABSTRACT

In the growing field of industry and its new technologies, both students and professionals are attracted to understand the phenomena that occur in a technological process, in order to have a better professional development and a greater work field.

In any of the processes, the need to measure and control physical or chemical variables such as pressure, flow, temperature, level, speed among others, have led us to have tools that facilitate our need to control more processes by a single operator and in real time.

The main objective of this project is to design a control and supervision interface capable of providing all the necessary tools for our requirements with the minimum complexity.

This study focuses on understanding the operation and the energetic operation of the two centrifugal type hydraulic pumps, operating them Individually and in an integrated way in series and in parallel.



NOMENCLATURA

B1: Bomba numero 1

B2: Bomba numero 2

Formulas:

H: Altura

P: Presion

Y: Peso específico Kg/m^3

Z: Nivel de referencia.

G: Gravedad.

PA: Potencia que se agrega al fluido (watt).

Q: Flujo volumétrico o caudal del fluido.

Y: Peso específico del fluido.

Q: Flujo volumétrico o caudal del fluido.

A: Área de la sección transversal.

V: Velocidad del fluido.

INTRODUCCION

En el mercado industrial, se obligan a ser muy competitivos y a mejorar sus técnicas de control, evolucionando continuamente en los sistemas de automatización mediante paneles de control visual, el cual nos permite tener manejo del sistema y sus elementos en tiempo real.

Estos paneles son una gran ayuda para la supervisión y monitoreo de las variables físicas del sistema tales como presión, caudal, potencia, temperatura entre otras; localizando en una sola pantalla todo el control de un proceso industrial y así

aumentando la eficiencia del trabajo. (Orellana Villavicencio, Fernández Vallejo, Hualpa Cumbicus, & Ludeña Gaona, 2013)

El banco de pruebas existente en la Universidad de Oviedo Edibon Scada es manejado con un software que puede usarse de manera sencilla y didáctica, el mismo que tiene una interface de control a través de una tarjeta de adquisición de datos USB 6008 NI que permite manipular los elementos y sus variables físicas. (Edibon, 2018)

MARCO TEORICO

DESCRIPCION DE LAS INSTALACIONES FISICAS

- 1.- Bombas centrifugas
- 2.- Tubería de succión
- 3.- Tubería de descarga
- 4.- Sensor de presión
- 5.- Medidor de caudal
- 6.- Válvula de control de caudal
- 7.- Válvula
- 8.- Depósito de agua

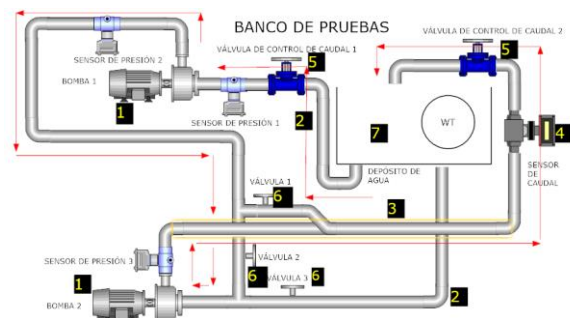
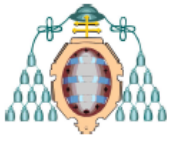


Figura 1. Disposición del banco de pruebas

Las bombas centrifugas (1) son el principal elemento del sistema, ya que están



encargadas de mover el fluido por todo el sistema de tuberías; el sistema se compone por tuberías de succión (2) de 1 pulgada y tubería de descarga de 1.5 pulgadas (3). (Hicks, 2012)

En la entrada de la bomba, en la cañería de succión se encuentra un sensor de presión (4) que monitorea la presión con la que el fluido va a llegar hasta las bombas, posterior a este contacto del fluido con las bombas la velocidad y presión serán diferentes, por eso tenemos otro sensor de presión subsecuente a la bomba.

