

DISEÑO DE UN SISTEMA “BANCO DE PRUEBAS” PARA LA REALIZACIÓN DE
PRUEBAS DE RENDIMIENTO A BOMBAS CENTRÍFUGAS.

JOSE LEANDRO MEJIA LÓPEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA

2009

DISEÑO DE UN SISTEMA “BANCO DE PRUEBAS” PARA LA REALIZACIÓN DE
PRUEBAS DE RENDIMIENTO A BOMBAS CENTRÍFUGAS.

JOSE LEANDRO MEJIA LÓPEZ

Proyecto de grado para optar por el título de Ingeniero Electrónico

DIRECTOR:

Jaime Barrero Pérez
Magister en ingeniería

TUTOR:

Alberto Mario Pallares
Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA

2009

DEDICATORIA

A mis papás Alvaro y Emilcen
A mis hermanos Alvaro Liliana y Jaime
A mi novia María del Pilar

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo a DIOS y a la VIDA por permitirme alcanzar cada uno de mis sueños.

A mis padres Alvaro Mejia y Emilcen López por su apoyo incondicional.

A mis hermanos Alvaro, Liliana y Jaime porque de una u otra forma ayudaron a que este logro fuera posible.

A mi novia María del Pilar por su constante motivación y comprensión, por creer siempre en mí.

A la empresa HIDROMAC S.A por brindarme la oportunidad de afianzar mis conocimientos y por depositar la confianza en mí para el desarrollo de este proyecto.

A la Universidad Industrial de Santander por llenarme no solo de conocimiento científico sino por formarme como persona íntegra.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
1. BOMBAS.....	3
1.1 GENERALIDADES.....	3
1.2 CLASIFICACIÓN DE LAS BOMBAS.....	3
1.2.1 Bombas centrifugas.....	5
1.2.1.1 Tipo de flujo.....	6
1.3 PRUEBAS SEGÚN LA NORMA ANSI/HI 1.6-2000.....	7
1.3.1 Tipo de pruebas.....	7
1.3.2 Condiciones de la prueba.....	7
1.3.3 Terminología y Ecuaciones.....	7
1.3.4 Pruebas de rendimiento hidráulico y mecánico.....	15
1.3.4.1 Tolerancias aceptables.....	15

1.3.4.2 niveles de aceptación según NORMA ANSI/HI 1.6 – 2000.....	16
1.3.4.3 Instrumentación.....	17
1.3.4.4 Configuración de la prueba de rendimiento.....	18
1.3.4.5 Protocolo para la prueba de rendimiento.....	20
1.3.4.6 Archivos de la prueba de rendimiento.....	20
1.4 CURVAS CARACTERÍSTICAS.....	21
1.5 BOMBAS FABRICADAS POR HIDROMAC S.A.....	21
1.6 RANGOS PARA LOS CUALES SE DESARROLLA EL PROYECTO.....	35
1.7 ADQUISICIÓN DE DATOS.....	36
2. INSTRUMENTACIÓN, MONTAJE.....	38
2.1 SELECCIÓN DE EQUIPOS Y TOPOLOGÍAS.....	39
2.1.1 Equipos transductores.....	40
2.2 ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA.....	47
2.3 CONEXIÓN Y CONFIGURACIÓN DEL HARDWARE.....	48

2.3.1	Adquisición de datos (USB 6218).....	49
2.3.2	Transductor de voltaje (CCT-08-0/650V).....	50
2.3.3	Transductor de corriente (CCT-04-0/5A).....	51
2.3.4	Transformadores de corriente (serie RCT).....	52
2.3.5	Transductores de presión (series PX219 y PX319).....	52
2.3.6	Electroválvulas (serie SV-121).....	53
2.3.7	Transductor de potencia.....	55
2.3.8	Medida del volumen de líquido que circula por una tubería por unidad de tiempo (Flujómetros).....	56
2.4	REPRESENTACIÓN DIGITAL (DISPLAY'S).....	58
3.	SOFTWARE DEL SISTEMA	61
3.1	DESARROLLO DE LA APLICACIÓN EN LABVIEW®.....	61
3.2	SOFTWARE REPRESENTACIÓN DIGITAL (DISPLAY'S).....	71
3.2.1	Presión.....	71
3.2.2	Corriente, voltaje y potencia.....	74

3.3	PROTOCOLO PARA LA REALIZACIÓN DE LA PRUEBA.....	74
4.	PRUEBAS Y RESULTADOS OBTENIDOS.....	76
4.1	Pruebas parciales.....	76
4.2	Pruebas definitivas.....	78
	OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES.....	79
	CONCLUSIONES.....	81
	BIBLIOGRAFIA.....	84

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Clasificación según cómo el fluido se desplaza dentro de los elementos de la bomba.....	4
Figura 2. Esquema de una bomba centrífuga típica con sus partes principales.....	6
Figura 3. Perspectiva de una bomba centrífuga.....	9
Figura 4. AZ 100-250A, AZ150-315A.....	22
Figura 5. VVKL 125-4.....	23
Figura 6. ETA 300-350.....	24
Figura 7. ETN 125-400.....	25
Figura 8. MZG 25-4.....	26
Figura 9. Turbí Plus E6T.....	26
Figura 10. Hidropress 11 HP 3"x3" DIESEL.....	27
Figura 11. Robusta 80-405T.....	28
Figura 12. UNI 601.....	29

Figura 13. AFP 101-420.....	31
Figura 14. Carcasa partida serie 410.....	32
Figura 15. Mega prime E-50-500 - 5HP.....	33
Figura 16. Magnum.....	33
Figura 17. ANSI 2196.....	34
Figura 18. Diagrama de bloques del sistema.....	38
Figura 19.a. Esquema general del sistema.....	47
Figura 19.b. Sistema de conexión de los transductores de presión a la tubería....	47
Figura 19.c. Dispositivos de medida electrónica.....	48
Figura 20. Configuración de pines para el dispositivo de adquisición de datos USB-6218.....	49
Figura 21. Esquema de conexión del CCT-08-0/650V.....	50
Figura 22. Esquema de conexión del CCT-04-0/5A.....	51
Figura 23. Esquema conexión de transformadores de corriente serie RCT.....	52
.	
Figura 24. Esquema de conexión para los transductores de presión series PX219 y PX319.....	52

Figura 25. Circuito regulador ($V_0 = 24VAC$).....	53
Figura 26.a. Esquema de conexión electroválvulas SV-121.....	54
Figura 26.b. Circuito de acople activación actuadores.....	54
Figura 27. Esquema de conexión transductor de potencia.....	55
Figura 28. Esquema de conexión flujometros.....	56
Figura 29.a. Alimentación DPF701-A.....	57
Figura 29.b Niveles de conexión DPF701-A.....	57
Figura 29.c. conexión con dos líneas, desde un <i>Pickup</i> magnético.....	58
Figura 30. Montaje utilizado para realizar pruebas sistema embebido.....	59
Figura 31. Circuito regulador para la polarización del sistema embebido ($V_0 = 5VDC$).....	60
Figura 32. Diagrama de flujo para un ciclo de ejecución de la aplicación en LabVIEW®.....	62
Figura 33. Icono subVI, selección Peso específico.....	63
Figura 34. VIs para trabajar con tarjetas DAQ.....	64
Figura 35. Interfaz para la lectura de variables del proceso.....	66

Figura 36. Icono subVI, conversión de voltaje procedente de los transductores del proceso.....68

Figura 37. Iconos de los VIs utilizados para realizar cálculos requeridos.....68

Figura 38. Paleta para crear informes.....69

Figura 39. Icono del VI para la creación del informa final.....70

Figura 40. Generación de reporte.....70

Figura 43. Diagrama de flujo implementado en la representación digital de datos de presión y protección de los transductores de presión.....72

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Niveles de aceptación de la prueba.....	16
Tabla 2. Niveles de aceptación de la prueba en ajustes.....	17
Tabla 3. Incertidumbre y exactitud según la norma <i>ANSI/HI 1.6-2000</i>	18
Tabla 4. Error de relación clases de medida.....	43
Tabla 5. % error sistema embebido en la medida de presión.....	59

RESUMEN

TÍTULO:
DISEÑO DE UN SISTEMA “BANCO DE PRUEBAS” PARA LA REALIZACIÓN DE PRUEBAS DE RENDIMIENTO A BOMBAS CENTRÍFUGAS.*

AUTOR:
JOSE LEANDRO MEJIA LÓPEZ¹

PALABRAS CLAVES:
Bomba centrífuga, prueba rendimiento, LabVIEW[®], HIDROMAC S.A, banco de pruebas.

DESCRIPCIÓN:
Este documento presenta el diseño de una aplicación en LabVIEW[®] para monitorear y controlar con un PC la realización de pruebas de rendimiento dinámico a bombas centrífugas en la empresa HIDROMAC S.A de Barranquilla. En ésta aplicación mediante una tarjeta de adquisición de datos (USB 6218 de *National Instruments*) se adquieren los datos leídos por cada uno de los diferentes transductores empleados en el proceso de monitoreo y se ingresan a un PC a través del puerto USB; dependiendo de cada valor adquirido en el proceso, el sistema activa o no la protección (electroválvulas, contactor eléctrico, etc.) para evitar deterioro o daño en los equipos. Con los datos obtenidos crea un reporte en el cual quedan consignados los resultados del proceso. Además se presenta un sistema embebido el cual trabaja en paralelo con el PC, a fin de aumentar la confiabilidad en la protección de los componentes involucrados en el proceso; también realiza la representación digital (display's 7 segmentos) de los datos leídos por los equipos de medida.

En el primer capítulo se describen las principales características de las bombas centrífugas, así como los requerimientos necesarios para la realización de una prueba de rendimiento y también los diferentes tipos de bombas manufacturadas por HIDROMAC con sus respectivos rangos de operación. En el segundo capítulo se describe la instrumentación y montaje (sistema de conexión) del hardware involucrado en el proceso de medida. En el tercer capítulo se muestra el desarrollo de la aplicación en LabVIEW[®] y en el cuarto capítulo se documenta la metodología y resultados de las pruebas (simulaciones) realizadas al diseño.

La aplicación diseñada tiene las características requeridas para la realización de una prueba de rendimiento, presentando de manera satisfactoria y ordenada el estado detallado de la prueba y ejecutando control sobre ésta de manera segura.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Jaime Barrero Pérez

ABSTRACT

TITLE:

DESIGN OF A "TEST – BENCH" SYSTEM TO CARRY OUT PERFORMANCE TESTS TO CENTRIFUGAL PUMPS.*

AUTHOR:

JOSE LEANDRO MEJIA LÓPEZ**

KEY WORDS:

Centrifugal pump, performance test, LabVIEW®, HIDROMAC S.A, test - bench.

DESCRIPTION:

This document presents the design of an application in LabVIEW® to monitor and control with a PC the execution of dynamic performance tests of centrifugal pumps at the company HIDROMAC S.A in Barranquilla. At this application, through the use of a data acquisition card (USB 6218 from *National Instruments*) is acquired the data read by each one of the various transducers utilized at the monitoring process, said data is entered into a PC through the USB port; according to each data acquired in the process, the system activates – or not – protection devices (electrically operated valves, electric counter, etc.) to prevent deterioration or damage of the equipment. With the data collected a report is created where are recorded the results of the process. Is also presented an embedded system that works in parallel with the PC, in order to enhance the reliability of protection for the components involved in the process, it also performs the digital representation (display's 7 segments) of the data read by measurement equipment.

At the first chapter are described the major features of centrifugal pumps, as well as the requirements necessary to carry out a performance test, and also the various types of pumps manufactured by HIDROMAC with their respective operation ranges. At the second chapter is described the instrumentation and the assembly (connection system) of the hardware involved in the measurement process. At the third chapter is shown the development of the application in LabVIEW® and at the fourth chapter is documented the methodology and results of the tests (simulations) carried out on the design.

The application designed has all the characteristics required to carry out performance tests, presenting in a satisfactory and detailed manner the detailed status of the test and exerting control upon said test in a safe manner.

* Works of grade

** Faculty of Physical - Mechanic Engineering. Electronic Engineering. Jaime Barrero Pérez

INTRODUCCIÓN

La práctica empresarial es una experiencia académica en la cual el estudiante entra en contacto e interactúa a través de proyectos específicos, con la realidad de contextos empresariales en áreas de su profesión, diagnosticando problemas y necesidades del sector productivo de la región y del país, en el cual aplica y fortalece competencias personales y profesionales. Para tal fin la empresa HIDROMAC S.A. brindó el apoyo necesario para la realización de este trabajo de grado.

La principal labor de HIDROMAC S.A. es la producción y distribución de bombas centrífugas para servicio agrícola, industrial, tratamiento de aguas limpias y servidas. Para el buen cumplimiento de su misión, Hidromac debe realizar en su departamento de calidad, las pruebas de rendimiento para cerciorarse que sus productos cumplan con los estándares de calidad y los requerimientos de los clientes. Para tal fin, la empresa debe contar con un sistema de pruebas, en el cual se puedan medir los parámetros característicos de una bomba centrífuga, los cuales son: Caudal (Q), Capacidad (H), Eficiencia (η) y NPSHR (Net Positive Suction Head Required).

En la empresa actualmente, se presentan varios problemas en la realización de las pruebas de rendimiento. Se emplea un sistema en el cual la obtención de datos es limitada, con un tiempo excesivo en la manipulación de resultados; por ser un poco exhaustivo el proceso, para muchas de las bombas fabricadas sólo se les realizan las pruebas en condiciones nominales "*datos de placa*" y no para todo el rango de operación en el cual pueden desempeñarse de forma aceptable.

Es por ello que la empresa ha optado por analizar y minimizar sus fallas, buscando métodos que permitan simplificar y mejorar su sistema para la realización de las pruebas de rendimiento a sus productos, haciendo uso del auge de la instrumentación electrónica y aprovechado la tendencia de la nueva tecnología para desarrollar un software que garantice la optimización del proceso, reduciéndolo de forma significativa y que permita que el operario labore en un ambiente más cómodo, donde pueda tomar decisiones, basándose en datos precisos y exactos, logrando una mayor eficiencia y mayor producción en su área de trabajo.

Este trabajo de grado desarrolla en LabVIEW® una aplicación que permite desde un computador y mediante la implementación de los respectivos transductores y/o hardware requerido, el monitoreo directo o indirecto de las variables en mención y por ende la caracterización de las bombas centrífugas en prueba.

En el capítulo 1 se presenta una breve introducción y clasificación de las bombas, así como la descripción de las pruebas a realizar, se relacionan los productos manufacturados por Hidromac, siendo estos para los cuales se realiza el diseño del sistema. Posteriormente se plantean todos los requerimientos técnicos del hardware a usarse para tal fin. En el capítulo 2 se presenta la topología para la adquisición de las variables del proceso y finalmente se presenta la selección de los equipos definitivos con su respectiva argumentación y esquema de conexiones dentro del proceso.

En el capítulo 3 se explica el diseño y programación en LabVIEW® de la aplicación desarrollada y en el capítulo 4 se documentan las pruebas desarrolladas y los resultados obtenidos. Al final se presentan las observaciones, recomendaciones, conclusiones y alcances obtenidos con el desarrollo de este proyecto.

1. BOMBAS

1.1 GENERALIDADES

La bomba es una máquina que absorbe energía mecánica y la transforma en energía hidráulica, lo cual permite que el fluido pueda ser transportado de un lugar a otro. Las bombas son de gran importancia en el trasiego de fluidos, debido a su capacidad de producir vacío, con lo cual se puede empujar el fluido hacia donde se desee transportar. Existe una infinidad de bombas las cuales tienen distintas funciones, todo depende del tipo de fluido, de la temperatura a la cual se va a transportar y la presión que se maneje.

Para el desarrollo de este proyecto se necesita conocer el comportamiento del líquido en la bomba, y que mejor manera que realizando la clasificación de las bombas según el funcionamiento, existen diferentes clases de bombas centrífugas, pero el funcionamiento es general para todas ellas, por eso es posible diseñar un sistema de diagnóstico en general para realizar las pruebas de rendimiento a todas éstas. Los rangos de trabajo varían considerablemente, existen bombas desde las decenas de gpm de tipo doméstico o agrícola a pequeña escala hasta de miles de gpm para tratamientos de aguas.

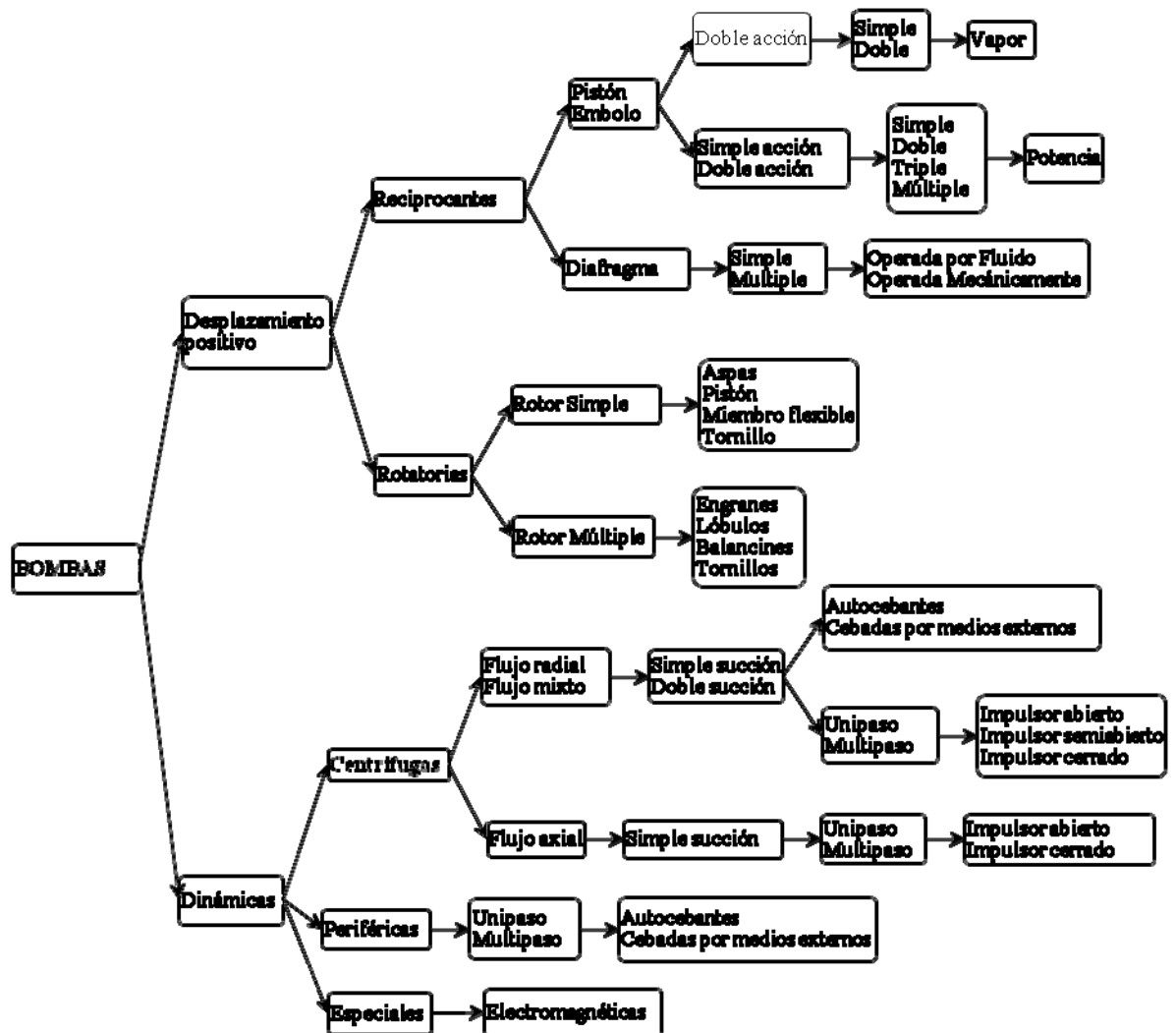
1.2 CLASIFICACIÓN DE LAS BOMBAS

Existe una diversidad de clasificación de bombas que ocasionalmente puede causar confusión al intentar ubicarlas dentro de un cierto tipo, sin embargo la seleccionada para propósitos de este trabajo es la proporcionada por el Instituto de Hidráulica de los E.E.U.U. tal como se muestra en la figura 1.

Esta clasificación toma en cuenta la forma cómo el fluido se desplaza dentro de los elementos de la bomba, así para aquellas en las que el fluido se desplaza a presión dentro de una carcasa cerrada, como resultado del movimiento suavizado de un pistón o émbolo, se le denomina “bombas de desplazamiento positivo”,

aquellas en las cuales el fluido es desplazado por el movimiento circular de uno o varios impulsores provistos de alabes, se les denomina “Bombas Centrifugas” y es a estas últimas a las que se hará referencia.

