



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“AUTOMATIZACIÓN DE LA ADQUISICIÓN DE DATOS
EN UN BANCO DE PRUEBAS DE BOMBAS
CENTRÍFUGAS INSTALADAS EN SERIE Y PARALELO”**

**MOYANO ARÉVALO JAVIER RENATO
NARANJO VARGAS EUGENIA MERCEDES**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

RIOBAMBA – ECUADOR

2015

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2014-10-15

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

JAVIER RENATO MOYANO ARÉVALO

Titulada:

**“AUTOMATIZACIÓN DE LA ADQUISICIÓN DE DATOS EN UN BANCO DE
PRUEBAS DE BOMBAS CENTRÍFUGAS INSTALADAS EN SERIE Y
PARALELO”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Marco Santillán Gallegos
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Marco Ordóñez
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Pablo Montalvo
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2014-10-15

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

EUGENIA MERCEDES NARANJO VARGAS

Titulada:

**“AUTOMATIZACIÓN DE LA ADQUISICIÓN DE DATOS EN UN BANCO DE
PRUEBAS DE BOMBAS CENTRÍFUGAS INSTALADAS EN SERIE Y
PARALELO”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Marco Santillán Gallegos
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Marco Ordóñez
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Pablo Montalvo
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: JAVIER RENATO MOYANO ARÉVALO

TÍTULO DE LA TESIS: “AUTOMATIZACIÓN DE LA ADQUISICIÓN DE DATOS EN UN BANCO DE PRUEBAS DE BOMBAS CENTRÍFUGAS INSTALADAS EN SERIE Y PARALELO”

Fecha de Examinación: 2015-07-03

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Santillán Gallegos PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Marco Ordóñez DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Pablo Montalvo ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Marco Santillán Gallegos
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: EUGENIA MERCEDES NARANJO VARGAS

TÍTULO DE LA TESIS: “AUTOMATIZACIÓN DE LA ADQUISICIÓN DE DATOS EN UN BANCO DE PRUEBAS DE BOMBAS CENTRÍFUGAS INSTALADAS EN SERIE Y PARALELO”

Fecha de Examinación: 2015-07-03

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Santillán Gallegos PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Marco Ordóñez DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Pablo Montalvo ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Marco Santillán Gallegos
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Javier Renato Moyano Arévalo

Eugenia Mercedes Naranjo Vargas

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a Dios, por permitirme vivir y gracias a su bendición y cuidado he logrado obtener una vida feliz , también por darme unos padres que con su apoyo, consejos, y educación me han guiado para poder cumplir una etapa importante en mi vida.

A mi hermano Adrián, familiares y amigos que con su confianza, compañía, apoyo que me ha servido para aprender de la vida, cosas como el no dejarse derrotar por los problemas, lo gratificante que se siente realizar buenas acciones, ayudar a las personas necesitadas, y sobre todo el darse cuenta que solo depende de uno para ser feliz.

Javier Renato Moyano Arévalo

Este merecido esfuerzo se lo dedico a Dios, mis padres y amistades, por permitirme llegar a un sitio muy alto el cual no esperaba, es muy gratificante sentir el haber alcanzado esta meta que gracias al esfuerzo y entrega en cada uno de los semestres conjuntamente con profesores y compañeros me formaron y me mostraron que nada llega tan fácil hacia nuestras vidas, ya que este lapso de tiempo que aunque no lo parezca fue corto, siendo una verdadera toma de decisiones y no abatirse ante nada.

Eugenia Mercedes Naranjo Vargas

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento profundo hacia dios por darme la oportunidad de vivir, a mis padres, hermano, que gracias a su comprensión, cariño, confianza, consejos, educación y responsabilidades, me ha servido para llevar una vida llena de paz y armonía.

Un inmenso agradecimiento a la Escuela superior Politécnica de Chimborazo, especialmente a la Escuela de Ingeniería Mecánica por permitirme formarme como una persona de bien y con todos los conocimientos que me permitirán desenvolver sin problemas mi vida profesional.

Para finalizar un agradecimiento a todos mis amigos que gracias a su compañía, apoyo, confianza, bromas hicieron que esta etapa de mi vida sea de lo más gratificante.

Javier Renato Moyano Arévalo

Estoy eternamente agradecida a Dios, por permitirme existir, a mis padres, hermanos, y a cada uno de los integrantes de mi apreciada familia por mostrarme buenos valores, brindarme afecto, comprensión y ternura. Para mis profesores con su asesoría, sus conocimientos, experiencia y paciencia me guiaron en la presente carrera.

Un emotivo agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por permitirme formarme como una verdadera profesional capaz de desenvolverse sin problema alguno.

Finalmente uno especial para todos mis amigos, compañeros y personas que me apoyaron de la mejor manera para poder culminar con satisfacción en esta etapa de vida.

Eugenia Mercedes Naranjo Vargas

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Justificación.....	2
1.3	Objetivos	2
1.3.1	<i>Objetivo general.</i>	2
1.3.2	<i>Objetivos específicos:</i>	2
2.	MARCO TEÓRICO.....	4
2.1	Análisis de los sistemas de bombas centrífugas.....	4
2.1.1	<i>Funcionamiento de una bomba centrífuga</i>	4
2.1.2	<i>Variables y ecuaciones</i>	5
2.1.3	<i>Aplicación de la bomba centrífuga.</i>	13
2.1.4	<i>Tipos de bombas centrífugas</i>	13
2.1.5	<i>Accesorios de la bomba centrífuga.</i>	17
2.2	Sistema en serie.	18
2.3	Sistema en paralelo.....	20
2.4	Concepto de automatización.....	21
2.4.1	<i>Importancia de la automatización.</i>	21
2.4.2	<i>Elementos de la automatización.</i>	22
2.4.3	<i>Tipos de automatización.</i>	23
2.5	Sensores para la medición de variables.	24
2.5.3	<i>Características de un sensor.</i>	25
2.5.4	<i>Clasificación de los sensores.</i>	27
2.6	Descripción del sistema de adquisición de datos.....	29
2.7	Visualización de datos por medio de software LabVIEW.....	30
3.	PUESTA A PUNTO DEL BANCO DE PRUEBAS	30
3.1	Introducción.....	30
3.2	<i>Mantenimiento</i>	30
3.2.1	<i>Mantenimiento correctivo</i>	30
3.2.2	<i>Mantenimiento preventivo</i>	31
3.2.3	<i>Mantenimiento mejorativo.</i>	32
3.3	Análisis de estado técnico actual del banco.....	32
3.4	Herramientas necesarias	32
3.4.1	<i>Herramientas y materiales.</i>	32
3.4.2	<i>Instrumentos</i>	33
3.5	Mantenimiento del sistema de alimentación.	33
3.5.1	<i>Descripción de estado técnico del banco de pruebas.</i>	33
3.5.2	<i>Bomba</i>	33
3.5.3	<i>Depósito</i>	34
3.5.4	<i>Tubería</i>	34
3.5.5	<i>Manómetros</i>	35
3.5.6	<i>Rotámetro</i>	35
3.5.7	<i>Bancada</i>	36
3.6	Operaciones y mantenimiento.	36
3.6.1	<i>Reservorio estado actual</i>	37
3.6.2	<i>Bombas estado actual</i>	37
3.6.3	<i>Tubería estado actual</i>	37
3.6.5	<i>Rotámetro estado actual</i>	38
3.7	Puesta en funcionamiento de las bombas centrífugas en serie y paralelo.	39

4.	SELECCIÓN Y MONTAJE DE LOS EQUIPOS E INSTRUMENTOS	40
4.1	Introducción.....	40
4.2	Selección del sistema de adquisición de datos.	40
4.2.1	<i>Adquisición de datos utilizando LabVIEW.....</i>	40
4.2.2	<i>Características DAQ multifunción NI USB-6009.....</i>	41
4.3	Estudio de las variables a ser medidas.....	42
4.3.1	<i>Medición de presión</i>	42
4.3.2	<i>Medición de flujo.....</i>	45
4.4	Selección de los instrumentos de medición de las variables.	48
4.4.1	<i>Características técnicas del transmisor de presión TURCK PT 100.....</i>	49
4.4.2	<i>Características de sensor de flujo tipo paleta Georg Fischer Signet 2536.....</i>	50
4.4.3	<i>Fuente de alimentación</i>	51
4.5	Montaje de los equipos.....	52
4.5.1	<i>Montaje de los transductores de presión TRUCK PT.....</i>	53
4.5.2	<i>Montaje del sensor de flujo tipo paleta GF 2536.....</i>	60
4.6	Automatización del banco de pruebas de bombas.....	71
4.6.1	<i>Análisis para una bomba centrífuga.....</i>	71
4.6.2	<i>Análisis para la instalación de bombas en serie</i>	74
4.6.3	<i>Análisis para la instalación de bombas en Paralelo</i>	78
4.7	Representación de variables medidas en el programa LabVIEW.	82
4.7.1	<i>Descripción del panel frontal de la práctica de bombas.....</i>	82
5.	FASE DE PRUEBAS.....	85
5.1	Realización de pruebas.	85
5.2	Resultados de pruebas.	85
5.3	Análisis de resultados.	88
5.3.1	<i>Análisis de resultado para sistema de bombeo en serie</i>	90
5.3.2	<i>Análisis de resultado para sistema de bombeo en paralelo</i>	91
5.5	Manual de procedimientos	93
5.6	Manual de plan anual de mantenimiento.....	99
5.7	Guías de laboratorio	100
6.	CÁLCULO Y ANÁLISIS DE COSTOS.....	109
6.1	Análisis de costos por operación y mantenimiento.	109
6.2	Costos directos	109
6.2.1	<i>Costos de accesorios y materiales.....</i>	109
6.2.2	<i>Costos por equipos y maquinaria.....</i>	111
6.2.3	<i>Costos de mano de obra.....</i>	112
6.3	Costos indirectos.	112
6.4	Costos totales.....	112
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	113
7.1	Conclusiones.	113
7.2	Recomendaciones.....	114

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1 Operaciones y mantenimientos realizados.....	36
2 Valores requeridos del sistema	48
3 Características de los transductores de presión	49
4 Características de los sensores de flujo	49
5 Especificaciones de transductor de presión TURCK PT100.....	50
6 Especificaciones del sensor de flujo GF 2536.....	51
7 Valores de corriente y voltajes requeridos por los sensores	52
8 Valores de presión vs voltaje transductor TURCK PT 200.....	57
9 Valores de presión vs voltaje TURCK PT 100.....	58
10 Valores de presión vs voltaje TURCK PT 01V.....	59
11 Datos de caudal bomba #1.....	66
12 Datos de caudal bomba #2.....	67
13 Valores de caudal vs frecuencia sensor de flujo GF 2536.....	69
14 Pérdidas por accesorios en la succión.....	74
15 Pérdidas por accesorios en la descarga.....	74
16 Pérdidas por accesorios en la succión bomba 1.....	77
17 Pérdidas por accesorios en la descarga bomba 1.....	77
18 Pérdidas por accesorios en la succión bomba 2.....	78
19 Pérdidas por accesorios en la descarga bomba 2.....	78
20 Pérdidas por accesorios en la succión bomba 1.....	81
21 Pérdidas por accesorios en la descarga bomba 1.....	81
22 Pérdidas por accesorios en la succión bomba 2.....	82
23 Pérdidas por accesorios en la descarga bomba 2.....	82
24 Reporte generado por archivo Vi de LabVIEW para una sola bomba	85
25 Reporte generado por archivo Vi de LabVIEW para el sistema de bombas en serie	86
26 Reporte generado por archivo Vi de LabVIEW para el sistema de bombas en paralelo.....	87
27 Costos de accesorios y materiales hidráulicos.....	109
28 Costos de accesorios y materiales mecánicos.....	110
29 Costos de accesorios y materiales electrónicos.....	111
30 Costo total de accesorios y materiales.....	111
31 Costo de equipos y maquinaria.....	111
32 Costos de mano de obra.....	112
33 Total de costos directos.....	112
34 Costos indirectos	112

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
1	Bomba centrífuga.....	4
2	Bomba con difusor.....	5
3	Bomba con voluta.....	5
4	Esquema de presiones.....	6
5	Triangulo de velocidades de una bomba centrífuga.....	7
6	Triangulo de velocidades a la entrada y salida de los alabes.....	8
7	Sección de Tubería.....	10
8	Tubería horizontal de diámetro constante.....	10
9	Rugosidad superficie interna de una tubería.....	12
10	Bomba de flujo radial.....	14
11	Bomba de flujo axial.....	14
12	Bomba de flujo mixto.....	15
13	Bomba de impulsor abierto.....	15
14	Bomba de impulsor semi-abierto.....	16
15	Bomba de impulsor cerrado.....	16
16	Accesorios constructivos de una bomba centrífuga.....	17
17	Conexión de bombas en serie.....	19
18	Curva característica de bombas en serie.....	19
19	Sistema de bombeo en paralelo.....	20
20	Curva característica de un sistema de bombeo en paralelo.....	20
21	Sistema de adquisición de datos.....	30
22	Panel frontal.....	31
23	Diagrama de bloques.....	31
24	Banco de pruebas estado inicial.....	33
25	Bomba estado inicial.....	33
26	Bombas antes del mantenimiento.....	34
27	Equipo inicial.....	34
28	Interior de tubería.....	35
29	Indicadores de presión.....	35
30	Rotámetro estado inicial.....	35
31	Bancada antes del mantenimiento.....	36
32	Reservorio después del mantenimiento.....	37
33	Bombas después del mantenimiento.....	37
34	Tubería después del mantenimiento.....	38
35	Manómetros y vacuómetro después de mantenimiento.....	38
36	Rotámetro después del mantenimiento.....	38
37	Banco de pruebas final del mantenimiento.....	39
38	Descripción de la adquisición de datos.....	40
39	Tarjeta DAQ NI USB 6009.....	41
40	Sensor de presión piezorresistivo con puente Wheatstone.....	43
41	Sensor de presión capacitivo con puente Wheatstone.....	43
42	Sensor de presión piezoeléctrico.....	44
43	Transductor resistivo de fuelle y diafragma.....	45
44	Medidor de flujo tipo turbina.....	46
45	Medidor de flujo de paletas.....	47
46	Transductor de presión Turck PT100.....	49
47	Sensor de flujo GF 2536.....	50
48	Elementos de una fuente de alimentación DC.....	51
49	Fuente de alimentación SC-POWER-12V25W.....	52

50	Tee de bronce 1/4"NPT	53
51	Terminales del transductor TURCK PT	53
52	Conexión a dos hilos.....	54
53	Placa acondicionadora de señal transductores de presión.....	54
54	Calibración de trasmisores de presión TURCK PT	55
55	Configuración en LabVIEW	56
56	Adquisición de datos del transductor.....	56
57	Presión vs voltaje TURCK PT 200.....	57
58	Presión vs voltaje TURCK PT 100.....	58
59	Presión vs voltaje TURCK PT 01V	59
60	Ubicación del sensor GF 2536.....	60
61	Posición recomendada de sensor GF 2536	61
62	Instalación del sensor GF 2536.....	61
63	Ensamble del sensor con la muesca del acople.....	61
64	Diagrama de conexión sensor GF2536 y la DAQ 6009.....	62
65	Diagrama interno LM331	63
66	Diagrama de conexión frecuencia-voltaje con LM331	64
67	Circuito conversor frecuencia-voltaje en Proteus	65
68	Aplicación del método volumétrico.....	66
69	Rotámetro	68
70	Configuración en LabVIEW	68
71	Caudal vs frecuencia sensor GF 2536.....	69
72	Valores de caudal vs voltaje	70
73	Caudal vs voltaje sensor GF 2536	70
74	Esquema de una bomba centrífuga	71
75	Esquema de conexión bombas en serie.....	74
76	Esquema de conexión en paralelo.....	78
77	Panel frontal practica de bombas en serie.....	83
78	Panel frontal practica de bombas en paralelo	83
79	Parte de la programación diagrama de bloques	84
80	Curva de la bomba centrífuga obtenidas en LabVIEW	86
81	Curvas de la bomba centrífuga graficadas en Excel	86
82	Curva del sistema de bombeo en serie obtenidas en LabVIEW	87
83	Curvas del sistema de bombeo en serie graficadas en Excel	87
84	Curva del sistema de bombeo en paralelo obtenidas en LabVIEW	88
85	Curvas del sistema de bombeo en paralelo graficadas en Excel	88
86	Punto de funcionamiento de una bomba centrífuga.....	89
87	Representación de la curva teórica, real y la curva del sistema	89
88	Punto de funcionamiento para el sistema de bombeo en serie.....	91
89	Punto de funcionamiento para un sistema de bombeo en paralelo	92

SIMBOLOGÍA

Q	Caudal	$LPM ; m^3/s$
V	Volumen	m^3, l
t	Tiempo	s
P	Presión	Psi, Bar
ρ	Densidad	kg/m^3
M	Masa	kg
v	Velocidad	m/s
g	Gravedad	m/s^2
b_1	Ancho del álabe a la entrada	mm
b_2	Ancho del álabe a la salida	mm
D_1	Diámetro del álabe a la entrada	mm
d_e	Diámetro del eje	mm
μ_1	Velocidad absoluta o periférica del álabe a la entrada	m/s
u_2	Velocidad absoluta o periférica del álabe a la salida	m/s
C_1	Velocidad absoluta del fluido a la entrada	m/s
C_2	Velocidad absoluta del fluido a la salida	m/s
W_1	Velocidad relativa a la entrada (del fluido con respecto al álabe)	m/s
W_2	Velocidad relativa a la salida (del fluido con respecto al álabe)	m/s
c_{1m}	Componente meridional de la velocidad absoluta del fluido a la entrada	m/s
c_{1u}	Componente periférica de la velocidad absoluta del fluido a la entrada	m/s
α_1	Ángulo que forman las dos velocidades C_1 Y u_1	
β_1	Ángulo que forman W_1 con $-u_1$	
Y_u	Euler primera forma expresada como energía	KJ
H_u	Euler primera expresada como alturas	KJ
Q_1	Caudal que ingresa	

Q_2	Caudal que sale	
A_1	Área en la sección de entrada	m^2
A_2	Área en la sección de salida	m^2
Z	Altura	m
Hr_{1-2}	Pérdidas primarias entre 1 y 2	
λ	Coefficiente de pérdida de carga primaria	
L	Longitud de la tubería	m
Di	Diámetro interno de la tubería	mm
v	Velocidad media del fluido.	m/s
μ	Viscosidad dinámica	
E	Rugosidad	m
$\frac{\varepsilon}{Di}$	Rugosidad relativa	
Re	Reynolds	
h_{pa}	Pérdida de carga secunda	
k	Coefficiente adimensional de pérdida de carga secundaria	
I_F	Capacidad de corriente	mA
I_T	Suma de las corrientes de todas las cargas que se conectan	mA
V	Voltaje leído por la DAQ para cada valor de presión	V
ID	distancias de la ubicación del acople	cm
G	Ganancia	V
V_{OUT}	Voltaje de salida	V
δ	Peso específico	$\frac{KN}{m^2}$
γ	Viscosidad cinemática	$\frac{m^2}{s}$
ϕ_1	Diámetro en la succión	mm
ϕ_2	Diámetro en la descarga	mm
HB	Altura total de bombeo	mca
H	Altura útil	mca

LISTA DE ABREVIACIONES

DAQ	Adquisición de Datos.
ISO 9906:1999	Norma para Bombas rotodinámicas. Ensayos de rendimiento hidráulico de aceptación. Clases 1 y 2. (Ratificada por AENOR en agosto de 2000).
NOM-004-ENER-2008	Norma oficial Mexicana, Eficiencia energética de bombas y conjunto motor-bomba para bombeo de agua limpia
CNC	Control numérico computarizado.
ADC	Convertidor analógico-digital
VCD	Voltaje de corriente directa.

LISTA DE ANEXOS

- A** Características NI USB 6009
- B** Características y especificaciones de la fuente de alimentación
- C** Circuito para el acondicionamiento de señales
- D** Tabla de resultados
- E** Facturas de adquisición

RESUMEN

La automatización de la adquisición de datos en un banco de pruebas de bombas centrífugas instaladas en serie y paralelo, tiene como propósito obtener un banco confiable, funcional y manipulable, que permita a las personas desarrollar conocimientos, destrezas sobre las características de los sistemas de bombeo en serie y paralelo con tablas de resultados y graficas de las curvas del sistema, curvas de las bombas, todas en función de la cabeza estática total de las bombas y del caudal bombeado.

El estudio inicia con la medición de las variaciones de caudal y presión en la succión, descarga de la bomba, valores decisivos para la selección y compra de los transductores de presión y el sensor de flujo, la adquisición de datos se realiza con la tarjeta DAQ NI USB 6009 y el software LabVIEW en el que se introdujo ecuaciones que rigen a cada sensor obtenidas después de su respectiva calibración.

Se desarrollan ensayos con diferentes posiciones de apertura de válvula a la salida de las bombas centrífugas, y las variables físicas como presión y caudal son captadas por el software LabVIEW el mismo que genera un reporte en Excel de todos los valores extraídos del ensayo.

Los reportes determinan que en un sistema de bombeo en serie, aumenta la cabeza estática total de bombeo manteniendo el caudal constante, además que en un sistema de bombeo en paralelo se incrementa el caudal, manteniendo la cabeza estática total de bombeo constante; también se aprecia una disminución en el rendimiento de la bomba centrífuga debido al tiempo de uso y al mantenimiento.

Al finalizar el trabajo se considera que el sistema de bombas instaladas en serie se utiliza en el instante que se desea alcanzar distintas alturas, con un caudal determinado; así como también si los requerimientos de suministros de fluido son altos y la presión de bombeo es igual en todos los tramos de tubería se utiliza un sistema de bombas instaladas en paralelo para precautelar que una sola bomba no se sobredimensione y trabaje en zonas no adecuadas.

ABSTRACT

This is a research work to create a test bench for the automation of the acquisition of data in centrifugal pumps with serial and parallel installations. It has as its main objective to obtain a reliable, functional and handy bench that allows students to develop knowledge and skills concerning pumping serial and parallel systems with result charts and graphics of the system curves and pump curves. All these are a function of the total static head of the pumps and the pumped flow.

The study starts with the measurement of the flow variations and the suction pressure and pump discharge. These are decisive values for selecting and purchasing pressure transducers and the flow sensor. The acquisition of data is done with DAQ NI USB 6009 card and the LabVIEW software in which some equations were introduced and these rule each sensor after its respective calibration.

Different trials have been performed with different valve opening positions in the centrifugal pump outlet, and the physical variables such as pressure and flow are captured by LabVIEW software. This software, at the same time, generates a report in Excel with all the extracted values of the trial.

The reports determine that a serial pumping system increases the total pumping static head maintaining a constant flow; besides, a parallel pumping system increases the flow keeping the pumping total static head constant. A decrease of the centrifugal pump performance is evident because of the use time and its maintenance.

At the end of this research work it is concluded that the serial pumping system installed should be used when the idea is to reach different altitudes with a determined flow; on the other hand, if the requirements for flow supply are high and the pumping pressure is the same in all pipeline sections, the parallel pumping system should be used in order to safeguard that the only pump does not overload and work in a different zone.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Antecedentes.

El agua es una fuente vital para la supervivencia del ser humano, en los principios de desarrollo en lo que refiere a maquinarias se determinó que las personas buscaban la manera de trasladar en forma técnica líquidos en especial agua, la misma que servía para consumo, riego o para protección alrededor de sus ciudades; con el paso del tiempo se fue incrementando la investigación es por eso que cada vez se mejoraban los mecanismos para trasladar agua de un lugar a otro, obteniendo como resultado las distintas bombas de la actualidad con alta eficiencia y mayor control.

Así como se han desarrollado las máquinas para trasladar agua también se ha desarrollado diferentes equipos de medición de variables ya que en la antigüedad se realizaba en forma manual mediante indicadores en diferentes equipos, donde un operario era el encargado de diagnosticar el estado de los procesos, pero a su vez estaba expuesto a cometer errores entregando como resultado un bajo desempeño en la productividad.

Con el avance de la industria se ha visto la necesidad de mejorar e innovar por medio de sistemas automatizados, los mismos que permiten obtener una mayor precisión y mejores resultados en la toma de datos, evitando así la presencia de operarios y sus errores; estos avances industriales también nos han permitido realizar la automatización de varios equipos con la mejora en el control de calidad por medio de instrumentos de medición y control, para optimizar su competitividad y eficiencia.

Como un aporte a la formación de un Ingeniero Mecánico, se propone facilitar la educación, implementado la “AUTOMATIZACIÓN DE LA ADQUISICIÓN DE DATOS EN UN BANCO DE PRUEBAS DE BOMBAS CENTRÍFUGAS INSTALADAS EN SERIE Y PARALELO” esperando que sea un aporte fundamental en el desarrollo intelectual de los estudiantes.

1.2 Justificación.

La importancia de la formación de los estudiantes, exige que los laboratorios sean prácticos y funcionales, con equipos e instrumentos debidamente actualizados para obtener resultados fiables y precisos.

Los conocimientos adquiridos teóricamente y su aplicación en laboratorios desactualizados, han sido una deficiencia para el desarrollo técnico de los estudiantes de Ingeniería que tienen grandes dificultades en la adaptación en el campo laboral, por tal motivo el presente trabajo tiene la finalidad de proveer un banco de pruebas de bombas centrífugas instaladas en serie y paralelo, que sea actualizado, funcional y útil para el aprendizaje.

La mejora progresiva de la calidad de la educación, su fortalecimiento con visión científica y humanista, articulada a los objetivos del buen vivir apoyan e incentivan a las universidades y escuelas politécnicas para la creación, estudio e investigación científica.

Por tal motivo el desarrollo de este trabajo ayuda a cumplir con metas, políticas y lineamientos del actual Gobierno, ya que se estaría impulsando y permitiendo el acceso a nuevas tecnologías de los estudiantes, fortaleciendo su aprendizaje.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.* Automatizar la adquisición de datos en tiempo real del banco de pruebas de bombas centrífugas instaladas en serie y paralelo.

1.3.2 *Objetivos específicos:*

Describir las partes principales y el funcionamiento de la bomba centrífuga y constatar las condiciones físicas.

Realizar el respectivo mantenimiento y evaluar las condiciones físicas y mecánicas del banco de pruebas de bombas centrífugas instaladas en serie y paralelo.

Seleccionar los equipos de automatización que garanticen el funcionamiento adecuado del banco de pruebas de bombas centrífugas instaladas en serie y paralelo.

Experimentar la toma de datos de las variables existentes en el banco de pruebas antes y después de la instalación de sensores.

Utilizar el software LabVIEW para visualizar las variables a medir.

Determinar e implementar un mantenimiento preventivo y también correctivo para la bomba centrífuga, al igual que su respectivo registro de mantenimiento.

Elaborar el manual de procedimientos, operaciones y las guías de laboratorio.

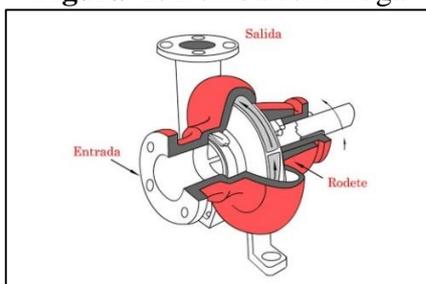
CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Análisis de los sistemas de bombas centrífugas

Una bomba es una máquina que transforma energía mecánica en energía hidráulica. Una bomba centrífuga incrementa la energía de velocidad del fluido mediante un elemento rotante, aprovechando la acción de la fuerza centrífuga, y transformándola a energía potencial a consecuencia del cambio de sección transversal por donde circula el fluido en la parte estática. (Academia.edu)

Figura 1. Bomba centrífuga



Fuente: (Cataluña)

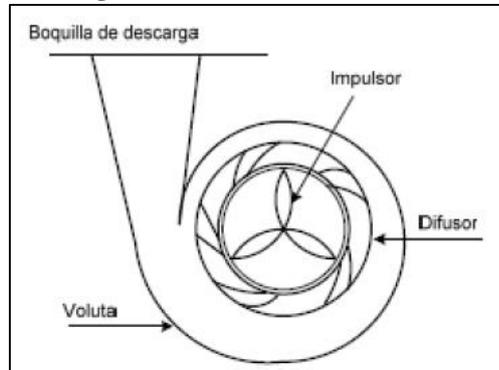
2.1.1 *Funcionamiento de una bomba centrífuga.* La bomba centrífuga se encuentra constituida por un elemento móvil denominado impulsor que en su estructura posee elementos llamados alabes los mismos que dirigen el movimiento de las partículas de líquido.