Es necesario conocer que un transductor de presión es un dispositivo capaz de transformar, un determinado tipo de energía de entrada en otro diferente de salida, convierte una señal eléctrica analógica. (Ramón Pallás, 2003) En nuestra bomba tenemos transductores que captan la señal de tres sensores: sensor de presión de descarga: rango: 0-2.5 bar; sensor de presión de descarga: rango: 0-6 bar y sensor de presión aspiración: rango: -1 -0 bar. (Edibon, 2018)

Adicionalmente encontramos un medidor de caudal (5) que lee al sensor de caudal: 0-150 litros/minuto. La tubería de succión (2) y la tubería de descarga (3).

Tenemos válvulas manuales (7) para la disposición de cada prueba y la válvula de control de caudal (6) que nos permite variar según nuestras necesidades.

El depósito de agua (8) es el encargado de suministrar el fluido necesario para el correcto funcionamiento del sistema, tiene una capacidad de 60 litros y permite ahorro de agua ya que se recircula el fluido.

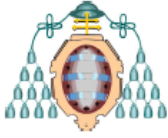
BOMBAS HIDRAULICAS

Las bombas hidráulicas son las encargadas de transformar la energía mecánica, son máquinas capaces de comunicar energía a través de fluidos que circulan por su interior. Dichos fluidos pueden remontar el desnivel geométrico o el gradiente de presiones que pudiera existir entre dos puntos en una misma red. De todas las máquinas, las bombas hidráulicas son las más versátiles pues es posible adaptarlas a una gran diversidad de condiciones de explotación (potencia, caudales, alturas de explotación, líquidos, materiales, etc.)

El método de impulsar el fluido determina el tipo de bomba que es y las características específicas de la misma, los tipos de bombas más habituales en función del elemento impulsor son las de desplazamiento positivo o volumétricas y rotodinámicas.

Las primeras (bombas de engranajes, de pistones, de tornillo sinfín, etc.) confinan un volumen finito de fluido entre sus componentes mecánicos y una vez encerrado herméticamente lo desplazan o impulsan hacia la zona de mayor presión. En este tipo de bombas existe por tanto una frontera física claramente definida entre la zona de alta presión y la de baja presión.

Las segundas (bombas axiales, diagonales, radiales, etc.) consiguen el aumento de presión obligando al fluido a desplazarse por los conductos divergentes que quedan entre los álabes del rodete, por el efecto de la fuerza centrífuga a la que el fluido se ve sometida con el giro del rodete o impulsor.



Como consecuencia de lo anterior, en este tipo de bombas no existe una frontera física claramente definida entre la zona de alta presión y de baja presión, sino que la presión va aumentando progresivamente conforme el fluido va avanzando. (Jiméne, 2011).

Las bombas rotodinámicas son comúnmente las más utilizadas. El campo de utilización de estas bombas crece día a día y con ellas se consigue la impulsión desde grandes caudales y pequeñas alturas hasta pequeños caudales y grandes alturas, pasando por todas las situaciones intermedias

Algunos de los usos más importantes de las bombas hidráulicas en las industrias españolas nos permiten valorar la importancia de conocer su funcionamiento, el regadío es una pieza fundamental en el sistema agroalimentario español. Aporta más del 50% de la producción final agraria, ocupando solamente el 20% de la superficie agrícola útil del país. Una hectárea de regadío produce unas seis veces lo que una hectárea de secano y genera una renta cuatro veces superior, que además es más segura, permitiendo diversificar producciones y aportando una elevada flexibilidad a la explotación agraria. Es por ello por lo que transformar las tierras de secano en regadío sea objeto de deseo de todo agricultor.

Pero esta transformación debe efectuarse bajo criterios de eficiencia energética que permitan que los costes de explotación futuros se reduzcan al mínimo requerido. Las técnicas de riego han evolucionado del riego por inundación o gravedad a través del suministro de agua por acequias, cauces y canales a los riegos por aspersión mediante el suministro de agua por tuberías a presión, y

esto es posible mediante el uso de sistemas de bombeo, es decir, energía que se demanda y consume por esas bombas. Este proceso de modernización ha dado lugar a que en los últimos 30 años el consumo de agua se haya reducido en más de un 20%, mientras que el consumo de energía se ha incrementado en un 650%. (Quintero Sánchez de Vera, 2018)

Mediante métodos prácticos podemos apreciar las fallas que pueden presentarse en un proceso de bombeo de agua, independientemente que ese sea en serie o en paralelo.