Figura 1. Clasificación según cómo el fluido se desplaza dentro de los elementos de la bomba.



El autor.

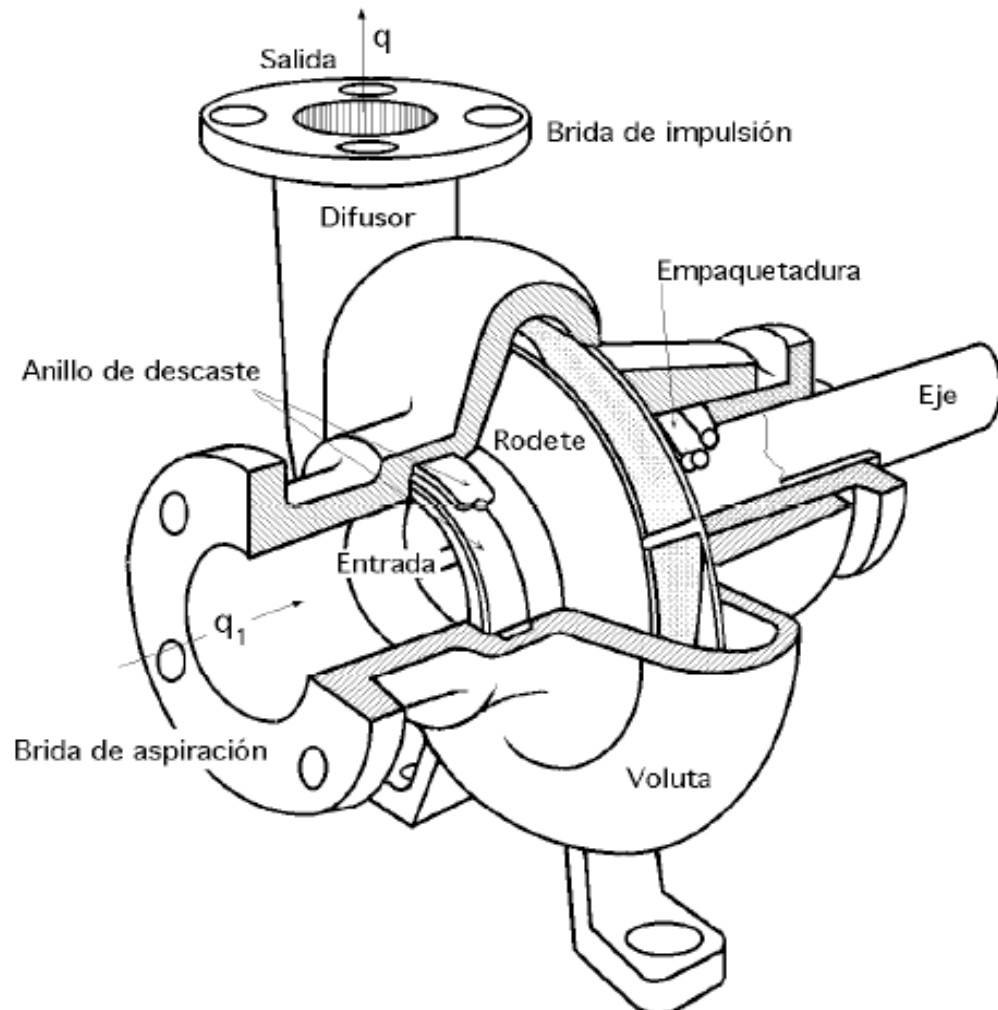
1.2.1 Bombas centrífugas. La característica principal de la bomba centrífuga es la de convertir la energía de una fuente de movimiento, el motor, primero en velocidad o energía cinética y después en energía de presión. El rol de una bomba es el aporte de energía mecánica al líquido bombeado; energía transformada luego en energía cinética y potencial, según las características constructivas de la bomba misma y en relación con las necesidades específicas de la instalación.

El funcionamiento es simple: dichas bombas usan el efecto centrífugo para mover el líquido y aumentar su presión. Dentro de una cámara hermética dotada de entrada y salida llamada voluta, gira una rueda con paletas llamada rodete, el verdadero corazón de la bomba. El rodete es el elemento rodante de la bomba que convierte la energía del motor en energía cinética, la parte estática de la bomba, o sea la voluta, convierte, en cambio, la energía cinética en energía de presión. El rodete está, a su vez, fijado al eje de la bomba, ensamblado directamente al eje de transmisión del motor o acoplado a él por medio de un acople rígido.

Cuando entra líquido dentro del cuerpo de la bomba, el rodete alimentado por el motor proyecta el fluido a la zona externa del cuerpo de la bomba, debido a la fuerza centrífuga producida por la velocidad del rodete: el líquido, de esta manera, almacena una energía potencial que se usa para impulsar el líquido. Este movimiento centrífugo provoca, al mismo tiempo, una depresión capaz de aspirar el fluido que se debe bombear. Conectando después la bomba con la tubería de descarga, el líquido fluye fácilmente, llegando fuera de la bomba. El rodete de una bomba centrífuga se puede realizar según muchas variantes constructivas: rodetes abiertos, rodetes cerrados, rodetes semi-abiertos, rodetes mono-canal, rodetes axiales, rodetes semi-axiales, rodetes desplazados, vórtice, a espiral, etc. según sea la misión a la que vaya ser destinada la bomba.

En la figura 2 se muestra una bomba centrífuga típica con sus partes principales.

Figura 2. Esquema de una bomba centrífuga típica con sus partes principales.



<http://personales.ya.com/universal/TermoWeb/Bombas/PDFs/BOMBAS1.pdf>

1.2.1.1 Tipo de flujo.

✓ Radial: en este tipo de bomba el líquido penetra al impulsor en dirección paralela al eje de la bomba y sale en dirección perpendicular al eje del impulsor. Las presiones de elevación a manejar son las altas.

✓ Axial: aquí el líquido penetra axialmente en el impulsor y su salida es en la misma dirección, es utilizada para presiones de elevación bajas.

✓ Mixto: el flujo penetra axialmente en el impulsor y sale en una dirección intermedia entre radial y axial, las presiones de elevación manejadas son medias.

1.3 PRUEBAS SEGÚN LA NORMA ANSI/HI 1.6-2000

1.3.1 Tipo de pruebas.

✓ Prueba de rendimiento para demostrar la integridad hidráulica (prueba para la cual se desarrolla este proyecto) y mecánica.

✓ Prueba de presión hidrostática de los componentes contenidos.

✓ Prueba de la capacidad de succión neta positiva requerida (prueba NPSHR).

✓ Pruebas mecánicas.

✓ Prueba del tiempo de cebado.

1.3.2 Condiciones de la prueba. A menos que se especifique lo contrario, la cantidad de flujo, capacidad, eficiencia y NPSHR, se basan en pruebas usando agua a temperatura ambiente. Si la instalación no puede realizar la prueba a velocidad nominal, por limitaciones de potencia, frecuencia eléctrica o disponibilidad de variaciones de velocidad, la bomba puede ser probada entre el 80% y el 120% de la velocidad nominal. Es permisible en bombas superiores a 225 KW (300hp), realizar las pruebas a velocidades entre 60% y 140% de la velocidad nominal.

1.3.3 Terminología y ecuaciones. Los siguientes términos se usan para nombrar los parámetros de las pruebas o en conexión con la bomba de prueba:

Subíndices: *Ver tabla número 1.18 NORMA ANSI/HI 1.6-2000*

Símbolos: *Ver tabla 1.19 NORMA ANSI/HI 1.6-2000*

Punto de condición específico: punto de condición específico es sinónimo de punto de velocidad nominal.

Punto de condición nominal: el punto de condición nominal aplica a la velocidad de flujo, capacidad, velocidad, NPSH y potencia de la bomba, tal como se especifica en la orden del comprador.

Punto de condición normal: el punto de condición normal aplica a la velocidad de flujo, capacidad, velocidad, NPSH y potencia a la cual opera normalmente la bomba. Esta puede ser la misma que el punto de condición nominal.

Punto de mejor eficiencia (BEP): la velocidad de flujo y la capacidad a la cual la eficiencia (η_p) de la bomba es máxima.

Apagado (SO): es la condición de flujo cero, donde no hay flujo de líquido a través de la bomba, pero la bomba está cebada y operando.

Volumen: las unidades estándares de volumen son las siguientes:

- Métrico: metro cubico

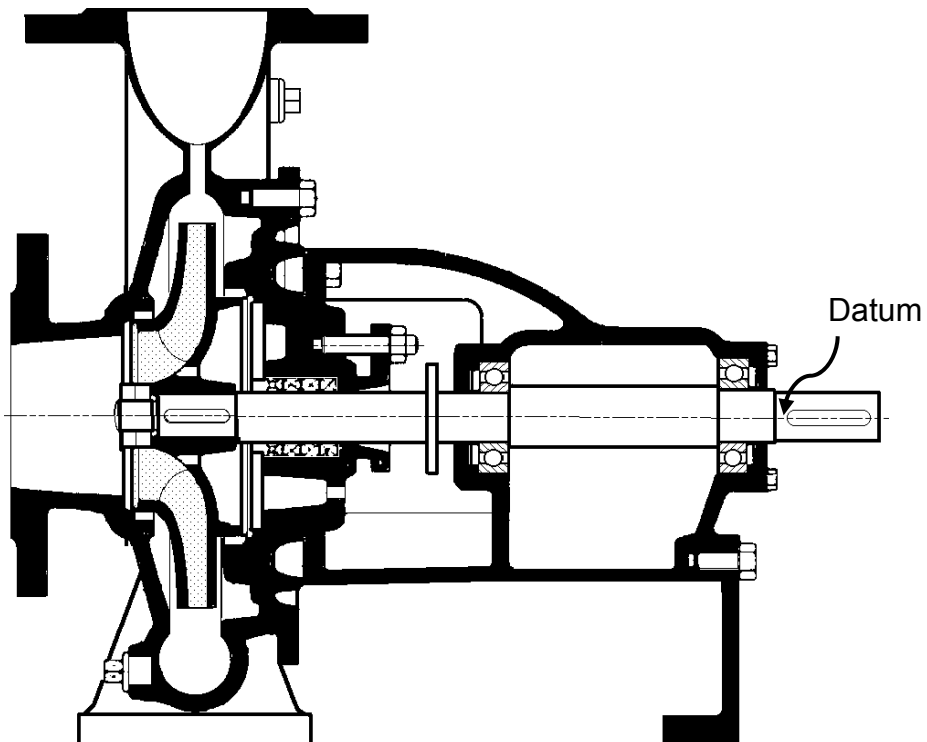
- Unidades americanas: galones americanos o pies cúbicos

Velocidad de flujo (caudal) (Q): es el volumen de líquido suministrado por la bomba, por unidad de tiempo en condiciones de succión. O bien, es la cantidad de líquido o fluido en general que atraviesa una sección transversal determinada de una conducción, como puede ser la boquilla de impulsión de una bomba, por unidad de tiempo. Se asume que no entran gases en condiciones de operación.

Velocidad (n): número de giros que da el eje por unidad de tiempo. La velocidad es expresada como revoluciones por minuto.

Datum (referencia): línea de referencia o centro del eje de la bomba desde donde se meden todas las elevaciones. La capacidad de elevación (Z) al datum es positiva cuando la presión manométrica está arriba del datum y negativa cuando la presión manométrica está abajo del datum.

Figura 3. Perspectiva de una bomba centrífuga.



<http://personales.ya.com/universal/TermoWeb/Bombas/PDFs/BOMBAS1.pdf>

La elevación datum es definida de la siguiente forma:

- Para unidades horizontales, es la línea central del eje de la bomba, ver figura 1.113 *NORMA ANSI/HI 1.6-2000*.
- Para bombas verticales de succión simple, es la entrada al ojo de la primera etapa del impulsor, figura 1.114 *NORMA ANSI/HI 1.6-2000*.
- Para bombas verticales de doble succión, es el centro del impulsor, figura 1.115 *NORMA ANSI/HI 1.6-2000*.

Capacidad (h): capacidad es la expresión de la energía contenida del líquido referido al datum. Ésta es expresada en unidades de energía por unidad de peso de líquido. La unidad de medida para la capacidad es el metro (pie) de líquido.

Capacidad manométrica (h_g): energía de presión del líquido determinado por un manómetro u otro dispositivo de medida de presión.

$$\text{(Métrica)} \quad h_g = \frac{p_g}{9.8 * s}$$

$$\text{(Unidades americanas)} \quad h_g = \frac{2.31 * p_g}{s}$$

Capacidad de velocidad (h_v): energía cinética del líquido a una determinada sección. La capacidad de velocidad está dada por la siguiente ecuación:

$$h_v = \frac{v^2}{2 * g} \quad v = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} d^2} \quad \text{Donde } d \text{ es el diámetro de la tubería}$$

Capacidad de elevación (Z): energía potencial del líquido debido a su altitud en relación con un nivel de referencia (*datum*), medida en la superficie del líquido o en el centro del manómetro.

Capacidad total de succión (h_s): es la suma algebraica de la capacidad manométrica de succión, la capacidad de velocidad de succión y la capacidad elevación de succión:

$$h_s = h_{gs} + h_{vs} + Z_s$$

La capacidad manométrica es positiva cuando la lectura de la succión manométrica ésta arriba de la presión atmosférica y negativa cuando la lectura ésta abajo de la presión atmosférica.

La capacidad de velocidad es computada por la velocidad del líquido en el punto de fijación manométrica. En bombas sumergibles en un sumidero abierto, donde la tubería es considerada parte de la bomba:

$$h_s = Z_w$$

Donde

Z_w = distancia vertical desde la superficie libre de agua del sumidero al datum.

Ascenso total de succión: cuando la capacidad total de succión es negativa, es a menudo llamada ascenso total de succión.

Capacidad total de descarga (h_d): la capacidad total de descarga es la suma algebraica de la capacidad manométrica de descarga, capacidad de velocidad de descarga y la capacidad de elevación en descarga. Es computada por la velocidad de líquido a la presión de descarga en el grifo y la capacidad de elevación Z_d medida en el manómetro.

$$h_d = h_{gd} + h_{vd} + Z_d$$

Capacidad total (Head²) H: es la medida del incremento de trabajo por unidad de peso de líquido impartida por la bomba al líquido y es por tanto la diferencia algebraica entre la capacidad total de descarga y la capacidad total de succión.

- Si la capacidad de succión es positiva, la capacidad total es la capacidad total de descarga menos la capacidad total de succión:

² Tiene varias traducciones al español, dependiendo del autor, algunos la traducen como altura, carga o cabeza, pero en todos los casos se refiere a la misma variable y con las mismas unidades de medida.

$$H = h_d - h_s$$

O

$$H = (h_{gd} + h_{vd} + Z_d) - (h_{gs} + h_{vs} + Z_s)$$

Combinando términos, la expresión general para la capacidad total es:

$$H = (h_{gd} - h_{gs}) + (h_{vd} - h_{vs}) + (Z_d - Z_s)$$

- Para bombas sumergibles

$$H = h_{gd} + h_{vd} + Z_d - Z_w$$

- Si la capacidad de succión es negativa, la capacidad total es la capacidad total de descarga más el ascenso total de succión.

Ya que las características completas de un sistema de bombeo determinan los requerimientos de capacidad total, este valor solo puede ser especificado por el usuario.

Capacidad atmosférica (h_{atm}): presión atmosférica local expresada en metros (pies).

Efectos de compresibilidad de líquido en capacidad total: en las fórmulas anteriores, la compresión del líquido ha sido ignorado. Para evaluar la capacidad total más exactamente cuando se bombea a alta presión, este factor será tenido en cuenta. Para la mayoría de los líquidos, se puede asumir que existe una relación lineal entre presión y volumen. Con este supuesto, la fórmula de la capacidad total viene dada por:

$$H = \left[\frac{(p_d - p_s) * \left(\frac{1}{v_d} + \frac{1}{v_s} \right)}{2} \right] + (h_{vd} - h_{vs}) + (Z_d - Z_s)$$

Se sugiere que ésta relación sea usada si la diferencia entre γ_d y γ_s , cerca del mejor punto de eficiencia, sea 0.2% o superior.

Carga neta positiva de succión (NPSH³): es la carga total de succión en metros (pies) absolutos de columna de líquido, determinada en la boquilla de succión con respecto a la línea de referencia, menos la presión de vapor del líquido en metros (pies) absolutos.

Capacidad de succión neta positiva viable (NPSHA⁴): es la capacidad de succión total absoluta de líquido, determinado en la boquilla de succión y referido al datum, menos la capacidad de presión de vapor absoluta del líquido bombeado.

$$\text{NPSHA} = h_{sa} - h_{vp}$$

Donde

h_{sa} = capacidad total de succión en metros (pies) absolutos

$$h_{sa} = h_{atm} + h_s$$

O

$$\text{NPSHA} = h_{atm} + h_s - h_{vp}$$

⁵Capacidad de succión neta positiva requerida (NPSHR⁶) (en unidades Americanas): es la capacidad de succión total absoluta de líquido determinado en el punto de referencia de la primera etapa del impulsor menos la capacidad de presión de vapor absoluta del líquido bombeado, necesaria para evitar más del 3% de pérdida en la capacidad total de la primera etapa de la bomba a una velocidad de flujo específica.

³NPSH = Net Positive Suction Head

⁴ NPSHA = Net Positive Suction Head Available

⁵ Tomada de <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/scan/011632/011632-014.pdf>

⁶ NPSHR = Net Positive Suction Head Required

Se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{NPSHR} = \zeta \times H$$

ζ = coeficiente de cavitación de la bomba. Es la relación entre la altura de succión absoluta NPSH y la carga total H de la bomba.

$$\zeta = \frac{4 \times ns^{4/3}}{10^6} \quad ns = \frac{n \sqrt{Q}}{\text{ATM}^{3/4}}$$

ns = velocidad específica o coeficiente de rotación específica característico de cada tipo de bomba

n = valor nominal de la velocidad de la bomba en rpm

Q = Flujo en gpm

ATM = H en el mejor punto de eficiencia en pies

Potencia de entrada a la bomba (P_p): potencia suministrada por el motor al eje de entrada de la bomba.

Potencia eléctrica de entrada al motor: entrada eléctrica al motor expresada en kilowatts (horsepower).

Potencia de salida de la bomba (P_w): potencia entregada al líquido por la bomba. Es también llamada caballos fuerza de agua.

$$\text{(Métrico)} \quad P_w = \frac{Q \times H \times s}{367}$$

$$\text{(Unidades americanas)} \quad P_w = \frac{Q \times H \times s}{3960}$$

Eficiencia de la bomba (η_p): es la relación entre la potencia de salida (P_w) y la potencia de entrada de la bomba (P_p), expresada en porcentaje.

$$\eta_p = \frac{P_w}{P_p} \times 100$$

Eficiencia total (η_{OA}): relación entre la potencia de salida de la bomba (P_w) y la energía suministrada al motor (P_{mot}) expresada en porcentaje. Ésta eficiencia, toma en cuenta las pérdidas en ambos, la bomba y el motor.

$$\eta_{OA} = \frac{P_w}{P_{mot}} \times 100$$

1.3.4 Pruebas de rendimiento hidráulico y mecánico.

1.3.4.1 Tolerancias aceptables. La tolerancia aceptable según el instituto hidráulico de USA, se aplica a la condición de un solo punto específico, no a toda la curva de rendimiento. Mientras las bombas sean estrechamente controladas para operación mecánica satisfactoria durante la ejecución de las pruebas, el grado y alcance de dicha prueba es independiente del nivel de aceptación de tolerancias.

El mínimo número de puntos de prueba para el nivel "A" deben ser 7, y para el nivel "B" deben ser 5.

La velocidad en la prueba no será inferior al 80% ni superior al 120% de la velocidad nominal. Es permisible en bombas superiores a 225 W (300 caballos de fuerza) realizar pruebas con velocidad entre 60% y 140% de la velocidad nominal. Los resultados deberán ajustarse a la velocidad nominal. Cualquier cambio mayor en la velocidad será por mutuo acuerdo.

1.3.4.2 Niveles de aceptación según la *NORMA ANSI/HI 1.6-2000*. Las pruebas de rendimiento tiene dos niveles de aceptación, A y B, para valores cuantitativos. El nivel de aceptación “A” es usualmente aplicado a esas bombas que son manufacturadas para condiciones específicas de servicio. El nivel de aceptación “B” es usualmente aplicada a esas bombas que son producidas en masa para stock. Si no se especifica se aplicará el nivel A.