El impulsor gira en el interior de una cámara que se denomina carcasa, este movimiento se produce por la acción de un motor el mismo que puede ser eléctrico o de combustión interna, el líquido que se encuentra en los alabes por acción de la energía cinética que se transforma parcialmente en energía potencial en la carcasa de la bomba.

Para que se pueda realizar la conversión de velocidad en presión se emplean difusores o volutas dependiendo del diseño de la bomba. (SALAS, 2007).

Cuando se utiliza el difusor, este consta de varios canales de sección variable los mismos que rodean al impulsor, fabricados en una sola pieza tal como se observa en la figura 2

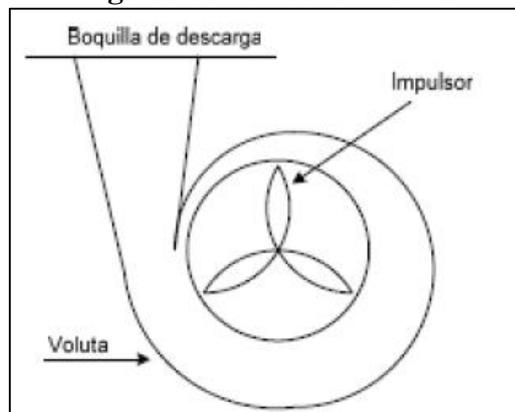
Figura 2. Bomba con difusor



Fuente: (SALAS, 2007)

Cuando se tiene un canal único, este posee generalmente la forma de un espiral de sección variable y recibe el nombre de voluta o caracol tal como se observa a continuación en la figura 3.

Figura 3. Bomba con voluta



Fuente: (SALAS, 2007)

2.1.2 Variables y ecuaciones. Las variables que se nombran a continuación son importantes debido a su carácter determinante en el sistema:

- *Caudal [Q]:* Variable que determina la cantidad de fluido que circula por una sección del ducto en un determinado tiempo.

$$Q = \frac{V}{t} \quad (1)$$

Dónde: $V =$ Volumen; [m^3]
 $t =$ Tiempo; [s]

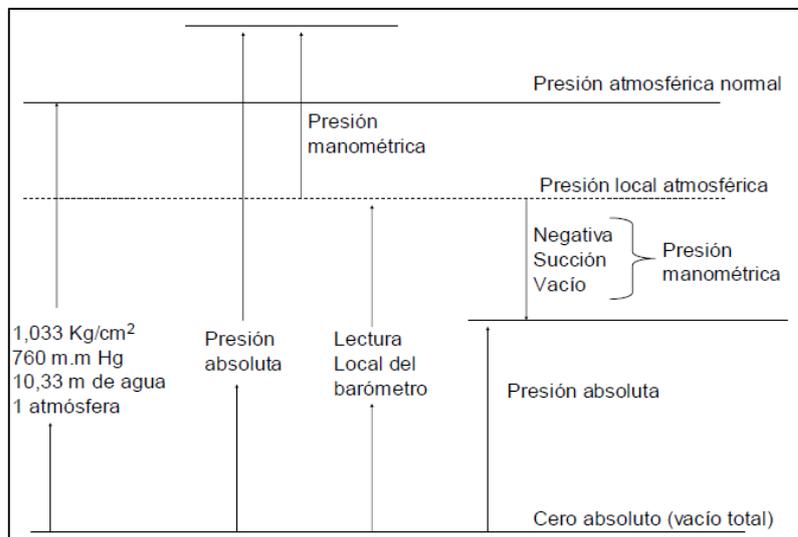
- **Presión [P]:** Magnitud física que representa una fuerza por unidad de área. La medida de presión por lo regular se expresan tomando como referencia un origen arbitrario, es por eso que los manómetros miden la diferencia de presión del fluido y la presión atmosférica local. Por lo tanto para hallar la presión absoluta se tiene que sumar la presión local atmosférica y la presión que nos indica el manómetro.

$$\text{Presión absoluta} = \text{Presión local atmosférica} + \text{Presión manométrica}$$

Cuando la presión manométrica es negativa, de succión o vacío:

$$\text{Presión absoluta} = \text{Presión Local Atmosférica} - \text{Presión manométrica}$$

Figura 4. Esquema de presiones



Fuente: (MONJE, 2004)

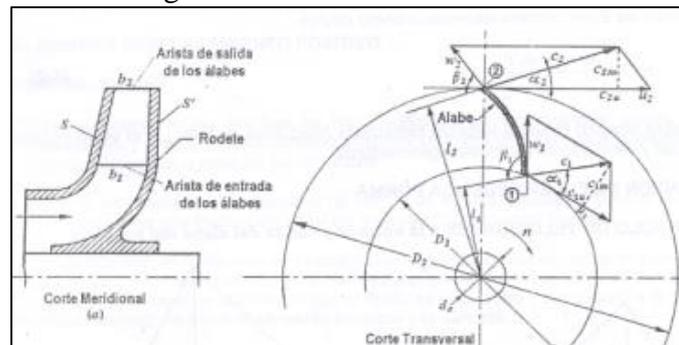
- **Densidad (ρ):** Es una magnitud que representa la cantidad de masa que se encuentra en un determinado volumen.

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (2)$$

Dónde: M =Masa; [kg]
 V = Volumen; [m³]

- *Velocidad [v]*: variable física que expresa el desplazamiento por unidad de tiempo; expresado en [m/s] .
- *Gravedad [g]*: Es una fuerza física que ejerce la tierra sobre todos los cuerpos; expresado en [m/s²]
- *Ecuación de Euler*: Es considerada como la ecuación fundamental para el estudio de las turbomáquinas hidráulicas. En la figura 5 se tiene un corte meridional y el corte transversal del impulsor de una bomba radial.

Figura 5. Triángulo de velocidades de una bomba centrífuga



Fuente: (MATAIX, 1986)

Dónde:

- b_1 = Ancho del álabe a la entrada.
- b_2 = Ancho del álabe a la salida.
- D_1 = Diámetro del álabe a la entrada.
- D_2 = Diámetro del álabe a la salida.
- d_e = Diámetro del eje.
- μ_1 = Velocidad absoluta o periférica del álabe a la entrada.
- C_1 = Velocidad absoluta del fluido.
- W_1 = Velocidad relativa a la entrada (del fluido con respecto al álabe).
- c_{1m} = Componente meridional de la velocidad absoluta del fluido a la entrada.

c_{1u} = Componente periférica de la velocidad absoluta del fluido a la entrada.

α_1 = Angulo que forman las dos velocidades C_1 Y u_1 .

β_1 = Angulo que forman W_1 con $-u_1$.

Los términos en el triángulo a la salida del impulsor en el punto 2 con subíndices 2.

En el corte meridional se han dibujado los triángulos de velocidades del fluido a la entrada y a la salida del impulsor, parámetros analizados para determinar el desarrollo energético en una bomba centrífuga.

Ecuación de Euler primera forma expresada como energía.

$$Y_u = \pm(u_1 c_{1u} - u_2 c_{2u}) \quad (3)$$

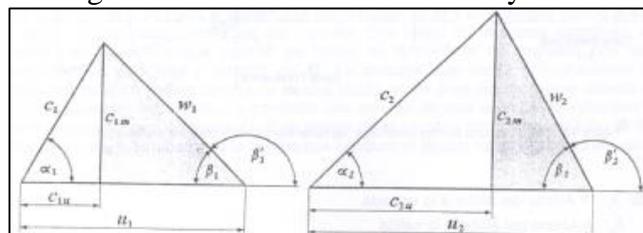
Ecuación de Euler primera expresada como alturas.

$$H_u = \pm \left(\frac{u_1 c_{1u} - u_2 c_{2u}}{2} \right) \quad (4)$$

Se utiliza el signo (+) para turbinas hidráulicas (máquinas motoras), y el signo (-) para bombas y ventiladores (máquinas generadoras). (MATAIX, 1986)

Segunda forma:

Figura 6. Triangulo de velocidades a la entrada y salida de los alabes.



Fuente: (MATAIX, 1986)

Dónde:

u_1 = Velocidad absoluta o periférica del álabe a la entrada.

C_1 = Velocidad absoluta del fluido.

W_1 = Velocidad relativa a la entrada (del fluido con respecto al álabe).

c_{1m} = Componente meridional de la velocidad absoluta del fluido a la entrada.

c_{1u} = Componente periférica de la velocidad absoluta del fluido a la entrada.

α_1 = Angulo que forman las dos velocidades C_1 y u_1 .

β_1 = Angulo que forman W_1 con $-u_1$.

Los términos en él, triángulo a la salida del impulsor en el punto 2 con subíndices 2.

Ecuación de Euler segunda forma expresada como energía.

(5)

$$Y_u = \pm \left(\frac{u_1^2 - u_2^2}{2} + \frac{w_1^2 - w_2^2}{2} + \frac{c_1^2 - c_2^2}{2} \right)$$

Ecuación de Euler forma expresada como alturas.

(6)

$$H_u = \pm \left(\frac{u_1^2 - u_2^2}{2g} + \frac{w_1^2 - w_2^2}{2g} + \frac{c_1^2 - c_2^2}{2g} \right)$$

Se utiliza el signo (+) para turbinas hidráulicas (máquinas motoras), y el signo (-) para bombas y ventiladores (máquinas generadoras). (MATAIX, 1986)

• *Ecuación de continuidad:* Esta ecuación nos expresa que el caudal se mantiene constante en una tubería por lo tanto caudal que entra es igual a caudal que sale, es decir:

$$Q_1 = Q_2 \quad (7)$$

$$A_1 * v_1 = A_2 * v_2$$

Dónde:

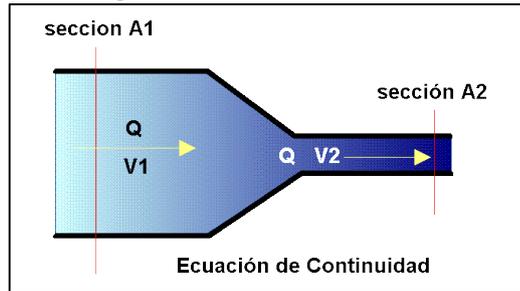
Q : Caudal

A : Área

v : Velocidad

Los subíndices 1 y 2 corresponden a las secciones que se muestra en la figura 7

Figura 7.Sección de tubería



Fuente: (HERNANDEZ, 2005)

- Balance de Energía: Basados en la ley de energía en la que nos menciona que la energía no se destruye solamente se transforma, vamos a suponer que en una tubería horizontal de diámetro constante D , figura 8 por la que circula un fluido cualquiera, cuya velocidad media en la tubería es v . La energía en el punto de la sección 2 será igual a la energía en el punto 1 menos la energía pérdida de carga entre los puntos 1 y 2, es decir, se cumple la ecuación de Bernoulli con pérdidas, que expresada en alturas equivalentes será. (MATAIX, 1986)

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} - Hr_{1-2} = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (8)$$

Dónde:

P : Presión

Z : Altura

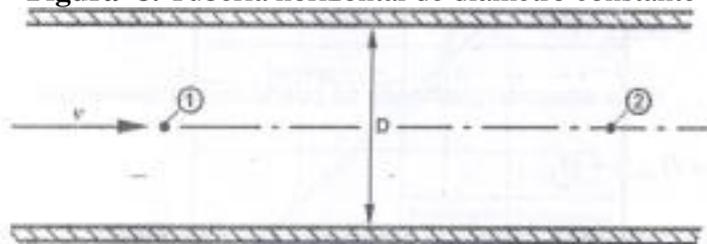
Hr_{1-2} : Pérdidas primarias entre 1 y 2

v : Velocidad

ρ : Densidad

g : Gravedad

Figura 8. Tubería horizontal de diámetro constante



Fuente: (MATAIX, 1986)

- *Ecuación general de las pérdidas primarias o Ecuación de Darcy – Weisbach:* Basados en experimentos realizados con tuberías de agua de diámetro constante demostraron que la pérdida de carga era directamente proporcional al cuadrado de la velocidad media en la tubería y a la longitud de la tubería e inversa mente proporcional al diámetro de la misma. La fórmula fundamental que expresa lo anterior es la ecuación de DARCY – WEISBACH.

$$Hr = \lambda \frac{L * v^2}{Di * 2g} \quad (9)$$

Dónde:

Hr = Pérdidas de carga primaria.

λ = Coeficiente de pérdida de carga primaria.

L = Longitud de la tubería.

Di = Diámetro interno de la tubería.

v = Velocidad media del fluido.

El factor λ en la ecuación de DARCY-WEISBACH es obviamente adimensional. (L / D es adimensional y $v^2 / 2g$ tiene la misma dimensión que h_f o sea (L)). El factor λ depende de la velocidad v del diámetro interior de la tubería D_i , de la densidad ρ , de la viscosidad μ y de la rugosidad ϵ , la cual, como se explica en la figura 9 puede expresarse en unidades de longitud, m, si dicha figura representa microscópicamente la rugosidad de la tubería y con ello se explica el significado del parámetro ϵ .

De lo dicho se deduce:

$$\lambda = f (v, D, \rho, \mu, k) \quad (10)$$

Siendo λ adimensional la función f de la ecuación deberá ser una función de variables adimensionales. En efecto, el análisis dimensional demuestra que:

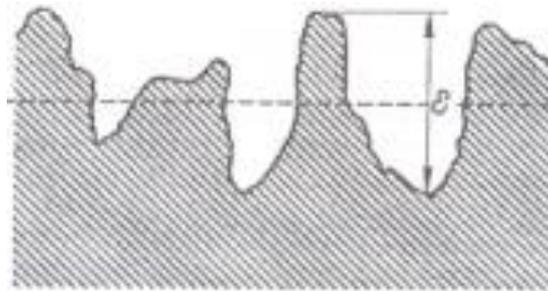
$$\lambda = f\left(\frac{\rho^* v^* D_i}{\mu}, \frac{\varepsilon}{D_i}\right) \quad (11)$$

Dónde:

$$\left(\frac{\varepsilon}{D_i}\right) = \text{Rugosidad relativa.}$$

$$\left(\frac{\rho^* v^* D_i}{\mu}\right) = \text{Número de Reynolds.}$$

Figura 9. Rugosidad superficie interna de una tubería



Fuente: (MATAIX, 1986)

Cálculo de λ en régimen laminar (tuberías lisas y rugosas). El efecto de la rugosidad de la tubería, que se representa a escala macroscópica en la figura 9 es favorecer el desprendimiento y la turbulencia, como si las rugosidades microscópicamente produjeran un efecto de rozamiento de forma. Sin embargo, si el flujo es laminar la corriente es relativamente lenta, la viscosidad relativamente grande, y la corriente no es perturbada por las protuberancias del contorno, más aún si se inicia una turbulencia la viscosidad la destruye por tanto.

En régimen laminar λ no es función de la rugosidad y se calcula con la ecuación.

(12)

$$\lambda = \frac{64}{R_e} \quad \text{Cuando } R_e \leq 2000$$

O con la ecuación de Fanno: Si $5 \cdot 10^3 \leq R_e \leq 10^8$ y $10^{-6} \leq \varepsilon / D \leq 10^{-2}$

(13)

$$\lambda = \frac{0.25}{[\log\left(\frac{k}{3.7d}\right) + \left(\frac{5.74}{Re^{0.90}}\right)]^2}$$

• *Pérdidas secundarias:* Estas pérdidas tienen lugar en los cambios de sección y dirección de la corriente, en las contracciones, ensanchamientos, codos, diafragmas, válvulas de diferentes tipos, etc. En general en todos los accesorios de tuberías. Estas pérdidas en ocasiones pueden llegar a ser más importantes que las primarias si la conducción de fluido es relativamente corta. (MATAIX, 1986)

En esto se ha de utilizar el sentido común hidráulico: así, por ejemplo, una válvula puede ser una pérdida pequeña y despreciable cuando está totalmente abierta, sin embargo, cuando está parcialmente abierta puede ser la pérdida más importante del sistema. Para el cálculo de estas pérdidas se utiliza La ecuación de Darcy-Weisbach:

$$h_{pa} = k \frac{v^2}{2g} \quad (14)$$

Dónde:

h_{pa} = Pérdida de carga secundaria.

k = Coeficiente adimensional de pérdida de carga secundaria.

v = Velocidad media en la tubería, si se trata de codos, válvulas, etc.

2.1.3 *Aplicación de la bomba centrífuga.* Este tipo de bombas se aplican, en la mayoría de sistemas de bombeo de fluidos, así como agua, alcohol, gasolina, líquidos alimenticios: cerveza, leche etc. También para el bombeo de líquidos con mayor viscosidad como papel, melazas, fangos.

2.1.4 *Tipos de bombas centrífugas.* Los tipos de bombas centrífugas se pueden especificar de acuerdo a distintos criterios; cave recalcar que las bombas axiales no son centrífugas pero por tener un igual funcionamiento se las considera de este tipo de bombas:

2.1.4.1 De acuerdo a la admisión de líquido

- *Bombas centrífugas de flujo radiales.* En estas bombas el líquido ingresa axialmente al impulsor a través de la boquilla de aspiración para luego ser descargado radialmente hacia la carcasa de la bomba.

Las bombas centrífugas de flujo radial se utilizan para cargas altas y caudales pequeños, sus impulsores son por lo general angostos.

Figura 10. Bomba de flujo radial



Fuente: (Shanghai Pacific Pump Manufacture (Group) Co., 1998)

- *Bombas centrífugas de flujo axiales:* En las bombas de flujo axial el líquido ingresa axialmente al impulsor para ser descargado en una dirección intermedia entre radial y axial. Estas bombas se utilizan para cargas pequeñas y grandes caudales, tienen impulsores tipo propeller, de flujo completamente axial.

Figura 11. Bomba de flujo axial



Fuente: (LEWIS, 2008)

- *Bomba centrífuga de flujo mixto:* En estas bombas de flujo mixto el líquido ingresa y sale del impulsor en forma axial, estas bombas se utilizan para cargas y caudales intermedios. A su vez también se utilizan para grandes caudales a poca altura en especial para agua potable o aguas residuales.

Figura 12. Bomba de flujo mixto



Fuente: (NIJHUIS, 2015)

2.1.4.2 De acuerdo al tipo de impulsor.

- *Bomba de impulsor abierto:* En estas bombas los alabes se encuentran libres en ambas caras y se encuentran sujetas por unos anillos centrales por donde ingresa el líquido. Son consideradas de fácil mantenimiento debido a que se tiene un fácil acceso a los alabes de la bomba. La desventajas de esta bomba es que su estructura es débil y su eficiencia muy baja en comparación a la de impulsor cerrado.

Figura 13. Bomba de impulsor abierto



Fuente: (EGGER, 2013)

- *Bomba de impulsor semi-abierto*: En las bombas de impulsor semi-abierto los alabes se encuentran libres en una de las caras y fijos por el otro a un disco, su uso apropiado se ha podido determinar para líquidos viscosos y para aguas residuales. Estas bombas presentan mayor facilidad y menor costo de mantenimiento en relación a la de impulsor cerrado pero también posee mayor estabilidad que la de impulsor abierto

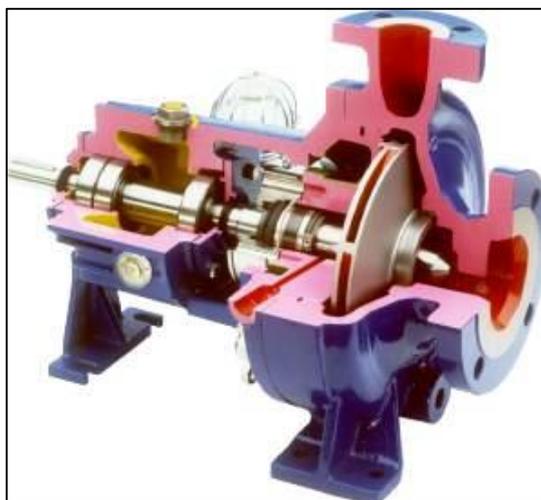
Figura 14. Bomba de impulsor semi-abierto



Fuente: (EGGER, 2013)

- *Bomba de impulsor cerrado*: En este tipo de bombas el impulsor se encuentra constituido por discos paralelos que encierran totalmente las vías del líquido desde el orificio de succión hasta la periferia del impulsor, en esta bomba por la disposición del impulsor el fluido es mejor orientado y su rendimiento es mayor.

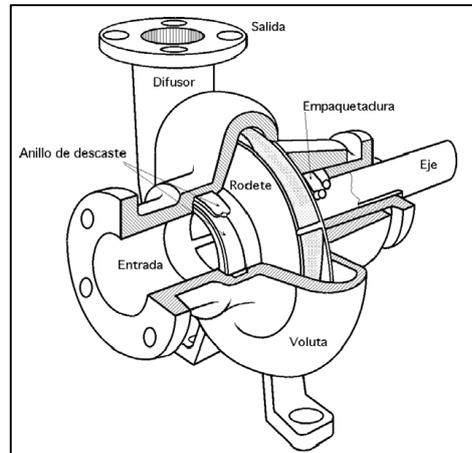
Figura 15. Bomba de impulsor cerrado



Fuente: (EGGER, 2013)

2.1.5 *Accesorios de la bomba centrífuga.* Los accesorios constructivos importantes y más influyentes de una bomba centrífuga son:

Figura 16. Accesorios constructivos de una bomba centrífuga



Fuente: (Academia.edu)

- *Una tubería de aspiración:* que es por donde el fluido va a ingresar a la bomba y que concluye prácticamente en la brida de aspiración.
- *Impulsor o rodete:* Se encuentra constituido por un conjunto de álabes que pueden adoptar diversas formas según la misión que vaya a desarrollar la bomba. Dichos álabes giran dentro de una carcasa circular. El rodete es accionado por un motor, y va unido solidariamente al eje, siendo este la parte móvil de la bomba.

El líquido ingresa axialmente por la tubería de aspiración hasta la entrada del rodete, experimentando un cambio de dirección más o menos brusco, pasando a radial, en las bombas centrífugas, o permaneciendo axial en las axiales, acelerándose y absorbiendo un trabajo.

Los álabes del rodete son los encargados de someter a las partículas de líquido a un movimiento de rotación muy rápido, siendo estas partículas proyectadas hacia el exterior por la fuerza centrífuga, creando así una altura dinámica, de tal forma que las partículas abandonan el rodete hacia la voluta a gran velocidad, aumentando también su presión en el impulsor según la distancia al eje. La elevación del líquido se produce por la reacción entre éste y el rodete sometido al movimiento de rotación.

- *La voluta:* Es una parte fija que se encuentra en forma de caracol alrededor del rodete a su salida, de tal manera que la separación entre ella y el rodete es mínima en la parte superior, y va aumentando hasta que las partículas líquidas se encuentran frente a la abertura de impulsión.

Su misión es la de recoger el líquido que abandona el rodete a gran velocidad, cambiar la dirección de su movimiento y encaminarle hacia la brida de impulsión de la bomba. La voluta es además un transformador de energía, ya que frena la velocidad del líquido, transformando parte de la energía dinámica creada en el rodete en energía de presión, que crece a medida que el espacio entre el rodete y la carcasa aumenta, presión que se suma a la alcanzada por el líquido en el rodete.

- *Difusor:* El difusor junto con el rodete, están encerrados en una cámara, llamada carcasa o cuerpo de bomba. El difusor está formado por unos álabes fijos divergentes, que al incrementarse la sección de la carcasa, la velocidad del agua irá disminuyendo lo que contribuye a transformar la energía cinética en energía de presión, mejorando el rendimiento de la bomba.

- *Eje:* El eje de la bomba es un accesorio en forma de barra de sección circular no uniforme que se fija rígidamente sobre el impulsor y le transmite la fuerza del elemento motor.

- *Una tubería de impulsión:* Se encuentra instalada a la salida de la voluta, por la que el líquido es evacuado a la presión y velocidad creadas en la bomba. (Academia.edu)

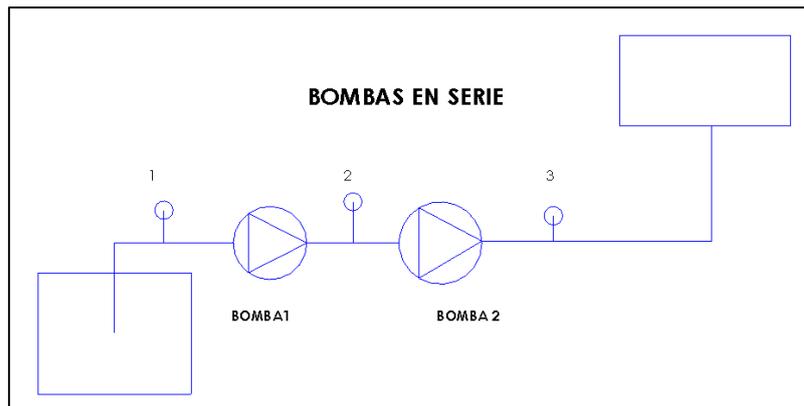
2.2 Sistema en serie.

Este tipo de sistema se utiliza para elevar un mismo caudal a distintas alturas, o a su vez para impulsar un determinado caudal, venciendo grandes resistencias debidas a grandes longitudes de tubería.

Este sistema de bombas en serie es poco frecuente y no se debe confundir con el caso de tener dos o más estaciones de bombeo escalonadas ya que si tomamos por ejemplo un

sistema de abastecimiento de combustible en los cuales la descarga de una bomba se receipta en un depósito elevado con respecto al anterior, desde donde aspira la siguiente bomba para impulsar el fluido hasta el siguiente deposito, en este caso los caudales impulsados individualmente no necesariamente deben ser iguales, de igual forma, tampoco se requiere que las bombas estén funcionando al mismo tiempo. (PEREZ, 2013)

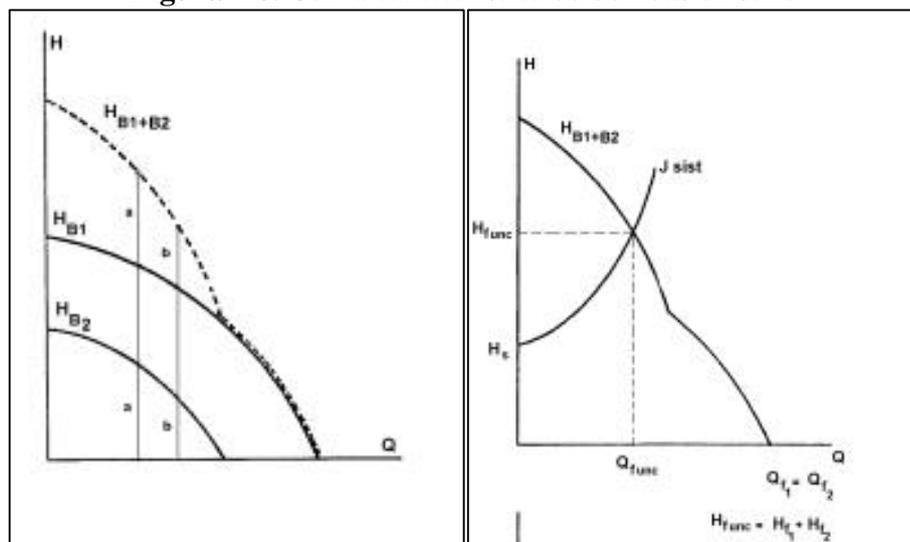
Figura 17. Conexión de bombas en serie



Fuente: Autores

Las curvas características de un sistema de bombas en serie se representan en la siguiente figura 18:

Figura 18. Curva característica de bombas en serie



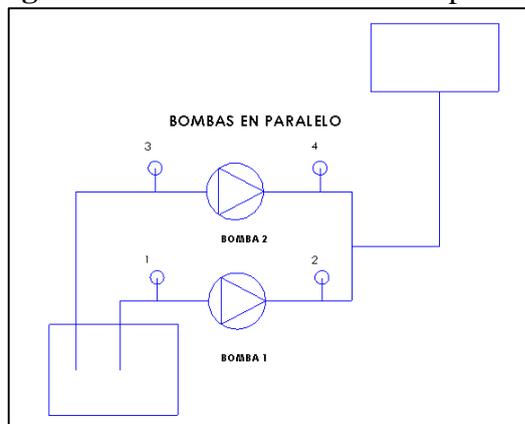
Fuente: Autores

2.3 Sistema en paralelo.

Es un sistema muy utilizado para el abastecimiento o remoción de grandes volúmenes de fluido. Pero se debe considerar que las características de las bombas instaladas en paralelo sean iguales ya que puede suceder que una de las bombas no trabaje correctamente. (Bombas, 2003)

Un claro ejemplo tenemos en la figura 19 una estación de bombeo, operando con bombas instaladas en paralelo.