FUNCIONAMIENTO EN SERIE

Cuando tenemos un conjunto de dos bombas en serie, tenemos que conocer el comportamiento del conjunto que se dará sumando el salto de ambas bombas para un caudal constante, el caudal de cada bomba será el mismo y corresponderá al caudal de funcionamiento.

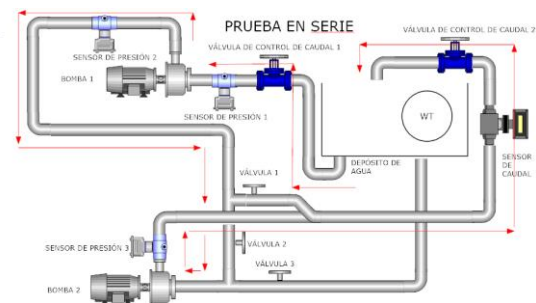


Figura 2. Diagrama del equipo en serie

El rendimiento de dos bombas en serie, dado que cada bomba conduce el mismo caudal volumétrico Q total. La primera bomba conduce el fluido desde la fuente aumentando en algo su presión y entrega así el fluido a la bomba 2 la cual aumenta más su presión y la lleva hasta su destino.



Las pérdidas de la primera bomba son dadas por la línea de succión y el incremento inicial de presión.

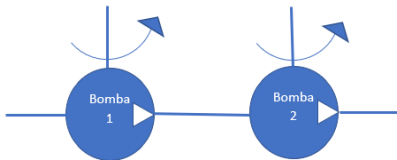


Figura 3. Operación de bombas en serie

Al tener dos bombas en serie al igual que en paralelo se debe conocer perfectamente las características de cada bomba, ya que existe la probabilidad que una bomba aporte solamente pérdidas al sistema y aumentando el consumo de energía.

FUNCIONAMIENTO EN PARALELO

Si es que tenemos un sistema que funcione con dos bombas trabajando en paralelo para alimentar una sola tubería es muy importante cual será el resultado de la suma de los caudales manteniendo el salto.

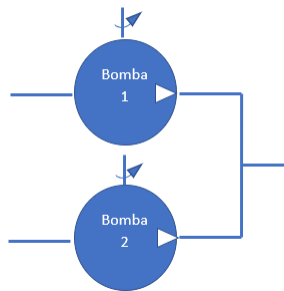


Figura 4. Operación de bombas en paralelo

La bomba 1 opera en un rendimiento más bajo, actuando de manera individual y cuando tenemos una activación de las dos bombas el flujo aumenta, pero también aumentarán las pérdidas de energía debido a la fricción y a las pérdidas menores.

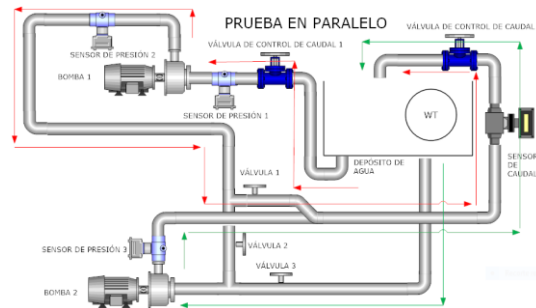


Figura 5. Diagrama del equipo en paralelo

La bomba 1 experimenta la carga más alta, una vez que se equilibra el flujo de las bombas 1 y 2 distribuyen flujos iguales cada una que será la mitad del flujo total.

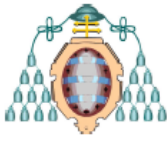
Se realiza un análisis similar para una mayor cantidad de bombas, pero es necesario estudiar con cuidado la operación de cada bomba con todas las combinaciones posibles de carga y flujo.