Para nivel A, η_p = Eficiencia acordada

Para nivel B, η_p = Eficiencia nominal publicada

Tabla 1. Niveles de aceptación de la prueba.

Nivel de aceptación	A	B
Abajo de 60m (200 ft) 0 a 680 m ³ /h (2999 gpm)	+8%, -0	+5%, -3%
Debajo de 60 m (200 ft) Arriba de 680 m ³ /h (2999 gpm)	+5%, -0	+5%, -3%
Desde 60 m (200 ft) a 150 m (500 ft) Cualquier flujo	+3%, -0	+5%, -3%
Arriba de 150m (500 ft) Cualquier flujo	+3%, -0	+3%, -0
Mínima eficiencia a velocidad (rpm) y flujo nominal	η_p o η_{OA}	$\frac{100}{\frac{120}{\eta_p}} - 0.2$

Tomada de la *NORMA ANSI/HI 1.6-2000*

- Durante la prueba de nivel “A”, no se permitirá menos margen de tolerancia con respecto a la velocidad de flujo, capacidad total, eficiencia a la nominal o condiciones específicas.

- La aceptación de los resultados de prueba de la bomba serán juzgados a velocidad nominal de flujo y rpm con aplicabilidad a la capacidad total y eficiencia como se presenta en la tabla 1.
- Alternativamente, los resultados de prueba de la bomba pueden ser ajustados a la capacidad total nominal y rpm versus la velocidad de flujo como se presenta en la tabla 2.

Tabla 2. Niveles de aceptación de la prueba en ajustes.

Nivel de aceptación	A	B
Tolerancia de la velocidad de flujo a capacidad total nominal	+10, -0%	+5, -5%
Mínima eficiencia a rpm nominal y capacidad total	η_p o η_{OA}	$\frac{100}{\frac{120}{\eta_p} - 0.2}$

Tomada de la *NORMA ANSI/HI 1.6-2000*

1.3.4.3 Instrumentación. Ya que la eficiencia es una cantidad derivada, esta exactitud puede ser computada de las exactitudes de los otros instrumentos listados en la tabla, aplicando la regla de la raíz cuadrática media. Es común usar el registro actual de lectura de las pruebas para el cálculo de la eficiencia para el cumplimiento de la garantía del fabricante y hacer caso omiso al efecto de la exactitud del instrumento.

- Intervalo adecuado para la calibración de los instrumentos utilizados en las pruebas de rendimiento: Medidores, equipos de prueba y estándares de medida, deberán ser calibrados en intervalos periódicos como se presenta en la tabla 1.20,

norma ANSI/HI 1.6-2000. Los intervalos se acortarán según sea necesario para garantizar la continuidad de la exactitud con respecto a los resultados anteriores de calibración y pueden ser prolongados solo cuando los resultados de previas calibraciones indiquen que tales acciones no afectarán negativamente la exactitud del sistema.

- Incertidumbre y exactitud según la *NORMA ANSI/HI 1.6-2000*.

Cuadro 3. Incertidumbre y exactitud según la norma *ANSI/HI 1.6-2000*

Medida actual	±% de incertidumbre aceptable en la lectura	±% de inexactitud de los instrumentos
Velocidad de flujo	2.0	1.5
Capacidad diferencial	2.0	1.0
Capacidad de descarga	2.0	0.5
Capacidad de succión	2.0	0.5
Potencia de entrada	2.0	1.5
Velocidad de la bomba	0.3	0.3

Tomada de la *NORMA ANSI/HI 1.6-2000*

1.3.4.4 Configuración de la prueba de rendimiento. Esta sección contiene reglas generales para la configuración de las pruebas de rendimiento, para garantizar exactitud y repetitividad en los resultados de la prueba. Ver figuras 1.116 y 1.117 *NORMA ANSI/HI 1.6-2000*.

Los siguientes pasos pueden utilizarse para la prueba de rendimiento, pero no es limitado:

- Instalación del motor. Depende del método usado para medir la potencia de entrada de la bomba.
- Es necesaria una instalación para realizar el cambio en la velocidad del motor. Precisamente para determinar la potencia de entrada de la bomba, la eficiencia, también se pueden requerir cambios de velocidad.
- Una tubería o manguera de succión desde la bomba para aumentar la presión, un tanque cerrado o sumidero abierto proporcional a la bomba en prueba. El flujo de entrada a la bomba será libre de turbulencia y tiene una distribución de velocidad simétrica.
- Un manómetro o transductor de presión adecuado para la medición del rango completo de presiones ya sea positivo o negativo en la entrada (succión) de la bomba.
- Una tubería o manguera de descarga con un dispositivo regulador de presión.
- Un manómetro o transductor de presión para medir el rango completo de presiones en la salida (descarga) de la bomba en prueba.
- Se pueden usar dispositivos reguladores para los instrumentos de succión y descarga, tales como válvulas de aguja o tubos capilares para amortiguar las pulsaciones de presión.
- Deberá haber un sistema para medir la potencia de entrada a la bomba y deberá ser propicio para medir el rango completo de potencia.
- Deberá existir un sistema para medir la velocidad de la bomba.
- Configuraciones de prueba destinados a ensayos de la NPSH, se realizarán mediante pequeñas reducciones de la presión de succión de la bomba, como una válvula de succión, variaciones del nivel del sumidero en un sistema abierto o tanque cerrado con un mecanismo para crear un vacío de presión.
- Deberá existir un sistema para medir la temperatura del líquido de prueba.
- Se deben tomar las dimensiones reales de las tuberías de succión y descarga donde sea leída la presión, determinando así mediante cálculos la capacidad de velocidad.
- Dispositivo(s) medidor(es) de flujo.

1.3.4.5 Protocolo para la prueba de rendimiento. Los siguientes datos serán obtenidos antes de iniciar la prueba y escritos en el registro, para ser guardados durante dos años.

- Registro tipo de bomba, tamaño y número serial
- Verificar las propiedades del líquido, la temperatura del líquido será tomada antes y después de la prueba. Las lecturas de temperatura serán tomadas más a menudo cuando se esté probando la NPSH o bombas de potencias elevadas.
- Condiciones del ambiente, tales como temperatura y presión atmosférica.
- Verificar las dimensiones críticas de la instalación, tales como dimensiones internas del tanque, dimensiones internas de la tubería y longitudes, niveles de líquido (sumergimiento) con respecto al datum.
- Verificar los datos del motor, tales como tipo, número serial, potencia (hp), rangos de velocidad, amperaje, voltaje y eficiencia.
- Verificar equipo auxiliar, tales como monitores de vibración, sensores de temperatura, monitores de mínima y máxima presión, detectores de filtración, alarmas, etc.
- Verificar calibración del instrumento y factores de corrección de acuerdo con la sección de calibración de instrumentos.
- Personal y autoridad a cargo de la prueba.
- La dimensión real de las áreas donde las lecturas de presión sean tomadas serán determinadas de modo que se puedan hacer las correcciones apropiadas de la capacidad de velocidad.

1.3.4.6 Archivos de la prueba de rendimiento. Se debe mantener un registro completo escrito o en computadora en el cual se mantenga toda la información relevante de la prueba, en un expediente a disposición del comprador por parte del laboratorio (departamento de pruebas), durante un periodo de dos años.

El número serial del fabricante, tipo y tamaño u otro registro de identificación de cada bomba y motor (calibrados y usados para obtener la eficiencia de la bomba) involucrados en la prueba deben ser guardados para evitar errores de identidad. Aunque estos registros se aplican al equipo completo, incluyendo el motor, la norma se aplica solo a las pruebas de la bomba.

1.4 CURVAS CARACTERÍSTICAS

Resultados gráficos de la prueba de rendimiento: Para una bomba centrífuga movida a una velocidad de giro constante (rpm), la carga total (H), la potencia de salida (Pw) y, por tanto, la eficiencia de la bomba (η), así como el NPSH requerido (NPSHR), son funciones del caudal (Q) la relación entre estos diferentes valores se representa mediante las curvas características.

La capacidad total, la eficiencia y la potencia de entrada son frecuentemente graficadas como ordenas en el mismo eje, con la velocidad de flujo como abscisas, como se muestra en la figura 1.118 de la NORMA ANSI/HI 1.6-2000.

1.5 BOMBAS FABRICADAS POR HIDROMAC S.A.

✓ Línea AZ

Caudal hasta 2500 gpm-600 m³/h

Elevación hasta 150 m (200 psi)

Descarga 1" hasta 6" DIN o ANSI

Sellamiento: Sello mecánico ó empaquetadura.

De construcción tipo eje libre, monoblock roscada y bridada, con motores eléctricos trifásicos, hasta 100 HP a 1750 y 3500 rpm. Utilizada para el bombeo de agua y líquidos limpios o turbios en aplicaciones como: Servicios generales, suministro de agua, drenaje, riego o servicios industriales, aire acondicionado, sistemas contra incendio.

Figura 4. a). AZ 100-250A, AZ 150-315A



Tomada de catalogo general de productos HIDROMAC S.A

✓ Línea VVKL

Caudal hasta 2200 gpm (500 m³/h)

Elevación hasta 300 m

Descarga 1" hasta 6"

Velocidad de giro hasta 3.500 rpm

Bombas centrífugas de alta presión, de dos o más etapas. Utilizada para acueductos, alimentación de calderas, riego, circulación de condensados, producción de agua a presión, circulación de agua caliente y sistemas contra incendio.

Figura 5. VVKL 125-4



Tomada de catalogo general de productos HIDROMAC S.A

✓ Línea ETA

Caudal hasta 10.000 gpm (2200 m³/h)

Elevación hasta 45m

Descarga 8",10",12" DIN o ANSI

Sellamiento: Sello mecánico ó empaquetadura.

Bombas centrífugas de flujo mixto, de alto caudal y baja capacidad. Utilizada para bombear líquidos limpios o turbios. Se aplica principalmente en suministros de aguas para servicios públicos, agricultura, servicio de aire acondicionado, riego por inundación, circulación de condensados, etc.

Figura 6. ETA 300-350



Tomada de catalogo general de productos HIDROMAC S.A

✓ Línea ETN

Caudal hasta 3000 gpm/700 m³/h

Elevación hasta 90 m (125 psi)

Descarga 3" hasta 6" DIN o ANSI

Sellamiento: Sello mecánico ó empaquetadura.

Bomba centrífugas tipo caracol de una etapa para 1800 RPM, disponible en sello mecánico o estopero, ejecución eje libre o monoblock. Altamente eficiente y bajo NPSH requerido. Recomendada para bombear líquidos limpios o turbios, aplicándose en abastecimiento de aguas blancas, industrias, riego, fluidos para transferencia de calor, aire acondicionado.

Figura 7. ETN 125-400



Tomada de catalogo general de productos HIDROMAC S.A

✓ Línea MZG

Caudal hasta 100 gpm (25 m³/h)

Descarga 1" hasta 2"

Elevación hasta 200 m (300 psi)

Temperatura hasta 140°C / 275°F

Bomba centrífuga de 2 ó más etapas, con sello mecánico. De construcción monoblock roscada, con motores eléctricos trifásicos hasta 25 HP. Recomendada para aplicaciones de alta presión. Utilizada para estaciones de abastecimiento de agua, centrales de agua y alimentación de calderas.

Figura 8. MZG 25-4



Tomada de catalogo general de productos HIDROMAC S.A

✓ Línea Turbí Plus

Figura 9. Turbí Plus E6T



Tomada de catalogo general de productos HIDROMAC S.A

Caudal hasta 150 gpm /40 m³/h

Elevación hasta 360 m (500psi)

Temperatura 140 °C (275°F)

Bomba turbina regenerativa, compacta, de una o dos etapas. Ideal para aplicaciones de alta presión y bajo caudal, utilizadas ampliamente en alimentación de calderas, procesos químicos, bombeo a grandes alturas y fumigación. Ampla variación de altura de bombeo por su caudal casi constante.

✓ Línea Hidropress

Caudal hasta 250 gpm/60 m³/h

Elevación hasta 105 m

Descarga 1½", 2", 3" y 4".

Figura 10. Hidropress 11 HP 3"x3" DIESEL



Tomada de catalogo general de productos HIDROMAC S.A

Compacta, portátil, de una etapa para alta presión. Acoplada con motores eléctricos, trifásicos o monofásicos (hasta 10 HP) a gasolina ó diesel. Carcasa

provista de salida adicional para eyector, ideal en agricultura, riego por aspersión, exploraciones mineras y en general donde se requiera agua a presión.

✓ Línea Robusta

Caudal hasta 425 gpm / 100 m³/h

Descarga 1 ½" hasta 3"

Elevación hasta 19 m

Sólidos 2" y 3"

Figura 11. Robusta 80-405T



Tomada de catalogo general de productos HIDROMAC S.A

Las bombas ROBUSTAS están diseñadas para ser empleadas en el bombeo de las aguas negras o servidas. Son fáciles de transportar e idóneas en estaciones de tratamiento de agua y en achique de áreas inundadas.

Aplicaciones. En su configuración fija se puede aplicar a las siguientes tareas de achique: Aguas fecales, residuales de procesos industriales, plantas de tratamiento, alcantarillado, saneamiento comunitario e industrial. Provista con doble sello mecánico, cámara de aceite y sensor de humedad para máxima protección del motor eléctrico, con opción monofásica o trifásica.

✓ Línea UNI

Figura 12. *UNI 601*



Tomada de catalogo general de productos HIDROMAC S.A

Caudal hasta 240 gpm / 50 m³/h

Elevación hasta 40 m

Descarga 2" hasta 3"

Las bombas UNI son portátiles, ideales para aplicaciones donde sea necesario bombear agua servida con rapidez y seguridad.

Aplicaciones: En su configuración fija se puede aplicar a las siguientes tareas de achique: Aguas fecales, residuales de procesos industriales, plantas de tratamiento, alcantarillado, saneamiento comunitario e industrial.

Provista con doble sello mecánico, cámara de aceite y sensor de humedad para máxima protección del motor eléctrico, con opción monofásica o trifásica.

✓ Línea AFP monofásica o trifásica

Caudal hasta 6.000gpm/ 1300m³/h

Elevación hasta 28 m

Descarga 3" hasta 12"

Sólidos 4" y 6"

Las bombas sumergibles de la serie AFP se construyen especialmente para la elevación de aguas de alcantarillado sanitario y desechos industriales con detritos gruesos, sin necesidad de enjillamiento previo. Sus dimensiones reducidas y su sistema de acople automático permite una instalación simple, económica y de fácil mantenimiento. Elementos fibrosos y sólidos obstructores, que podrían bloquear los impulsores de bombas convencionales, son impulsados sin problema gracias a su sistema antibloqueo y desgarre. Las AFP están equipadas con doble sello (carburo de silicio) y cámara de aceite con sensor de humedad. Este sistema permite obtener una señal preventiva de mantenimiento y protección a la parte eléctrica.

Figura 13. AFP 101-420



Tomada de catalogo general de productos HIDROMAC S.A

✓ Línea Carcasa Partida

Caudal hasta 5200 gpm, 1200 m³/h

Alturas hasta 150 m

Descarga 1½" hasta 10" ANSI o DIN

Temperaturas hasta 176 °C (350° F)

Sellado: Múltiples opciones, empaque o amplia gama de sellos mecánicos.

Carcasa bipartida con bridas de succión y descarga en la mitad inferior para facilitar inspección y mantenimiento. Recomendada para procesos de: Servicios de enfriamiento, torres de enfriamiento.

Papeleras: Servicios de filtrado y reproceso de aguas, suministro de planta.
Municipales: Rebombeo de aguas blancas y servidas.

Figura 14. Carcasa partida serie 410



Tomada de catalogo general de productos HIDROMAC S.A

✓ Línea Mega prime

Caudal hasta 2500 gpm (120 m³/h)

Elevación hasta 40 m

Descarga 1½", 2", 3", 4", 6" 10"

Bomba autocebante de construcción tipo monoblock con sello mecánico, motores eléctricos trifásicos, monofásicos (hasta 10 HP) y a gasolina o Diesel. Tiene un amplio campo de aplicación en la industria de construcción, agricultura, usos domésticos y la industria en general.

Figura 15. Mega prime E-50-500 - 5HP



Tomada de catalogo general de productos HIDROMAC S.A

✓ Línea Magnum

Figura 16. Mágnum



Tomada de catalogo general de productos HIDROMAC S.A

Caudal 2000 gpm (455 m³/h)
Descarga 2" hasta 6" ANSI o DIN
Elevación 120 m

Bombas centrífugas para manejo de lodos, aguas negras, papeleras, cementeras y minería. Construcción en diversos materiales. Disponible en sello mecánico.

✓ Línea ANSI 2196
Caudal 7000 gpm/1590 m³/h
Elevación 200 m
Descarga 1½" hasta 8"

Motobomba centrífuga monoblock con sello mecánico, con motores a gasolina, diesel o monofásica (hasta 10 HP). Diseñada para aplicaciones de riego por aspersión, provista de descarga adicional para inyectores.

Figura 17. ANSI 2196



Tomada de catalogo general de productos HIDROMAC S.A

1.6 RANGOS PARA LOS CUALES SE DESARROLLA EL PROYECTO⁷

Rango de Caudal: El rango de caudal para el cual se desarrolla este proyecto es de 5 a 3500 gpm. Después de analizar cada uno de los métodos más comunes para la medida de ésta variable física, se decide para esta aplicación la implementación de flujómetros de turbina.

Rango de presión (altura): El rango de presión (altura) para los cuales se desarrolla este proyecto es de 0 a 1000 psi. Además se necesita conocer el nivel de presión en succión, cuyo valor a menudo es negativo, este dato ésta comprendido en ± 1 atmosfera de presión. La obtención de esta medida se realiza a través de transductores de presión.

Rango de potencia: El intervalo de potencia para este proyecto es de 2 a 500 hp. Después de analizar los diferentes métodos empleados para tal caso, se decide trabajar con el método de ARON. Siendo necesaria la implementación de un transductor de potencia con 2 bobinas para corriente y 2 resistencias para tensión.

Tipo de motor: Todas las pruebas desarrolladas son hechas para bombas conectadas a motores eléctricos.

Alimentación de los motores encargados de impulsar la bomba: La conexión debe ser de 110, 220 o 440 VAC, según corresponda, las pruebas se realizan principalmente con motores a 440 VAC. Para este caso se emplean transductores de tensión (uno por fase).

Corriente de entrada: El rango de corrientes de entrada a los motores encargados de generar la potencia mecánica a la bomba es de 5-500 A. Se utilizan transformadores de corriente para reducir la corriente de entrada al intervalo entre

⁷ Los criterios de selección y características tenidas en cuenta para la selección de los equipos utilizados en el proceso de medida se describen en la sección 2.

0-5A, posteriormente se utiliza transductores de corriente para convertir dicha variable física en señal electrónica.

Velocidad de giro: La velocidad de giro está comprendida entre 1200 y 3500 rpm. La medida se realiza a través de un tacómetro e ingresada manualmente por el operario.

Diámetro de succión: El diámetro de succión para el sistema presentado en éste proyecto es 1", 2", 4" y 8".

Diámetro de descarga: El diámetro de descarga para el sistema propuesto en éste proyecto es 1", 2", 4" y 8".

Tipo de conexión: Los motores de las bombas en prueba pueden tener tanto conexión triángulo como estrella.

Sistema de arranque: Para realizar el arranque del motor al inicio de la prueba se usa un arrancador suave estrella – triángulo.

1.7 ADQUISICIÓN DE DATOS

La adquisición de datos involucra recolección de señales desde diferentes fuentes de medida y de señales digitales para almacenamiento, análisis y presentación en un PC. Los sistemas de adquisición de datos (DAQ), vienen en una gran variedad de tecnologías para PC, con gran flexibilidad cuando se elige nuestro sistema. Científicos e ingenieros pueden elegir de PCI, PXI, PCI Express, PXI Express, PCMCIA, USB, Wireless and Ethernet para pruebas de adquisición de datos, medida y aplicaciones de automatización. Los siguientes cinco componentes deben ser considerados cuando se construya un sistema básico DAQ:

- Transductores y sensores
- Señales
- Acondicionador de señales
- Hardware DAQ
- Conductores y aplicación en software

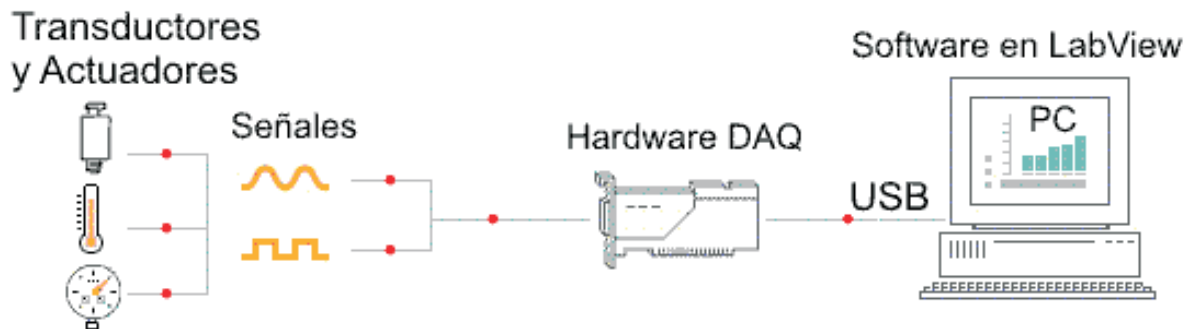
Los dispositivos USB de adquisición de datos son ideales para una variedad de aplicaciones desde sistemas simples de registro de datos a sistemas embebidos OEM. Como resultado, los dispositivos DAQ USB de National Instruments varían entre dispositivos de una sola función a bajo costo a dispositivos multifunción de 16 bits de alta velocidad. Ya que los puertos USB son fáciles de obtener, se tiene la libertad de desarrollar la aplicación en una PC de escritorio o laptop sin importar la plataforma que use para la aplicación final.