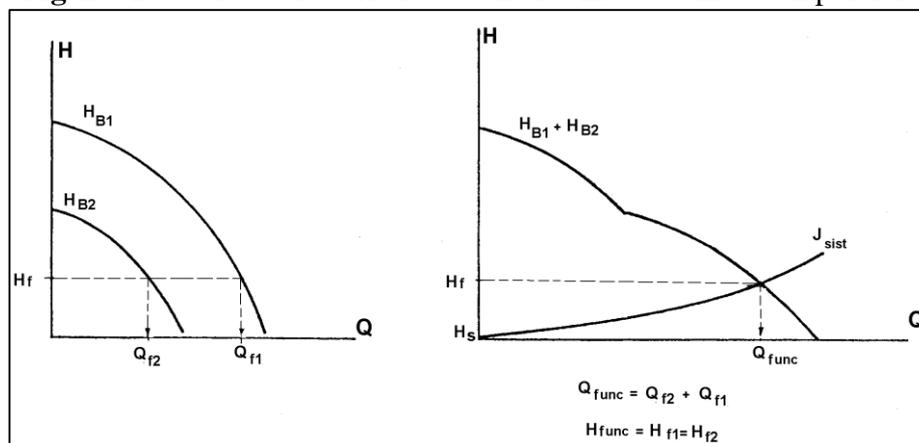
Figura 19. Sistema de bombeo en paralelo



Fuente: Autores

El sistema en paralelo mantiene constante la presión de bombeo pero aumenta el caudal, esto se podrá observar en la curva que caracteriza a este sistema la misma que se representa en la figura 20.

Figura 20. Curva característica de un sistema de bombeo en paralelo



Fuente: Autores

2.4 Concepto de automatización.

La automatización se considera como el conjunto de métodos y procedimientos utilizados para la sustitución del operario en tareas físicas y mentales previamente programadas.

Dentro del ambiente de producción, desde inicios en la era industrial, hasta hoy en día se considera que la automatización pasó de ser una herramienta de trabajo deseable a una indispensable para competir en el mercado en cuanto a eficiencia, calidad, brevedad de los procesos y confort humano.

Hoy en día ningún empresario puede omitir la automatización de sus procesos para elevar la calidad de sus productos, además de reducir los desperdicios o los elementos mal elaborados siendo en lo económico más rentable.

Entre los objetivos que tiene la automatización es reducir la intervención, el aburrimiento y posibilidad de error humano; incrementar la productividad, realizar operaciones imposibles de controlar intelectual o manualmente; mejorar la disponibilidad de los productos es decir disponer las cantidades necesarias en el momento preciso, permite mejorar el mantenimiento haciéndolo fácil; integrar gestión y producción; la automatización es viable si se evalúan los beneficios económicos y sociales de las mejoras que se obtienen.

2.4.1 *Importancia de la automatización.* La tendencia mundial que siempre el humano ha buscado es la comodidad y mejoramiento de acuerdo a las constantes necesidades y circunstancias, provocando satisfacción en la exigencia y competitividad en el mercado.

Se han realizado estudios que demuestran como las empresas que se han sometido a la automatización de sus procesos, usando implementación adecuada, asesoría correcta, han llegado a aumentar su producción.

La automatización destaca una gran capacidad innovadora, potenciando su flexibilidad para adaptarse al nuevo panorama que nos entrega el mundo globalizado, buscando nuevos servicios de automatización, favoreciendo el ahorro de energía, la integración de procesos de alta complejidad, incorporando dispositivos de control que han contribuido significativamente en la optimización de los procesos productivos, siendo esto

relativamente ventajoso, ya que existe menos probabilidad de equivocarse, además de evitar el contacto del producto con el humano siendo mucho más higiénico en el proceso, la confiabilidad y la calidad de producto final, u obtención de resultados, sabiendo que tiene un alto costo pero los resultados son inmediatos. (Inteligente, 2004)

La automatización se implica en todos los ámbitos profesionales y personales ya que proporciona una mayor fiabilidad en todas las actividades, como por ejemplo la automatización de bombas que permite:

- Mayor bienestar para las personas al liberarlas del trabajo.
- Facilidad y comodidad de uso de la bomba.
- Seguridad para las personas y la propia bomba.

2.4.2 Elementos de la automatización. El mercado de hoy en día, permite que la industria elabore elementos más pequeños, eficientes y que van de acuerdo a una necesidad específica , es decir el sistema funciona mediante el uso de captadores o sensores, los cuales son básicamente instrumentos de medición, los que permiten recibir información sobre un funcionamiento de variables que deben ser controlados como por ejemplo presión, velocidad, caudal es decir variables cuantificables, convirtiéndose en señales, las cuales están siendo repetitivamente comparadas por medio de una computadora con normas establecidas, arrojando valores necesarios para lograr determinar variables.

Al no concordar la señal con lo programado, de inmediato se genera una nueva señal es decir una instrucción, por lo que se acciona un actuador que por lo general son válvulas o motores.

Dentro de los elementos necesarios también son considerados los transmisores de campo, los sistemas de control, supervisión, recolección de datos y aplicaciones de software, simuladores en tiempo real para supervisar y controlar los distintos procesos industriales.

En resumen la automatización de un proceso industrial es la incorporación esencial de elementos y dispositivos tecnológicos que aseguran un control y correcto funcionamiento de máquinas y equipos que conllevan a procesos eficientes. (CHICALA, 2004)

2.4.3 Tipos de automatización. Existen tres clases los cuales se enunciaran a continuación:

- Automatización fija.
- Automatización programable.
- Automatización flexible.

2.4.3.1 Automatización fija: Se utiliza para obtener productos en serie, en menos tiempo, su demanda, y su volumen, por lo cual lo hace un poco caro ya que los equipos para su elaboración son grandes y ubicados en lugares amplios y espaciosos; la finalidad de este tipo es a mayor cantidad de producción disminuye su costo; el volumen de producción es muy alto, y por tanto se puede justificar económicamente el alto costo del diseño de equipo especializado para procesar el producto, con un rendimiento alto y tasas de producción elevadas. Una de las condiciones que presenta es su ciclo de vida que va de acuerdo a la vigencia del producto en el mercado. (CHICALA, 2004)

Las características básicas de este tipo son los siguientes:

- Presenta una secuencia sencilla de operación.
- Requiere una inversión elevada en equipos especializados.
- Tiene elevados ritmos de producción.
- Es inflexible para adaptarse a los cambios de los productos.

2.4.3.2 Automatización programable: se considera cuando el volumen de producción es relativamente pequeña y hay una diversidad de producción a obtener es decir los equipos pueden cambiar de secuencia con el objetivo de adaptarse a la elaboración de productos diferentes. En este caso el equipo de producción es diseñado para adaptarse a la variaciones de configuración del producto; ésta adaptación se realiza por medio de un programa; uno de los ejemplos son los robots industriales. (CHICALA, 2004)

Las características más importantes son:

- Fuerte inversión en equipo general, como los propios sistemas de control.
- Índices bajos de producción para la automatización fija.

- Tiene mayor flexibilidad para lidiar con modificaciones en la configuración del producto si se requiere la necesidad de cambiarlo o mejorarlo.
- Es conveniente para la producción en montones y de diversas cualidades.

2.4.3.3 Automatización flexible: es la modificación entre los dos tipos de automatización flexible y fija, permitiendo considerarse para un rango de producción media, en las que se puede realizar modificaciones en los programas y cambiar la relación entre los diferentes elementos que lo constituyen. Los sistemas flexibles se componen por una serie de estaciones de trabajo interconectadas entre sí por sistemas de almacenamiento y manipulación de materiales, controlados en su conjunto por una computadora. (CHICALA, 2004)

Las características que distinguen la automatización flexible de la programable son:

- Producción continua de mezclas y lidiar de algunas variables de productos.
- Posee un índice de producción media.
- Flexibilidad para lidiar con las variaciones en diseño del producto.

2.5 Sensores para la medición de variables.

Un sensor o captador es un dispositivo diseñado para detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas.

Las variables de instrumentación pueden ser: fuerza, presión, torsión, temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, humedad, movimiento, etc. Una magnitud eléctrica puede ser una resistencia eléctrica, capacidad eléctrica, tensión eléctrica o una corriente eléctrica. etc.

Un sensor no es lo mismo que un transductor la diferencia se encuentra en que el sensor está siempre en contacto con la variable de instrumentación con lo que puede decirse también que es un dispositivo que aprovecha una de sus propiedades con el fin de adaptar la señal que mide para que la pueda interpretar otro dispositivo.

Como por ejemplo el termómetro de mercurio que aprovecha la propiedad que posee el mercurio de dilatarse o contraerse por la acción de la temperatura. (REALPE, 2013)

2.5.3 *Características de un sensor.* Un sensor ideal sería aquel en que la relación entre la magnitud de salida y la magnitud de entrada fuese estrictamente proporcional y de respuesta instantánea e idéntica para todos los elementos de un mismo tipo.

Sin embargo, la respuesta real de los sensores nunca es del todo lineal, tiene un campo limitado de validez, suele estar afectada por perturbaciones del entorno exterior y tiene un cierto retardo a la respuesta. Todo ello hace que la relación salida / entrada deba expresarse por una curva, o mejor por una familia de curvas, para sensores de un mismo tipo y modelo. (PROTON, 2009)

Para determinar el comportamiento real de los sensores se suelen comparar éstos con un modelo ideal de comportamiento o con un transductor patrón y se define una serie de características que ponen de manifiesto las desviaciones respecto a dicho modelo.

Mencionadas características pueden agruparse en dos grandes bloques:

- Características estáticas
- Características dinámicas

2.5.3.1 *Características estáticas:* son aquellas que describen la actuación del sensor en régimen permanente o cambios muy lentos de la variable a medir.

- *Campo o rango de medida.* Es el conjunto de valores que puede tomar una magnitud de entrada comprendido entre el máximo y el mínimo detectables por un sensor, con una tolerancia de error aceptable.

- *Resolución.* Indica la capacidad del sensor para discernir entre valores muy próximos de la variable de entrada, también nos indica que variación de la señal de entrada produce una variación detectable en la señal de salida. Se mide por la mínima diferencia entre dos valores próximos que el sensor es capaz de distinguir.

- *Precisión.* Se define como la máxima variación entre la salida real obtenida de un sensor y el valor teórico de dicha salida que le corresponde, en idénticas condiciones, según el modelo ideal especificado como patrón. Se suele indicar en valor absoluto de la variable de entrada o en porcentaje sobre el fondo de escala de la salida.
- *Repetitividad.* Característica que indica la máxima desviación entre magnitudes de salida obtenidas al medir varias veces el mismo valor de entrada, con el mismo sensor y en idénticas condiciones ambientales. Se suele expresar en porcentaje referido al fondo de escala y da una indicación del error aleatorio del sensor.
- *Linealidad.* Se establece que un transductor es lineal, si existe una constante de proporcionalidad única que relaciona los incrementos de señal de salida con los correspondientes incrementos de señal de entrada, en todo el campo de medida. La no linealidad se mide por la máxima desviación entre la respuesta real y la característica puramente lineal, referida al fondo de escala.
- *Sensibilidad.* Característica que indica la mayor o menor variación de la salida por unidad de la magnitud de entrada. En un sensor siempre que, mayor sea la variación de la señal de salida producida por una variación en la señal de entrada será más sensible.
- *Ruido:* Es una perturbación aleatoria del propio transductor o del sistema de medida, que produce una desviación de la salida con respecto al valor teórico.
- *Histéresis.* Se dice que transductor presenta histéresis cuando, a igualdad de la magnitud de entrada, la salida depende de, si dicha entrada se alcanzó con aumentos en sentido creciente o en sentido decreciente. Se suele medir en términos de valor absoluto de la variable física o en porcentaje sobre el fondo de escala. Obsérvese que la histéresis puede no ser constante en todo el campo de medida.

2.5.3.2 Características dinámicas. Son aquellas que describen la actuación del sensor en régimen transitorio, a base de dar su respuesta temporal ante determinados estímulos estándar o a base de identificar el comportamiento del transductor con sistemas estándar, e indicar las constantes de tiempo relevantes.

- *Velocidad de respuesta.* Característica que mide la capacidad de un transductor o sensor para que la señal de salida siga sin retraso las variaciones de la señal de entrada. La forma de cuantificar este parámetro es a base de una o más constantes de tiempo, que suelen obtenerse de la respuesta al escalón.
- *Respuesta en frecuencia:* Es la relación entre la sensibilidad y la frecuencia cuando la entrada es una excitación senoidal. Se suele indicar mediante un gráfico de Bode. La respuesta de frecuencia está muy directamente relacionada con la velocidad de respuesta.
- *Estabilidad y derivas.* Características en la que indican la desviación de salida del sensor al variar ciertos parámetros exteriores distintos del que se pretende medir, tales como condiciones ambientales, alimentación, u otras perturbaciones. Debe tenerse en cuenta que todas las características suelen variar con las condiciones ambientales. Por ello, uno de los parámetros esenciales a comprobar al elegir un transductor es el campo de validez de los parámetros que se indican como nominales del mismo y las máximas desviaciones provocadas por dichas condiciones ambientales.

2.5.4 *Clasificación de los sensores.* Por la gran variedad de sensores que existen en la actualidad es muy complicado realizar una clasificación en la que se pueda englobar a todos es por eso que a continuación se mencionarán los más comunes y generales. (ORTEGA, 2013)

2.5.4.1 *Principio de funcionamiento.* Todos los sensores utilizan uno o más principios físicos o químicos para convertir una variable de entrada, al tipo de variable de salida más adecuado para el control o monitoreo de cada proceso.

Activos. Son aquellos que generan señales representativas de las magnitudes a medir como temperatura, presión, caudal etc. en forma autónoma, sin requerir de fuente alguna de alimentación.

Pasivos. Son aquellos que generan señales representativas de las magnitudes a medir como temperatura, presión, caudal, posición, etc. por intermedio de una fuente auxiliar.

2.5.4.2 *Tipo de señal que generan.*

Digitales. Son aquellos que frente a un estímulo pueden cambiar de estado ya sea de cero a uno o de uno a cero, en este caso no existen estados intermedios y los valores de tensión que se obtienen son únicamente dos, 5V y 0V (o valores muy próximos).

Análogos. Son aquellos que, como salida, emite una señal comprendida por un campo de valores instantáneos que varían en el tiempo, y son proporcionales a los efectos que se están midiendo.

Temporales. Son aquellos que entregan una señal variable en el tiempo la cual puede ser una onda sinusoidal, triangular o cuadrada.

2.5.4.3 *Rango de valores de salida.*

ON / OFF. También conocidos como sensores si-no, sensores 0-1, sensores on-off, o sensores binarios son en general dispositivos mecánicos simples.

De medida. Se obtiene una salida proporcional a la señal de entrada.

2.5.4.4 *Nivel de integración.*

Discretos. Sensor en el que el circuito de acondicionamiento se realiza mediante componentes electrónicos separados e interconectados entre sí.

Integrados: Elemento sensor y circuito (al menos en este último) construidos en un único circuito integrado, monolítico o híbrido.

Inteligentes: Realiza al menos una de las siguientes funciones: Cálculos numéricos, comunicaciones en red, auto calibración y autodiagnóstico, múltiples medidas con identificación del sensor

Tipo de variable física medida: De acuerdo a la variable física medida los sensores pueden ser mecánicos, eléctricos, magnéticos, térmicos, acústicos, ultrasónicos, químicos, ópticos, de radiación laser. etc.

2.6 Descripción del sistema de adquisición de datos.

La adquisición de datos consiste en la toma de señales físicas, las mismas que son convertidas en señales eléctricas y digitalizadas de tal manera que estas puedan ser procesadas en un computador.

La adquisición de datos comienza con una, magnitud o propiedad física la cual requiere ser medida; esta magnitud o propiedad podría ser un cambio de temperatura, presión, caudal, fuerza, desplazamiento, etc. Esta magnitud o propiedad física es convertida por un sensor a una señal eléctrica medible, tal como tensión de corriente, resistencia eléctrica o una capacitancia eléctrica etc.

La eficiencia de un sistema de adquisición de datos para medir las distintas magnitudes físicas depende de los transductores o sensores, y su capacidad para convertir las señales de las magnitudes físicas mesurables en la adquisición de datos por hardware.

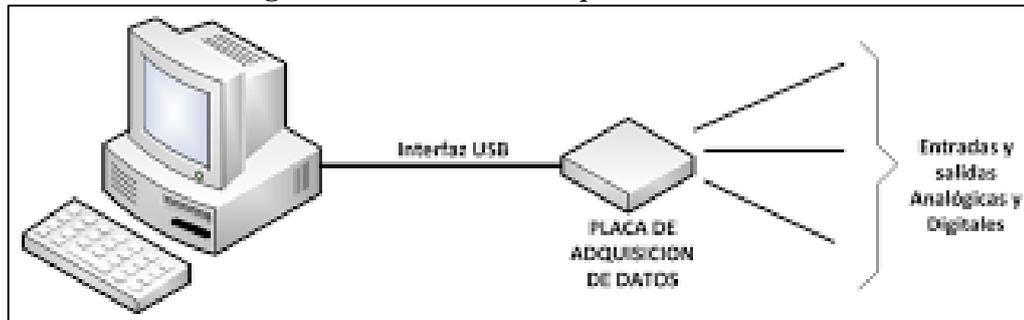
Las señales pueden ser digitales o analógicas esto dependerá del transductor utilizado; en caso de que la señal emitida por el transductor no sea la adecuada para la DAQ hardware que se utiliza, es necesario realizar un acondicionamiento de señal el mismo que consiste en amplificar, des amplificar, aislar, linealizar, etc. Este pretratamiento de la señal normalmente es realizado por un módulo acoplado al transductor.

DAQ hardware es un elemento el cual nos permiten obtener por lo general la interfaz entre la señal y un PC, estas podrán ser en forma de módulos las mismas que pueden ser conectadas a una computadora por medio de los puertos (paralelo, serie, USB etc.) o ranuras de las tarjetas conectadas a (PCI, ISA) en la placa madre. Las tarjetas DAQ por lo general se encuentran formadas por múltiples componentes como ADC, DAC, temporizadores de alta velocidad, memoria RAM entre otros, estos son accesibles a través de un micro controlador en el cual se puede ejecutar pequeños programas.

Mediante una PC con software programable se puede controlar la operación del dispositivo DAQ, también es usado para procesar, visualizar y almacenar datos. Se debe tener en cuenta que el software utilizado debe estar compuesto por dos partes la primera el software controlador, el mismo que permite tener la habilidad de interactuar de una

manera fácil y simplificada con un dispositivo DAQ y la segunda un software de aplicación que permite la fácil interacción entre la PC y el usuario para adquirir, analizar y presentar datos de medidas.

Figura 21. Sistema de adquisición de datos



Fuente: (VENTIMILLA, 2012)

En los sistemas de adquisición de datos el tiempo de conversión es importante ya que de este dependerá la rapidez con la que se ejecutara los procesos, claro está que esto dependerá de la tecnología utilizada.

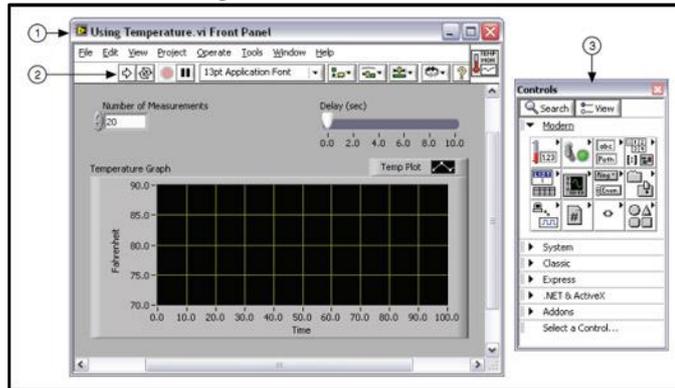
2.7 Visualización de datos por medio de software LabVIEW.

LabVIEW (acrónimo de Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico. Recomendado para sistemas hardware y software de pruebas, control y diseño, simulado o real y embebido, pues acelera la productividad. El lenguaje que usa se llama lenguaje G, donde la G simboliza que es lenguaje Gráfico. (NATIONAL INSTRUMENTS, 2015)

Como se determinó que LabVIEW es una herramienta gráfica de programación, esto significa que los programas no se escriben, sino que se dibujan, facilitando su comprensión. Al tener ya pre-diseñados una gran cantidad de bloques, se le facilita al usuario la creación del proyecto, con lo cual en lugar de emplear una gran cantidad de tiempo en programar un dispositivo/bloque, se le permite invertir mucho menos tiempo y dedicarse un poco más en la interfaz gráfica y la interacción con el usuario final. Cada programa consta de dos partes diferenciadas:

- *Panel frontal*: Es utilizado para interactuar con el usuario cuando el programa se está ejecutando. Los usuarios podrán observar los datos del programa actualizados en tiempo real. En esta interfaz se definen los *controles* de entradas que pueden ser botones, marcadores etc. e *indicadores* o salidas tales como las gráficas.

Figura 22. Panel frontal

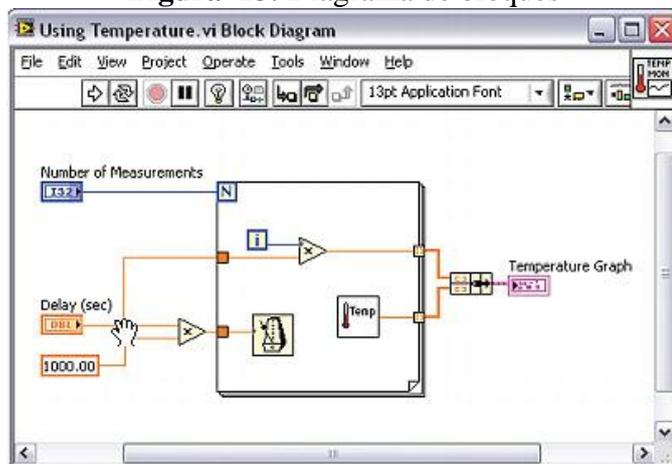


Fuente: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2015)

- (1) Ventana de Panel Frontal
- (2) Barra de Herramientas
- (3) Paleta de Controles

- *Diagrama de bloques*: Es prácticamente el programa, donde se define su funcionalidad, aquí se colocan íconos que realizan una determinada función y se interconectan.

Figura 23. Diagrama de bloques



Fuente: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2015)

CAPÍTULO III

3. PUESTA A PUNTO DEL BANCO DE PRUEBAS DE BOMBAS CENTRÍFUGAS INSTALADAS EN SERIE Y PARALELO.

3.1 Introducción.

Mucho de los equipos cuando son nuevos no requieren mayor mantenimiento, pero el tiempo y el uso hacen que sea necesario programar un mantenimiento adecuado para la durabilidad de los equipos, permitiendo incrementar su vida útil y eficiencia de los mismos, además permite evitar la obsolescencia y el daño lo que provocaría una pérdida de tiempo y dinero.

3.2 *Mantenimiento.* Es la sumatoria de múltiples actividades con un respectivo orden las cuales permiten el normal funcionamiento de los equipos, plantas; con el objetivo de alcanzar un desempeño y durabilidad óptima.

El mantenimiento puede ser dividido en tres grandes grupos: mantenimiento correctivo, mantenimiento preventivo, mantenimiento mejorativo. (CUADRADO, 2010)

3.2.1 *Mantenimiento correctivo:* Como su nombre lo establece no es más que un conjunto de acciones luego de las acciones o hechos sucedidos. A este tipo de mantenimiento se considera uno de los más costosos ya que implica cambios de accesorios lo que lo hace elevado. En mucho de los casos se aplica cuando la máquina deja de funcionar.

Dentro de este tipo de mantenimiento se manejan algunas causas como las siguientes:

- Falta de planificación.
- Por falta de presupuesto.
- Falta de asignación de costos para salarios para personal de mantenimiento.
- Costos de repuestos y materiales.
- Costos de herramientas y equipos.

Cabe recalcar que en muchas de las empresas se maneja un mantenimiento preventivo pero por azares si se produce una avería entonces se procede a realizar el mantenimiento correctivo, lo más rápido posible.

3.2.2 *Mantenimiento preventivo.* La idea de este tipo de mantenimiento se realiza con el fin de prevenir el daño, mediante inspecciones y mantenimientos programados, permitiendo evitar el daño logrando que estos lleguen a tener mayor durabilidad y darle un tiempo más prolongado de vida.

En este tipo de mantenimiento se aplica el concepto de cambio de piezas a partir de horas de funcionamiento, con el conocimiento del equipo y registros históricos se ejecutan planes de mantenimiento.

Dentro de este tipo de mantenimiento se puede enunciar algunas ventajas:

- La aplicación correcta permite tener un control sobre equipos e instalaciones.
- El equipo tendrá una correcta disponibilidad y confiabilidad en cualquier momento, a más de ser un mantenimiento planeado.
- Exige un conocimiento de los equipos para poder otorgar un tratamiento histórico que ayudara en gran medida a controlar la maquinaria e instalación.
- Permite reducir el mantenimiento correctivo ya que representa una reducción de costos de producción, incremento en la disponibilidad.
- Permite acumular bitácoras las que servirán para el mantenimiento y adquisición de repuestos con un tiempo prudente.

Además de ventajas se enuncian también desventajas:

- Representa una inversión inicial en maquinaria, instrumentaría y mano de obra.
- Si no se realiza un correcto análisis, se puede sobrecargar el costo de mantenimiento.
- Si el trabajo es rutinario, se prolonga el tiempo, produciendo en los trabajadores desmotivación y desinterés; por lo que se recomienda hacerlos motivacionales e imaginativos.

3.2.3 *Mantenimiento mejorativo.* Permite realizar cambios en la máquina o equipo ya sea en el aspecto de diseño de algún elemento, o el uso de otro material de mejor calidad y resistencia en resumen, entre otros busca un progreso del equipo.

También este tipo de mantenimiento busca mejorar la realización de ciertas actividades, la utilización de ciertos instrumentos o equipos para mejorar el control de funcionamiento, el requerimiento de personal capacitado, hábil e idóneo para la operación y mantenimiento de los equipos.

3.3 Análisis de estado técnico actual del banco de pruebas de bombas centrífugas instaladas en serie y paralelo

En el banco se muestra una total obsolescencia, ya que los manómetros no se hallan ubicados en un lugar adecuado y no funcionan, por otra parte algunos de ellos no están presentes. El tanque reservorio no está ubicado en un lugar estético y técnico. Cabe recalcar que el rotámetro no da señales de uso por la mala ubicación, la tubería muestra en su interior corrosión y suciedad, el tramo de retorno a tanque está conectado con una manguera de media pulgada la cual no tiene retorno a tanque, la estructura donde se halla finalmente la adquisición de datos mediante un software es necesario por cuestiones académicas y tecnológicas.

3.4 Herramientas necesarias.

Presentamos a continuación un listado para el mantenimiento adecuado de las bombas centrífugas.

3.4.1 Herramientas y materiales.

- Tarraja, llave inglesa, llaves mixtas(10, 12 , 18) entre otras, llave de boca
- Llaves tipo Allen, cepillo metálico, brochas, arco de sierra, destornilladores
- Martillo de goma, unión universal, liquido desoxidante, pegaflex, silicona
- Lijas, teflón, tubería tipo PVC, neoplos, acoples, codos de 90, válvulas de pie, lámina de acero, pernos, llantas de goma con seguros, chapas para puertas.
- Cable eléctrico, recipiente plástico, botoneras.

3.4.2 *Instrumentos:* Voltímetro, amperímetro, compresor, soplete, taladro, rotámetro y manómetro.

3.5 **Mantenimiento del sistema de alimentación.**

3.5.1 *Descripción de estado técnico del banco de pruebas de bombas centrífugas en serie y paralelo en las condiciones de inicio.*

Figura 24. Banco de pruebas estado inicial



Fuente. Autores

3.5.2 *Bomba.* El par de bombas son de marca PEDROLLO (PUMP PKm 60), con un caudal de 5/40 l/min, con una altura máxima de 40 m, 0,5 Hp.