METODOLOGIA

La investigación de mejoras de los métodos de trabajo, centradas en la reducción de consumos de energía, los costos de producción y las emisiones de gases de efecto invernadero de los sistemas de reutilización; es de gran interés en la ingeniería y en la industria.

El control industrial ha dado cambios muy notorios sobre todo con la aparición de la electrónica, la que ha permitido una compleja automatización de procesos y optimización de recursos, mejorando de manera destacada la eficiencia en el funcionamiento de las empresas.

El control de potencia es la principal función de la automatización, también el tratamiento y adquisición de datos, abarcando variadores



de frecuencia, motores eléctricos, autómatas programables, detectores, disyuntores, contadores, interruptores y pulsadores.

La función básica de la automatización consiste en establecer o interrumpir la alimentación de los receptores, siguiendo instrucciones de los operadores de datos, esas órdenes están dadas a partir de la información obtenida de la adquisición de datos y acciones humanas.

Nuestro banco de pruebas está diseñado a partir de un software de monitoreo y control; el sistema de monitoreo y control se encuentra diseñado en LabVIEW, esta herramienta de programación en lenguaje G es de uso sencillo para simplificar su manejo, es necesario un ordenador para poder usarla.

En el banco de pruebas las bombas no tienen altura para evitar sobrepresiones y tener un arranque nominal.

Además, utilizamos la tarjeta DAQ USB-6008 NI: que es un dispositivo electrónico fabricado por National Instruments, dispone de un puerto USB multifuncional, necesita de un software para funcionar, DAQmx, a través de este programa LabVIEW reconoce la tarjeta.

La metodología seguida para la realización de este trabajo ha sido el diseño de diferentes parámetros del sistema de control del banco de pruebas, basándonos en los requerimientos del usuario.

Para el diagrama del banco de pruebas utilizamos el software SmartDraw, el mismo que nos proporciona todas las herramientas de ingeniería para obtener un gráfico en 2D y con imágenes más idóneas, que permiten obtener una idea más clara del

funcionamiento de los distintos experimentos e individualizar las imágenes.

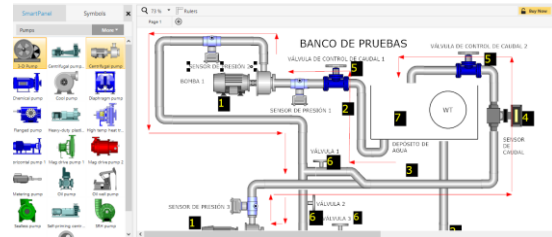


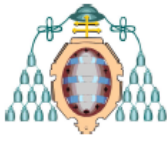
Figura 6. Software SmartDraw para diseño en ingeniería

Una vez que tenemos instalados los softwares necesarios los actualizamos con los parches necesarios para que sea compatible el programa LabVIEW con el NI DAQmx y así, nos proporcione lectura de señal de la tarjeta.

Las pruebas de reconocimiento de la tarjeta USB 6008 NI, a través del uso de los drivers disponibles en la misma, no lograban establecer conexión. Después de comprobar la compatibilidad del programa nos percatamos la necesidad de una versión anterior que sea compatible con este, siendo compatible la versión de LabVIEW 2009, 2010, 2011, 2012 para el DAQmx 9.5.5. disponible.

NI-DAQmx Version	8.5	8.6	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
9.1.5												
9.2												
9.2.1												
9.2.2												
9.2.3												
9.3												
9.3.5												
9.4												
9.5												
9.5.1												
9.5.5												
9.6												
9.6.1												
9.6.2												
9.7												
9.7.5												
9.8												
9.9												
14.0												

Figura 7. Compatibilidad de los softwares



Una vez establecida la conexión de la tarjeta con LabVIEW se realiza una prueba de lectura de señal en la opción Self-Test.