2. INSTRUMENTACIÓN, MONTAJE

En este capítulo se presenta la topología y los dispositivos involucrados, para la obtención y transmisión de las señales y variables de medida hacia el computador.

En la figura 18 se presenta el diagrama correspondiente a la implementación utilizada para la obtención y control de los diferentes parámetros (variables) involucrados en la realización de las pruebas de rendimiento para bombas centrífugas. Allí se observa que existe dos tipos de señales, las de tipo analógico, provenientes de los transductores y las de tipo digital de entrada y salida utilizadas para el control electrónico del sistema. Estos dos tipos de señales entran al PC a través de un dispositivo DAQ, encargado de realizar la interfaz entre los transductores y el PC por medio del puerto USB.

Figura 18. Diagrama de bloques del sistema



Tomada de <http://www.ni.com/dataacquisition/esa/whatis.htm>

Debido a las diferencias de potencial que se presentan entre el sistema eléctrico y electrónico, se hace indispensable la utilización de equipos que mantengan el aislamiento, que permitan llevar de manera eficiente la cantidad de entradas y

salidas y a su vez proteger el ordenador, especialmente en las medidas de potencia, ya que en éstas se presentan las más altas diferencias de tensión y corriente.

2.1 SELECCIÓN DE EQUIPOS Y TOPOLOGÍAS

Se seleccionó esta topología (Adquisición de Datos DAQ por puerto USB) debido principalmente a que el puerto USB presenta para esta aplicación una alta velocidad de adquisición de datos a un muy bajo costo, brindando la posibilidad de utilizar una sola interfaz para manejar todas las señales (digitales y analógicas), además es muy versátil y puede restablecerse sin la necesidad de reiniciar el ordenador. Además, la gama de equipos compatibles con este puerto es muy variada, lo cual permite más opciones para escoger, con el fin de obtener el equipo que mejor se ajuste a los requerimientos del proceso. Es una topología que se encuentra actualmente en auge en el desarrollo de procesos tecnológicos en la industria mundial.

Una vez revisadas las diferentes compañías dedicadas a la fabricación de equipos de adquisición de datos con compatibilidad USB, tales como OMEGA, National Instruments, entre otras, se llegó a la conclusión que las gamas ofrecidas por la segunda opción, presentan mejores posibilidades de desempeño, mayor diversidad y un menor costo, además, dicha compañía es la gestora de LabVIEW®, programa utilizado para la implementación del software del sistema, lo cual genera mayor compatibilidad y no requiere de protocolos de comunicación.

Los equipos de Adquisición de Datos tipo USB ofrecidos por National Instruments, presentan alta velocidad de adquisición, resolución de hasta 18 bits, hasta 80 puertos de entrada analógico con entrada simple y 40 con entrada diferencial (pueden trabajar de forma simple o diferencial), velocidad de muestreo hasta 1.25 Megamuestras/segundo, hasta 4 canales de salida analógica, hasta 48 canales de entrada-salida digital, posibilidad de disparo analógico o digital, portátiles, de muy

fácil uso, no requiere conexiones complejas para su implementación, no requiere fuente externa de alimentación, presenta compatibilidad con una gran gama de transductores, tiene entradas y salidas tanto analógicas como digitales, altas posibilidades de selección en cuanto a la cantidad de puertos disponibles.

Para el desarrollo de este proyecto se seleccionó la USB-6218 de National Instruments, la cual es una tarjeta aislada de adquisición de datos (DAQ) multifunción de la Serie M energizado por bus USB y optimizado para una precisión superior a velocidades de muestreo más altas. Ofrece 32 entradas simples analógicas o 16 diferenciales, velocidad de muestreo de 250 kilo-muestras/segundo de un solo canal (250 kilo-muestras/segundo multicanal multiplexadas), dos salidas analógicas, ocho líneas de entrada digital, ocho líneas de salida digital, cuatro rangos de entrada programable (± 0.2 a ± 10 V) por canal, disparo digital, resolución de 16 bits y dos contadores/temporizadores, aislamiento CAT I de 60 V para seguridad y precisión mejoradas. Para más especificaciones ver hoja de datos en anexo A.

2.1.1 Equipos transductores. Para la selección de equipos transductores se tuvieron en cuenta varios criterios, algunos con más relevancia que otros.

Primero se realizó una búsqueda exhaustiva de las diferentes empresas dedicadas a la fabricación de estos equipos, con el fin de seleccionar la más acorde para el desarrollo del sistema, se llegó a la conclusión que lo ofertado por Omega representaba la mejor posibilidad en cuanto a características técnicas, compatibilidad con el hardware DAQ, rangos disponibles, posibilidades de importación, precios, diversidad, reconocimiento industrial entre otras.

Las características técnicas tenidas en cuenta para la selección de los equipos transductores específicas (algunas con más relevancia que otras) fueron: tensión de alimentación, rango, precisión, repetitividad, exactitud, salida, compatibilidad

con la tecnología DAQ-USB, precio, aislamiento eléctrico, temperatura de operación, comportamiento en ambiente industrial, entre otras. Esta información es obtenida de las hojas de datos proporcionadas por el fabricante.

✓ Transductores de tensión: debido a que las pruebas de rendimiento en la empresa se realizan principalmente con motores cuya tensión de alimentación es trifásica en conexión Δ a 440 VAC, se seleccionaron transductores de tensión que admitan este rango de entrada, el equipo transductor escogido es el CCT-08-0/650V. Se alimenta directamente de la red a 110VAC; sin necesidad de rectificar la señal, presenta un rango de precisión muy bueno para esta aplicación. Sus características técnicas⁸ son:

- Alimentación: 115 Vac ($\pm 10\%$) 50/60 Hz
- Rango entrada: 0/650 VAC (tiene la posibilidad de selección para diferentes rangos cambiando jumpers en su configuración interna, pero este es el rango requerido para esta aplicación)
- Exactitud (accuracy): 0.3% FS
- Salida: 0-5 VDC (tiene la posibilidad de selección para diferentes rangos de salida tanto corriente como voltaje (4-20mA, ± 10 VDC, etc), realizando la configuración adecuada de una serie de jumpers y resistencias en su configuración interna, pero este es el rango requerido para esta aplicación)
- Respuesta (slew rate): < 250 ms
- Potencia consumida: ≤ 1.5 VA
- Temperatura: -30° a $+80^\circ$ C
- Coeficiente de temperatura: ≤ 0.015 %/ $^\circ$ C
- Aislamiento: entrada, salida y alimentación son aislados a 2 kVef 50 Hz/1 m.

✓ Transductores de corriente: la gran mayoría de transductores de corriente aceptan señales de entrada máximo de 5AAC, los transductores ofrecidos por

⁸ Tomadas de las hojas de datos suministradas por el fabricante.

omega no es la excepción, para el desarrollo de este proyecto se seleccionó el equipo transductor de corriente CCT-04-0/5A, cuyas características técnicas⁹ son:

- Alimentación: 115 Vac ($\pm 10\%$) 50/60 Hz (no necesita rectificador externo de corriente)
- Rango entrada: 0/5 AAC (tiene la posibilidad de selección para diferentes rangos, pero este es el requerido para esta aplicación)
- Exactitud (accuracy): 0.3% FS
- Salida: 0-5 VDC (presenta las mismas posibilidades de selección presentadas para el CCT-08-0/650V)
- Respuesta (slew rate): < 250 ms
- Potencia consumida: ≤ 1.5 VA
- Temperatura: -30° a $+80^\circ$ C
- Coeficiente de temperatura: ≤ 0.015 %/ $^\circ$ C
- Aislamiento: Entrada, Salida y alimentación son aislados a 2 kVeff. 50 Hz/1 m.

El intervalo de entrada de los transductores de corriente es 0 a 5 AAC y teniendo en cuenta que se necesitan medir corrientes entre 5 y 600 AAC, se hace indispensable la utilización de transformadores de corriente con el fin de adecuar las señales al rango permisible por dicho transductor. Además mejorar el aislamiento eléctrico del proceso.

✓ Transformadores de corriente: para realizar ésta selección se tuvo en cuenta básicamente la relación de transformación, error de transformación y costo. Con lo cual se seleccionó la serie RCT, la cual presenta un error clase 1 (ver tabla 4), y variedad en las relaciones de transformación. Dado que en procesos de medida es recomendable trabajar los transformadores de corriente entre el 25% y 100% de su capacidad nominal, se seleccionaron los rangos (relaciones de transformación): 20:5A, 60:5A, 200:5A y 600:5A.

⁹ Tomadas de las hojas de datos suministradas por el fabricante.

Clasificación de errores en transformadores de medida- transformadores de intensidad según CEI 60044-1.

Tabla 4. Error de relación clases de medida

Clase de exactitud	± Error porcentual de relación				± Error de fase en minutos			
	5%	20%	100%	120%	5%	20%	100%	120%
0.1	0.40	0.20	0.10	0.10	15	8	5	5
0.2	0.75	0.35	0.20	0.20	30	15	10	10
0.5	1.50	0.75	0.50	0.50	75	37	25	25
1.0	3.00	1.50	1.00	1.00	150	75	50	50

Tomada de: <http://www.ingelec.uns.edu.ar/lmei2773/docs/LME1-NC04-Instrumentacion%20-%20Transformadores%20de%20Medida.PDF>

Nota: No dejar nunca abierto el circuito secundario de un transformador de intensidad cuando ésta en tensión. De no hacerlo así aparecen tensiones elevadas en los bornes del circuito del secundario, y pueden resultar peligrosas para las personas y provocar la destrucción del transformador de intensidad.

- ✓ Transductor de presión: para la medida de presión se seleccionaron los equipos transductores de la serie PX319, cuyas especificaciones¹⁰ son:
 - Excitación: 9 a 30 Vdc (<10 mA) (protección contra polaridad inversa y sobrevoltaje)
 - Salida: 0 a 5 Vdc
 - Exactitud (Accuracy): ±0.25% incluida linealidad, histéresis y repetitividad
 - Offset: ±2% FSO
 - Ajuste de *Span*: ±2% FSO

¹⁰ Tomadas de la hoja de datos proporcionada por el fabricante para la serie PX319.

- Banda de error total: $\pm 2\%$ FSO, incluida linealidad, histéresis, repetitividad, histéresis térmico y error térmico
- Estabilidad a largo plazo (1 año): $\pm 0.25\%$ típico
- Vida típica: 10 millones de ciclos
- Temperatura de operación: -40 a 85°C (-40 a 185°F)
- Compensación de temperatura: -20 a 85°C (-4 a 185°F)
- Presión de ruptura: 5 veces la capacidad
- Respuesta en el tiempo: <1 ms
- Vibración: ± 20 g
- Toma de presión: 1/4-18 MNPT
- Conexiones eléctricas: Conector Mini DIN

Debido a que el error en un equipo de medida electrónico aumenta a medida que disminuye el valor de la variable física a medir y los datos de error proporcionados por el fabricante es a escala completa, se realiza la selección de los siguientes rangos de medida: 30 PSIG, 100PSIG, 300PSIG y 1000PSIG con el fin de trabajar entre el 30% y el 100% de la capacidad de medida de los transductores.

Para la obtención de datos de presión en succión, siendo estos valores a menudo negativos, se seleccionó la serie PX219, cuyas características técnicas¹¹ son:

- Excitación: 24 Vdc @ 15 mA
- Salida: 0 a 5 Vdc ó 0 a 10 Vdc, $\pm 1.5\%$ FSO, 3-cables
- Balance en cero: 0 Vdc $\pm 2\%$ FSO
- Exactitud (accuracy): 0.25% FS (incluyendo linealidad, histéresis y repetitividad)
- Temperatura de operación: -54 a 121°C (-65 a 250°F)
- Compensación de Temperatura: -20 a 80°C (-4 a 176°F)
- Efectos térmicos: 0.04% FS/ $^{\circ}\text{C}$ (0.02% FS / $^{\circ}\text{F}$)
- Presión de ruptura: 300% rango máx.
- Respuesta en el Tiempo: 2 ms típico

Los valores máximos de presión a medir en succión son aproximadamente ± 15 PSIG (± 1 atmosfera de presión). La medida se realiza con un único transductor cuyo rango de medida cumple con estas especificaciones (± 1 atm).

Para proteger los transductores de presión ante variaciones fuertes (picos) en la señal de entrada, se utilizan *Snubbers* conectados en serie con el transductor cuya referencia es PS-4E, además se realiza la implementación de electroválvulas, para cerrar el paso del líquido hacia el transductor cuando este exceda los límites permisibles por dicho transductor, para tal fin se tiene la serie SV-121, cuyas características son: 10 Watts, bobinas de 120 Vac, 50-60 Hz, elaboradas en acero inoxidable con soporte de presión máxima de 1000 psid. Son electroválvulas normalmente cerradas, una vez se ingresa la referencia de la bomba en prueba, el sistema energizará la electroválvula encargada de la protección del transductor destinado a la toma de esa medida.

✓ Potencia de Entrada: para realizar la medida de la energía eléctrica consumida por el motor de la bomba centrífuga, se utiliza un transductor de potencia el cual utiliza el método de ARON para tal fin en conexiones bien sea Δ o Y. Su rango de entrada en corriente es 0 a 5AAC; para medir las corrientes consumidas por los diferentes motores de las bombas fabricadas por HIDROMAC se utilizan los transformadores de corriente implementados en el monitoreo de corriente. Cuando se realizan medidas en conexiones a 440 VAC se hace necesario el uso de transformadores de voltaje, pues dicho transductor se desempeña correctamente con tensiones de entrada máximas de 240 VAC. Por lo cual se hace necesario el uso de transformadores reductores (de medida) de 440:220 VAC. Las características técnicas¹² del transductor de potencia son:

¹¹ Tomadas de las hojas de datos proporcionadas por el fabricante

¹² Tomados de la hoja de datos del fabricante

- ✓ Exactitud (Accuracy): 0.2% de la lectura
- ✓ Sobrecarga de entrada: Voltaje, 120% continuo, 150% por 5 segundos; Corriente, 200% continuo, 1000% por 5 segundos
- ✓ Salida: 4-20 mA con 750 Ohm Max 15 Vdc
- ✓ Salida de calibración: 120 Vac/5 Amps = 0-500 watts/elemento; 240 Vac/5 Amps = 0-1,000 watts/elemento
- ✓ Ajuste a cero: $\pm 5\%$ mínimo
- ✓ Tiempo de respuesta: <400 ms 0-99% de escala completa
- ✓ Potencia consumida: 5 VA máx.
- ✓ Aislamiento: Entrada a salida: 2500 Vac, 60 Hz, 1min; Entrada a potencia: 2500 Vac, 60 Hz, 1 min; Entrada a carcasa: 2500 Vac, 60 Hz, 1 min; Potencia a salida: 2000 Vac, 60 Hz, 1 min; Potencia a carcasa: 2000 Vac, 60 Hz, 1 min; salida a carcasa: 500 Vac, 60 Hz, 1 min.

✓ Medida de Flujo: la empresa en su antiguo sistema, tenía instalados transductores de flujo tipo turbina, y debido al coste que representaba su cambio, se acoplo el sistema para realizar esta medida con ellos; además que cumplen con los requerimientos técnicos del proceso. Se emplean cinco transductores con los siguientes diámetros: 1, 2, 4 y 8 pulgadas cuyos rangos de caudal son 5 – 50, 40 – 400, 100 – 1200, 350 - 3500 respectivamente.

Para características técnicas ver hoja de datos en http://www.c-a-m.com/content/products/product_detail.cfm?pid=51638.

Para la visualización de los resultados obtenidos se dispone del dispositivo DPF701-A el cual es un totalizador de flujo. Este dispositivo cuenta con una salida analógica de voltaje proporcional al flujo medido por el equipo, lo cual facilita el ingreso de los datos al PC.

2.2 ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA

En la figura 19 se presenta el esquema general del montaje para el sistema.

Figura 19.a Esquema general del sistema.

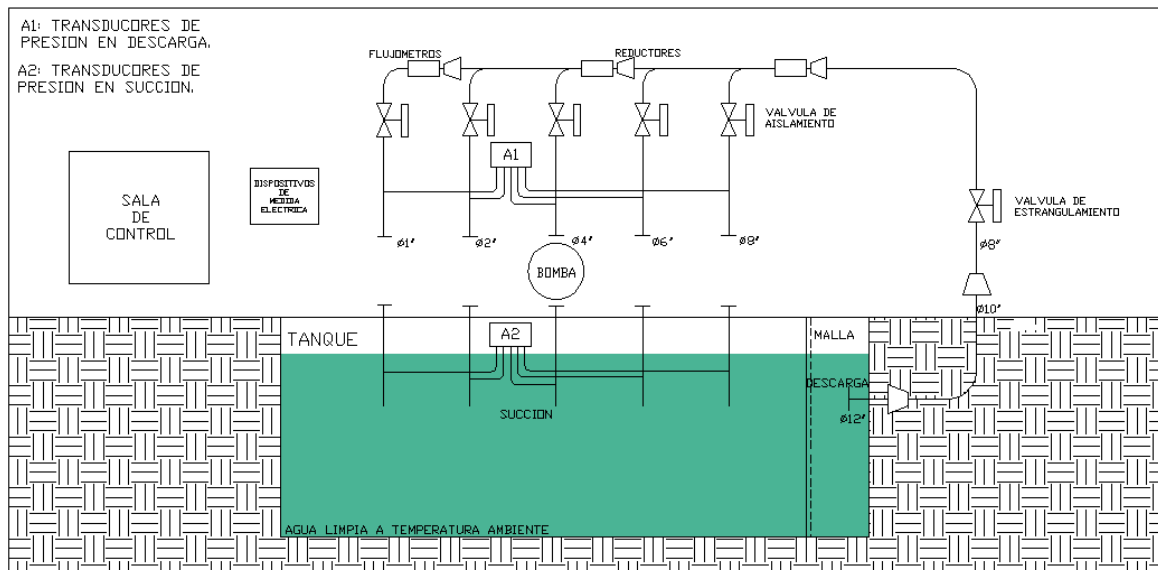


Figura 19.b Sistema de conexión de los transductores de presión a la tubería.