Figura 25. Bomba estado inicial



Fuente. Autores

Las bombas son de tipo centrífuga, por su catálogo de fabricante son de serie PKm 60, con potencia de 0,5 HP; con un caudal teórico máximo de 40 lpm y un mínimo de 5 lpm.

La BOMBA uno no produce movimiento al parecer su eje motor, por no darle un uso considerable además, en las dos bombas con el paso del tiempo han provocado una capa de corrosión. Las bombas poseen tuberías de succión y descarga de una pulgada.

Figura 26. Bombas antes del mantenimiento



Fuente: Autores

3.5.3 Depósito. Este está constituido por un tubo de material plástico, además posee dos orificios en la parte inferior para poder evacuar el líquido en el caso de mantenimiento.

Este se hallaba ubicado al mismo nivel de la instalación lo que lo hacía antiestético.

Figura 27. Equipo inicial



Fuente. Autores

3.5.4 Tubería. El banco tiene tubería tipo PVC de tres cuartos y de una pulgada, además el banco de pruebas posee tubería de acero galvanizado en algunos tramos.

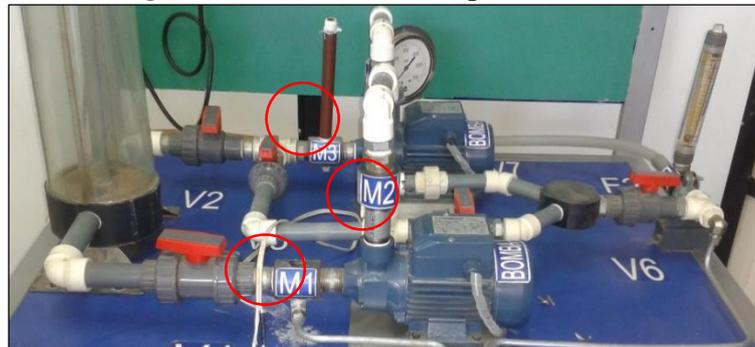
Figura 28. Interior de tubería



Fuente. Autores

3.5.5 *Manómetros.* En el banco se encuentran ausentes algunos de los indicadores de presión.

Figura 29. Indicadores de presión



Fuente: Autores

3.5.6 *Rotámetro.* Su predisposición no es la correcta porque su instalación debe poseer una longitud de tubería antes y después del instrumento; la escala instalada de 18 Lpm. tampoco es considerable, ya que se requiere un aproximado de 45 Lpm. Además en su interior tiene presencia de suciedad.

Figura 30. Rotámetro estado inicial



Fuente: Autores

3.5.7 Bancada. La estructura donde se halla ubicado el sistema de bombeo, no posee una adecuada distribución de sus elementos, además algunas partes no lo hacen estético para el estudiante.

Figura 31. Bancada antes del mantenimiento



Fuente: Autores

3.6 Operaciones y mantenimiento.

Las actividades realizadas que conllevan a mejorar el funcionamiento se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 1. Operaciones y mantenimientos realizados

Parte		Estado actual	Servicio de mantenimiento	Nuevo estado
Bomba	Impulsor	Bueno	Limpieza	Óptimo
	Empaques	Malo	Reemplazo	Óptimo
	Carcasa	Bueno	Impermeabilización	Óptimo
	Difusor	Bueno	Limpieza	Óptimo
	Entrada	Bueno	Limpieza	Óptimo
	Voluta	Bueno	Limpieza	Óptimo
Reservorio	Paredes y fondo	Malo	Cambio de recipiente por uno más adecuado. Además se instaló un divisor de flujo para no generar turbulencia.	Óptimo
	Tubería de succión y descarga	No instalado	Implementación de un sistema de desfogue de agua con tubería de una pulgada.	Óptimo
Tubería	Válvula globo	Muy bueno	Limpieza	Óptimo
	Tubos de 3/4 y 1''	Muy bueno	Limpieza e incremento de tubería para nuevas conexiones	Óptimo
Instrumentos	Manómetro	Muy bueno	Limpieza e adquisición de nuevos	Óptimo
	Rotámetro	Muy bueno	Escala no adecuada adquisición de una nueva	Óptimo

Fuente: Autores.

3.6.1 *Reservorio estado actual.* Ahora el recipiente está ubicado en un lugar estético, no presentará mayor problema si se requiere evacuar ya que posee en su interior dos sumideros, además posee una pared divisora lo que hará que no genere turbulencia entre la succión y descarga del sistema.

Figura 32. Reservorio después del mantenimiento



Fuente: Autores

3.6.2 *Bombas estado actual.* Una vez limpias, se les fijó y alineó respecto a la tubería para tener óptima servicialidad.

Figura 33. Bombas después del mantenimiento



Fuente: Autores

3.6.3 *Tubería estado actual.* La tubería se halla correctamente instalada, no genera fuga de líquido lo que hace óptimo al sistema.

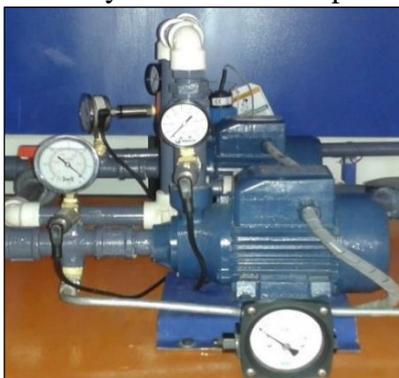
Figura 34. Tubería después del mantenimiento



Fuente: Autores

3.6.4 *Manómetros y vacuómetro estado actual.* Están correctamente instalados, poseen una escala adecuada.

Figura 35. Manómetros y vacuómetro después de mantenimiento



Fuente: Autores

3.6.5 *Rotámetro estado actual.* Tiene una correcta predisposición, hermeticidad, lo que lo hace funcional.

Figura 36. Rotámetro después del mantenimiento



Fuente: Autores

3.7 Puesta en funcionamiento de las bombas centrífugas en serie y paralelo.

Al realizar todo el mantenimiento necesario, para dejar el banco en óptimas condiciones se procede a poner en marcha mediante los siguientes pasos.

- Se llena el tanque reservorio a un nivel adecuado para la correcta absorción de fluido.
- Se procede a cebar las bombas para que puedan trabajar con normalidad.
- Se abre las distintas válvulas para dejarla en serie o paralelo.
- Se enciende las bombas de acuerdo al requerimiento.
- Una vez que el fluido pase por las tuberías, las cuales deben estar totalmente hermetizadas para que no generen turbulencia.
- Además los manómetros y sensores de presión están correctamente ubicados, para que otorguen valores precisos.
- El rotámetro está ubicado en dirección del fluido para que otorgue valores positivos reales.
- Todo el líquido al recorrer los distintos puntos retornara a tanque para repetir el proceso.

Al realizar este proceso se establece que todas las modificaciones realizadas son fructuosas y otorgan valores reales, además se realiza pequeñas adecuaciones necesarias para dejar el banco en plena servicialidad.

Figura 37. Banco de pruebas final del mantenimiento



Fuente: Autores

CAPÍTULO IV

4. SELECCIÓN Y MONTAJE DE LOS EQUIPOS E INSTRUMENTOS DEL BANCO DE PRUEBAS DE BOMBAS CENTRÍFUGAS INSTALADAS EN SERIE Y PARALELO.

4.1 Introducción.

Los equipos e instrumentos poseen varias características dependiendo del modelo, composición, funcionamiento entre otros. Existen dos características importantes que son la confiabilidad y la validez; la confiabilidad es la capacidad que posee un instrumento para indicar datos o mediciones que corresponda a la realidad, en otras palabras la confiabilidad es la exactitud de medición. La validez no es más que la veracidad de los valores arrojados por un equipo o instrumento.

4.2 Selección del sistema de adquisición de datos.

4.2.1 Adquisición de datos utilizando LabVIEW. La adquisición de datos (DAQ) es un proceso en el cual se procede a medir con una PC un fenómeno eléctrico o físico como voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido. Un sistema DAQ consiste de sensores, hardware de medidas DAQ y una PC con software programable. Si comparamos los sistemas de medidas tradicionales, los sistemas DAQ basados en PC aprovechan la potencia del procesamiento, la productividad, la visualización y las habilidades de conectividad de las PCs estándares en la industria proporcionando una solución de medidas más potente, flexible y rentable.

Figura 38. Descripción de la adquisición de datos



Fuente: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2015)

El sistema de adquisición de datos comienza con un sensor el mismo que dependiendo de sus características emitirá una señal eléctrica que puede ser voltaje, corriente, resistencia las mismas que varían con el tiempo. Con la ayuda de la electrónica dependiendo de la señal emitida por el sensor se puede acondicionar a una señal que sea compatible con el dispositivo DAQ.

El hardware DAQ que no es más que una interfaz para facilitar la comunicación entre una PC y las señales emitidas por el sensor, esto quiere decir que, el funcionamiento no es más que digitalizar las señales analógicas entrantes para que una PC pueda interpretarlas.

El software de aplicación nos ofrece una fácil comunicación entre el usuario y una PC para adquirir, analizar y presentar datos de medidas que en nuestro caso es el LabVIEW. (NATIONAL INSTRUMENTS, 2015)

4.2.2 Características DAQ multifunción NI USB-6009. Esta tarjeta de adquisición de datos brinda funcionalidad para aplicaciones como registro de datos simple, medidas portátiles y experimentos académicos de laboratorio. Es accesible para usuarios de Mac OS X y Linux, descargue el software NI-DAQ mx Base y programe el USB-6009 con NI LabVIEW o C.

Figura 39. Tarjeta DAQ NI USB 6009



Fuente: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2015)

A continuación nombraremos unas características generales de la tarjeta pero para mayor información revisar Anexo A.

- 8 entradas analógicas (14 bits, 48 kS/s)
- 2 salidas analógicas (12 bits a 150 S/s), 12 E/S digitales; contador de 32 bits
- Energizado por bus para una mayor movilidad, conectividad de señal integrada.
- Compatible con LabVIEW, LabWindows™/CVI y Measurement Studio para Visual Studio .NET.

4.3 Estudio de las variables a ser medidas.

4.3.1 Medición de presión. La presión es medida por una gran variedad de convertidores mecánicos, como diafragmas, capsulas, tubos de Bordón y manómetros, los mismos que por medio de una relación entre la longitud, distancia, desplazamiento y de la presión medida indican los valores de variación de presión.

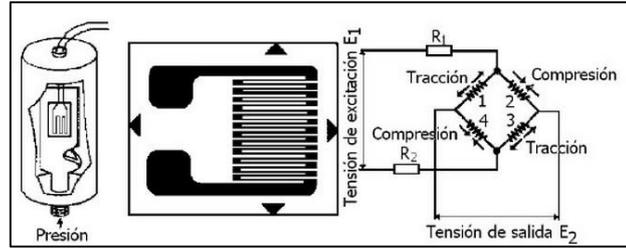
Como en la mayoría de transductores requieren una mayor exactitud, estabilidad, para que este transductor responda linealmente, en la actualidad se utiliza un convertidor eléctrico. Es decir que el transductor emitirá una señal eléctrica dependiendo de la variación de presión que exista.

4.3.1.1 Medidor de tensión piezorresistivo. Es un dispositivo que utiliza los cambios de la resistividad de ciertos materiales semiconductores cuando estos son sometidos a una tensión mecánica para obtener una acción electrónica. Los materiales más utilizados en la actualidad para la construcción de estos medidores son las familias de silicio que se utiliza en la mayoría de elementos electrónicos.

En la actualidad se utilizan tecnologías comunes para los medidores de tensión, debido a que están conectados de tal manera que forman un circuito de puente de Wheatstone para maximizar la salida del sensor y para reducir la sensibilidad de los errores.

Estas tecnologías son adecuadas para medir presión absoluta, de vacío y presión diferencial. (Instrumentación Industrial)

Figura 40. Sensor de presión piezorresistivo con puente Wheatstone



Fuente: (Instrumentación Industrial)

Los sensores de presión con puente Wheatstone poseen las siguientes ventajas:

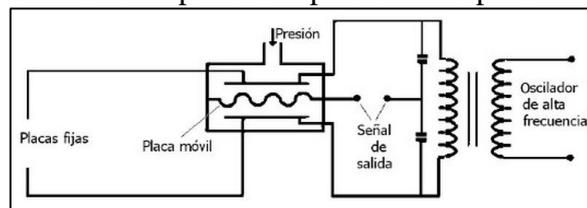
- Bajo costo de fabricación
- Tecnología madura de procedimiento
- Diferentes niveles de presión pueden ser alcanzados de acuerdo a la aplicación
- Se pueden obtener diferentes sensibilidades mayores a 10mv/V
- Buena linealidad a temperatura constante

Desventajas:

- Gran desviación inicial
- Limitación por alta temperatura
- Requiere fuente de poder externa

4.3.1.2 Transductor capacitivo. Este sensor de presión utiliza capacitadores en vez de resistencias como elementos del puente de Wheatstone. En este elemento se encuentra en contacto con la presión un diafragma que cambia su capacitancia en función de la presión aplicada, el material de diafragma por lo general es de metal, cerámica o de silicio. (Instrumentación Industrial)

Figura 41. Sensor de presión capacitivo con puente Wheatstone



Fuente: (Instrumentación Industrial)

Estos transductores pueden censar presiones bajas, se usan frecuentemente en trasmisores de presión manométrica así como diferencial y aplicaciones de medición de presión, flujo o nivel.

Ventajas:

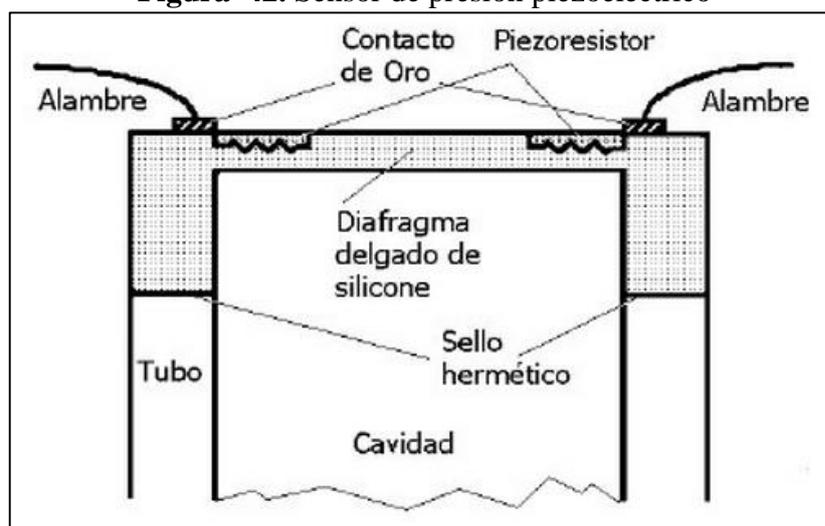
- Muy buenos para medir presiones bajas.
- Construcción rígida.
- No es afectado por vibración.

Desventajas:

- Sensibilidad a la temperatura.
- Se requiere electrónica para producir una señal estándar.
- Requiere fuente de poder externa.

4.3.1.3 Piezoeléctrico. El sensor de presión utiliza la piezoelectricidad que no es más que la producción de un potencial eléctrico a consecuencia de establecer una presión sobre ciertas sustancias cristalinas como es el cuarzo, titanato de bario entre otros. (Instrumentación Industrial)

Figura 42. Sensor de presión piezoeléctrico



Fuente: (Instrumentación Industrial)

Este tipo de sensores se emplean por lo general en la medición de presiones altamente dinámicas.

Ventajas:

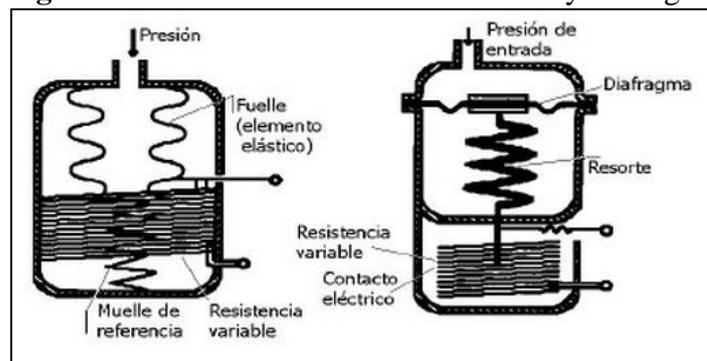
- Alta sensibilidad
- Bajo costo de construcción
- Alta rigidez mecánica

Desventajas:

- Respuesta en frecuencia limitada
- Problemas de acondicionamiento

4.3.1.4 Resistivos. Los transductores resistivos poseen un principio de funcionamiento en el que un cambio de presión produce un cambio en la resistencia del elemento sensor. Estos elementos están constituidos por un elemento elástico que puede ser un diafragma o fuelle, los mismos que hacen variar la resistencia de un potenciómetro en función de la presión aplicada. (Instrumentación Industrial)

Figura 43. Transductor resistivo de fuelle y diafragma



Fuente: (Instrumentación Industrial)

4.3.2 Medición de flujo. La medición de flujo es una de las variables más importantes en lo que refiere a la industria debido a que sus ganancias, ventas y producción en la mayoría de casos están basada en esta magnitud.

Existen muchos métodos y formas de determinar el valor de esta magnitud, pero en todas es indispensable el conocimiento de principios básicos de fluidos, para así poder realizar una buena elección del método o instrumento que queramos para la medición de esta variable. El flujo se refiere a la cantidad de fluido de que pasa por un determinado punto en un tiempo determinado. (Instrumentación Industrial)

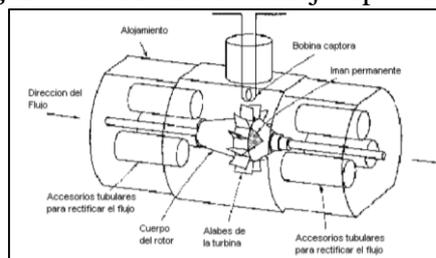
Existe una gran variedad de medidores de flujo pero por su funcionamiento podemos nombrar los siguientes:

- Medidores de desplazamiento positivo.
- Medidores volumétricos.
- Medidores diferenciales.
- Medidores de flujo másico.

4.3.2.1 Medidores volumétricos. Los Flujómetros volumétricos son aquellos que miden el flujo interfiriendo, interrumpiendo, el flujo en determinados volúmenes conocidos como puede ser tuberías canales etc. Para la selección de estos flujómetros se deben tomar en cuenta varios parámetros importantes como son la viscosidad, temperatura a la que van a trabajar y a su vez la presión a la estarán sometidos. Entre estos medidores podremos nombrar:

a) Medidores tipo turbina. Este medidor está compuesto por una turbina la misma que rota con forme el fluido circula a través del medidor, una bobina electromagnética que se encuentra ubicada en las paredes de la tubería es quien detecta el giro de la turbina para producir así impulsos eléctricos los cuales son directamente proporcional con el caudal que en ese instante pasa por la tubería. (Instrumentación Industrial)

Figura 44. Medidor de flujo tipo turbina



Fuente: (Instrumentación Industrial)

Ventajas:

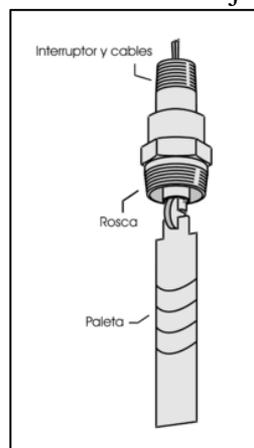
- Instrumento muy preciso para medir caudal
- Rango para medir caudales es muy amplio
- Rápida respuesta y excelente repetitividad
- Fácil interface a sistemas de computación
- Operación sobre un muy amplio rango de temperaturas y presiones

Desventajas:

- Un desgaste de los rodamientos puede ser el problema principal
- Instrumento de manipulación delicada
- El exceso de velocidad puede averiar los rodamientos
- Su costo es elevado y varía dependiendo el rango requerido
- Alto costo de mantenimiento

b) *Medidor tipo paletas*. Es un sensor que posee un mecanismo sencillo pero preciso que consiste en una paleta que se ubica transversal con el fluido que se requiere medir. El fluido hace rotar a la paleta que se encuentra constituida por imanes permanentes los mismos que al pasar por la bobina que se encuentra en el eje del sensor, se crea una señal que es proporcional a la velocidad del caudal. (Instrumentación Industrial)

Figura 45. Medidor de flujo de paletas



Fuente: (Instrumentación Industrial)

Ventajas:

- Buena duración y exactitud
- Fácil accesibilidad para mantenimiento
- Rápida respuesta y alta repetitividad
- Costo accesible

Desventajas

- Sensibilidad en sus paletas
- La viscosidad de los fluidos influyen mucho en este sensor
- Mayor resistencia al flujo

4.4 Selección de los instrumentos de medición de las variables.

Para realizar una selección de instrumentos se debe considerar los rangos de medida máximos que se requiere para el sistema, al elaborar análisis se determinan los valores en la tabla 2:

Tabla 2. Valores requeridos del sistema

Elementos	Presión [Psi]	Caudal [LPM]
Bomba 1	45	30
Bomba2	45	28
Sist. Serie	90	30
Sist. Paralelo	45	45

Fuente: Autores

Los valores máximos en presión son de 90 Psi y en caudal 45 LPM, con estos valores se busca en el mercado y se obtiene una disponibilidad en las marcas SITRANS y TURCK para presión y para caudal OMEGA FP 5600 y GEORG FISHER GF 2536.

Una vez determinadas las marcas de los instrumentos de medida se ha considerado varios parámetros los mismos que se muestran en las tablas 3 y 4:

Tabla 3. Características de los transductores de presión

Selección de equipos de medición de presión						
Sensor transductor	o	Aplicación	Modo operacional	Señal	Voltaje alimentación	Disponibilidad Mercado
Presión SITRANS P220		Líquidos, Gases, vapores	Piezorresistivo	4-20 mA	8,0-33,0 V	Importar
Presión TURCK PT100		Líquidos, Gases, vapores	Piezorresistivo	4-20 mA	8,0-33,0 V	Disponible

Fuente: Autores

Tabla 4. Características de los sensores de flujo

Selección de equipos de medición de flujo						
Sensor transductor	o	Aplicación	Modo operacional	Señal	voltaje alimentación	Disponibilidad Mercado
Flujo FP 5600		Agua	Paletas	15 Hz por fps nominal	6,0-24V	Importar
Flujo GF 2536		Agua	Paletas	49 Hz por fps nominal	6,0-24V	Disponible

Fuente: Autores

Una vez tabulados los parámetros de los sensores y transductores disponibles en el mercado se ha determinado que se utilizara, para presión de la marca TURCK PT 100 y para caudal el sensor GEORG FESHER GF 2536.

4.4.1 *Características técnicas del transmisor de presión TURCK PT 100.* Los transmisores PT 100, PT 200, este transmisor está fabricado de acero inoxidable y constituido de una membrana de cerámica, la misma que nos facilita la medición de la presión absoluta y relativa. La presión que determina este sensor es transformada en una señal eléctrica que varía en un rango de 4 a 20 mA

Figura 46. Transductor de presión Turck PT100



Fuente: (TURCK, 2015)

Tabla 5. Especificaciones de transductor de presión Turck PT100

Campo de aplicaciones	
Medición de la presión relativa	Líquidos, gases y vapores
Modo de operación	
Principio de medición	Célula de medida piezorresistivo
Magnitud de medida	Presión relativa
Entrada	
Rango de medida	
Presión relativa:	
• Métrico	2,5 ... 600 bar (36 ... 8700 psi)
• Rango de medida para EE.UU.	30 ... 8700 psi
Salida	
Señal de corriente	4 ... 20 mA
• Carga	(UB - 10 V)/0.02 A
• Alimentación auxiliar UB	7 ... 33 V CC (10 ... 30 V para Ex)
Señal de tensión	0 ... 10 V CC
• Carga	$\geq 10 \text{ k}\Omega$
• Alimentación auxiliar UB	12 ... 33 V CC
• Consumo de corriente	$< 7 \text{ mA at } 10 \text{ k}\Omega$
Característica	lineal creciente

Fuente: (TURCK, 2015)

4.4.2 *Características de sensor de flujo tipo paleta Georg Fischer Signet 2536.* Es un sensor de alta resolución, bajo los dispositivos de energía ideal para la medición de flujo en sistemas de tuberías con velocidades extremadamente bajas. Se encuentra fabricado de una variedad de materiales humectados para poder adaptarse a diversos líquidos y productos químicos.

Este sensor está constituido por una rueda de paletas de inserción, la que le facilita que se adapte fácilmente a una amplia gama de aplicaciones. A su vez nos ofrece una gran gama de valores de voltajes y suministros actuales; son fáciles de instalar y de realizar un mantenimiento.

Figura 47. Sensor de flujo GF 2536



Fuente: (GEORG FISCHER, 2015)

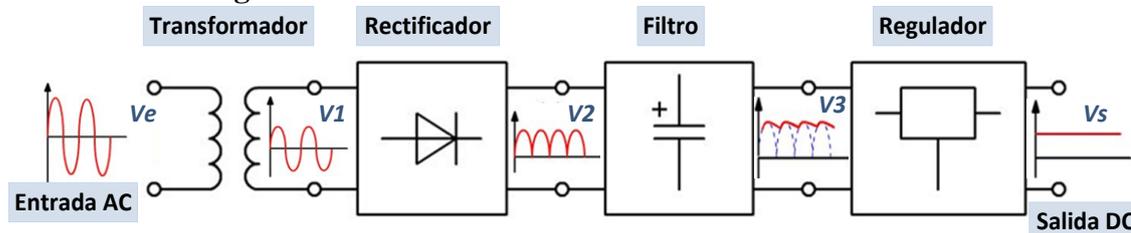
Tabla 6. Especificaciones del sensor de flujo GF 2536

Señal de salida	Colector abierto, hundimiento
Salida de frecuencia	49 Hz por fps nominal
Rango de funcionamiento	0,3 a 20 fps
Repetitividad	± 0,5% del rango completo
Linealidad	± 1% del rango completo
Requisitos	
Presión / Temperatura	Carcasa del sensor PP: 180 psi @ 20 ° C (68 ° F), 25 psi @ 85 ° C (185 ° F) Carcasa del sensor PVDF: 200 psi @ 20 ° C (68 ° F), 25 psi @ 85 ° C (185 ° F)
Alimentación	3,3 a 24 Vcc <1,5 mA @ 3.3V a 6 Vdc, <20 mA a 6 V a 24 V CC
Tamaño de la tubería	0,5 a 24 "
Tipo de cable	Par trenzado, blindaje con cable de drenaje
Longitud del cable	6 m (25 '); 300 m (1,000') max

Fuente: (GEORG FISCHER, 2015)

4.4.3 Fuente de alimentación. Una fuente de alimentación DC proporciona una tensión constante en el tiempo y lo más estable posible, si la generación se basa en una tensión alterna, la salida presenta un rizado sobre el nivel de continua. En las fuentes de alimentación como una pila, un cargador, una fuente de alimentación de PC, etc., existe limitación en la corriente máxima que proporciona la fuente a la carga.

Figura 48. Elementos de una fuente de alimentación DC



Fuente: (Zhongshan Ruicai Lighting Co. Ltd.)

La capacidad de corriente de la fuente de alimentación debe ser igual o superior a la suma de las corrientes de todas las cargas que se conectan.

$$I_F \geq I_T \quad (15)$$

$$I_T = I_{c1} + I_{c2} + I_{c3} + \dots + I_{cn} \quad (16)$$

La fuente de alimentación seleccionada para todos los sensores que se utilizan, se detalla a continuación:

Tabla 7. Valores de corriente y voltajes requeridos por los sensores

Elemento	Consumo de corriente máximo	Voltaje de alimentación
Sensor de presión 1 (S1)	20mA	8.0 – 33.0 V
Sensor de presión 2 (S2)	20mA	8.0 – 33.0 V
Sensor de presión 3 (S3)	20mA	8.0 – 33.0 V
Sensor de flujo (S4)	20mA	6.0 – 24.0 V
Led indicador (Led)	20mA	12V

Fuente: Autores

$$I_T = I_{S1} + I_{S2} + I_{S3} + I_{S4} + I_{Led}$$

$$I_T = 20 \text{ mA} + 20 \text{ mA} + 20 \text{ mA} + 20 \text{ mA} + 20 \text{ mA}$$

$$I_T = 100 \text{ mA}$$

En base a los cálculos y requerimientos de los sensores se incorporó una fuente externa de 12 V y 2 A, que cumple ampliamente los valores necesarios en voltaje y corriente, para estos requerimientos se ha determinado en el mercado la fuente SC-POWER-12V25W para ver sus características ver anexo B.