En el DAQmx podemos acceder a la opción "DEVICE PINOTS" para poder proceder con la programación de los pines; mismos que estarán alimentados por 5 voltios en el numero 31.

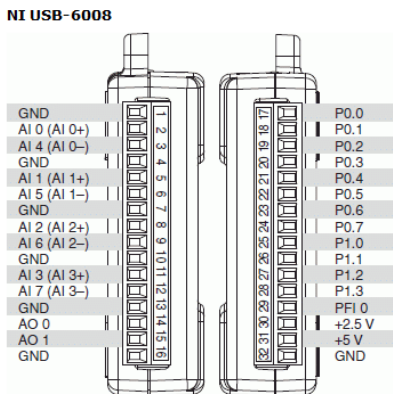


Figura 8. Disposición de los pines tarjeta USB_6008 NI

Los sensores y sus respectivas señales están adaptados para trabajar con señales de -5V a +5V, y los sensores se encuentran conectados en los pines del 2 al 16.

Una vez que el asistente DAQmx ha reconocido la tarjeta, están disponibles las entradas y salidas con las que podremos tomar los datos y reflejarlos en nuestra pantalla de control mediante la tarjeta de adquisición, y visualización de gráficas de prueba y pasar a programar la tarjeta.

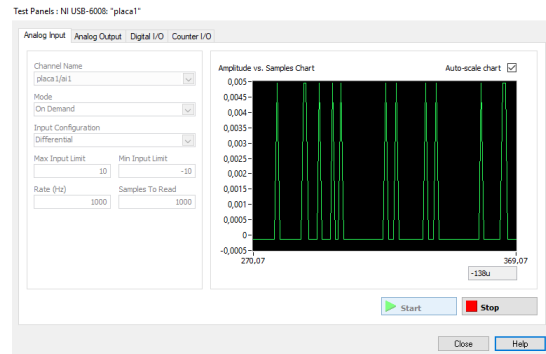


Figura 9. Lectura de prueba de la tarjeta de adquisición de datos

En LabVIEW, es creado un nuevo proyecto empezando por un asistente que permitirá programar la tarjeta y modificar la arquitectura de la señal que tiene una entrada analógica con una señal de voltaje emitida por los sensores del banco.

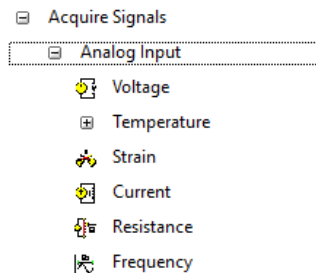


Figura 10. Selección de tipos de las entradas analógicas y el tipo de lectura

Nos permitirá estas mismas opciones para programar todas las entradas analógicas de la tarjeta.

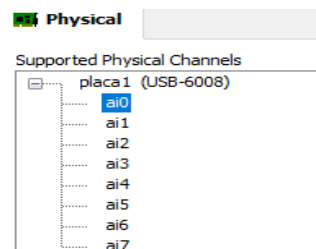
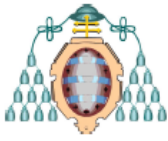


Figura 11. Selección de las entradas analógicas a programar



Se modifican las variables para las características requeridas de +5 a -5 voltios, el modo de adquisición de muestra continua, y 1K de ejemplos a leer por segundo.