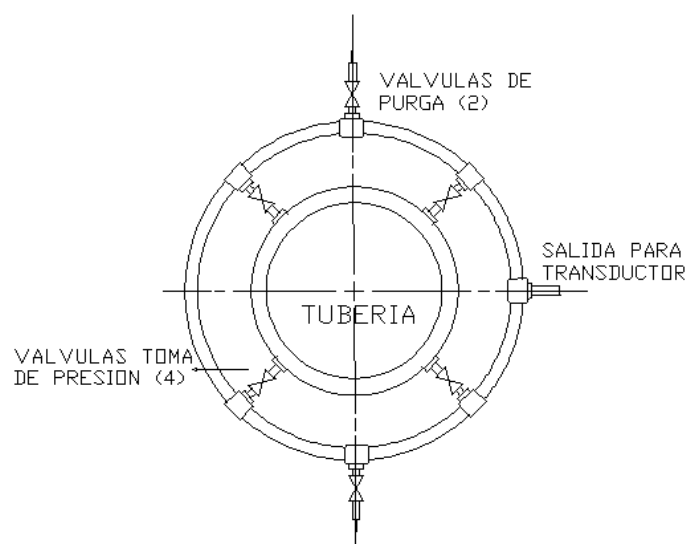
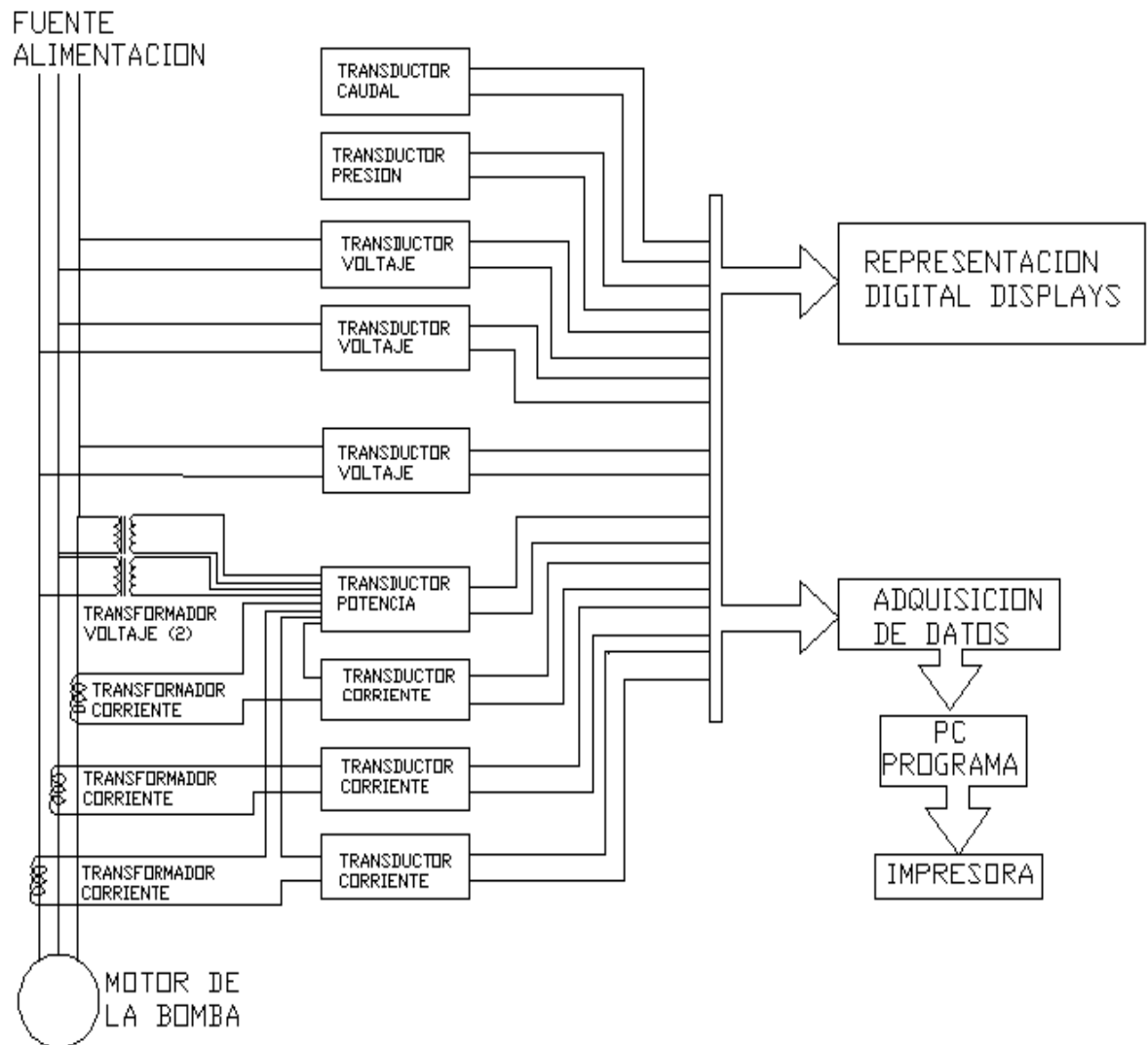


Figura 19.c Dispositivos de medida electrónica.



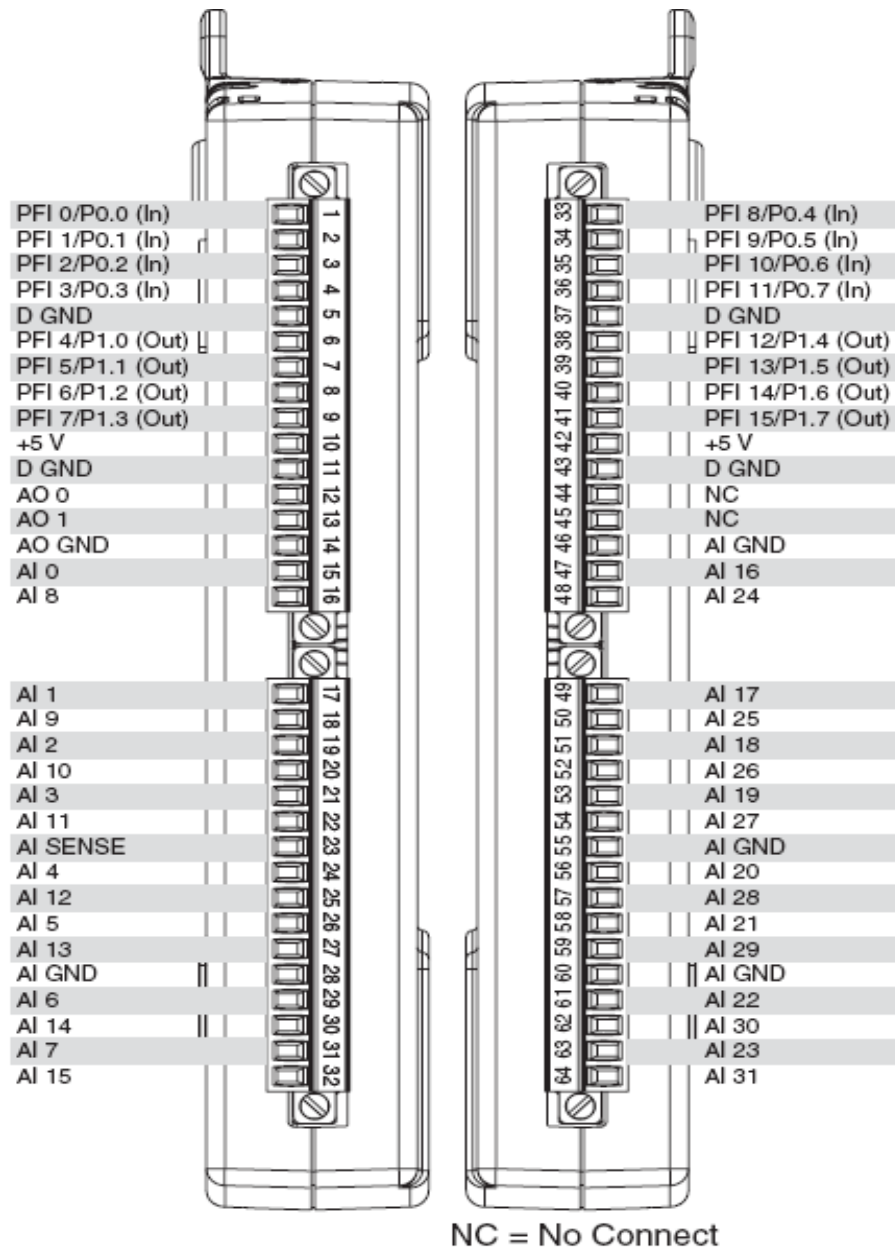
El autor

2.3 CONEXIÓN Y CONFIGURACIÓN DEL HARDWARE

A continuación se explica la conexión de cada uno de los equipos en la configuración final del sistema, teniendo en cuenta sus entradas y salidas.

2.3.1 Adquisición de datos (USB 6218)

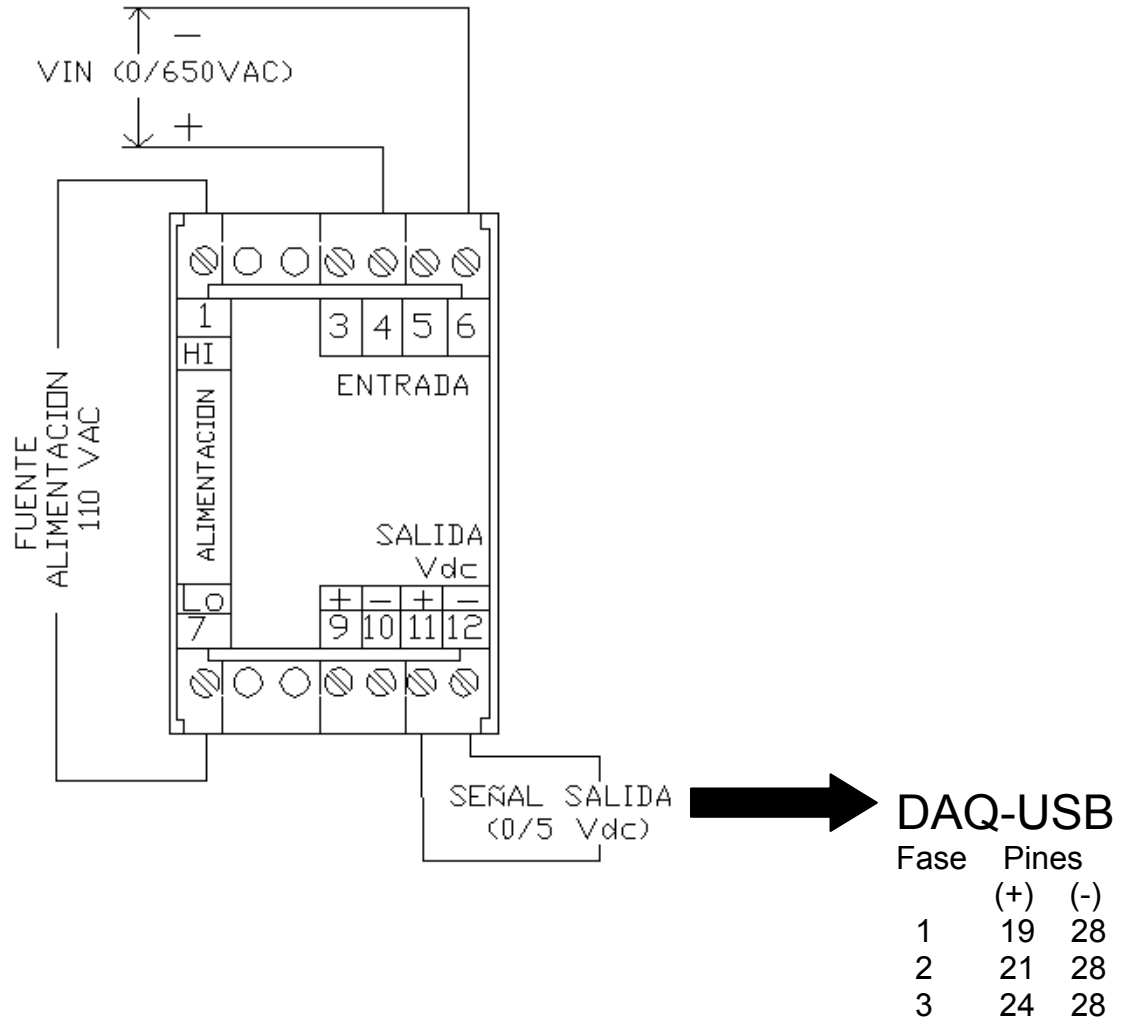
Figura 20. Configuración de pines para el dispositivo de adquisición de datos USB-6218



Tomada de hojas de datos del fabricante

2.3.2 Transductor de voltaje (CCT-08-0/650V)

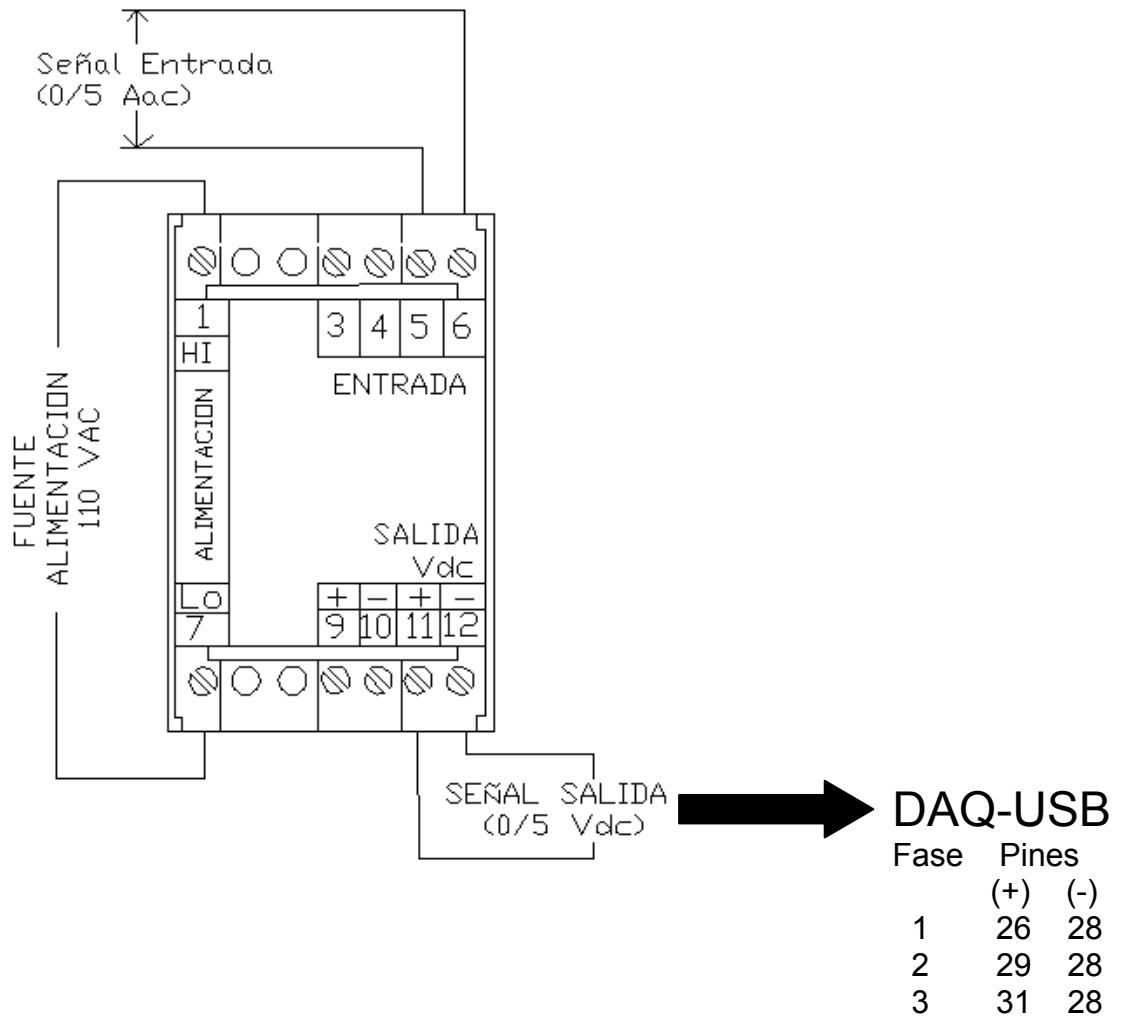
Figura 21. Esquema de conexión del CCT-08-0/650V



El autor

2.3.3 Transductor de corriente (CCT-04-0/5A)

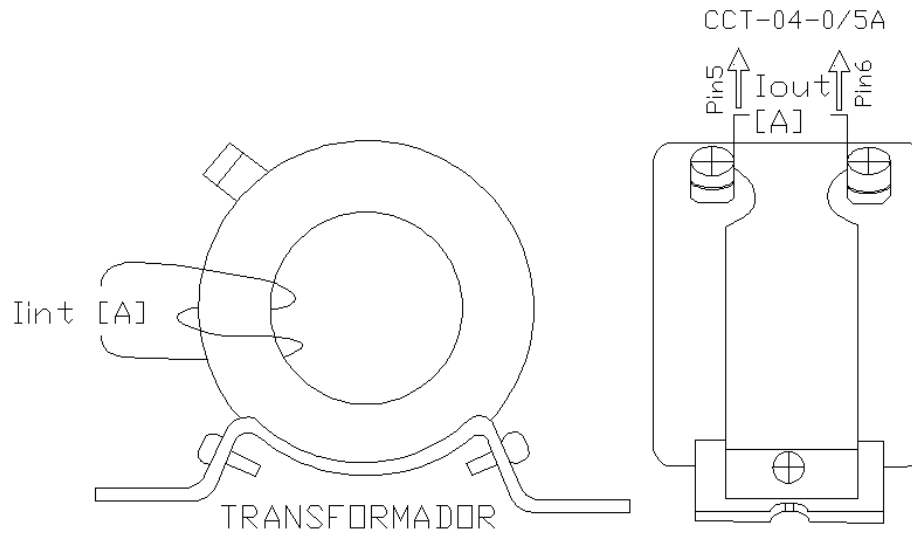
Figura 22. Esquema de conexión del CCT-04-0/5A



El autor

2.3.4 Transformadores de corriente (SERIE RCT)

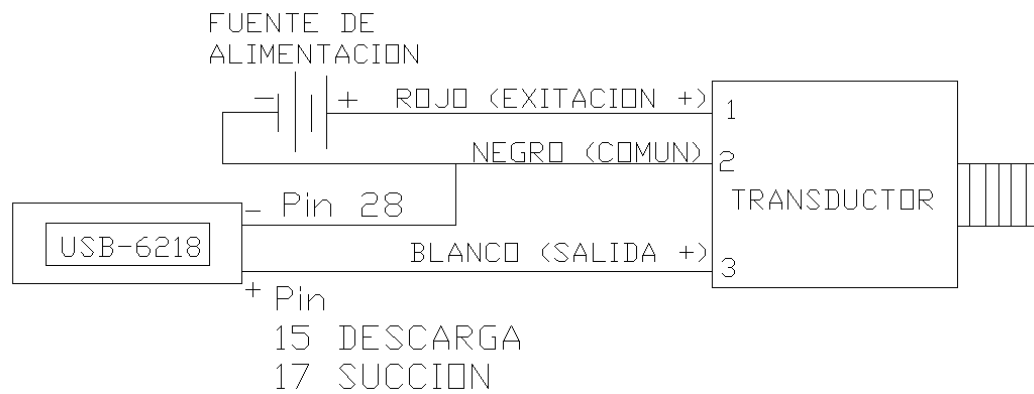
Figura 23. Esquema de conexión de los transformadores de corriente serie RCT



El autor

2.3.5 Transductores de presión (Series PX219 Y PX319)

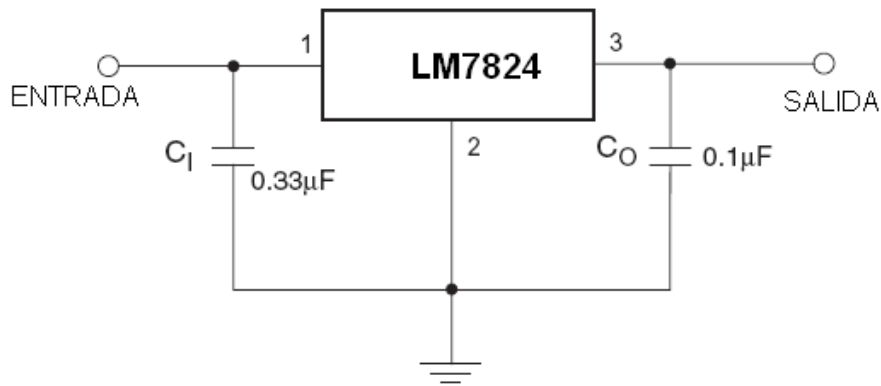
Figura 24. Esquema de conexión, transductores de presión series PX219 y PX319



El autor

En la figura 25. Se presenta el circuito regulador empleado para excitar los transductores de presión.