Figura 49. Fuente de alimentación SC-POWER-12V25W



Fuente: (Zhongshan Ruicai Lighting Co. Ltd.)

4.5 Montaje de los equipos.

Para el montaje de los equipos procederemos a detallar los componentes, métodos, pasos y pruebas que se deben realizar para un correcto montaje y conexión de los diferentes sensores que integran la automatización de datos del banco de bombas instaladas en serie y paralelo. La instalación en este banco se realizara considerando normas y guías para un buen funcionamiento y una correcta instalación.

4.5.1 Montaje de los transductores de presión TRUCK PT

4.5.1.1 Instalación hidráulica. Para el montaje de los transductores de presión se requiere de una Tee de bronce de 1/4" NPT, para poder obtener dos datos de presión en cada punto y poder compararlos, siendo así la primera medición la que es tomada por el sensor y la segunda medición será visualizada por un manómetro. Como en nuestro caso se está tomando medidas de presión antes y después de las bombas estos elementos se deberán colocar siguiendo la Norma ISO 9906:1999, en la que nos indica que se debe dejar una distancia de 2D de la toma en la succión y descarga; donde (D) es el diámetro (succión o descarga) de la bomba.

Figura 50. Tee de bronce 1/4"NPT



Fuente: Autores

4.5.1.2 Instalación eléctrica. En este tipo de instalación la DAQ es un elemento importante ya que dependiendo de los requerimientos de la misma se debe realizar las distintas conexiones utilizando los terminales del sensor, en este caso utilizaremos una conexión a dos hilos utilizando los terminales 1(+) y 3(-) como se puede observar a continuación

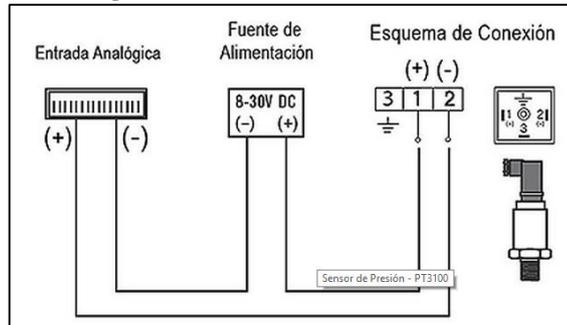
Figura 51. Terminales del transductor TURCK PT

	PT...LI3 (scaled in bar)	PT...LI3 (scaled in psi)
Output	4-20 mA Loop Powered	4-20 mA Loop Powered
Voltage	8-33 VDC	8-33 VDC
Accuracy** (Full Scale)	≤0.3%	≤0.5%
Mating Cordset	RK 4T-*/S618	RK 4T-*/S618
Wiring Diagrams		

Fuente: (TURCK, 2015)

Con este tipo de conexión se puede trabajar en una escala ya sea en bar o Psi. El transductor proporciona una señal de salida con una intensidad entre 4 a 20 mA, que transformada podemos obtener un voltaje de 1-8 V por medio de una resistencia de 390 Ω colocado en los terminales de la DAQ

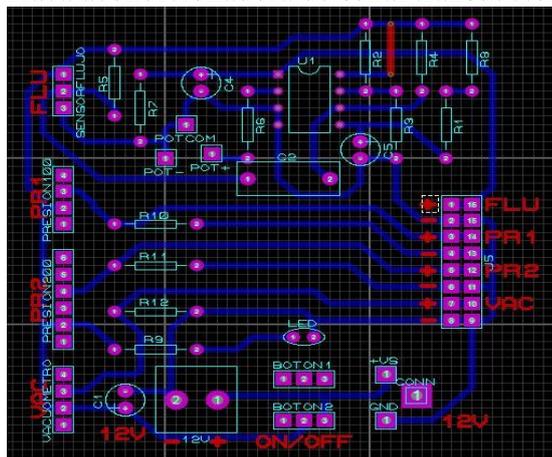
Figura 52. Conexión a dos hilos



Fuente: (VARITEL, 2015)

Los terminales pueden variar dependiendo de la especificación y modelo del transductor. Para facilidad y precisión de conexión de los transductores de presión a la tarjeta de adquisición de datos se elabora una placa alimentada con 24 voltios y resistencia de 390 Ω para la conversión de corriente a voltaje.

Figura 53. Placa acondicionadora de señal transductores de presión



Fuente: Autores

Este circuito se deberá construir en baquelita como se demuestra en el Anexo C con todos sus elementos y valores indicados para así poder obtener una mayor eficiencia en la toma de datos.

4.5.1.3 Calibración de los transductores de presión TURCK PT. El objetivo de realizar la calibración de los transductores de presión, es para poder obtener la gráfica Presión Vs Voltaje, la misma que según su tipo nos indicara si necesita o no un acondicionamiento de señal. En el caso de que la gráfica Presión Vs Voltaje sea lineal nos dice que los transductores no necesitan acondicionamiento de señal debido a que es proporcionalmente directa la señal emitida con la presión, en caso de que sea una curva estos transmisores requerirán de un acondicionamiento de señal.

Otro de los objetivos de realizar el la calibración de los sensores es para así poder determinar la ecuación de la gráfica Presión Vs Voltaje, la misma que nos permitirá obtener una coincidencia de los valores detectados por los manómetros y los representados en el computador por medio del software LabVIEW.

Figura 54. Calibración de trasmisores de presión TURCK PT

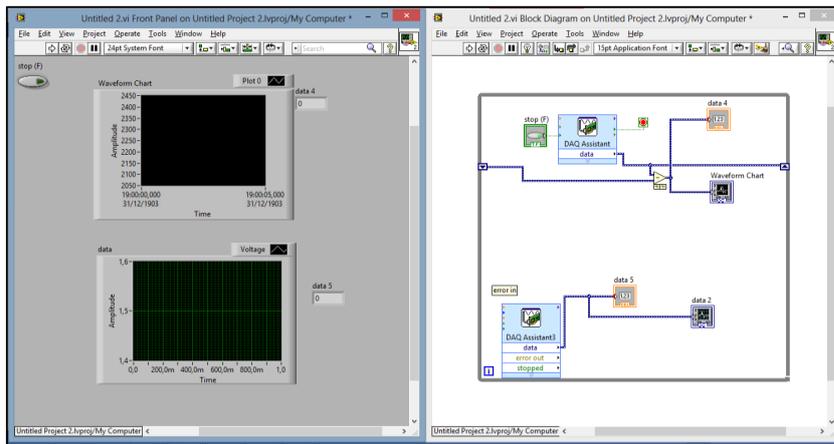


Fuente: Autores

Para realizar la calibración de los transductores de presión TURCK PT 100 (0 -100 Psi), TURCK PT 200 (0-200 Psi) y TURCK PT01V (-14.5 a 0 psi) (Vacuómetro) se requiere de un manómetro patrón, un compresor de aire, la tarjeta de adquisición de datos NI USB 6009 y el software LabVIEW.

Realizamos la conexión del transductor de presión con la tarjeta como anteriormente se indicó, se procede también a conectar en una mismo línea el compresor, transductor, y el manómetro por medio de una Tee como se puede observar en la figura 54. Después procedemos a la configuración de los parámetros en el software LabVIEW, en el cual creamos un nuevo proyecto de adquisición de datos como se muestra en la figura 55.

Figura 55. Configuración en LabVIEW

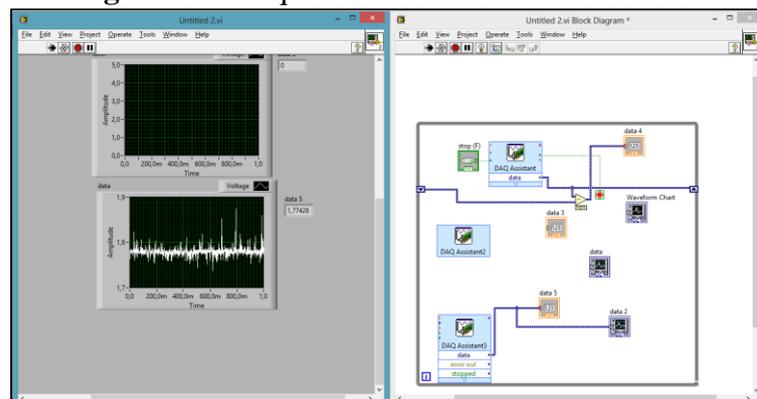


Fuente: Autores

Se debe seleccionar y asignar los puertos de la tarjeta que han sido conectados con cada uno de los transductores. A su vez realizamos un pequeño programa el cual permite observar los datos emitidos por los transductores de presión.

Luego de haber finalizado la selección y configuración en el software LabVIEW y que estén conectados los transductores con la DAQ, se debe ejecutar el programa dando clic en el botón Run para así poder visualizar los valores de voltaje que entrega el transductor de presión en la figura 56, cabe recalcar que se debe observar que el rango emitido debe estar entre los valores de 1 a 8 voltios.

Figura 56. Adquisición de datos del transductor



Fuente: Autores

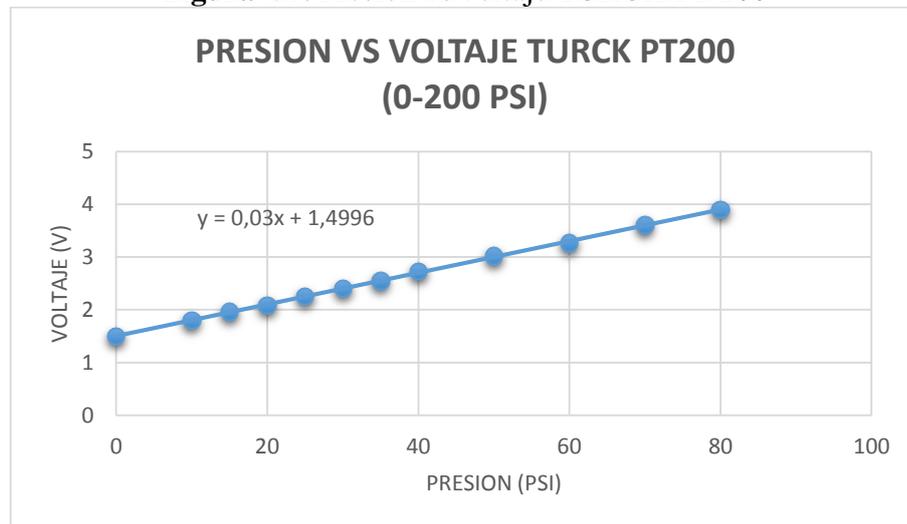
Conforme a la norma NOM-004-ENER-2008 se procede a tomar y tabular el número de datos establecidos para posteriormente poder obtener la gráfica y la ecuación en Excel.

Tabla 8. Valores de presión vs voltaje transductor TURCK PT 200

Transductor de presión TURCK PT 200 (0-200 PSI)												
Presión (PSI)	0	10	15	20	25	30	35	40	50	60	70	80
1	1,494	1,788	2,001	2,083	2,248	2,4	2,54	2,729	3,002	3,268	3,607	3,782
2	1,494	1,87	1,957	2,082	2,248	2,4	2,55	2,73	3,005	3,263	3,6	3,896
3	1,495	1,787	1,954	2,082	2,248	2,4	2,55	2,732	3,007	3,265	3,599	3,911
4	1,494	1,787	1,954	2,082	2,248	2,4	2,55	2,729	3,018	3,267	3,598	3,911
5	1,494	1,787	1,954	2,082	2,248	2,4	2,55	2,725	3,029	3,267	3,598	3,911
6	1,494	1,786	1,954	2,082	2,247	2,4	2,55	2,729	3,025	3,267	3,596	3,91
7	1,494	1,786	1,954	2,082	2,248	2,4	2,55	2,721	3,024	3,267	3,596	3,914
8	1,494	1,787	1,953	2,082	2,249	2,4	2,55	2,721	3,024	3,267	3,595	3,91
9	1,494	1,787	1,953	2,081	2,249	2,4	2,55	2,721	3,025	3,267	3,595	3,911
10	1,494	1,787	1,954	2,081	2,249	2,4	2,55	2,721	3,029	3,266	3,596	3,911
Σ (Voltaje)	1,494	1,795	1,9588	2,082	2,2482	2,4	2,55	2,726	3,019	3,266	3,598	3,897

Fuente: Autores

Figura 57. Presión vs voltaje TURCK PT 200



Fuente: Autores

La ecuación de la gráfica para poder observar los valores en Psi y que debe ser ingresada en el programa desarrollado en LabVIEW para el sensor de presión Turck PT200 es la siguiente:

$$V_1 = 0.03P + 1.4996 \quad (17)$$

Dónde:

P = Presión del fluido [Psi]

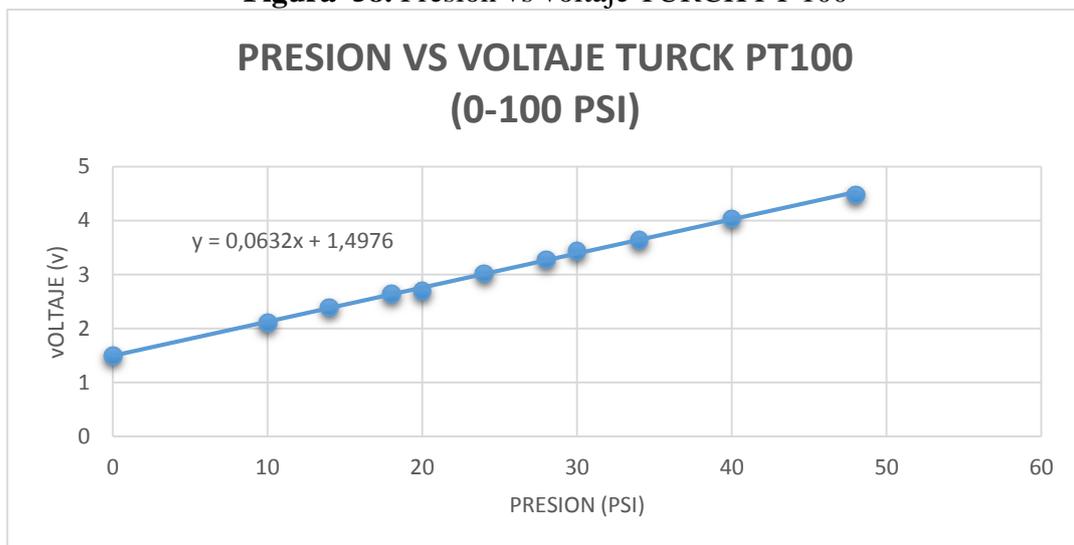
V_1 = Voltaje leído por la DAQ para cada valor de presión [V]

Tabla 9. Valores de presión vs voltaje TURCK PT 100

Transductor de presión TURCK PT 100 (0-100PSI)											
Presión (PSI)	0	10	14	18	20	24	28	30	34	40	48
1	1,499	2,112	2,392	2,643	2,698	3,03	3,28	3,439	3,643	4,044	4,18
2	1,499	2,133	2,392	2,64	2,699	3,03	3,29	3,438	3,642	4,044	4,53
3	1,499	2,113	2,391	2,639	2,698	3,02	3,28	3,438	3,642	4,044	4,536
4	1,5	2,112	2,391	2,639	2,698	3,02	3,29	3,437	3,642	4,043	4,537
5	1,5	2,112	2,39	2,638	2,699	3,02	3,29	3,436	3,639	4,042	4,538
6	1,5	2,112	2,39	2,638	2,698	3,02	3,29	3,436	3,637	4,042	4,537
7	1,5	2,111	2,39	2,637	2,698	3,02	3,29	3,436	3,636	4,043	4,538
8	1,5	2,111	2,389	2,637	2,699	3,02	3,29	3,436	3,637	4,042	4,39
9	1,5	2,111	2,389	2,637	2,699	3,02	3,29	3,436	3,637	4,041	4,539
10	1,499	2,111	2,398	2,637	2,698	3,02	3,29	3,435	3,637	4,04	4,54
Σ (Voltaje)	1,5	2,114	2,3912	2,639	2,6984	3,02	3,29	3,437	3,639	4,043	4,487

Fuente: Autores

Figura 58. Presión vs voltaje TURCK PT 100



Fuente: Autores

La ecuación para obtener los valores de la presión en Psi para el sensor es la que se indica a continuación:

$$V_2 = 0.0632 P + 1.4889 \quad (18)$$

Dónde:

P = Presión del fluido [Psi]

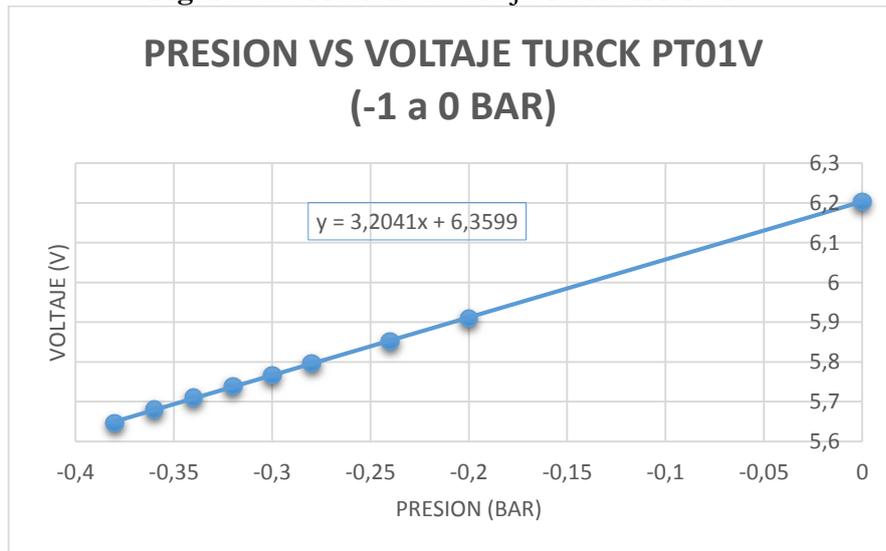
V_2 = Voltaje leído por la DAQ para cada valor de presión [V]

Tabla 10. Valores de presión vs voltaje TURCK PT 01V

Transductor de presión TURCK PT 01V (-1 a 0 BAR)									
Presión (BAR)	0	-0,2	-0,24	-0,28	-0,3	-0,32	-0,34	-0,36	-0,38
Presión (in hg)	0	-5,906	-7,087	-8,268	-8,859	-9,450	-10,040	-10,631	-11,221
Presión (PSI)	0	-2,901	-3,481	-4,061	-4,351	-4,641	-4,931	-5,221	-5,511
1	6,154	5,915	5,858	5,808	5,64	5,74	5,708	5,669	5,649
2	6,156	5,913	5,858	5,808	5,78	5,741	5,705	5,669	5,647
3	6,23	5,913	5,858	5,807	5,78	5,74	5,704	5,669	5,64
4	6,155	5,92	5,858	5,807	5,78	5,741	5,707	5,687	5,65
5	6,235	5,91	5,858	5,709	5,78	5,737	5,709	5,675	5,65
6	6,155	5,91	5,84	5,806	5,78	5,738	5,713	5,675	5,653
7	6,321	5,9	5,84	5,806	5,782	5,74	5,714	5,683	5,66
8	6,155	5,917	5,859	5,806	5,782	5,74	5,714	5,689	5,641
9	6,321	5,9	5,859	5,807	5,782	5,74	5,714	5,691	5,637
10	6,154	5,9	5,84	5,807	5,782	5,74	5,714	5,69	5,633
Σ (Voltaje)	6,2036	5,9098	5,8528	5,7971	5,7668	5,7397	5,7102	5,6797	5,646

Fuente: Autores

Figura 59. Presión vs voltaje TURCK PT 01V



Fuente: Autores

La ecuación para obtener los valores de la presión en BAR para el sensor es la que se indica a continuación:

$$V_3 = 3.2041 P + 6.3599 \quad (19)$$

Dónde:

P = Presión del fluido [Bar].

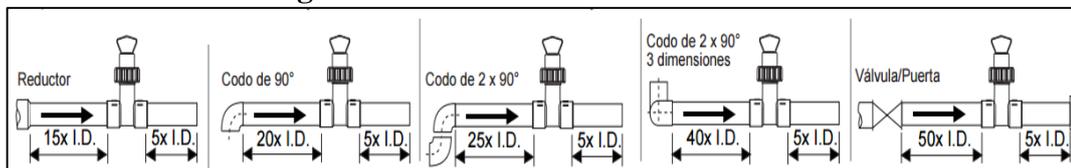
V_3 = Voltaje leído por la DAQ para cada valor de presión [V].

4.5.2 Montaje del sensor de flujo tipo paleta GF 2536. Para el montaje del sensor de flujo se ha determinado según las distintas recomendaciones del fabricante.

4.5.2.1 Instalación hidráulica. Para poder obtener un correcto y eficiente funcionamiento del sensor de caudal el fabricante realiza ciertas recomendaciones:

- *Ubicación del acople.* Para la ubicación se debe tener en cuenta las recomendaciones que hace el fabricante, en donde recomienda distancias de la ubicación dependiendo de los distintos acoples y diferentes accesorios como reducciones, codos, válvulas, bombas etc.

Figura 60. Ubicación del sensor GF 2536



Fuente: (GEORG FISCHER, 2015)

Tubería de $\frac{3}{4}$ de pulgada

$$ID = 2.69 \text{ cm}$$

$$20 * ID = 53.8 \text{ cm}$$

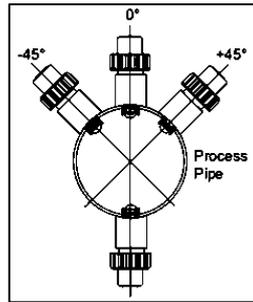
$$5 * ID = 13.45 \text{ cm}$$

- *Posición del montaje del sensor.* Para tramos horizontales de tuberías el fabricante nos recomienda que se debe instalar el sensor de caudal en una posición vertical (0°) para que se obtenga un mejor rendimiento.

En caso de tener presencia de burbujas se debe ubicar el sensor a un máximo de 45° .

El sensor no debe ser ubicado en la parte inferior de la tubería cuando haya presencia de sedimentos.

Figura 61. Posición recomendada de sensor GF 2536

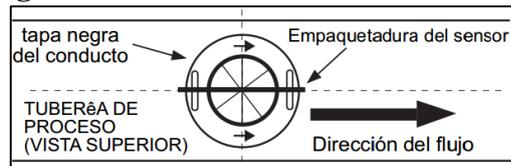


Fuente: (GEORG FISCHER, 2015)

- *Instalación estándar del sensor.* Lubrique las juntas tóricas del sensor de caudal con un lubricante de silicona. No se debe utilizar derivados de petróleo que dañe las juntas.

Realizando un movimiento de giro, acople el sensor de acuerdo a las flechas de instalación que se señala en el tapón y la dirección del fluido

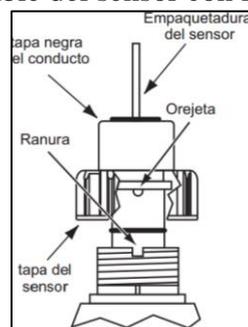
Figura 62. Instalación del sensor GF 2536



Fuente: (GEORG FISCHER, 2015)

Ubicar la rosca de la tapa del sensor y gire el sensor hasta que la lengüeta de alineación se sienta en la muesca de acople. Apriete a mano la tapa del sensor, no utilice herramientas en la tapa o las roscas de la tapa y/o roscas del acople para así evitar desperfectos en el equipo.

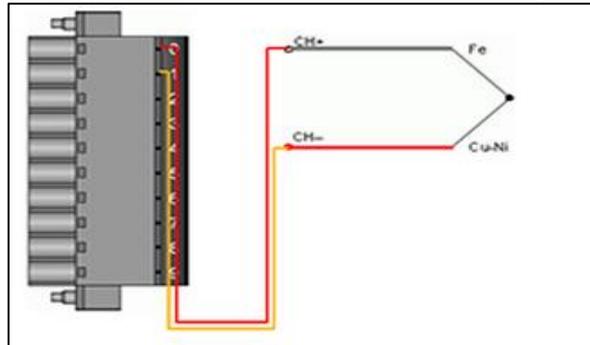
Figura 63. Ensamble del sensor con la muesca del acople



Fuente: (GEORG FISCHER, 2015)

4.5.2.2 Instalación eléctrica. Como las señales emitidas por el sensor de flujo GF 2536 son en frecuencia y nuestra tarjeta de adquisición de datos posee un contador rápido de señales, procedemos a conectar directamente esta señal emitida, respetando los parámetros de conexión y los puertos asignados para este tipo de señal, esto nos garantiza una mayor veracidad, eficacia en la toma de datos.

Figura 64. Diagrama de conexión sensor GF2536 y la DAQ 6009



Fuente: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2015)

En caso de querer utilizar una entrada digital de la DAQ se necesita un convertidor de señal frecuencia a tensión, la función de un conversor tensión - frecuencia es la de convertir una señal analógica a una serie de pulsos. Esta conversión nos proporciona facilidad para transmitir y decodificar con precisión una serie de pulsos que una señal analógica, sobre todo, si la distancia a la que se va transmitir la señal es larga y ruidosa.

En estos casos se ubica al final de la línea de transmisión un convertidor frecuencia - tensión para obtener nuevamente una señal analógica.

- *El conversor LM331.* Es un integrado de gran versatilidad que puede operar con fuente simple y con errores aceptables en el rango de 1 Hz a 10KHz; es utilizado para la conversión de tensión – frecuencia como para la conversión frecuencia – tensión. A continuación observaremos en la figura 65 en la que se representa un circuito típico sugerido por el fabricante para la conversión frecuencia – tensión.

Entre las características principales proporcionados por el fabricante se encuentra los siguientes datos:

- Error de no linealidad de la escala ($T_{min} < T < T_{max}$): $\pm 0,02$ % de fondo de escala.
- Error de no linealidad de la escala (circuito típico de aplicación): $\pm 0,14$ % de fondo de escala.
- Factor de conversión de la escala (ganancia):

$$G_{min} = 0,90$$

$$G_{tip} = 1,00$$

$$G_{max} = 1,10$$

$$\text{Cambio de la ganancia con } V_{cc} \text{ (de 4,5 V a 10 V): } \pm 0,1 \text{ \% / V}$$

$$\text{Estabilidad en temperatura de la ganancia: } \pm 50 \text{ ppm / } ^\circ\text{C}$$

Estabilidad de la ganancia en el tiempo (sobre 1000 hs): $\pm 0,02$ % de fondo de escala.

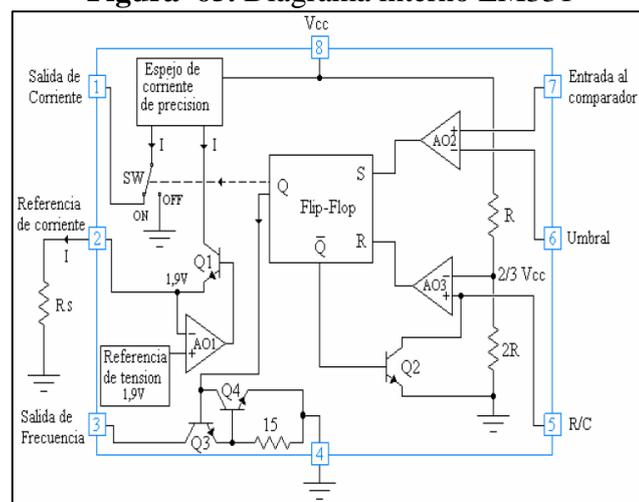
- Referencia de voltaje (pin 2):

$$V_{min} = 1,70 \text{ V}$$

$$V_{tip} = 1,89 \text{ V}$$

$$V_{max} = 2,08$$

Figura 65. Diagrama interno LM331



Fuente: (EBERLEIN, 2012)

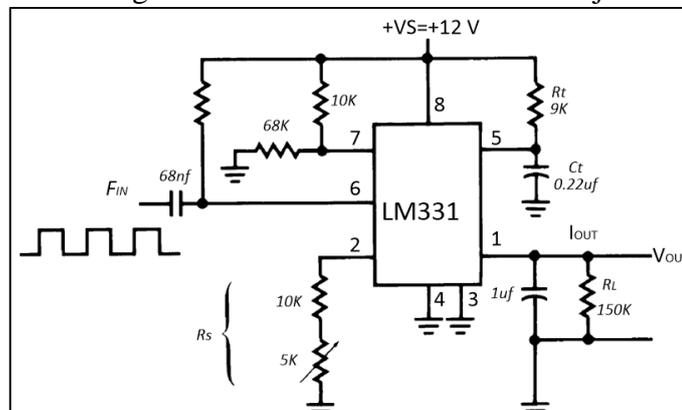
La entrada está formada por un filtro pasa altos con una frecuencia de corte mucho mayor que la máxima de entrada, lo que hace que el pin 6 vea solo los saltos de la onda de entrada y de esta forma se obtiene una serie de pulsos positivos y negativos montados sobre la continua V_{cc} . Por otro lado, la tensión en el pin 7 está fijada por el divisor resistivo y es aproximadamente $(0,87 \times V_{cc})$. Cuando el pulso negativo hace que V_6 baje sobre el nivel de V_7 , el comparador (AO2) conmuta su salida a un estado alto y setea el F-F llevando a la llave SW a ON y conectando la corriente I con la salida (pin 1).