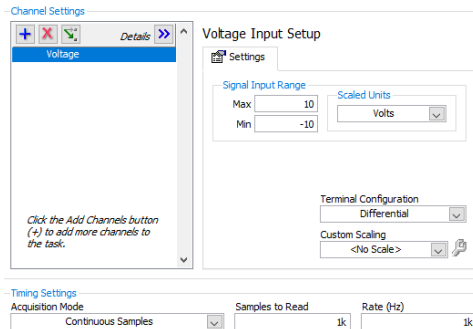


Figura 12. Calibración de los rangos del asistente de adquisición de datos

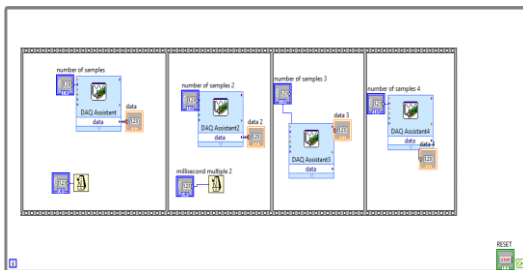


Figura 13. DAQ asistente, entradas analógicas

Insertamos asistentes de adquisición de datos para cada entrada perteneciente a cada una de las señales enviada por los sensores, cada una de estas contiene un indicador numérico, un controlador numérico para el número de repeticiones, y todo esto contenido en un while loop, el que permitirá el funcionamiento indefinido del programa, hasta nuestra finalización.

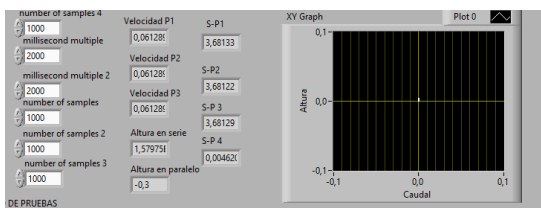


Figura 14. Pantalla de control visual

En la pantalla de control se colocan indicadores numéricos con un desfase de 2000 milisegundos que muestran los valores de los sensores de presión, caudal, velocidad y grafican una curva Caudal-Altura.

Para programar los pines se utilizan fórmulas matemáticas y se ingresan los datos necesarios.

Estableceremos a continuación conceptos utilizados en el funcionamiento de nuestro banco de pruebas.

CAUDAL

EL caudal (Q) es un valor obtenido a partir de la velocidad multiplicada por el área de la sección; donde el área será πr^2 y dividido para cuatro. El resultado está dado en kg/m^3 .

$$A = \frac{\pi r^2}{4}$$

$$Q = V * A$$

ALTURA

La altura (H) se conoce a partir de la presión de aspiración y la presión de descarga, incluyendo en la fórmula las velocidades obtenidas a través de la ecuación descrita posteriormente y teniendo en cuenta también la diferencia de alturas de aspiración y de descarga, entre otros factores.

$$H = Hd - Has$$

$$= \left(\frac{Pd}{\gamma} + \frac{Vd^2}{2g} + Zd \right) - \left(\frac{Pas}{\gamma} + \frac{Vas^2}{2g} + Zas \right)$$

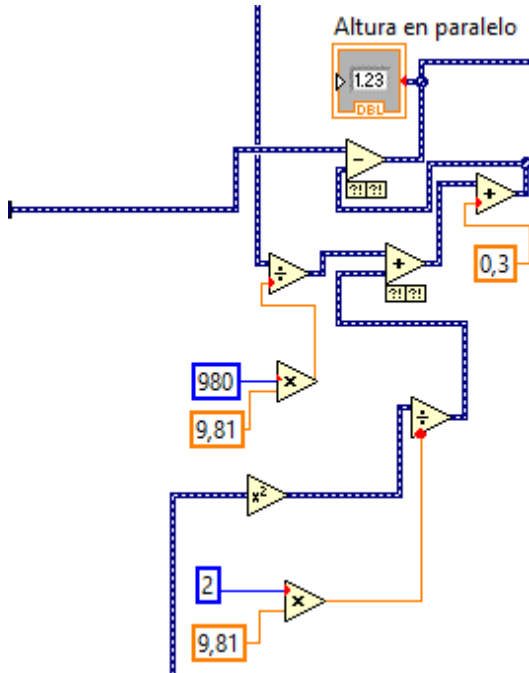
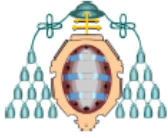


Figura 15. Diagrama de bloques para obtener la altura

Para obtener la altura en serie, se toma para la primera bomba, la presión de succión del S-P1 y la presión de descarga del S-P2, y las velocidades 1 y 2, y para la segunda bomba, tomamos la presión del S-P2 que en la primera es de descarga, para la segunda es de succión y el S-P3 es de descarga, y las velocidades 2 y 3. La sumatoria de alturas será la altura en serie.