Figura 25. Circuito regulador ($V_o = 24VAC$)



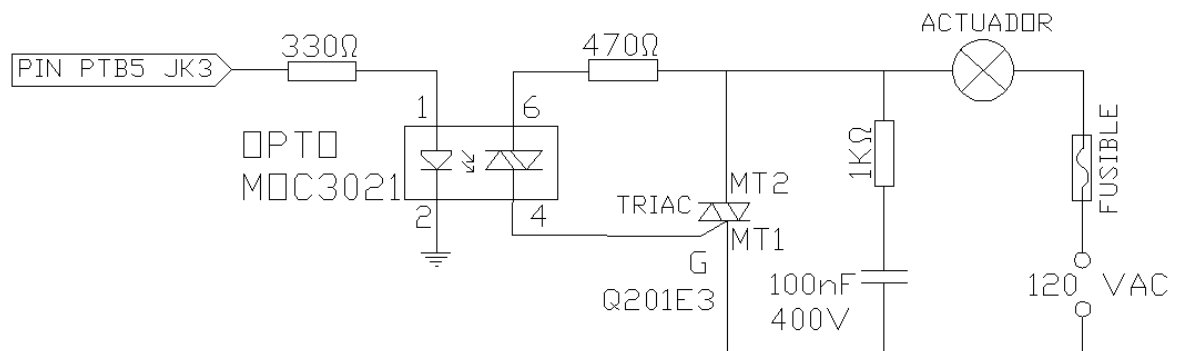
El autor

2.3.6 Electroválvulas (SERIE SV-121). Para controlar los actuadores (electroválvulas) se hace indispensable la implementación de un circuito acoplador entre el sistema eléctrico y electrónico, para lo cual se presenta el circuito mostrado en la figura 26.b. El cual está compuesto por un optoacoplador, quien se encarga de transmitir un pulso electrónico de voltaje para activar un triac y de esta forma permitir el flujo de corriente hacia la electroválvula y por ende su activación. Esta electroválvula es normalmente cerrada y controlada además del PC por un sistema embebido ...ver sección 3.3... lo cual favorece la protección del transductor en operación, cuando por algún motivo se desconecte el sistema principal, PC.

Figura 26.a. Esquema de conexión electroválvulas SV-121



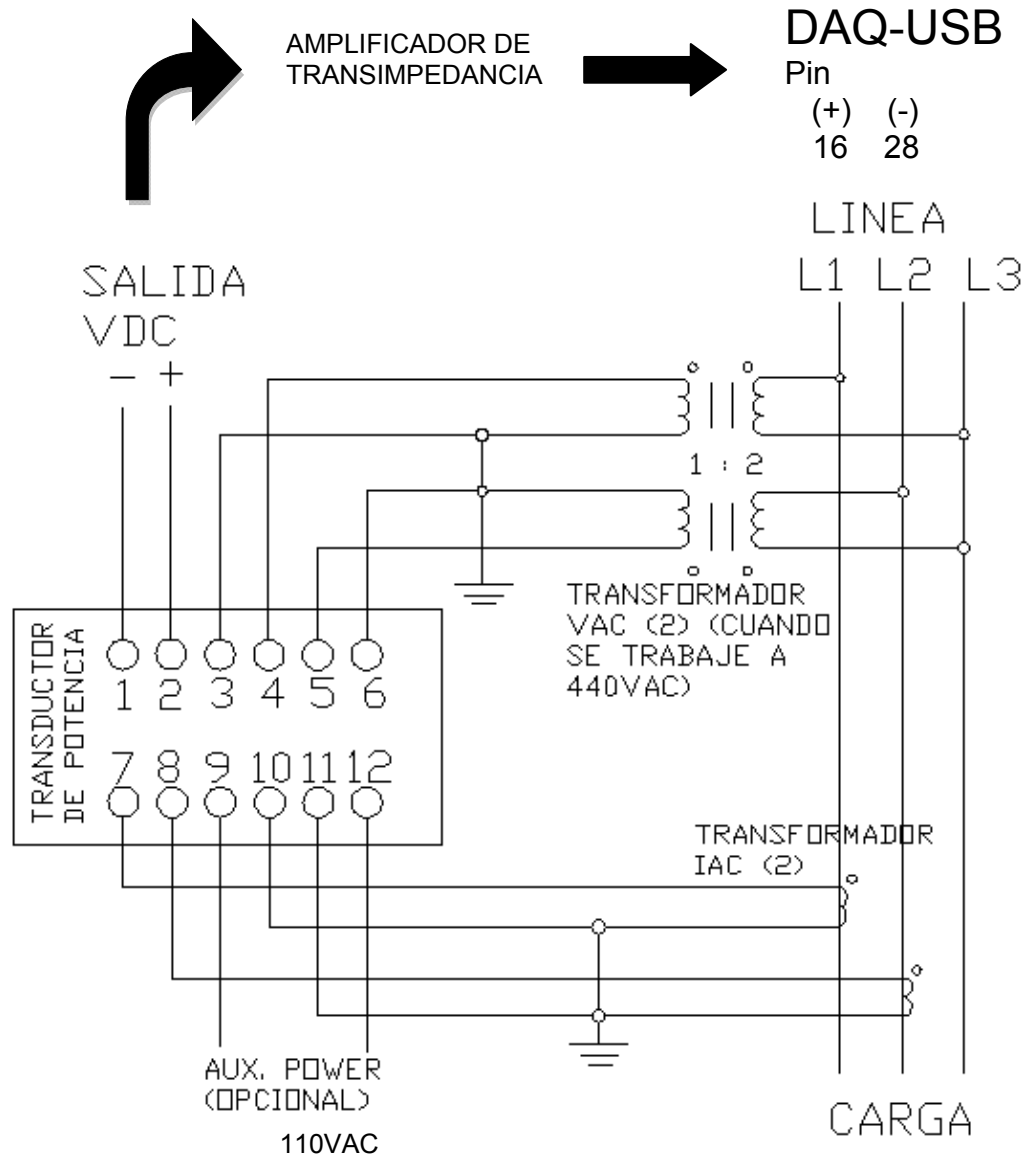
Figura 26.b Circuito de acople activación de actuadores



El autor

2.3.7 Transductor de potencia

Figura 27. Esquema de conexión transductor de potencia

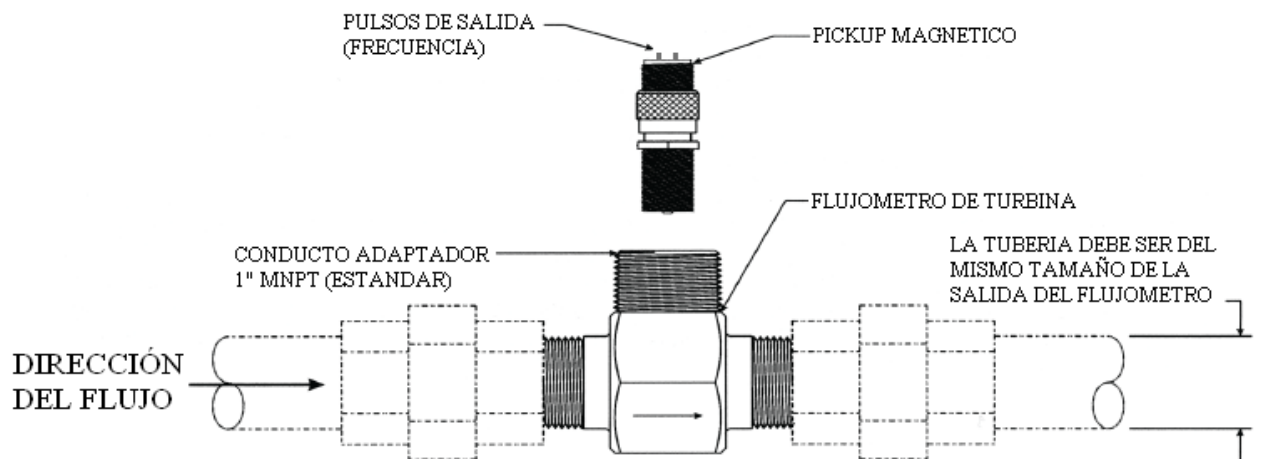


El autor

2.3.8 Medida del volumen de líquido que circula por una tubería por unidad de tiempo (Flujómetros)

El esquema mostrado en la figura 29, es para un flujómetro de turbina con conexión a la tubería tipo rosca, este es el caso de los flujómetros de 1 y 2 pulgadas, para los de 4 y 8 pulgadas la conexión es con bridas, los diferencia su conexión a la tubería por la cual circula el flujo de agua, el resto de la configuración es la misma.

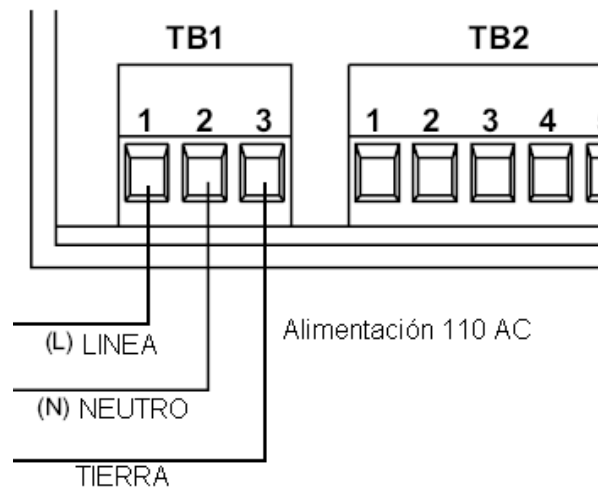
Figura 28. Esquema de conexión flujómetros



El autor

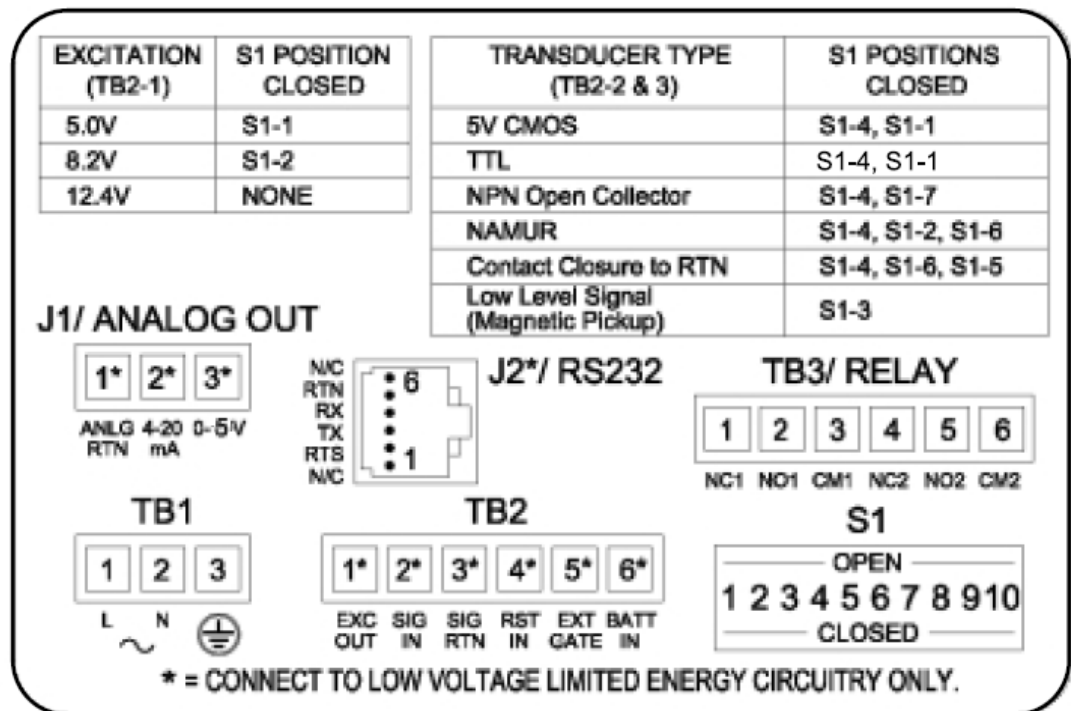
DPF701-A: en la figura 29 se presenta el esquema de conexión para este dispositivo. Para más información ver hoja de datos en <http://www.omega.com/Manuals/manualpdf/M1676.pdf>

Figura 29.a. Alimentación DPF701-A



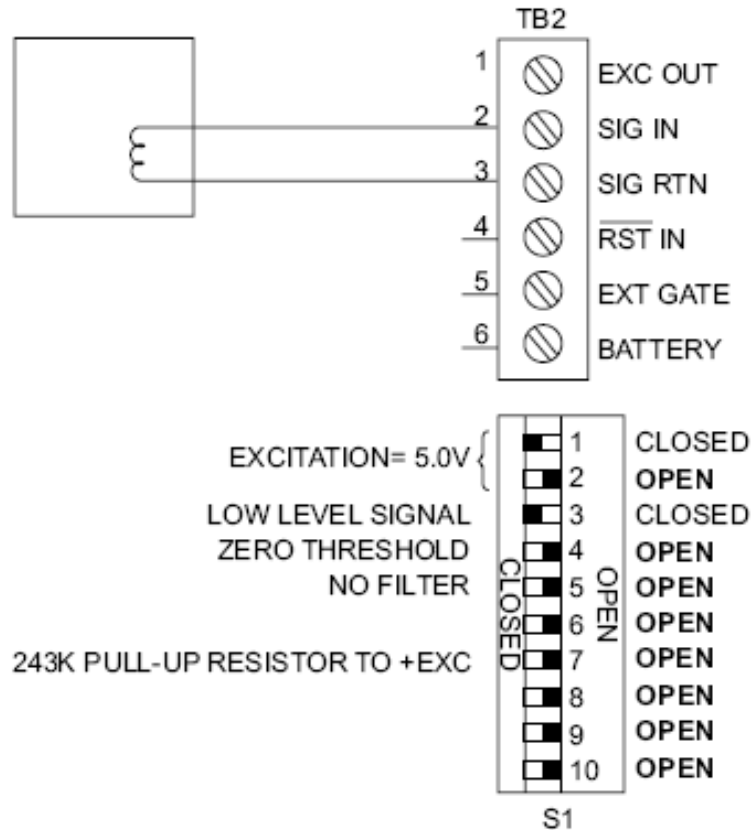
El autor

Figura 29.b Niveles de conexión DPF701-A



Tomada de hojas de datos proporcionadas por el fabricante

Figura 29.c conexión con dos líneas, desde un *Pickup* magnético (señales de bajo nivel)

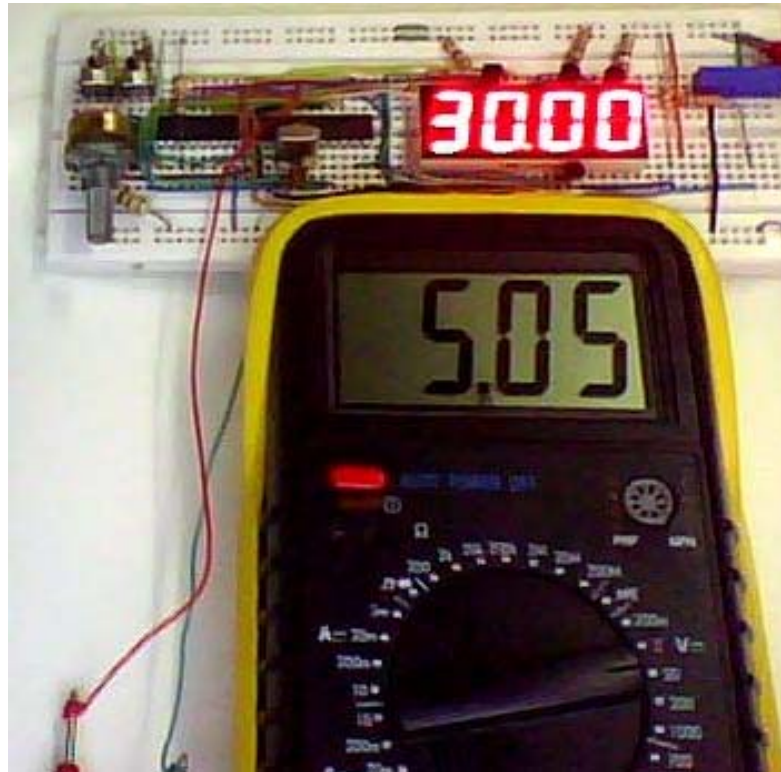


Tomada de hojas de datos proporcionadas por el fabricante

2.4 REPRESENTACIÓN DIGITAL (DISPLAY'S)

Con el fin de que el operario del sistema pueda ver los datos suministrados por la bomba durante el proceso de prueba en tiempo real, se diseñó un sistema embebido con la implementación del microcontrolador MC68HC908JK3. En la figura 31 se presenta una imagen del sistema utilizado para realizar las pruebas de este sistema embebido. El diseño del software se presenta en la sección 3.3.

Figura 30. Montaje utilizado para realizar pruebas, sistema embebido



El autor

En la tabla 5 se relaciona el % de error en este sistema embebido.

Tabla 5. % error sistema embebido en la medida de presión

	0-30 PSI	0-100PSI	0-300PSI	0-1000PSI
25% FS	3.30%	2.70%	3.20%	2.40%
FS	1.00%	1.03%	0.60%	0.83%

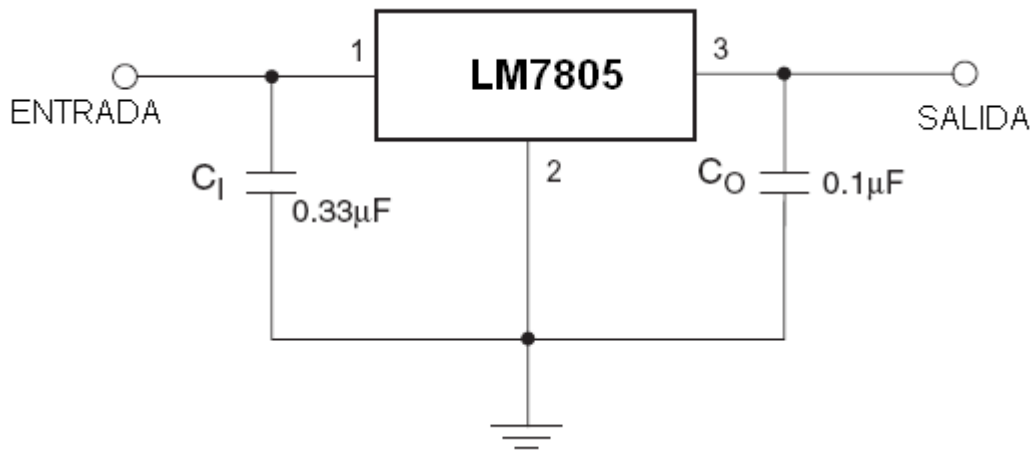
El autor

Estos porcentajes de error (incluyendo el % error del voltímetro el cual es de $\pm 0.5\%$) cumplen con los márgenes permisibles por la norma del Instituto Hidráulico de los Estados Unidos.

Proceso análogo se desarrollo para la visualización de voltaje, corriente y potencia.

En la figura 31. Se presenta el circuito regulador empleado para la polarización del sistema embebido.

Figura 31. Circuito regulador para la polarización del sistema embebido ($V_0 = 5\text{VDC}$)



El autor

3. SOFTWARE DEL SISTEMA

3.1 DESARROLLO DE LA APLICACIÓN EN LABVIEW®

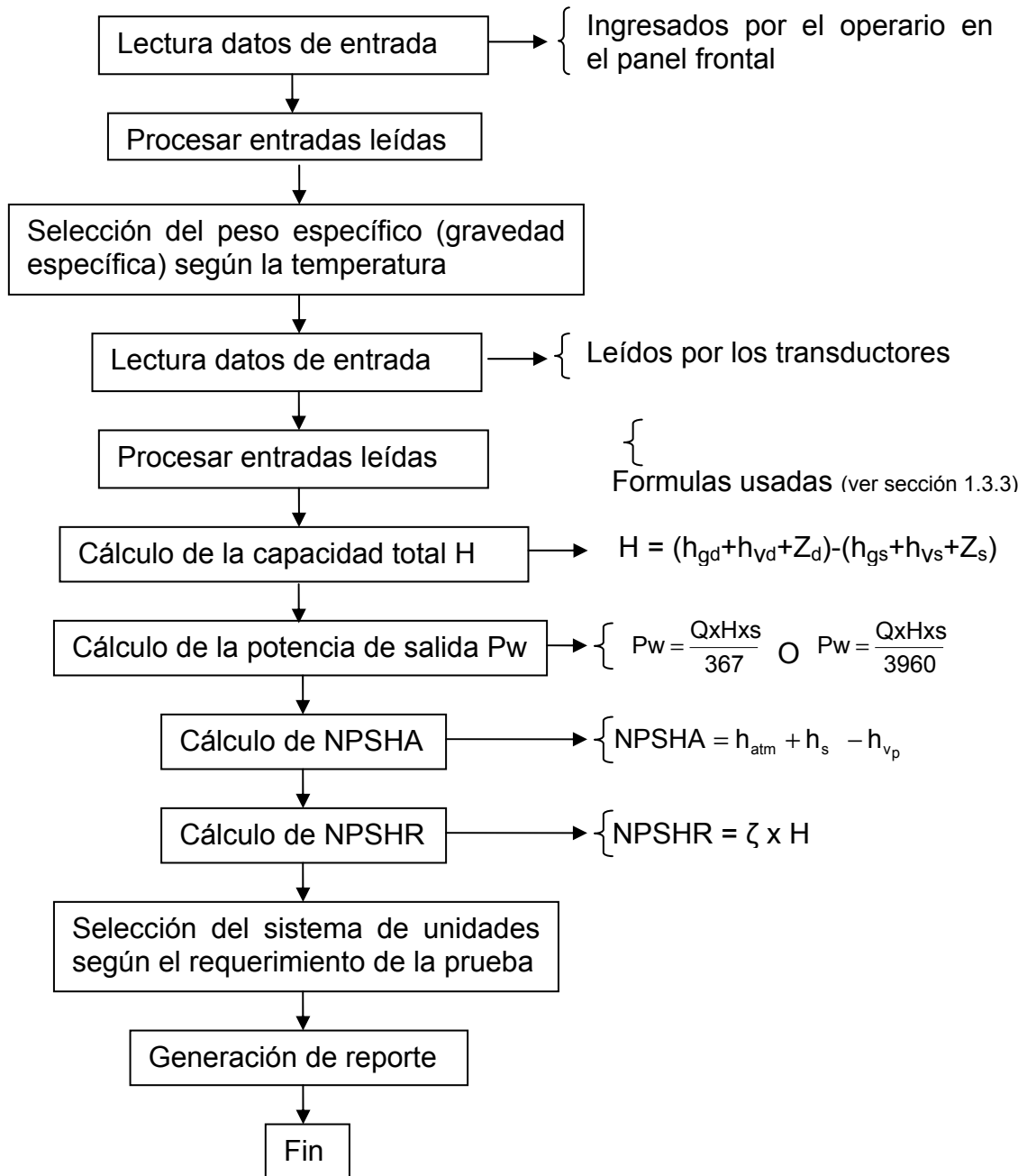
En este capítulo se explica la metodología utilizada en el desarrollo de la aplicación el LabVIEW®, basándose en la teoría presentada en la...sección 1.3.3..., posteriormente se explican los aspectos involucrados a lo largo de este desarrollo hasta llegar al producto final.