Cuando el nivel de V_6 vuelve a superar a V_7 , el set se hace cero nuevamente pero el F-F mantiene su estado anterior. A la vez que se produce el seteo del F-F, el transistor Q2 entra en corte y comienza a cargarse C_t a través de R_t . Esta condición se mantiene (durante t_c) hasta que la tensión en el pin 5 alcanza $2/3$ de V_{cc} ; un instante después el comparador (AO3) resetea el F-F llevando a la llave SW a OFF; al mismo tiempo, Q negado hace que el transistor Q2 conduzca y el capacitor se descarga rápidamente. Esto hace que el comparador vuelva a conmutar llevando el reset a cero. Este estado se mantiene hasta que el F-F se setea con el inicio de un nuevo período de la frecuencia de entrada y el ciclo se repite. (EBERLEIN, 2012)

- *Elaboración de la tarjeta de acondicionamiento de señal.*

El circuito convertidor de señal de frecuencia – voltaje de acuerdo al datasheet del integrado LM331, la fórmula para obtener el voltaje de salida con la que se debe calcular los valores de los diferentes elementos que se deben conectar se muestra a continuación:

Figura 66. Diagrama de conexión frecuencia-voltaje con LM331

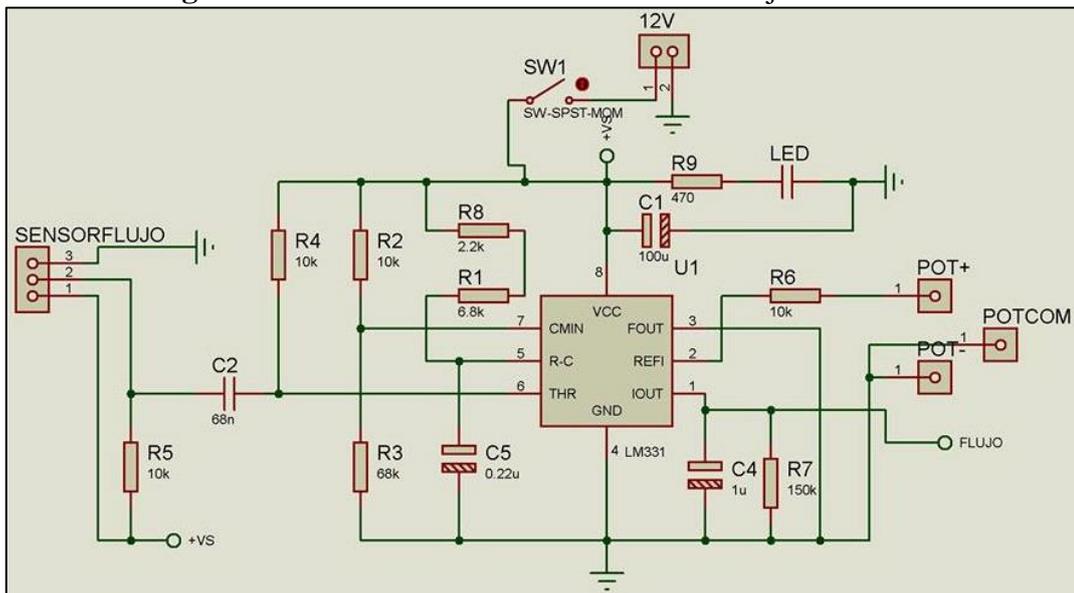


Fuente: (LM331Datasheet, 2015)

$$V_{OUT} = f_{IN} * 2.09 V * \frac{R_L}{R_S} * (R_t * C_t) \quad (20)$$

Para poder obtener un voltaje de salida entre 0 a 8 voltios y como el sensor de flujo modelo FG 2536 trabaja a una frecuencia 49 Hz por m/s, se dimensiona para una frecuencia aproximada de 200Hz, a su vez se debe modificar algunos valores que se establecen en el datasheet del integrado LM331, como $R_L = 150$, $C_t = 0.22 \mu\text{f}$ y el capacitor de 470pf a uno de 68nf a demás el capacitor debe ser de poliéster.

Figura 67. Circuito conversor frecuencia-voltaje en Proteus



Fuente: Autores

$$V_{OUT} = 200 \text{ Hz} * 2.09 V * \frac{150 \text{ k}\Omega}{15 \text{ k}\Omega} * (9 \text{ k}\Omega * 0.22 \mu\text{F})$$

$$V_{OUT} = 8.27 V$$

En el Anexo C se muestra el circuito impreso para ser graficado en la baquelita así como también los valores de cada uno de los componentes.

4.5.2.3 Calibración del sensor de flujo tipo paleta GF 2536. La calibración de este sensor tiene por objetivo el encontrar la gráfica Caudal vs Frecuencia.

Para realizar la calibración necesitamos del sensor, el software LabVIEW y de un medidor patrón para poder comparar los valores, en nuestro caso se tomara como patrón un rotámetro.

Para determinar la capacidad del rotámetro se utiliza el método volumétrico que se describe en la norma ISO 9906:1999. El método volumétrico consiste en determinar el valor de caudal promedio durante el tiempo que se emplea en llenar una capacidad estimada.

En nuestro caso se utilizó un recipiente donde se determinó y señalo la capacidad de 10 litros para así poder adquirir datos y tabularlo. La adquisición de datos se lo realizo en conformidad a la norma NOM-004-ENER-2008

Figura 68. Aplicación del método volumétrico



Fuente: Autores

Tabla 11. Datos de caudal bomba #1

Toma de datos para el caudal bomba 1		
Datos	Volumen (l)	Tiempo (s)
1	10	20,8
2	10	20,47
3	10	20,59
4	10	20,91
5	10	20,92
6	10	19,74
7	10	20,32
8	10	20,45
9	10	20,47
10	10	20,8
Σ Total		20,547

Fuente: Autores

Tabla 12. Datos de caudal bomba #2

Toma de datos para el caudal bomba 2		
Datos	Volumen (l)	Tiempo (s)
1	10	21,82
2	10	22,67
3	10	22,34
4	10	22,5
5	10	22,8
6	10	22,07
7	10	22,6
8	10	22,63
9	10	22,35
10	10	22,07
Σ Total	10	22,385

Fuente: Autores

Como se observa en la tabla 11 el promedio de tiempo que transcurre en llenar un recipiente de 10 litros es de 20,54 segundos para la bomba #1; en la Tabla 12 también se observa que para la segunda bomba se obtiene un tiempo de 22,38 segundos que le toma en llenar los 10 litros. Estos datos son de suma importancia para la determinación promedio de caudal para cada bomba.

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q_1 = \frac{10 \text{ l}}{20.54 \text{ s}}$$

$$Q_1 = 0.486 \text{ l/s}$$

$$Q_1 = 29,16 \text{ l/min}$$

$$Q_2 = \frac{10 \text{ l}}{22.385 \text{ s}}$$

$$Q_2 = 0.446 \text{ l/s}$$

$$Q_2 = 26,76 \text{ l/min}$$

Dónde:

Q = Caudal el sub índice 1, 2 dependerá de la bomba

V = Volumen [l]

t = Tiempo [s]

Como se determinó que el caudal máximo de la bomba #1 es ligeramente mayor, de valor de 29.16 l/min. El rotámetro que se adquirió es de 45 LPM debido a que es la escala más próxima disponible en el mercado.

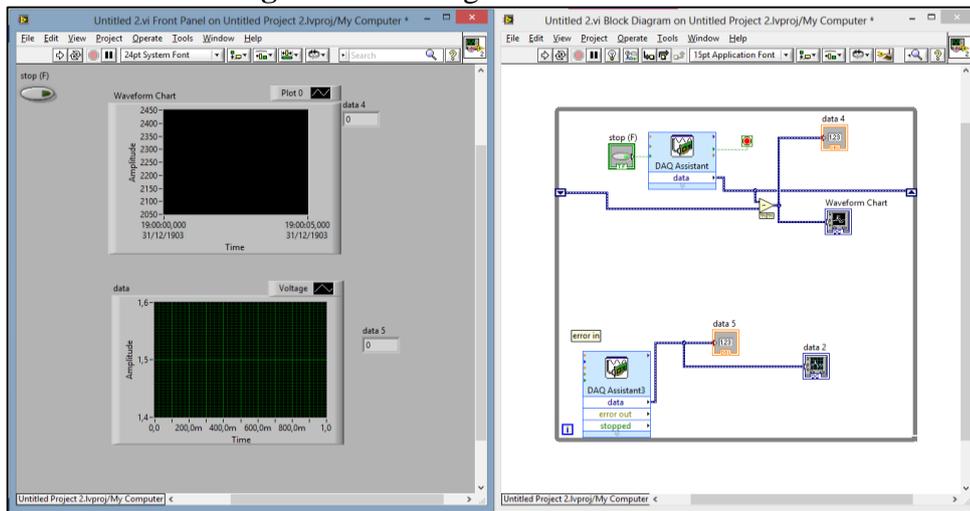
Figura 69. Rotámetro de 65 (LPM)



Fuente: Autores

En la calibración del sensor, para realizar la toma de datos necesitamos conectar el sensor de caudal con la tarjeta DAQ 6009 y el software LabVIEW. En el software LabVIEW se requiere configurar la tarjeta anteriormente mencionada y a su vez realizar un pequeño programa que nos permitirá visualizar los datos de frecuencia a distintos caudales.

Figura 70. Configuración en LabVIEW



Fuente: Autores

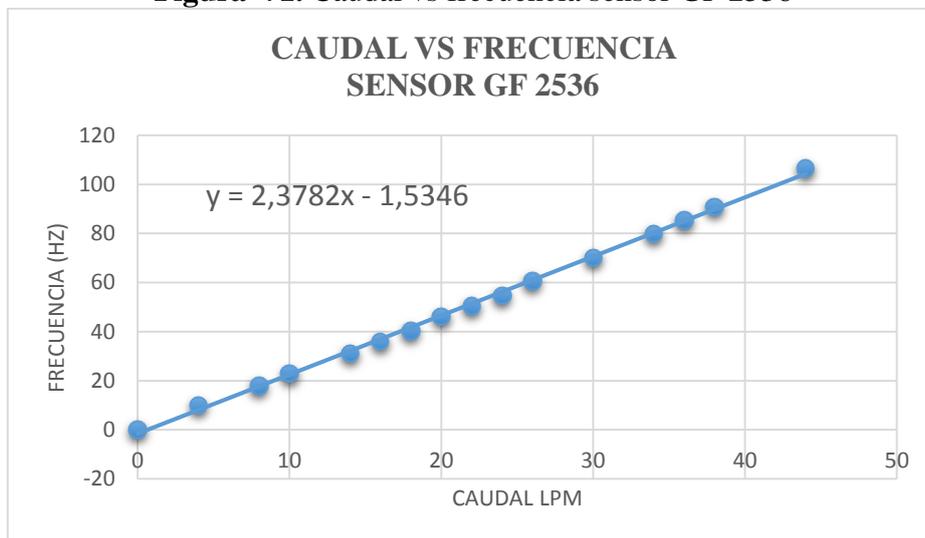
Conforme a la norma NOM-004-ENER-2008 se procede a tomar y tabular el número de datos establecidos para posteriormente poder obtener la gráfica y la ecuación en Excel.

Tabla 13. Valores de caudal vs frecuencia sensor de flujo GF 2536

Tabla de datos sensor de flujo GF 2536																QMAX
LPM	0	4	8	10	14	16	18	20	22	24	26	30	34	36	38	44
1	0	10	18	23	31	36	40	46	51	55	61	70	80	85	91	107
2	0	10	17	23	31	36	41	47	50	54	60	70	79	85	91	106
3	0	10	18	23	31	36	40	46	51	56	61	71	81	87	90	107
4	0	10	18	23	32	36	41	46	51	54	60	70	80	85	91	106
5	0	10	18	23	31	36	40	46	50	55	61	70	80	86	92	107
6	0	10	18	23	31	35	41	46	51	54	61	70	81	85	92	106
7	0	10	19	23	31	36	40	47	51	55	61	70	79	86	91	107
8	0	10	18	23	31	36	40	46	49	54	60	70	80	84	90	106
9	0	10	18	23	31	36	41	46	50	55	60	70	79	86	91	107
10	0	10	18	23	31	36	40	46	51	55	61	70	80	85	90	106
Σ (HZ)	0	10	18	23	31,1	36	40	46,2	50,5	55	61	70	80	85	90,9	106,5

Fuente: Autores

Figura 71. Caudal vs frecuencia sensor GF 2536



Fuente: Autores

La ecuación para obtener los valores de caudal para el sensor es la que se indica a continuación:

$$f = 2.3782 Q - 1.5346 \quad (21)$$

Dónde:

Q = Caudal del fluido [LPM]

f = Frecuencia leída por la DAQ para cada valor de caudal [Hz]

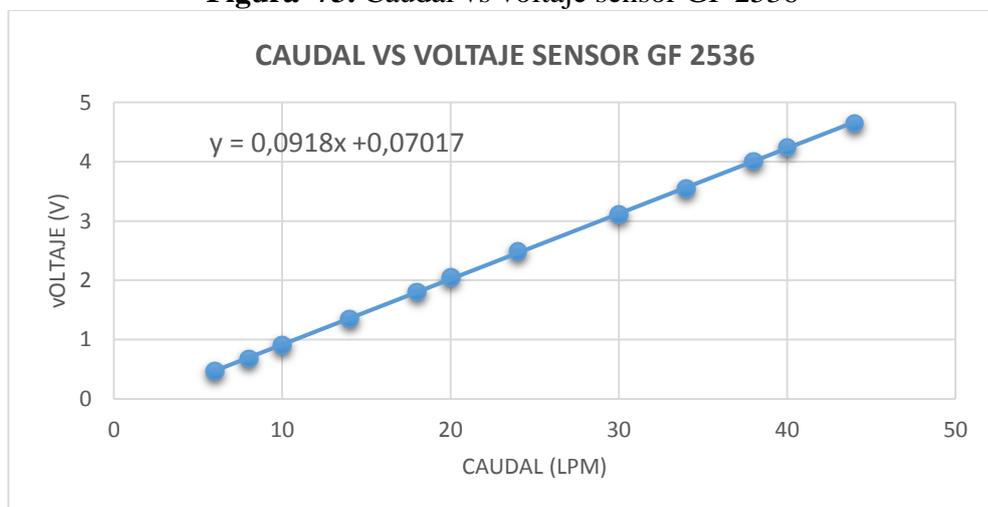
A su vez también se procede Conforme a la norma NOM-004-ENER-2008 a tomar y tabular el número de datos establecidos, para posteriormente poder obtener la gráfica y la ecuación en Excel para el sensor de flujo GF 2536 utilizando la tarjeta acondicionadora de señal frecuencia – tensión

Figura 72. Valores de caudal vs voltaje

Tabla de datos sensor de flujo (Tarjeta acondicionadora)												
LPM	6	8	10	14	18	20	24	30	34	38	40	44
1	0,06	0,73	0,96	1,39	1,83	1,9	2,36	2,97	3,58	3,97	4,15	4,54
2	0,01	0,8	0,91	1,54	1,79	1,98	2,36	3,09	3,53	3,96	4,22	4,74
3	0,59	0,76	0,9	1,15	1,83	2,3	2,24	3,2	3,55	3,96	4,23	4,77
4	0,45	0,65	0,9	1,54	1,83	2,04	2,63	2,9	3,57	4,14	4,25	4,82
5	0,73	0,58	0,94	1,32	1,84	1,9	2,63	3,19	3,54	4,04	4,07	4,66
6	0,47	0,8	1,05	1,43	1,76	2,04	2,41	3,28	3,51	4,06	4,68	4,76
7	0,51	0,59	0,65	1,3	1,73	2,3	2,39	3,19	3,43	3,92	4,01	4,4
8	0,79	0,76	0,97	1,56	1,73	2,13	2,54	3,01	3,56	4,06	4,36	4,61
9	0,88	0,66	0,81	1,14	1,9	2,03	2,63	2,99	3,51	4	4,31	4,61
10	0,26	0,51	1,03	1,19	1,83	1,9	2,71	3,24	3,69	4,01	4,17	4,58
$\Sigma(V)$	0,475	0,68	0,91	1,36	1,81	2,05	2,49	3,106	3,55	4,01	4,24	4,65

Fuente: Autores

Figura 73. Caudal vs voltaje sensor GF 2536



Fuente: Autores

La ecuación para obtener los valores de caudal para el sensor utilizando la tarjeta acondicionadora de señal frecuencia tensión es la que se indica a continuación:

$$V = 0.0918 Q + 0.7017 \quad (22)$$

Dónde:

Q = Caudal del fluido [LPM]

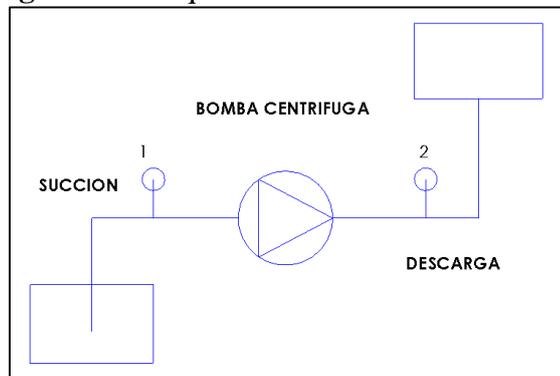
V = Voltaje leído por la DAQ para cada valor de caudal [V]

4.6 Automatización del banco de pruebas de bombas centrífugas instaladas en serie y paralelo.

Para realizar la automatización del banco de bombas instaladas en serie y paralelo se debe considerar que uno de los objetivos es de experimentar la toma de datos de las variables existentes antes y después de la instalación de los sensores es por eso que se debe realizar un pre calculo en el cual se pueda determinar las ecuaciones, constantes y variables las que permitirán realizar la automatización.

4.6.1 Análisis para una bomba centrífuga. Es indispensable la determinación de las ecuaciones, variables y constantes las cuales influyen para el análisis de una bomba centrífuga. Al encontrar los parámetros mencionados estaríamos garantizando el buen funcionamiento de la automatización y se facilitaría la interpretación de los datos encontrados.

Figura 74. Esquema de una bomba centrífuga



Fuente: Autores

Entre las constantes que rigen al sistema podemos mencionar:

- Ubicación: Riobamba
- Presión atmosférica: 556.8 mmHg
- Temperatura promedio: 13.2 °C
- Densidad $[\rho]$: $1000 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$

- Peso específico [δ]: $9.81 \left[\frac{KN}{m^2} \right]$
- Viscosidad cinemática [γ]: $1.24 \cdot 10^{-6} \left[\frac{m^2}{s} \right]$
- Diámetro en la succión [ϕ_1]: $1 \text{ [in]} = 25.4 \text{ [mm]}$
- Diámetro en la descarga [ϕ_2]: $\frac{3}{4} \text{ [in]} = 19.0 \text{ [mm]}$
- Área de succión [A_1]: $3.94 \cdot 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]}$
- Área de descarga [A_2]: $2.37 \cdot 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]}$

Para poder determinar la ecuación del sistema que determine la cabeza estática total se procede a realizar un balance de energías entre el punto 1 y 2 de la figura 74.

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + HB - Hr_{1-2} = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$HB = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} - Hr_{1-2}$$

$$Q = \frac{V}{A}$$

$$HB = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{Q^2}{2gA_2^2} - \frac{Q^2}{2gA_1^2} - Hr_{1-2}$$

Para la determinación de Hr_{1-2} utilizamos la ecuación de DARCY-WEISBACH la misma que nos dice que se debe realizar un análisis de pérdidas tanto en la succión como en la descarga tomando en cuenta los accesorios y longitud de tubería.

$$Hr_{1-2} = Hr_{Descarga} + Hr_{Succion}$$

$$Hr_{Succion} = \left(\lambda \frac{Ls}{Ds} + \sum k \right) \frac{Q^2}{2gA_1^2}$$

$$Hr_{Descarga} = \left(\lambda \frac{Ld}{Dd} + \sum k \right) \frac{Q^2}{2gA_2^2}$$

Dónde:

L = Longitud de tubería los sub índices nos expresan si es de succión (s) o descarga (d).

D = Diámetro de tubería los sub índices nos expresan si es de succión (s) o descarga (d).

El factor λ (Coeficiente de pérdida de carga primaria.) se encuentra en función de Reynolds [Re], es por eso que primero se debe determinar este factor. El Reynolds [Re] nos permitirá determinar si el fluido se encuentra en un flujo laminar o turbulento.

$$Re = \frac{V * D}{\delta}$$

$$Q = \frac{V}{A}$$

$$Re = \frac{Q * D}{A * \delta}$$

El área [A] y el diámetro [D] variaran dependiendo si es el análisis en la succión o en la descarga.

Para determinar el factor λ se tomara en cuenta si el flujo es laminar o turbulento:

- Si es laminar $Re < 2000$ entonces:

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

- Si es turbulento $Re > 4000$ entonces

$$\lambda = \frac{0.25}{[\log\left(\frac{k}{3.7d}\right) + \left(\frac{5.74}{Re^{0.90}}\right)]^2}$$

Para la sumatoria de accesorios [$\sum k$] se procede a realizar en la siguiente tabla:

Tabla 14. Pérdidas por accesorios en la succión

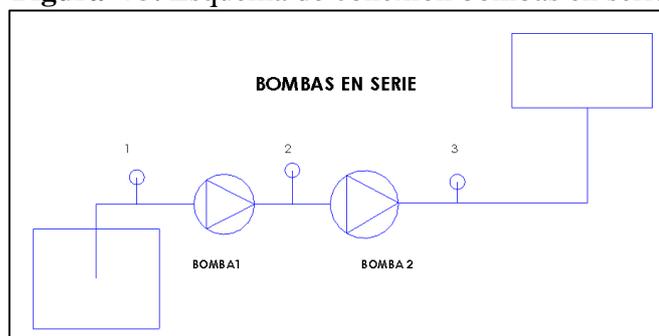
Succión			
Accesorio	Cantidad	K	Σk
Válvula de pie	1	9,6	9,6
Codo de 90	1	0,75	0,75
Válvula de globo	1	11,4	11,4
Tee	1	0,9	0,9
Unión roscada	2	0,3	0,6
		Σk total	23,25

Fuente: Autores**Tabla 15.** Pérdidas por accesorios en la descarga

Descarga			
Accesorio	Cantidad	K	Σk
Válvula de globo	2	11,4	22,8
unión universal	0	0,8	0
Reducción de 1 a ¾	1	0,7	0,7
Tee	6	0,9	5,4
codos 90	12	0,75	9
codo 45	1	0,4	0,4
Rotámetro	1	0,7	0,7
unión roscadas	4	0,3	1,2
		Σk total	40,2

Fuente: Autores

4.6.2 *Análisis para la instalación de bombas en serie.* En esta disposición de bombas se procederá a sumar la cabeza estática total de ambas bombas para así poder obtener la ecuación y grafica que rige a este sistema. Cabe recalcar también que las constantes son las mismas que las descritas en análisis que se realiza para una bomba.

Figura 75. Esquema de conexión bombas en serie**Fuente:** Autores

Para determinar la cabeza estática total se debe realizar el balance de energía, el mismo que para su realización procederemos a separar por tramos como indica en la figura 75.

Para el primer tramo que es de el punto 1 a 2 que corresponde a la bomba 1.

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + HB - Hr_{1-2} = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$HB_1 = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + Hr_{1-2}$$

$$Q = \frac{V}{A}$$

$$HB_1 = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{Q^2}{2gA_2^2} - \frac{Q^2}{2gA_1^2} + Hr_{1-2}$$

Para el segundo tramo que es del punto 2 a 3 que corresponde a la bomba 2

$$\frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + HB - Hr_{2-3} = \frac{P_3}{\rho g} + Z_3 + \frac{V_3^2}{2g}$$

$$HB_2 = \frac{P_3 - P_2}{\rho g} + \frac{V_3^2 - V_2^2}{2g} + Hr_{2-3}$$

$$Q = \frac{V}{A}$$

$$HB_2 = \frac{P_3 - P_2}{\rho g} + \frac{Q^2}{2gA_2^2} - \frac{Q^2}{2gA_1^2} + Hr_{2-3}$$

Para poder determinar la ecuación que rige a este sistema se procede a sumar las cabezas estáticas [HB] de las dos bombas

$$HB_1 + HB_2 = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{Q^2}{2gA_2^2} - \frac{Q^2}{2gA_1^2} + Hr_{1-2} + \frac{P_3 - P_2}{\rho g} + \frac{Q^2}{2gA_2^2} - \frac{Q^2}{2gA_1^2} + Hr_{2-3}$$

Si de esta ecuación eliminamos términos semejantes obtenemos:

$$HB_{Total} = \frac{P_3 - P_1}{\rho g} + \frac{Q^2}{2gA_2^2} - \frac{Q^2}{2gA_1^2} + Hr_{2-3} + Hr_{1-2}$$

Para la determinación de Hr_{1-2} y Hr_{2-3} utilizamos la ecuación de DARCY-WEISBACH la misma que nos dice que se debe realizar un análisis de pérdidas tanto en la succión como en la descarga tomando en cuenta los accesorios y longitud de tubería. Cabe recalcar que los sub índices 1-2(bomba 1) y 2-3(bomba 2) son los tramos de las bombas indicadas

$$Hr = Hr_{Descarga} + Hr_{Succion}$$

$$Hr_{Succion} = \left(\lambda \frac{Ls}{Ds} + \sum k \right) \frac{Q^2}{2gA_1^2}$$

$$Hr_{Descarga} = \left(\lambda \frac{Ld}{Dd} + \sum k \right) \frac{Q^2}{2gA_2^2}$$

Dónde:

L = Longitud de tubería los sub índices nos expresan si es de succión (s) o descarga (d).

D = Diámetro de tubería los sub índices nos expresan si es de succión (s) o descarga (d).

El factor λ (Coeficiente de pérdida de carga primaria.) se encuentra en función del Reynolds [Re] es por eso que primero se debe determinar este factor. El Reynolds [Re] nos permitirá determinar si el fluido se encuentra en un flujo laminar o turbulento.

$$Re = \frac{V * D}{\delta}$$

$$Q = \frac{V}{A}$$

$$Re = \frac{Q * D}{A * \delta}$$

El área [A] y el diámetro [D] variaran dependiendo si es el análisis en la succión o en la descarga.

Para determinar el factor λ se tomará en cuenta si el flujo es laminar o turbulento:

- Si el flujo es laminar $Re < 2000$ entonces:

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

- Si es turbulento $Re > 4000$ entonces:

$$\lambda = \frac{0.25}{[\log\left(\frac{k}{3.7d}\right) + \left(\frac{5.74}{Re^{0.90}}\right)]^2}$$

Para la sumatoria de accesorios $[\sum k]$ se procede a realizar por tramos para una facilidad de programación y entendimiento.