Para obtener la altura en paralelo, tomamos en la primera bomba el S-P1 de succión y el S-P2 como descarga, el resultado será la altura ya que son dos bombas de similares características.

Para obtener la velocidad del fluido utilizamos la fórmula:

$$V = \sqrt{\frac{P}{\rho}}$$

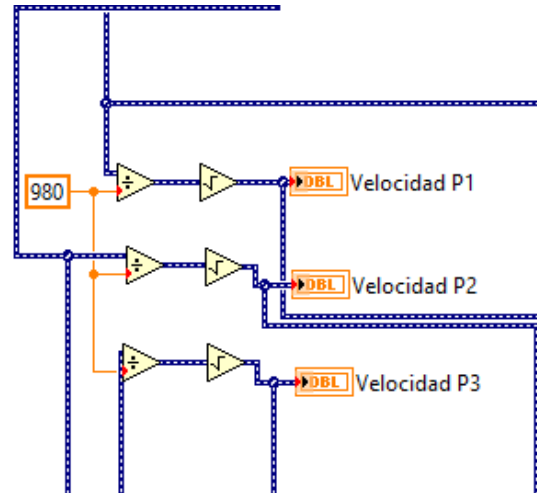


Figura 16. Diagrama de bloques para obtener la velocidad

POTENCIA HIDRAULICA

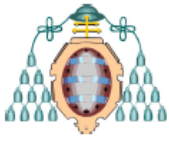
La potencia en la mecánica de fluidos es la rapidez con la que se transmite la energía; para determinarla utilizamos la siguiente fórmula:

$$PA = hAW = hAYQ$$

RESULTADOS Y DISCUSION

La interface de control nos permite observar los datos en tiempo real y estudiar los datos obtenidos para después crear tablas en Excel y posteriormente realizar gráficas en las que se pueda visualizar los resultados, mismos que serán la confirmación del correcto funcionamiento al que en el principio nos propusimos llegar, es decir, poder demostrar la eficacia de adquisición de datos de la bomba hidráulica.

Las medidas tomadas en tiempo real facilitan el entendimiento de cada uno de los experimentos, obteniendo así resultados más alineados a la realidad de una bomba



hidráulica en su pleno funcionamiento para dualizar la parte teórica y experimental.

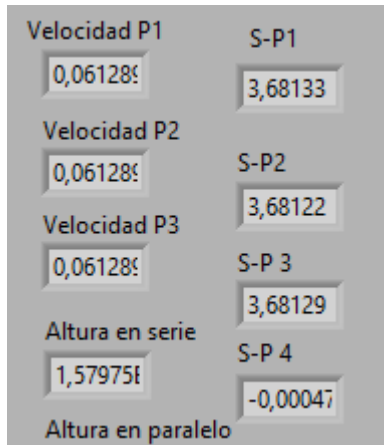


Figura 17. Indicadores de los valores de sensores

Mediante la tarjeta de adquisición de datos pudimos adquirir información de todos los sensores, los cuales nos permiten hacer operaciones y obtener resultados y validar el conocimiento teórico.

Esta gráfica representa la curva característica de dos bombas trabajando en paralelo, como podemos observar, el caudal bombeando una cantidad del fluido que se duplica.

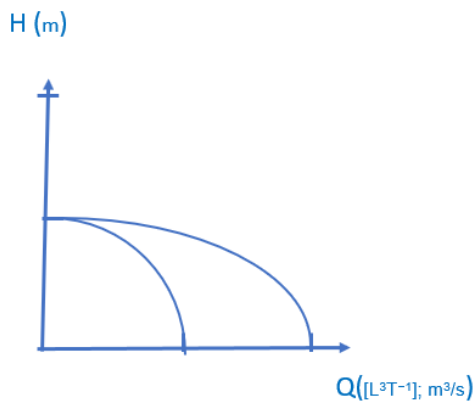


Figura 18. Curva experimento en paralelo

En este caso, tenemos la multiplicación del caudal debido a que se suman los caudales de las dos bombas centrífugas.