Debido a que el proceso de prueba en bombas centrífugas en la empresa Hidromac comprende diversas tareas, como la comunicación con la tarjeta de adquisición de datos, cálculos de las diferentes variables a conocer del proceso, generación de reporte, entre otras, es necesario proponer un orden o secuencia para la ejecución de la aplicación en LabVIEW®, la cual se convierte en el ciclo básico de funcionamiento de este.

En la figura 32 se presenta el diagrama de flujo para el ciclo de ejecución principal del programa desarrollado. Allí se observa el monitoreo de los dos (2) tipos de señales presentes en el proceso de prueba.

Durante la realización de la prueba de rendimiento el sistema debe leer los datos ingresados por el operario, revisar el posible rango de presión alcanzado por la bomba en prueba para proteger el transductor con ayuda de una electroválvula (proceso desarrollado en CODEWARRIOR...ver sección 3.3...). Las pruebas se realizan por lotes de bombas, es decir, durante un día o incluso durante una semana solo se prueba una clase de bombas, por tal motivo los dispositivos de medida son de libre remoción por parte del operario (este conecta los requeridos para cada tipo de bomba), y dependiendo del rango a alcanzar por las bombas el sistema monitorea el proceso y lo protege para evitar daños (sistema embebido).

Figura 32. Diagrama de flujo para un ciclo de ejecución de la aplicación en LabVIEW®



El autor

Los datos ingresados por el operario en el panel frontal son de forma directa, con el uso *Controls>Modern>Strings & Path* y *Controls>Modern>numeric*.

Debido a que el rendimiento de una bomba centrífuga se ve alterado por la variación de la temperatura del líquido durante su funcionamiento, se realiza la compensación de dicha variación a través del peso específico del agua (líquido utilizado para la realización de la prueba), para lo cual se utiliza el subVI presentado en la figura 33. En donde existe una tabla con el peso específico a diferentes temperaturas (0 a 120 °C) del agua y dependiendo de la temperatura (ingresada por el operario) del agua utilizada durante la prueba, el sistema selecciona el peso específico requerido para esa determinada prueba.

Figura 33. Icono subVI, selección peso específico



El autor

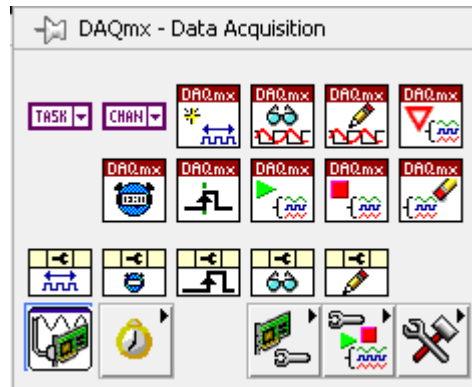
Para la lectura de los valores obtenidos a través de la tarjeta de adquisición de datos, provenientes de los transductores se utiliza el *DAQmx-Data Acquisition*, la paleta se encuentra en NI Measurements > DAQmx Data Acquisition; cuyas funciones se presentan en la figura 34.

¹³Estos VIs tienen una agrupación lógica en la paleta;

- Arriba a la izquierda están las constantes para crear canales y tareas
- Los VIs de la primera y segunda fila son los principales
- La tercera fila son los nodos de de propiedades

- En la última fila está el asistente y subpaletas de utilidades que contienen funciones como autocalibración, reset, conexión interna de unas líneas con otras, etc.

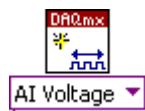
Figura 34. VIs para trabajar con tarjetas DAQ



LabVIEW®

A continuación se describen algunos de ellos:

✓ *DAQmx Create Virtual Channel*



Su función es crear un canal virtual y añadirlo a una tarea, sino se especifica una tarea la crea automáticamente. Al crear una constante o un control para seleccionar los canales (*terminal physical channels*) debe aparecer una lista desplegable en la que se muestran los que están disponibles, también se pueden escribir con el formato «Dev1/ai0», donde 1 es el número de dispositivo y ai0 la línea, para usar más de una línea se separan por comas. En la ayuda se puede consultar la información sobre cada una de las instancias que componen este VI.

¹³ Tomado de [3]

✓ *DAQmx Read*



Lee muestras para el canal o tarea especificada, ésta puede haber sido generada con el VI anterior. Al seleccionar una instancia en concreto se determina el formato de lectura: un simple dato, arrays, etc. Todas las instancias incluyen un parámetro de *timeout* y, en las que se puede aplicar, otro parámetro para indicar el número de *samples* por canal.

✓ *DAQmx Write*



Estos VIs escriben muestras para la tarea o canal especificado. Si no se usa *timing* el VI espera a generar todos los *samples* antes de seguir la ejecución, con *timing* se escriben en el buffer y ya no es necesaria la espera. La señal puede empezar inmediatamente o retrasarse, en cuyo caso solamente se escriben los datos, no se “sacan” al exterior.

✓ *DAQmx Trigger*



Configura la forma en que comienza una tarea, es decir, su condición es el disparo. Un *trigger* puede tener diversas fuentes, tanto analógicas como digitales, internas a la tarjeta o externas. Un *trigger* de tipo *start* indica la condición de comienzo de la tarea, el tipo de referencia indica la condición de parada.

✓ *DAQmx Timing*



Configuran los parámetros relativos al tiempo en una tarea y crea un buffer cuando es necesario. Estos parámetros son, entre otros, los *samples* por segundo, un terminal para usar como reloj, si la ejecución debe ser continua o finita, etc.

DAQmx clear Task



Detiene y borra la tarea. Es útil cuando se crea una tarea dentro de un bucle.

Además de estos VIs y otros, DAQmx también tiene un gran número de propiedades con las que se puede tener un gran nivel de control sobre la tarjeta.

En la figura 35 se presenta la interfaz utilizada para la comunicación entre la tarjeta de adquisición y la computadora. Se utiliza la función *DAQmx Create Virtual Channel*, para crear canales virtuales (uno por cada entrada en la tarjeta de adquisición) estos son conectados en serie por medio del puerto *task* de dicha función. Posteriormente se implementa la función *DAQmx Timing* con el fin de configurar los parámetros relativos de tiempo del proceso, a continuación se introduce la *DAQmx start task* con el fin de iniciar la tarea. Luego se crea una tarea dentro de un bucle, la cual es borrada antes de finalizar el proceso, además se realiza la descomposición del arreglo obtenido con el fin de procesar cada una de las variables del proceso para su posterior representación.

Figura 35. Interfaz para la lectura de variables del proceso

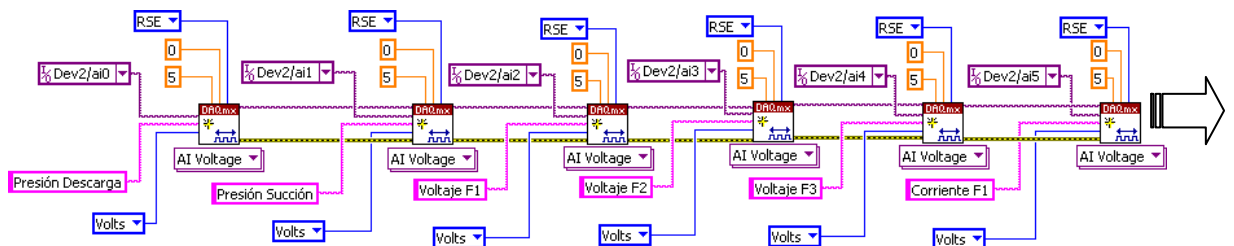
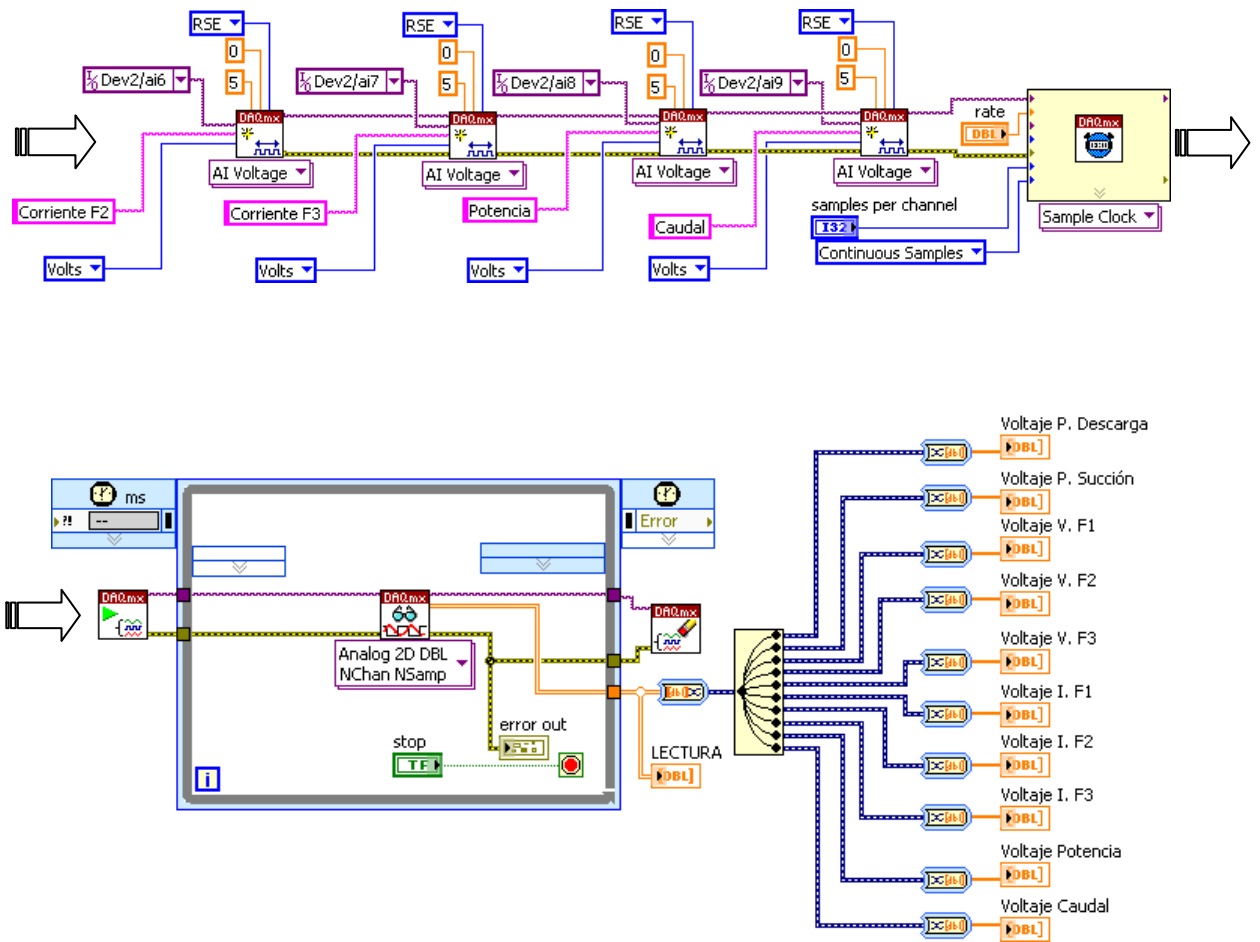


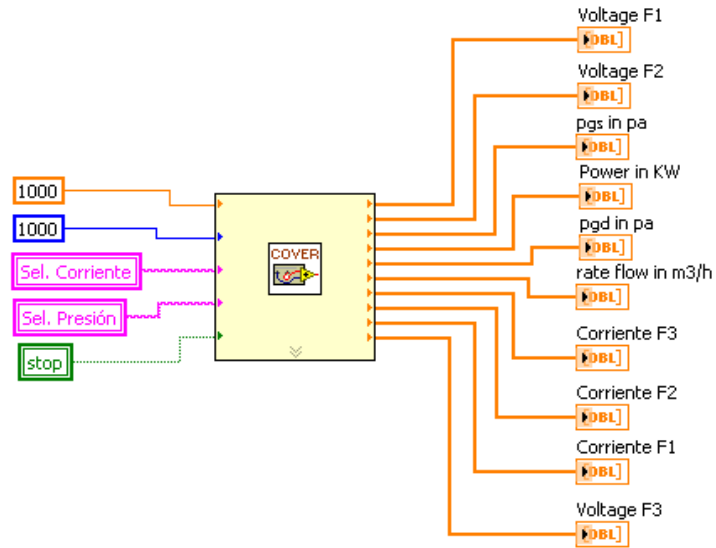
Figura 35 (Continuación)



El autor

Una vez obtenidos los resultados del monitoreo realizado por los transductores; los datos de voltaje obtenidos son convertidos a unidades físicas involucradas en el proceso como lo son caudal, presión, potencia, corriente, etc. La figura 36 corresponde al VI encargado de realizar dicho proceso.

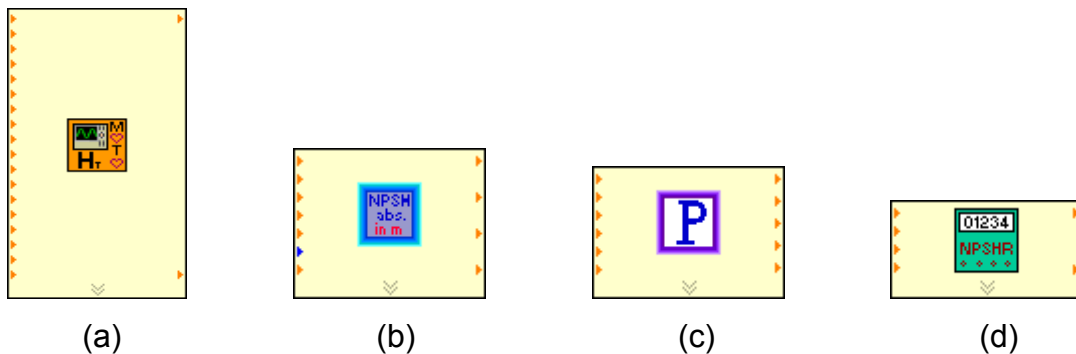
Figura 36. Icono subVI, conversión de voltaje procedente de los transductores del proceso.



El autor

Con el reconocimiento de las variables físicas monitoreadas por los transductores, se procede a realizar los cálculos necesarios para hallar las variables características tal como se presenta en la...sección 1.3.3... En la figura 37 se aprecian los iconos de los VIs encargados de tal proceso.

Figura 37. Iconos de los VI's utilizados para realizar cálculos requeridos



El autor

En la figura 39 se presenta el icono del VI encargado de la generación del reporte final.

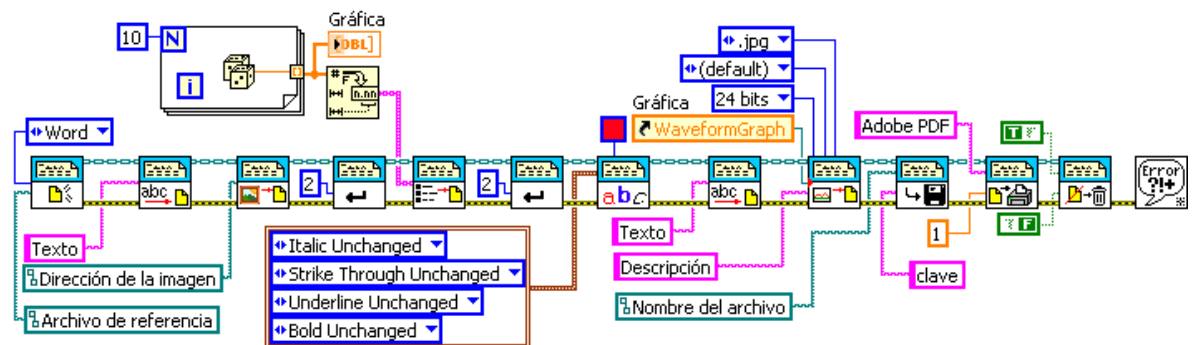
Figura 39. Icono del VI para la creación del informa final



El autor

En la figura 40 se presenta un esquema básico encargado de la generación de un reporte, a éste esquema se le pueden adherir o quitar VI's según sean los requerimientos.

Figura 40. Generación de reporte



El autor

El programa toma los datos procesados por la otra parte del software (acondicionamiento de datos provenientes de los sensores y/o transductores), con el fin de crear un reporte el cual presenta información de la empresa, las características técnicas de construcción de la bomba, datos nominales (datos de placa), gráficas que modelan las principales características y comportamiento de la bomba en operación. Crea un archivo en WORD guardado en una carpeta en la cual quedan registradas todas las pruebas realizadas, estos archivos son protegidos con clave con el fin de evitar la manipulación y alteración de los resultados por parte de los operarios. Además el generador de reporte está conectado a una impresora virtual (Adobe PDF) con el fin de crear reportes visibles y manejables por el operario.

3.2 SOFTWARE REPRESENTACIÓN DIGITAL (DISPLAY'S)

3.2.1 Presión. Con el fin de que el operario pueda ver los datos (presión) que se van generando en el proceso de prueba, se diseñó el algoritmo cuyo diagrama de flujo es presentado en la figura 41.

Mediante la utilización de un conversor A/D del microprocesador JK3, se lee el voltaje generado por el transductor durante la prueba, el μ P realiza los ajustes necesarios para la visualización, revisa que el rango de presión en el proceso este acorde con el seleccionado por el operario, si este rango es excedido; el μ P da la orden al sistema para cerrar la electroválvula y evitar el daño del dispositivo de medida.

Figura 41. Diagrama de flujo implementado en la representación digital de los datos de presión y protección de los transductores de presión.