Tabla 16. Pérdidas por accesorios en la succión bomba 1

Succión bomba 1			
Accesorio	Cantidad	K	$\sum k$
Válvula de pie	1	9,6	9,6
Codo de 90	1	0,75	0,75
Válvula de globo	1	11,4	11,4
Tee	1	0,9	0,9
Unión roscada	2	0,3	0,6
		$\sum k$ total	23,25

Fuente: Autores

Tabla 17. Pérdidas por accesorios en la descarga bomba 1

Descarga bomba 1			
Accesorio	Cantidad	K	$\sum k$
Unión Roscada	1	0,3	0,3
Reducción 1a 3/4	1	0,69	0,69
Tee	2	0,9	1,8
Válvula de Globo	1	11,4	11,4
codo de 90	3	0,75	2,25
		$\sum k$ total	16,44

Fuente: Autores

Tabla 18. Pérdidas por accesorios en la succión bomba 2

Succión bomba 2			
Accesorio	Cantidad	K	$\sum k$
Tee	2	0,9	1,8
Unión Roscada	1	0,3	0,3
		$\sum k$ total	2,1

Fuente: Autores

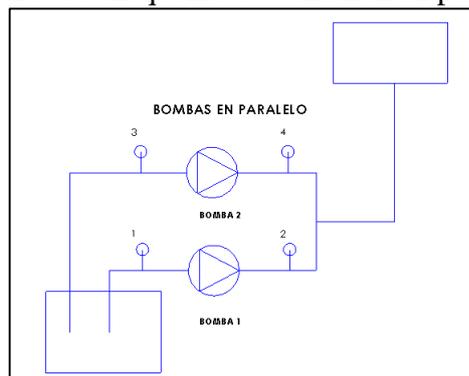
Tabla 19. Pérdidas por accesorios en la descarga bomba 2

Descarga bomba 2			
Accesorio	Cantidad	K	$\sum k$
Válvula de globo	2	11,4	22,8
unión universal	1	0,8	0,8
Reducción de 1 a ¾	1	0,7	0,7
Tee	4	0,9	3,6
codos 90	12	0,75	9
codo 45	1	0,4	0,4
Rotámetro	1	0,7	0,7
unión roscadas	4	0,3	1,2
		$\sum k$ total	39,2

Fuente: Autores

4.6.3 *Análisis para la instalación de bombas en Paralelo.* Para este análisis se tomara en cuenta las constantes descritas anteriormente en el análisis de una bomba. Para poder obtener la ecuación del sistema en paralelo se necesita encontrar la cabeza estática total de las bombas y sumarlas.

Figura 76. Esquema de conexión en paralelo



Fuente: Autores

Para encontrar la cabeza estática total se debe realizar un balance de energías, pero para este caso dividiremos el balance para cada bomba con la finalidad de una facilidad de entendimiento.

Para el primer tramo que es de el punto 1 a 2 que corresponde a la bomba 1

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + HB - Hr_{1-2} = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$HB_1 = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + Hr_{1-2}$$

$$Q = \frac{V}{A}$$

$$HB_1 = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{Q^2}{2gA_2^2} - \frac{Q^2}{2gA_1^2} + Hr_{1-2}$$

Para el segundo tramo que es del punto 3 a 4 que corresponde a la bomba 2

$$\frac{P_3}{\rho g} + Z_3 + \frac{V_3^2}{2g} + HB - Hr_{3-4} = \frac{P_4}{\rho g} + Z_4 + \frac{V_4^2}{2g}$$

$$HB_2 = \frac{P_4 - P_3}{\rho g} + \frac{V_4^2 - V_3^2}{2g} + Hr_{3-4}$$

$$Q = \frac{V}{A}$$

$$HB_2 = \frac{P_4 - P_3}{\rho g} + \frac{Q^2}{2gA_2^2} - \frac{Q^2}{2gA_1^2} + Hr_{3-4}$$

La condición de paralelismos nos indica que las bombas deben tener idénticas condiciones es decir la cabeza estática $[HB]$ debe ser igual para las dos bombas. Para poder determinar la ecuación que rija a este sistema procedemos a sumar las cabezas estáticas $[HB]$ de las dos bombas.

$$HB_1 + HB_2 = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{Q^2}{2gA_2^2} - \frac{Q^2}{2gA_1^2} + Hr_{1-2} + \frac{P_4 - P_3}{\rho g} + \frac{Q^2}{2gA_2^2} - \frac{Q^2}{2gA_1^2} + Hr_{3-4}$$

Por condición de paralelismo de bombas se puede decir que las presiones de succión y descarga son iguales por tanto:

$$HB_{Total} = \frac{P_4 - P_3}{\rho g} + \frac{Q^2}{2gA_2^2} - \frac{Q^2}{2gA_1^2} + Hr_{3-4} + Hr_{1-2}$$

Para la determinación de Hr_{1-2} y Hr_{3-4} utilizamos la ecuación de DARCY-WEISBACH la misma que nos dice que se debe realizar un análisis de pérdidas tanto en la succión como en la descarga tomando en cuenta los accesorios y longitud de tubería. Cabe recalcar que los sub índices 1-2(bomba 1) y 3-4(bomba 2) son los tramos de las bombas indicadas

$$Hr = Hr_{Descarga} + Hr_{Succion}$$

$$Hr_{Succion} = \left(\lambda \frac{Ls}{Ds} + \sum k \right) \frac{Q^2}{2gA_1^2}$$

$$Hr_{Descarga} = \left(\lambda \frac{Ld}{Dd} + \sum k \right) \frac{Q^2}{2gA_2^2}$$

Dónde:

L = Longitud de tubería los sub índices nos expresan si es de succión (s) o descarga (d).

D = Diámetro de tubería los sub índices nos expresan si es de succión (s) o descarga (d).

El factor λ (Coeficiente de pérdida de carga primaria.) se encuentra en función del Reynolds [Re] es por eso que primero se debe determinar este factor. El Reynolds [Re] nos permitirá determinar si el fluido se encuentra en un flujo laminar o turbulento.

$$Re = \frac{V * D}{\delta}$$

$$Q = \frac{V}{A}$$

$$Re = \frac{Q * D}{A * \delta}$$

El área [A] y el diámetro [D] variaran dependiendo si es el análisis en la succión o en la descarga.

Para determinar el factor λ se tomara en cuenta si el flujo es laminar o turbulento:

- Si es laminar $Re < 2000$ entonces:

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

- Si es turbulento $Re > 4000$ entonces :

$$\lambda = \frac{0.25}{[\log\left(\frac{k}{3.7d}\right) + \left(\frac{5.74}{Re^{0.90}}\right)]^2}$$

Para la sumatoria de accesorios $[\sum k]$ se realiza por tramos para una facilidad de programación y entendimiento.

Tabla 20. Pérdidas por accesorios en la succión bomba 1

Succión bomba 1			
Accesorio	Cantidad	K	$\sum k$
Válvula de pie	1	9,6	9,6
Codo de 90	1	0,75	0,75
Válvula de globo	1	11,4	11,4
Tee	1	0,9	0,9
Unión roscada	2	0,3	0,6
		$\sum k$ total	23,25

Fuente: Autores

Tabla 21. Pérdidas por accesorios en la descarga bomba 1

Descarga bomba 1			
Accesorio	Cantidad	K	$\sum k$
Válvula de globo	2	11,4	22,8
unión universal	0	0,8	0
Reducción de 1 a ¾	1	0,7	0,7
Tee	6	0,9	5,4
codos 90	12	0,75	9
codo 45	1	0,4	0,4
Rotámetro	1	0,7	0,7
unión roscadas	4	0,3	1,2
		$\sum k$ total	40,2

Fuente: Autores

Tabla 22. Pérdidas por accesorios en la succión bomba 2

Succión bomba 2			
Accesorio	Cantidad	K	Σk
válvula de pie	1	9,6	9,6
válvula de globo	1	11,4	11,4
codo 90	1	0,75	0,75
Tee	2	0,9	1,8
unión roscada	1	0,3	0,3
		Σk total	23,85

Fuente: Autores

Tabla 23. Pérdidas por accesorios en la descarga bomba 2

Descarga bomba 2			
Accesorio	Cantidad	K	Σk
válvula de globo	1	11,4	11,4
reducción 1 a3/4	1	0,7	0,7
codo 90	2	0,75	1,5
unión roscada	2	0,3	0,6
Tee	1	0,9	0,9
codo 45	1	0,4	0,4
unión universal	1	0,8	0,8
		Σk total	16,3

Fuente: Autores

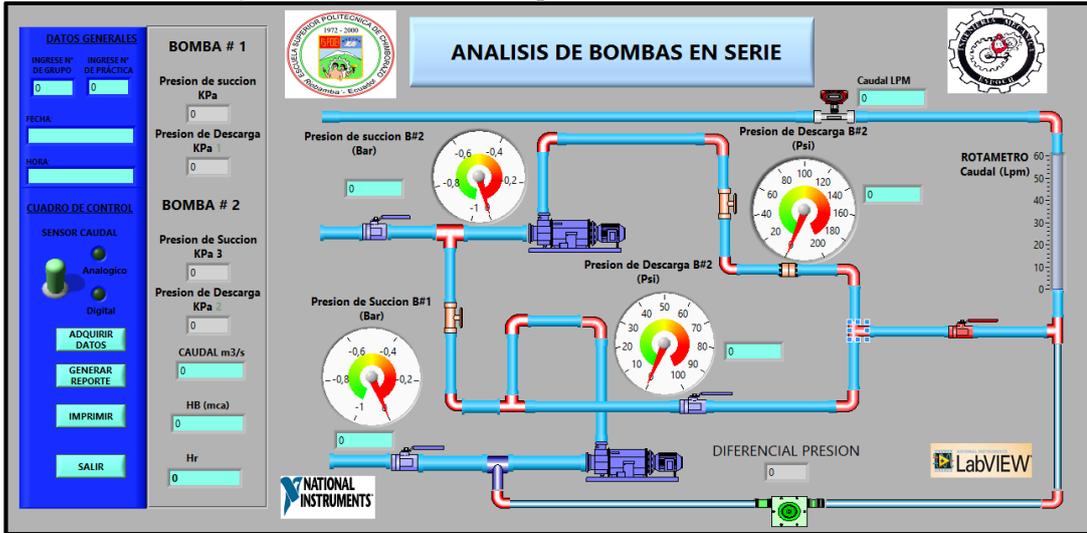
4.7 Representación de variables medidas en el programa LabVIEW.

El software LabVIEW permite adquirir, visualizar y representar los datos de las variables medidas en un proceso, mediante el diseño de un archivo VI, en el que se representa un panel frontal exclusivamente del proceso a medir.

En este panel puede contener indicadores, pulsadores, botones, gráficos y otros controladores que permiten al usuario registrar, controlar, interpretar y monitorear los distintos parámetros de un proceso. El software LabVIEW también permite realizar una programación grafica en diagramas de bloques.

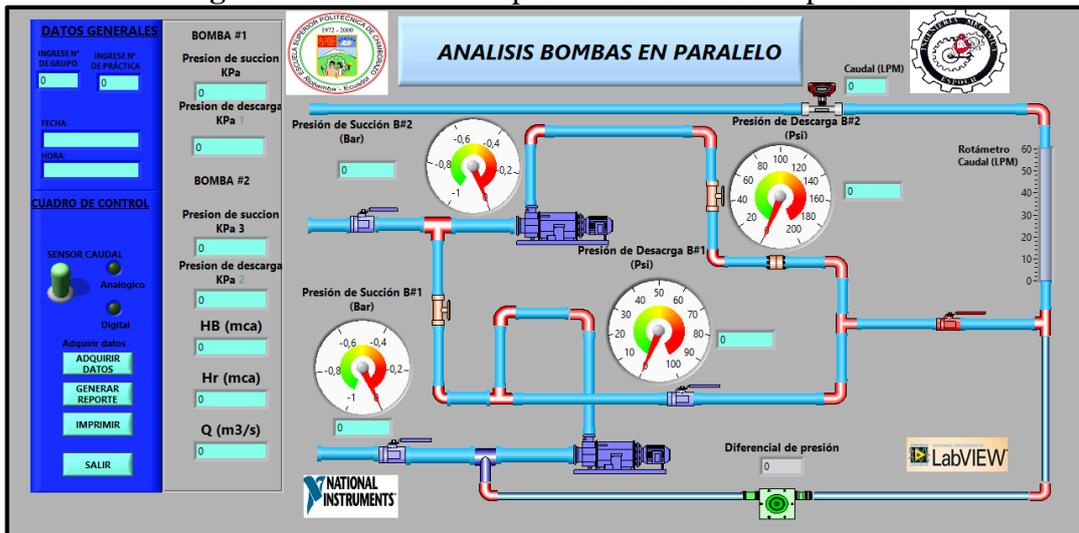
4.7.1 *Descripción del panel frontal de la práctica de bombas instaladas en serie y paralelo.* Este panel está diseñado de tal manera que el usuario tenga facilidad para tomar e interpretar los datos y graficas generadas de las distintas practicas a realizarse.

Figura 77. Panel frontal practica de bombas en serie



Fuente: Autores

Figura 78. Panel frontal practica de bombas en paralelo

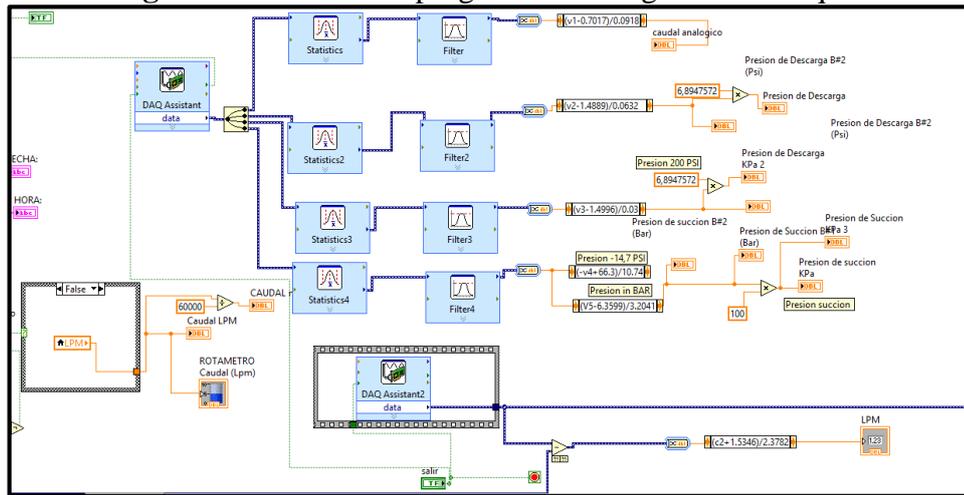


Fuente: Autores

- Fecha de la práctica.
- Hora de la práctica.
- Control de texto para ingresar el número de grupo.
- Control de texto para ingresar número de práctica.
- Botón para adquirir datos.
- Botón para generar reportes.
- Botón para imprimir o no el reporte.
- Indicador de presión de ingreso de 0 a 105 mca [0-150 psi].

- Indicador de presión de descarga de 0 a 105 mca [0-150 psi].
- Indicador de presión de descarga de 0 a 105 mca [0-150 psi].
- Indicador de caudal disponible [L/min]. Indicador digital del caudal disponible y descargado [L/min]
- Botón STOP.

Figura 79. Parte de la programación diagrama de bloques



Fuente: Autores

CAPÍTULO V

5. FASE DE PRUEBAS

5.1 Realización de pruebas.

Al realizar la correcta adecuación del tanque reservorio, tubería, rotámetro, sensores y de más elementos; se realiza las pruebas de funcionamiento previo a la práctica de laboratorio por parte de la persona encargada del laboratorio de Turbomaquinaria y a su vez por los estudiantes.

5.2 Resultados de pruebas.

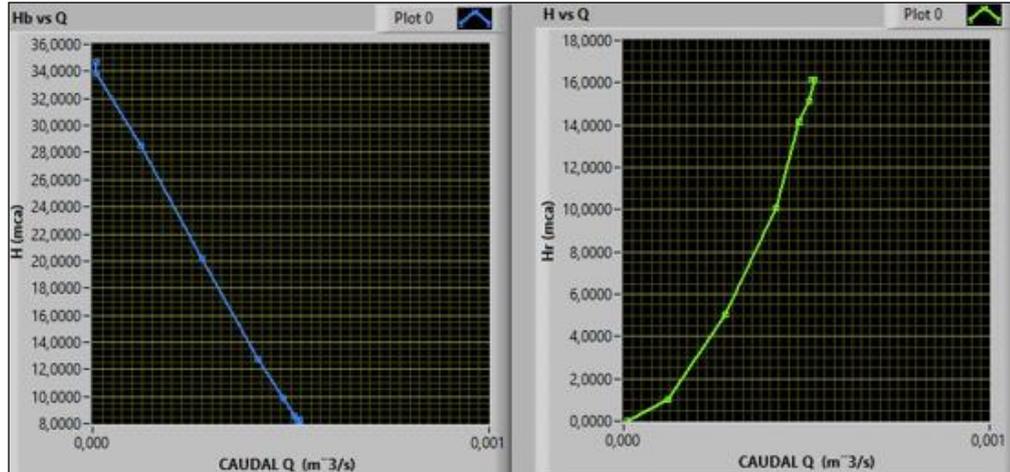
Luego de adquirir los datos, al presionar el icono generar reporte el programa genera en forma automática un archivo Excel, el mismo que está ubicado en una tabla, el cual mostrara los valores de presión, caudal, altura útil, altura total de bombeo en los distintos puntos. En la siguiente tabla se muestra los datos de los reportes adquiridos en las pruebas desarrolladas para una sola bomba, en serie y paralelo, las cuales son determinadas por el cierre y apertura gradual de una válvula de globo.

Tabla 24. Reporte generado por archivo Vi de LabVIEW para una sola bomba

Cierre de válvula	P1	P2	Caudal	Altura útil	Altura total de bombeo
			Q	H	HB
Grados	kPa	kPa	m ³ /seg	mca	mca
0	-14,4556	65,2412	0,00050	16,1538	8,124
10	-14,4905	65,6403	0,00050	16,158	8,1683
20	-14,4519	66,5583	0,00050	16,158	8,2579
30	-14,4805	69,6452	0,00050	15,1496	8,5755
40	-14,4986	82,5915	0,00050	14,1336	9,8971
50	-13,7599	111,6443	0,00040	10,1008	12,7833
60	-12,4418	185,5625	0,00030	5,0445	20,1839
70	-12,1646	267,3616	0,00010	1,0087	28,494
80	-11,7266	320,3762	0,00000	0,0001	33,8535

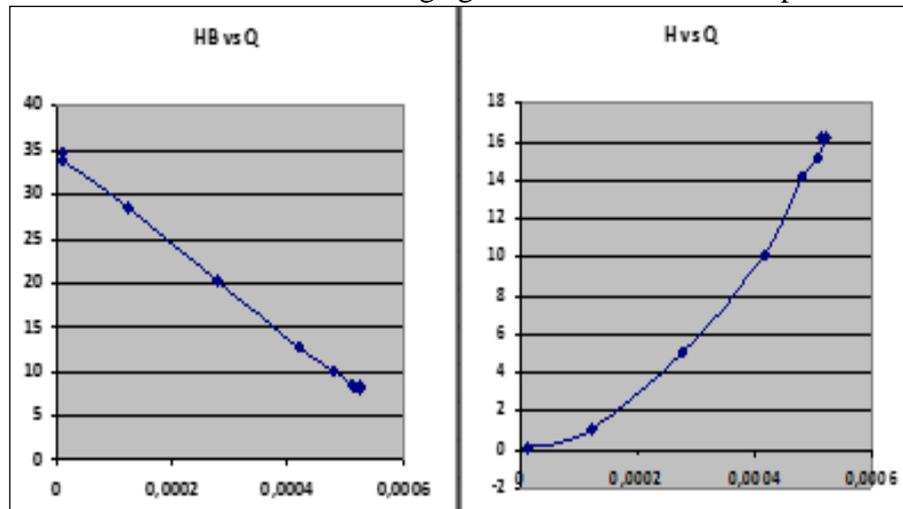
Fuente: Autores

Figura 80. Curva de la bomba centrífuga obtenidas en LabVIEW



Fuente: Autores.

Figura 81. Curvas de la bomba centrífuga graficadas en Excel de reporte en LabVIEW



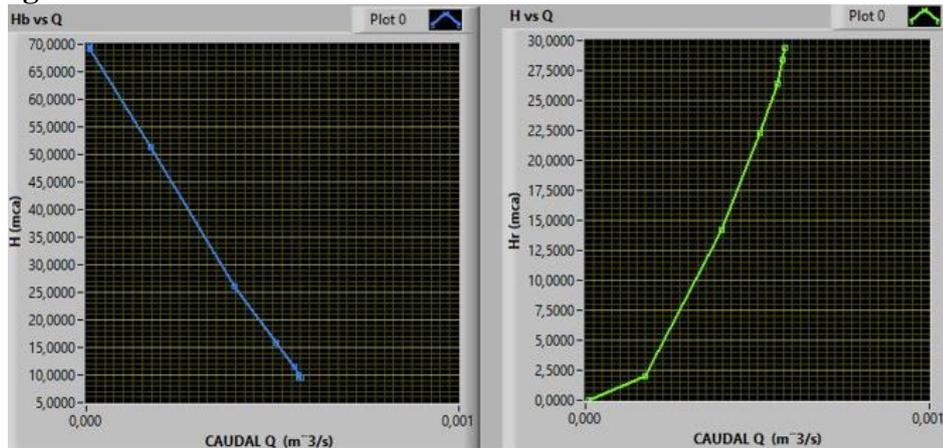
Fuente: Autores

Tabla 25. Reporte generado por archivo Vi de LabVIEW para el sistema de bombas en serie

Cierre de válvula	Ps	PB1	PB2	Caudal (Q)	Altura útil (H)	Altura total de bombeo (HB)
Grados	kPa	kPa	kPa	m ³ /seg	mca	Mca
0	-14,9725	32,5963	77,84600	0,0006	28,3781	9,4616
10	-15,0381	32,9217	78,11550	0,0006	29,3875	9,4958
20	-15,0486	33,7017	79,67160	0,0006	28,3781	9,6555
30	-14,9937	35,9298	84,06010	0,0006	28,3781	10,0972
40	-14,8447	43,2455	98,25970	0,0006	26,3598	11,5295
50	-14,7498	65,1349	141,61670	0,0005	22,2993	15,9395
60	-13,5359	114,4591	241,41430	0,0004	14,1818	25,9888
70	-12,3723	237,3742	491,31810	0,0002	2,0342	51,3446
80	-13,2027	320,3508	665,68320	0	0,0001	69,2034
90	-9,9478	327,214	675,14450	0	0,0001	69,8361

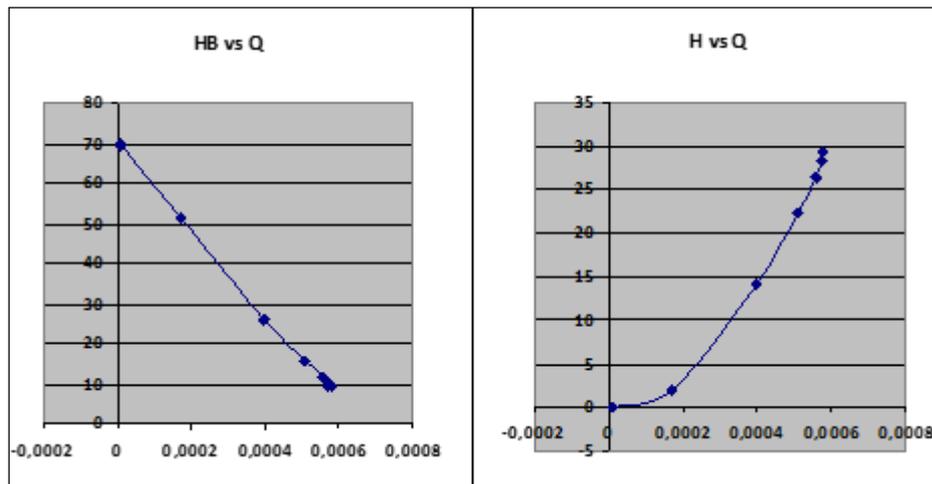
Fuente: Autores

Figura 82. Curva del sistema de bombeo en serie obtenidas en LabVIEW



Fuente: Autores.

Figura 83. Curvas del sistema de bombeo en serie graficadas en Excel de reporte en LabVIEW



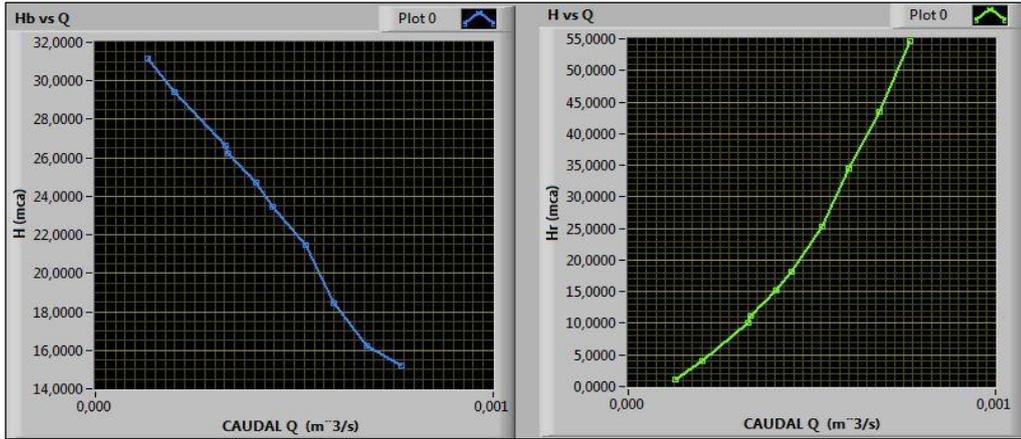
Fuente: Autores.

Tabla 26. Reporte generado por archivo Vi de LabVIEW para el sistema de bombas en paralelo

Cierre de válvula	P(-) B1	P(-)B2	P(100)	P(200)	Caudal (Q)	Altura útil (H)	Altura total de bombeo (HB)
Grados	kPa	kPa	kPa	kPa	m ³ /seg	mca	mca
0	-16,5148	-16,51480	132,631	130,4904	0,0008	54,6825	15,2035
10	-16,5043	-16,50430	142,85	141,2736	0,0007	43,5411	16,2441
20	-16,4396	-16,43960	164,818	163,7041	0,0006	34,4162	18,4768
30	-16,168	-16,16800	194,154	194,0119	0,0005	25,3245	21,4395
40	-16,2288	-16,22880	213,827	214,6424	0,0004	18,2296	23,4512
50	-16,0835	-16,08350	226,532	228,2108	0,0004	15,1883	24,7314
60	-15,6111	-15,61110	241,479	244,0077	0,0003	11,1285	26,2069
70	-16,036	-16,03600	245,153	247,7383	0,0003	10,1232	26,6247
80	-16,8063	-16,80630	271,502	274,576	0,0002	4,0463	29,3892
90	-16,228	-16,22800	289,603	293,3268	0,0001	1,0195	31,1755

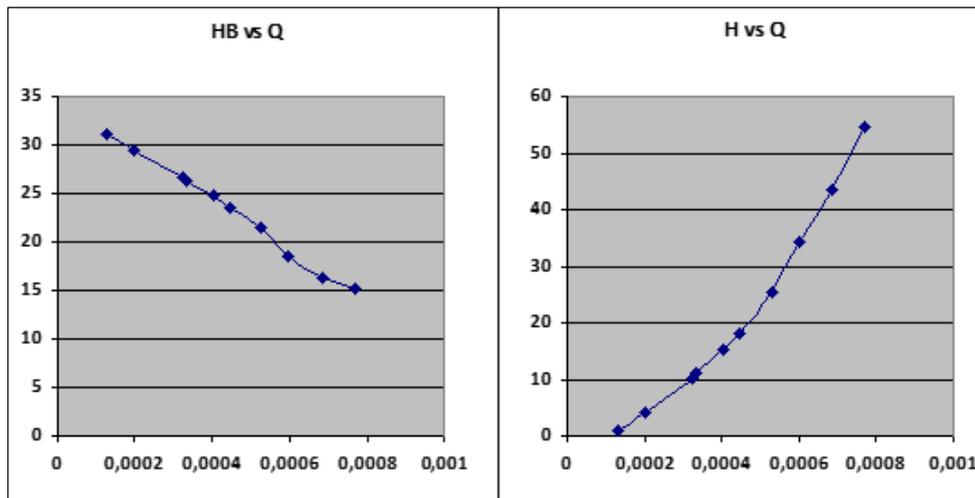
Fuente: Autores

Figura 84. Curva del sistema de bombeo en paralelo obtenidas en LabVIEW



Fuente: Autores

Figura 85. Curvas del sistema de bombeo en paralelo graficadas en Excel de reporte en LabVIEW

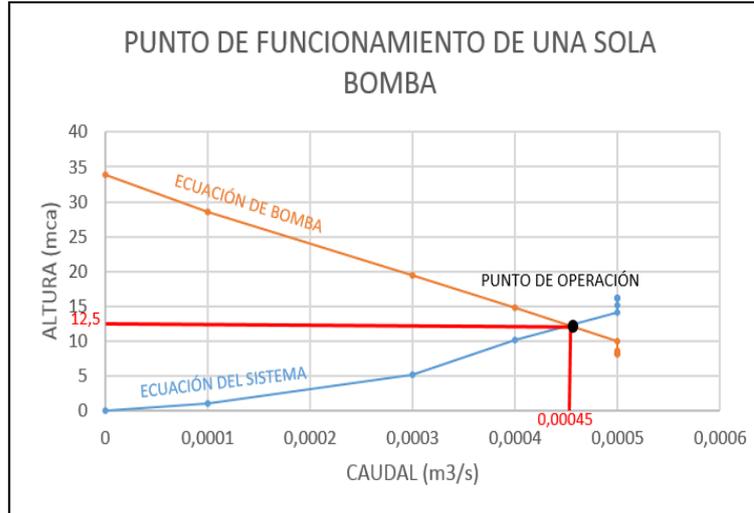


Fuente: Autores

5.3 Análisis de resultados.

En los datos alojados en los reportes para la bomba se obtuvo curvas polinómicas de segundo orden como las mostradas en la Figura 81, en las que se puede apreciar dos curvas la primera muestra por la altura de bombeo dado en metros de columna de agua (mca) y caudal (HB vs Q); la segunda curva muestra las pérdidas que tiene el sistema de acuerdo al funcionamiento de una bomba en función de caudal (H vs. Q), este sistema funciona a un sistema de giro constante.