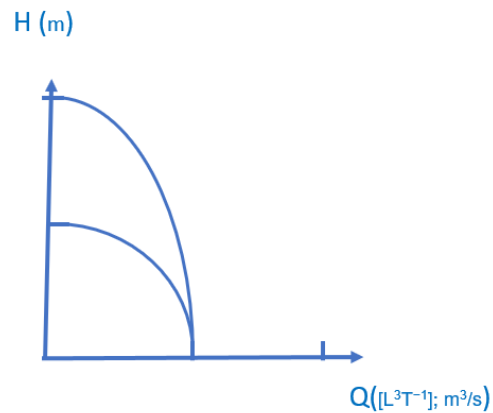


Figura 19. Curva experimento en serie

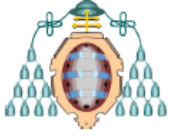
En la prueba en serie tenemos una multiplicación de la altura como se muestra en la gráfica

CONCLUSIONES

Utilizando las herramientas de hardware y software, el sistema de control implementado centraliza todo en una sola pantalla de control y visualización la que nos permite acceder a todos los datos simultáneamente.

El objetivo de ensamblar una interface de visualización y control se ha cumplido, hemos obtenido valores de presiones en las tuberías de succión, descarga, velocidad y caudal y así poder comparar para las bombas en serie la multiplicación de la altura y para el experimento en paralelo la multiplicación del caudal.

La visualización de la pantalla de control permite un fácil manejo incluso para personas que no tengan mayor conocimiento técnico



del programa, no siendo así para la interpretación de los resultados.

Con la optimización del proceso de manera gráfica se optimiza los recursos ya que una sola persona puede manejar todos los implementos sin ningún problema.

Con el experimento en serie podemos darnos cuenta de que, teniendo bombas centrífugas de similares características, multiplicamos la altura en una proporción de 2 a 1.

Con el experimento en paralelo existe una variación del caudal en una proporción de 2 a 1.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primeramente a Dios, por darme la oportunidad de crecer como persona y profesional, a mis padres Hugo y Teresa por su apoyo y amor incondicional todos los días de mi vida, a Karen por ser incondicional en todo momento, a esta prestigiosa institución la Universidad de Oviedo por darme la oportunidad de instruirme en sus aulas, a todos mis profesores por su apoyo dedicación y paciencia, especialmente a mi tutor Eduardo Blanco por la confianza depositada en mi durante este proyecto, quiero agradecer también al gran equipo académico y administrativo, al director de la carrera Jesús Fernández Oro que desde el primer día fue un abrazo de confianza ya que sin todos ustedes nada de esto habría sido posible.

REFERENCIAS

[Edibon. (2018). Banco de Pruebas de Multibombas (4 tipos de bombas), Controlado desde Computador (PC), con SCADA. Recuperado a partir de <http://www.edibon.com/es/files/equipment/PBOC/catalog>

Hicks, G. (2012). Bombas su selección y aplicación. *Mexico. Continental. 1961. 530p., BOMBAS; AP.*

Jiméne, S. de las H. (2011). *MAQUINAS HIDRAULICAS* (Primera ed). Barcelona: Oficina de las publicaciones academicas de la UPC.

Orellana Villavicencio, D. V., Fernández Vallejo, F. P., Hualpa Cumbicus, L. R., & Ludeña Gaona, J. L. (2013). *No Title.* UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA.

Pérez-Barreto, R. (2004). Cavitación y materiales de construcción en las bombas centrífugas. *Minería y geología.*

Quintero Sánchez de Vera, A. (2018). Auditorías energéticas en comunidades de regantes. Recuperado a partir de <http://www.idae.es/articulos/auditorias-energeticas-en-comunidades-de-regantes>

Ramón Pallás, A. (2003). *Sensores y acondicionadores de señal.*