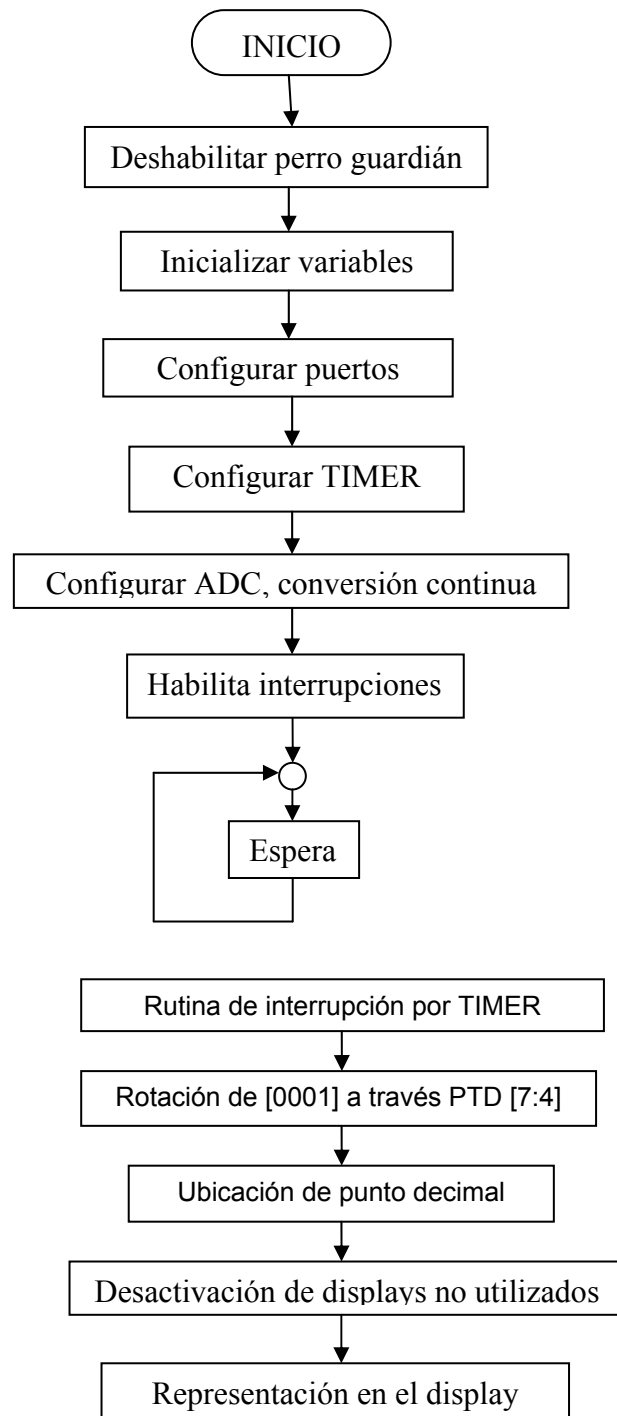
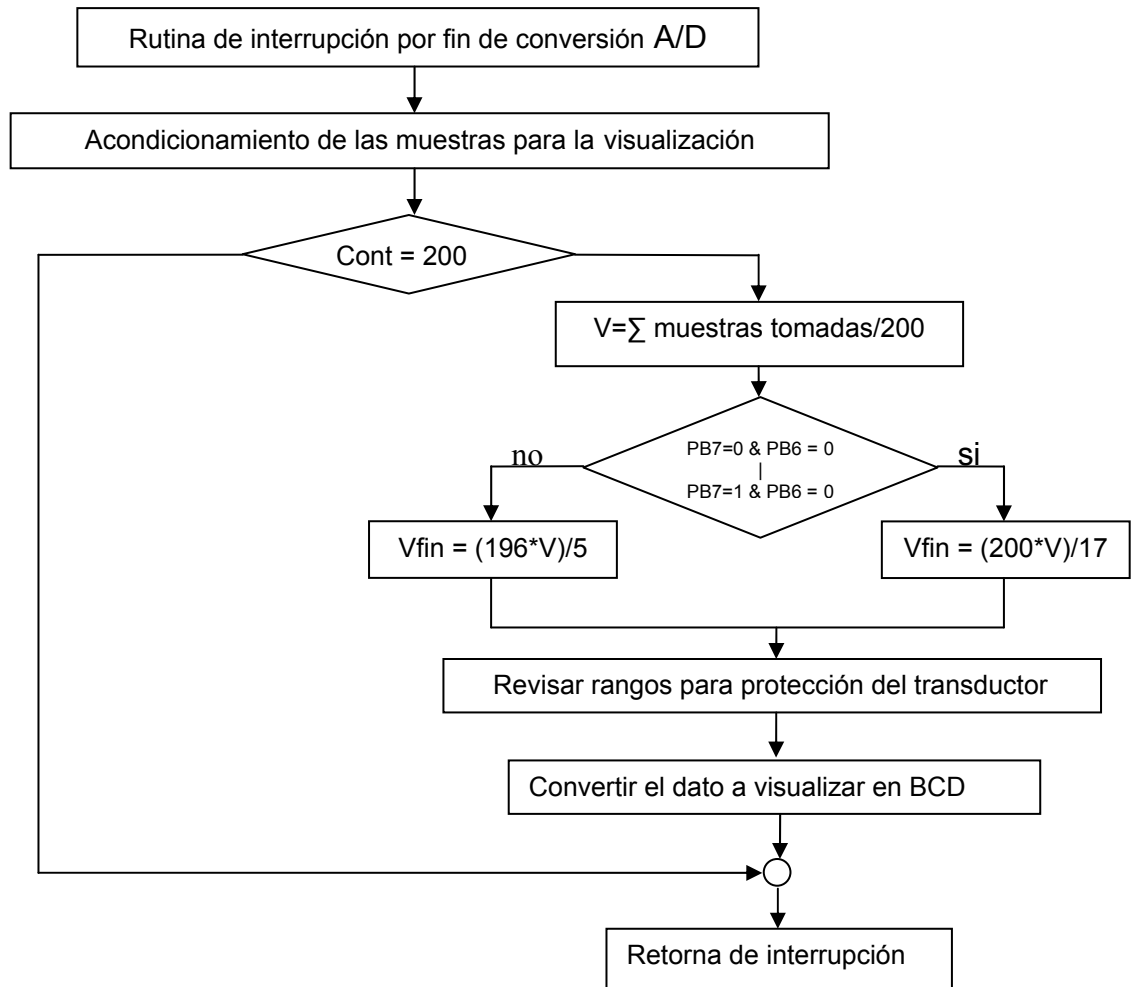


Figura 41. (Continuación)



El autor

3.2.2 Corriente, Voltaje y Potencia. Proceso análogo al utilizado en la visualización de los datos de presión se utiliza para la representación de los datos de corriente, voltaje y potencia, incluyendo la protección de los equipos de medida. Solo varían los factores de conversión y los rangos de medida.

3.3 PROTOCOLO PARA LA REALIZACIÓN DE LA PRUEBA

- Se supone que antes de realizar la prueba la bomba cumple con las características técnicas de ensamble y se encuentra acoplada a su respectivo motor y lista para ser probada.

- Inicializar aplicación en LabVIEW®

- Inicializar sistema de representación digital (displays, sistema embebido).

- Los siguientes datos serán obtenidos e ingresados en el panel del sistema (PC).
 - Referencia, serial, diámetro de rodete, tipo de motor, tensión y corriente de alimentación, potencia, velocidad, factor de servicio, marca del motor y cliente.
 - Datos técnicos (Línea, serie, servicio, modelo, diámetro de succión y descarga, tipo de sello, tipo de descarga y materiales de: carcasa, impulsor, tapa presión, casquillo eje, eje.
 - Verificar las propiedades del líquido; tomar la temperatura.

- Verificar que los equipos conectados para realizar la medida correspondan a los rangos a manejar en la prueba.
- Verificar los selectores para los rangos de trabajo en los sistemas embebidos (para evitar desbordamiento en el rango de trabajo y posibles daños de los equipos de medida).

- Verificar que no existan transformadores de corriente con secundario abierto (cortocircuitar).
- Abrir totalmente la válvula de estrangulamiento de flujo del sistema
- Poner en funcionamiento la bomba (energizar motor)
- Verificar que la bomba se encuentra correctamente cebada
- Iniciar software (aplicación en LabVIEW®)
- Realizar proceso de estrangulamiento de la bomba (máximo hasta totalmente cerrada) para hallar las curvas características.
- Impresión de reporte
- Decisión por parte del ingeniero de pruebas si la bomba cumple con los requerimientos.
- Fin del proceso de prueba

4. PRUEBAS Y RESULTADOS OBTENIDOS

Para probar el funcionamiento y desempeño de la aplicación diseñada y del hardware escogido, se realizaron una serie de pruebas parciales. Estas permitieron detectar falencias y errores que se corrigieron de manera satisfactoria. De esta manera se logra el resultado que se plasma en anteriores capítulos.

En este capítulo se describe la metodología para llevar a cabo estas pruebas y los resultados obtenidos. Se documenta acerca de las pruebas individuales de cada subVI que se realizaron inicialmente y las de funcionamiento en conjunto; posteriormente se presentan las pruebas realizadas con la tarjeta de adquisición de datos utilizando señales variables implementadas con potenciómetros.

4.1 Pruebas parciales. Inicialmente, cuando la aplicación comienza con el desarrollo de los bloques de LabVIEW® por separado, estos se van probando en cada una de las tareas para las cuales fueron diseñados. Por ejemplo, el bloque de la función **Señal IN** para leer el estado de las entradas de la tarjeta de adquisición de datos, se prueba individualmente monitoreando los datos de entrada a la tarjeta de adquisición, generando señales variables de entrada en el mismo rango de la señal generada por los transductores, por medio de potenciómetros, para ver el comportamiento de la interfaz de entrada ante estas variaciones. Se realizaron variaciones de la *rate* (rata de muestras por canal por segundo) y la cantidad de muestras tomadas con el fin de revisar el comportamiento y seleccionar la mejor opción para esta aplicación.

Otra prueba que se realiza es para la comprobación del funcionamiento correcto de los subVIs encargados de realizar los cálculos por medio de los cuales se hallan algunas de las características que modelan el comportamiento de una bomba centrífuga en operación. Para tal motivo se ingresan los datos requeridos

para cada subVI y se ejecuta; esperando que los resultados generados sean correctos. Los datos ingresados para las pruebas son tomados de ejercicios desarrollados en los documentos referenciados.

Para la generación del reporte se partió de una aplicación básica y poco a poco se le fueron agregando más propiedades con el fin de obtener el formato para la generación de reporte presentado en el anexo A. A medida que se le iba realizando una variación se ejecutaba con el fin de ver los cambios presentados y dependiendo de su funcionamiento seguir con las modificaciones.

Con estas pruebas individuales, se corrigen errores de la programación de cada subVI, o errores de concepto con relación a la forma en que se espera que funcione LabVIEW®. Todo esto sin que los bloques interactúen con otros.

Posteriormente, se van reuniendo más bloques en una misma prueba para ir aproximándose al comportamiento definitivo, pero de igual manera sin usar el sistema banco de pruebas total para la caracterización de bombas centrifugas. Esto con el fin de observar que los bloques interactúen correctamente y a la vez comenzar a construir la aplicación principal.

Para el sistema embebido utilizado en la representación digital de algunas variables físicas medidas y protección de los respectivos equipos transductores se hace uso del montaje sobre protoboard presentado en la figura 30. Se hicieron modificaciones de los diversos rangos de trabajo, con el fin de revisar la correcta protección de los equipos transductores cuando fuese necesario. Además se hicieron cálculos con el fin de comprobar que los errores presentes sean acordes a los plasmados en la ...sección 1.3.4.2... Hay que tener en cuenta que esta representación digital es solo una referencia para el operario, los datos reales son los generados en el reporte final.

4.2 Pruebas definitivas. Debido a que este proyecto es solo diseño no se realizaron pruebas reales con bombas centrifugas (el montaje aun no se ha realizado), por el contrario se realizaron simulaciones con señales variables generadas con el uso de potenciómetros, teniendo completa la aplicación en LabVIEW® y el montaje del sistema embebido. Se ajustaron los potenciómetros de tal forma que el sistema al hacer la conversión de los datos, las variables físicas coincidieran con el ejercicio presentado en la sección 1.6.3.12.10 de la norma *ANSI/HI 1.6-2000*. Por medio de lo cual se comprobó el correcto funcionamiento tanto de la aplicación en LabVIEW® como del sistema embebido.

En el comportamiento de los transductores seleccionados para el desarrollo de este sistema, se asume como verdadera la información (hojas de datos) proporcionada por el fabricante.

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

- La aplicación desarrollada podría realizar la totalización de la cantidad de agua que circula por la tubería de descarga de la bomba centrífuga en prueba empleando uno de los contadores de la tarjeta. Debido a que el flujometro de turbina tiene un aspa que gira de acuerdo con el flujo de agua. Cada varilla del aspa está imantada y al girar inducirán una tensión en una bobina (Pickup magnético) colocada cerca de ellas. Esta tensión, una vez acondicionada, se introducirá directamente en la tarjeta de adquisición de datos. Se debe tener en cuenta el factor de conversión de pulsos por galón o pulsos por barril proporcionado por el fabricante con el fin de hacer la conversión a unidades reales (unidades de caudal).
- Las variables locales tienen un alcance que comprende al VI en el que está colocando el control o indicador al que hacen referencia. No puede usarse fuera de ese VI. Hay que decir que en general es preferible cablear las señales porque sigue el modelo de flujo de datos (*Dataflow*), las variables locales sólo deben usarse cuando sean necesarias porque pueden aparecer problemas de inicialización de datos, condiciones de carrera, etc.
- La solución desarrollada podría convertirse en un proyecto que abarque el monitoreo y control total del proceso, en donde se conecten todos los equipos transductores (sin necesidad que el operario realice la selección) y dependiendo de la referencia de la bomba o sus características de fabricación el sistema sea capaz de seleccionar los equipos transductores a utilizar en el proceso, así como escoger la correspondiente protección para los mismos. Donde el sistema realice la variación de las válvulas de estrangulamiento manual en el proceso de prueba (simulación del cambio de altura), a través de un motor controlado desde LabVIEW® por medio de la tarjeta de adquisición de datos.

- El sistema podría estar en la capacidad de ingresar el dato de velocidad en “tiempo real” al sistema durante la realización de las pruebas si se implementa un sistema semejante al utilizado por un flujometro de turbina; se le coloca un imán en el acople entre el motor y la bomba en prueba y con la ayuda de una bobina se generan una serie de pulsos los cuales se pueden interpretar por medio de un contador de la tarjeta de adquisición de datos y de esta forma calcular las revoluciones por minuto del proceso.
- Se podría generar un lector de temperatura para evitar los errores debidos a los cambios de temperatura presentes en el proceso, debido a que la temperatura del agua expuesta a la intemperie no es la misma durante todo el día y las variables que modelan el comportamiento de una bomba centrífuga se ven alterados por los cambios de temperatura, especialmente la NPSHR la cual es una variable crítica en las bombas centrífugas o cuando se prueban bombas de potencias elevadas.

Las limitantes para esto, estarían en la cantidad máxima de entradas y salidas disponibles en la tarjeta de adquisición de datos, lo cual no es un inconveniente debido a que la tarjeta se seleccionó con el fin de poder realizar estas mejoras al diseño. Otro aspecto para tener en cuenta sería el tiempo de retardo o tiempo de transmisión de los datos desde los equipos de medida y el tiempo de procesamiento de la información en la aplicación en LabVIEW®, lo cual haría indispensable la utilización del sistema embebido para la protección de los equipos transductores y además para la representación digital del proceso.

CONCLUSIONES

- El trabajo realizado para contextualizar y conocer HIDROMAC brindó experiencias al autor acerca de la forma en que se aborda un trabajo o proyecto de ingeniería aplicado sobre un área o proceso desconocido y ajeno a esta carrera, evidenciando lo aprendido en algunas asignaturas: lo importante para poder controlar o automatizar un proceso es estudiarlo y caracterizarlo completamente, identificando su funcionamiento.
- El estudio realizado sobre las pruebas de rendimiento requeridas por las bombas centrífugas manufacturadas por Hidromac permitió adquirir conocimientos acerca de ellas, equipos utilizados en el proceso de medida, especificaciones y la forma en que funcionan y operan. Se aprendieron las normas de seguridad y precauciones más relevantes que se deben tener en cuenta para operar en un ambiente industrial, teniendo en cuenta que todos estos son aspectos a tener en cuenta de cualquier ingeniero.
- Muchos sensores y transductores requieren acondicionamiento de señal antes de que un sistema de medición pueda adquirir la señal de forma correcta y eficiente. La interfaz del sistema de acondicionamiento de señal pueden incluir funciones como la amplificación de la señal, atenuación, filtrado, aislamiento eléctrico, muestreo simultáneo y multiplexación. Además, muchos transductores requieren voltajes o corrientes de excitación, linealización, o alta amplificación para la correcta y precisa operación. Por lo tanto, la mayoría de procesos basados en sistemas de medición con computadoras deben incluir alguna forma de acondicionamiento de señales, además de los dispositivos de adquisición de datos DAQ.

➤ Los sensores pueden generar señales eléctricas para medir los fenómenos físicos, tales como la presión, volumen de líquido que circula a través de una tubería por unidad de tiempo, temperatura, velocidad, etc. Algunos son de uso común, como los sensores medidores de tensión, corriente, presión, termopares, termistores, detectores de temperatura y la resistencia (RTDs). Para medir señales de diversos transductores, se deben convertir en una forma que un dispositivo DAQ puede aceptar. Por ejemplo, el voltaje de salida de la mayoría de los termopares es muy pequeño y sensible al ruido. Por lo tanto, es posible que tenga que ampliar el termopar o filtro de salida antes de la digitalización de la misma. Manipular las señales (acondicionamiento) a fin de prepararlos para la digitalización.

➤ En esta aplicación se usaron algunas entradas analógicas (AI) de la tarjeta de adquisición de datos USB-6218, las cuales aceptan señales de tensión para diferentes rangos (-10 V a 10 V, -5 V a 5 V, -1 V a 1 V, -200 mV a 200 mV con 5% de sobre-rango) seleccionables en la programación. Cuando se supera la máxima tensión de entrada programada por la AI, se distorsionan los resultados de medición de la señal.

NOTA: Superar la tensión nominal máxima de entrada puede dañar el dispositivo y el ordenador.

➤ El desarrollo de este trabajo de grado brindó al autor la oportunidad de adquirir cierta experiencia en el ambiente laboral de una empresa, cumpliendo con las exigencias requeridas por la misma, tomando decisiones para el diseñando de una aplicación de un proceso real, perteneciente a una compañía tan importante en la manufactura de bombas centrifugas para Latinoamérica como lo es HIDROMAC. También le permitió tener contacto con la industria, incluyendo aspectos técnicos y de seguridad presentes en ella.

- La tarjeta de adquisición de datos es diseñada y manufacturada por la empresa *National Instruments* encargada del desarrollo de LabVIEW® (programa utilizado para llevar a cabo la aplicación de este proyecto), crea importancia y facilita la comunicación con el PC, debido a que no necesita protocolos de comunicación y además el software tiene VIs preprogramados que facilitan su implementación. Asimismo *National Instruments* es una de las empresas pioneras del desarrollo de automatismos para el sector industrial.

- Con LabVIEW® se logró uno de los alcances más importantes planeados inicialmente, que es la visualización completa del comportamiento de las principales variables físicas que modelan el comportamiento de una bomba centrífuga en funcionamiento, a través de una interfaz gráfica simple y sencilla pero a la vez clara y completa, que permite al operario saber cómo se comporta la bomba bajo ciertas condiciones de trabajo, de manera más fácil y ordenada desde un único sitio, como es un computador. Además guarda un folio con todas las pruebas realizadas con el fin de crear una base de datos de respaldo a los productos probados, guardándolos de forma segura para evitar posibles alteraciones (protegidos con código de acceso y/o en formato PDF).

- Se elaboro un programa en LabVIEW® (llamado BANCO DE PRUEBAS) el cual captura la información proveniente de los transductores (equipos de medida) encargados del monitoreo de algunas variables físicas involucradas en el proceso de caracterización de bombas centrífugas, las interpreta y realiza los cálculos necesarios con el fin de presentar un informe con los resultados obtenidos. (graficas características que modelan el comportamiento de la bomba centrífuga en prueba).

BIBLIOGRAFÍA

[1] CARNICIER ROYO, Enrique y MAINAR HASTA, Concepción. Bombas centrifugas. Ed. Paraninfo España.

[2] KARASSIK, Igor J y KRUTZSCH, William C y FRASER Warren H. MANUAL DE BOMBAS: Diseño, Aplicación, Especificaciones, Operación y Mantenimiento. Ed. McGRAW-HILL

[3] LAJARA VIZCAÍNO, José Rafael y PELIGRÍ SEBASTIÁ, José. LabVIEW Entorno gráfico de programación. LabVIEW 8.20 y versiones anteriores. Ed. Alfaomega

[4] NATIONAL INSTRUMENTS. LabVIEW help [Formato digital]

[5] NATIONAL INSTRUMENTS. NI-DAQ Device Documentation [Formato digital]

[6] NAVARRO CARRASCAL, Silvana María y REYES GALVIS, Wilfred Yesid. DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA APLICACIÓN EN LABVIEW PARA EL MONITOREO DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS Y MECÁNICOS Y CONTROL DE LOS EQUIPOS DE CORTE DE LA SUBESTACIÓN BOSCONIA DEL ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA. Bucaramanga, 2007. Trabajo de grado (Ingeniería Electrónica). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas.

[7] NORMA ANSI/HI 1.6-2000, American National Standard For centrifugal Pump Test

[8] NORMA NTC 4990

[9] VESGA FERREIRA, Juan Carlos. MICROCONTROLADORES MOTOROLA_FREESCALE: Programación, familias y sus distintas aplicaciones en la industria. Ed. Alfaomega.