Figura 86. Punto de funcionamiento de una bomba centrífuga

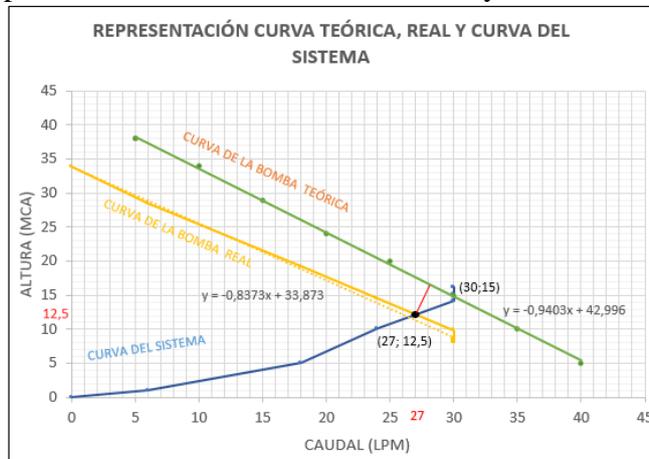


Fuente: Autores

El punto de funcionamiento dado por la intersección de las dos curvas es aceptable ya que cumple con los parámetros de variación de caudal máxima recomendada, donde se explica que el caudal no debe disminuir más de un 25% ni debe incrementar más de un 10% con respecto al caudal del punto de operación del sistema. Es decir el valor de caudal de funcionamiento para nuestro caso deberá estar en un rango de 0.0004 a 0,0005 m³/s debido a la variación de frecuencia que poseen las bombas. (FRANZINI, 1999).

Al querer realizar una comparación del análisis solo se puede realizar para el funcionamiento de una sola bomba los mismos que serán comparados con los que son otorgados por el fabricante y la curva real el cual se muestra a continuación en la siguiente figura 87

Figura 87. Representación de la curva teórica, real y la curva del sistema



Fuente: Autores

Se visualiza que la curva real de la bomba presenta un desplazamiento decreciente en relación a la curva teórica por el tiempo de uso y mantenimiento realizado a la misma. Se realiza el cálculo del desplazamiento, mediante la distancia perpendicular entre un punto cualquiera tomado de la curva real respecto a la curva teórica. Al linealizar las dos curvas se obtienen dos ecuaciones siguientes.

Ecuación de la curva teórica.

$$0,9403X + Y - 42,996 = 0 \quad (23)$$

Ecuación de la curva real.

$$0,8373 X + Y - 33,873 = 0 \quad (24)$$

La coordenada escogida es de (27; 12,5) el mismo que se reemplaza en la siguiente ecuación de la curva teórica respecto al cuadrado de sus variables.

$$d = \frac{|A \cdot x_1 + B \cdot y_1 + C|}{\sqrt{A^2 + B^2}} \quad (25)$$

$$d = \frac{|0,9403(27) + 12,5 - 42,996|}{\sqrt{0,9403^2 + 1^2}}$$

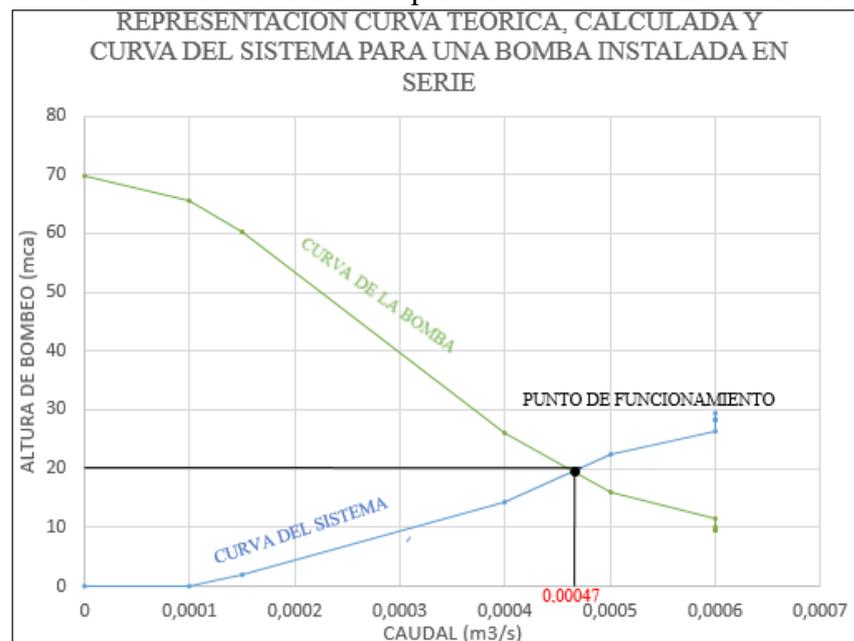
$$d = 3,72$$

El valor obtenido de 3,72 % representa la disminución que existe en la eficiencia de la bomba. El valor de caudal máximo teórico mostrado en la figura 87, es de 40 LPM con respecto a la curva real que es de 30 LPM dando una disminución de 25 %. En cambio la variación de altura al considerar a un caudal de 5 LPM posee una altura de 38 MCA teórico, mientras que el valor real es de 29 MCA aproximadamente otorga una disminución de 24 %.

5.3.1 *Análisis de resultado para sistema de bombeo en serie:* Para el análisis del sistema de bombeo en serie mostrado en las figuras 82 y 83, representando la altura de

bombeo y caudal (HB vs Q); la segunda curva muestra las pérdidas que tiene el sistema de acuerdo al funcionamiento de dos bombas versus caudal (H vs. Q), este sistema tiene un sistema de giro constante; en la cual se puede apreciar el incremento de presión es decir un incremento en su altura de bombeo aproximado de 70 MCA con un caudal máximo de 0,0006 m³/s, logrando mantener un caudal constante. Además se considera al punto de funcionamiento adecuado ya que no sobrepasa los niveles establecidos.

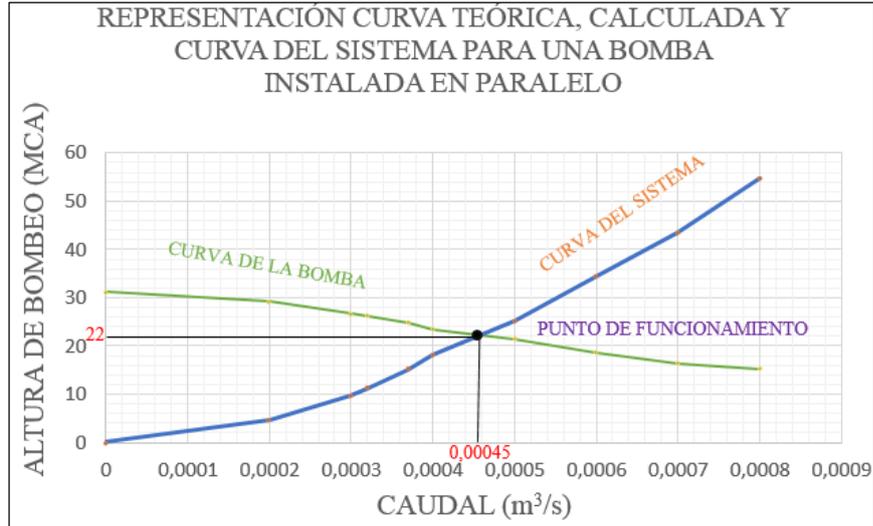
Figura 88. Punto de funcionamiento para el sistema de bombeo en serie



Fuente: Autores

5.3.2 *Análisis de resultado para sistema de bombeo en paralelo:* Finalmente para el análisis del sistema de bombeo en paralelo mostrado en las figuras 84 y 85, representando la altura de bombeo y caudal (HB vs Q); la segunda curva muestra las pérdidas que tiene el sistema de acuerdo al funcionamiento de dos bombas en función de caudal (H vs. Q), este sistema funciona también mediante sistema de giro constante; en la cual se puede apreciar el incremento de caudal de 0,0008 m³/s logrando mantener su altura de bombeo constante. Además se considera al punto de funcionamiento adecuado ya que no sobrepasa los niveles establecidos.

Figura 89. Punto de funcionamiento para un sistema de bombeo en paralelo



Fuente: Autores

5.4 Manual de mantenimiento y registros

Para la ejecución del mantenimiento es esencial partir de los datos técnicos de los instrumentos, máquinas o equipos presentes en cada uno de los laboratorios, así como de los diferentes procesos a llevar a cabo, para la respectiva ejecución de la práctica.

Es importante conocer previamente el funcionamiento de cada uno de los elementos presentes en el laboratorio, sin dejar de lado la seguridad personal y las formas de proceder en caso de accidentes antes de comenzar con los diferentes ensayos.

Se debe tener en cuenta que las distintas máquinas o equipos han sido diseñados con el fin de ayudar al estudiante para el análisis, operación y selección de las turbomáquinas motrices y simular de la manera más cercana a la realidad, siendo responsabilidad del instructor fijar los límites permisibles de funcionamiento, evitando así la destrucción o la avería de la máquina. (VALDIVIEZO, 2014)

En el presente manual contiene los distintos procedimientos para la realización de la práctica de laboratorio en el banco de pruebas de bombas centrífugas dispuestas en serie y paralelo, además se recomienda la realización del mantenimiento periódico ya que la sustancia manipulada es agua, la misma que debe ser predispuesta por personas con conocimiento de la utilización del banco.

5.5 Manual de procedimientos

		BOMBAS CENTRÍFUGAS DISPUESTAS EN SERIE Y PARALELO		Ficha: 1-4			
				Código:			
Versión: 2015		DATOS TÉCNICOS -PARTES PRINCIPALES LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA		Inventario: 150-001-000015932			
				Cuenta:			
EQUIPO		BOMBAS CENTRÍFUGAS DISPUESTAS EN SERIE Y PARALELO					
UBICACIÓN		ESPOCH, Facultad de Mecánica, Laboratorio de Turbo maquinaria					
Marca:		No Inventario: 150-001-000015932		Comprado a:			
Modelo:		Año de compra:		Precio de compra: \$			
Número de serie:		Dimensiones: 1,1x0,88x2 m		Año de Avalúo:			
Año de fabricación:		Peso:		Avalúo: \$			
DATOS TÉCNICOS							
Tipo de bomba: Pedrollo		Diámetro del cuerpo: 1 in		Carrera (S): regulable			
Caudal máximo: 40 lpm		Modelo: Pkm 60		Velocidad máxima:			
Capacidad del tanque reservorio: 140 litros		Potencia: 0.5 HP		Diámetro descarga: 1 in			
Voltaje: 110 V		Tipo de la bomba: Centrífuga		Fase: Monofásico			
PARTES PRINCIPALES							
N	DETALLE	Cant	DIMENSIÓN	N	DIMENSIÓN	Cant.	N
1	Estructura	1	2 m de altura	17	Codo 90°	15	¾ in
2	Tanque reservorio	1	140 litros	18	Unión	1	¾ in
3	Valvulas de pie	2	1 in	19	Unión roscada	2	¾ in
4	Válvula check	2	1 in.	20	Acople diferencial	2	¾ a 1/8 in
5	Válvula de globo	2	1 in	21	Acople de sensor de flujo	1	¾ in
6	Codo 90°	2	1 in	22	Bomba centrifuga	2	0.5 HP
7	Tee	1	1 in	23	soporte bomba	2	
8	Reducción	3	1 a ¾ in	24	Tuberia de retorno	1	¾ in
9	Válvula de globo	3	¾ in	25	Tuberia para diferencial	2	1/8 in
10	Tubería para sensor de presión	4	1 in	26	rotámetro	1	¾ in
11	Acople para sensor	4	½ a 1/8 in	27	Tablero de control	1	
12	Manómetro	3	1/8 in	28	Acrílico protector	3	
13	vacuómetro	2	1/8 in	29	cpu	1	
14	Unión Roscada	5	1 in	30	teclado	1	
15	Codo 45°	2	3/4 in	31	mouse	1	
16	Tee	2	¾ in	32	monitor	1	



**BOMBA CENTRÍFUGA
CONEXIÓN EN SERIE Y
PARALELO**

Ficha: 2-4

Código:

Inventario:

Versión:
2015

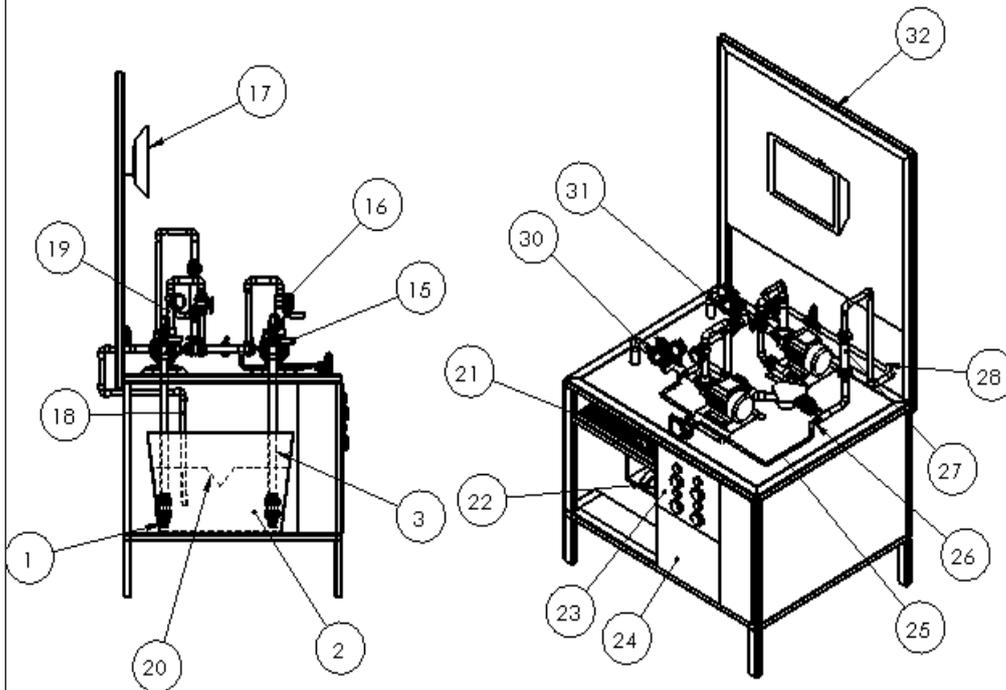
COMPONENTES PRINCIPALES

LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA

Cuenta:

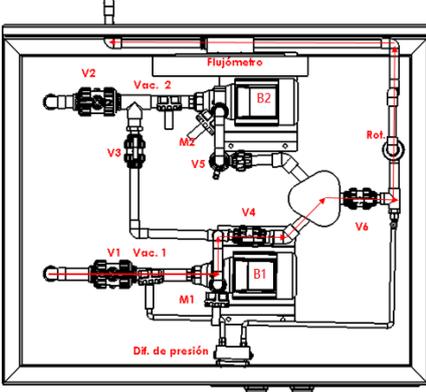
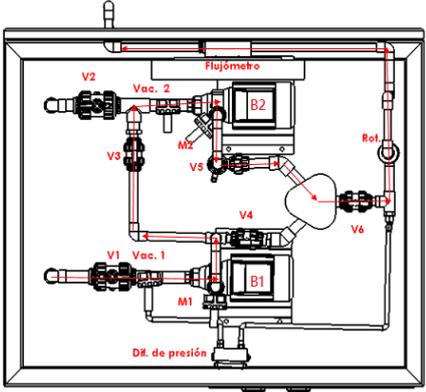
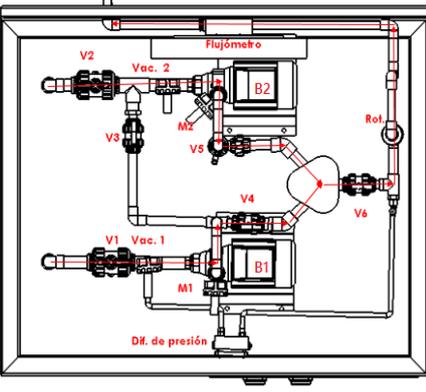
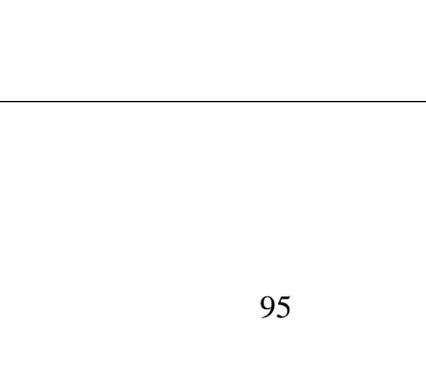
Fuente:

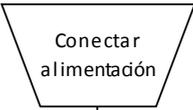
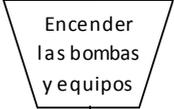
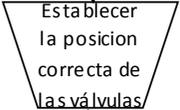
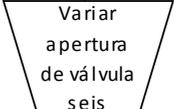
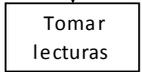
ESQUEMA DE VISTAS DEL SISTEMA DE BOMBEO EN SERIE Y PARALELO(ELEMENTOS)



PARTES PRINCIPALES

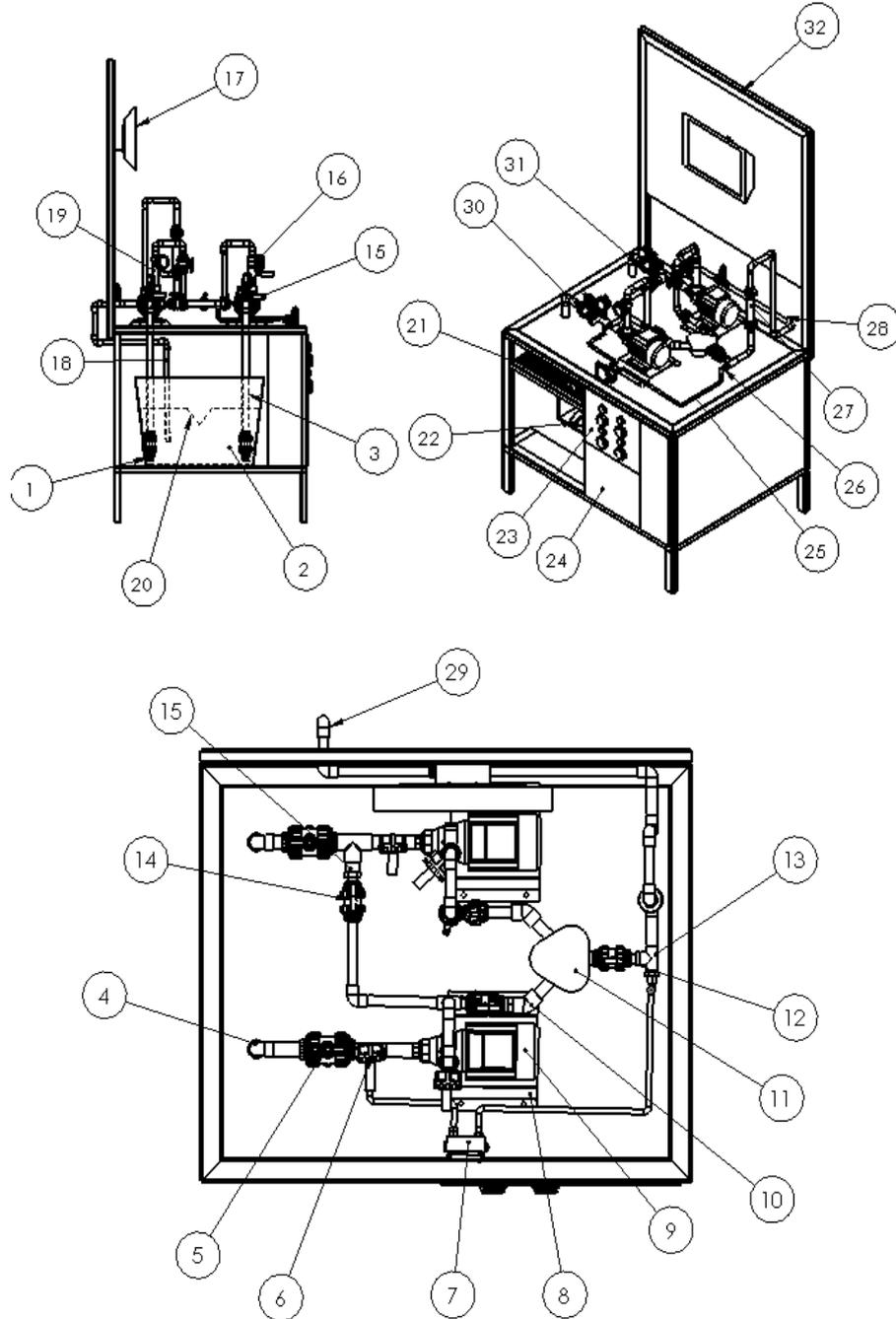
1	Estructura	2 m de altura	17	Codo 90°	¾ in
2	Tanque reservorio	140 litros	18	Unión	¾ in
3	Valvulas de pie	1 in	19	Unión roscada	¾ i n
4	Válvula check	1 in.	20	Acople diferencial	¾ a 1/8
5	Válvula de globo	1 in	21	Acople de sensor de	¾ in
6	Codo 90°	1 in	22	Bomba centrifuga	0.5 HP
7	Tee	1 in	23	soporte bomba	
8	Reducción	1 a ¾ in	24	Tuberia de retorno	¾ in
9	Válvula de globo	¾ in	25	Tuberia para	1/8 in
10	Tubería para sensor	1 in	26	rotametro	¾ in
11	Acople para sensor	½ a 1/8 in	27	Tablero de control	
12	Manómetro	1/8 in	28	Acrílico protector	
13	vacuómetro	1/8 in	29	cpu	
14	Unión Roscada	1 in	30	teclado	
15	Codo 45°	¾ in	31	mouse	
16	Tee	¾ in	32	monitor	

	BOMBA CENTRÍFUGA CONEXIÓN EN SERIE Y PARALELO		Ficha: 2-4		
			Código:		
				Inventario:	
		DIAGRAMA DE PROCESOS		Cuenta:	
Versión: 2015	LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA		Fuente:		
FUNCIONAMIENTO	PROCESO		DESCRIPCIÓN	CONTROL	
<p>El recipiente que contiene el líquido, está ubicada en la parte inferior del banco, el líquido al ser succionado experimenta una situación de vacío "presión negativa", al pasar por el vacuómetro se lo puede apreciar, todo el sistema varia conforme a la apertura y cierre de una válvula de globo(V6) ubicada antes de ingresar al rotámetro. Para la conexión de un sistema de una sola bomba (primera gráfica) ,solo se enciende la BOMBA (B1), ademas se cierra la válvula de globo(V3) ,para poder apreciar el funcionamiento. Para el sistema de bombas en serie se puede apreciar su circuito en la (segunda gráfica), donde se deben encender las 2 bombas, cerrar las válvulas(V2,V4). Finalmente el sistema de bombeo en paralelo al estar encendidas las 2 bombas,se cierra la válvula (V3), mientras que las de mas deben estar abiertas. Todo el funcionamiento se lo puede apreciar en el software instalado.</p>			Verificar que las bombas no provoquen vacío	Ceban las bombas hasta que esten completamente libre de aire en el interior de la tubería	
			Conectar la o las bombas y los de mas instrumentos a la fuente de alimentación.	Ver que el parámetro a conectar sea del mismo voltaje de 110 V.	
			Permitir la succión hacia las bombas	Verificar la cantidad de agua ,adecuada para la succión	
			Abrir y cerrar la válvula número seis para las distintas tomas de datos .	La válvula tiene un angulo de 90° para los datos que se quiera tomar	
			Para ver variación de presión en los distintos manómetros	Podemos manipular las valvulas 1,2,5,6	
			Para ver la variación de caudal en el rotámetro	Se manipula la válvula seis	
		Adquirir los datos de presiones, y caudal de acuerdo a la apertura de la válvula	Cierre en forma gradual de la válvula número seis		

SEGURIDAD	PROCESO	DESCRIPCIÓN	CONTROL
<p>Al realizar el mantenimiento se debe desconectar los equipos. Los estudiantes antes de ingresar deben tener un conocimiento previo y además estar acompañados de la persona encargada del laboratorio. Los estudiantes deben usar el respectivo overol y tapones auditivos.</p>		<p>Abrir completamente la válvula para la correcta circulación de agua por las bombas</p>	<p>Culminación de ciclo de bombeo de acuerdo al sistema con el que se este trabajando</p>
		<p>Para desalojar el liquido del reservorio se debe abrir los tapones.</p>	
		<p>Buscar las herramientas adecuadas para la limpieza o mantenimiento y ubicarlas en un espacio idoneo</p>	
		<p>Realizar los respectivos cálculos de acuerdo a la guía de laboratorio</p>	
			
			
			
			
<p>  Fin  Operación manual  Operación  Control al 100% </p>			

	BOMBA CENTRÍFUGA CONEXIÓN EN SERIE Y PARALELO	Ficha: 3-4
		Código:
Versión: 2015	LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA	Inventario:
		Cuenta:
		Fuente:

ESQUEMA DE VISTAS DEL SISTEMA DE BOMBEO EN SERIE Y PARALELO(ELEMENTOS)



 	BOMBA CENTRÍFUGA CONEXIÓN EN SERIE Y PARALELO		
	TAREAS DE MANTENIMIENTO		
Versión: 2015	LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA		Ficha: 4-4

#	Tarea	Ide.	Superficie
1	Inspección	a	externa
		b	interna

#	Tarea	Ide.	Superficie
2	Limpieza interna	a	circuitos
		b	metálica
		c	Hidráulico

#	Tarea	Ide.	Superficie
3	Limpieza externa	a	Pintura
		b	Otros

#	Tarea	Ide.	Superficie
4	Ajustes	a	internos
		b	externos

#	Tarea	Ide.	Superficie
5	Condiciones ambientales	a	internas
		b	externas

#	Tarea	Ide.	Superficie
6	Análisis de pruebas	a	Por partes
		b	completa

#	Tarea	Ide.	Superficie
7	Calibración	a	vacuómetro
		b	manómetros
		c	sensores presión
		d	Flujómetro

#	Tarea	Ide.	Superficie
8	Correcciones exteriores	a	Pintura
		b	Otros

#	Tarea	Ide.	Superficie
9	Mantenimiento correctivo	a	eléctricas
		b	hidráulicas
		c	mecánicas

5.6 Manual de plan anual de mantenimiento

 		BOMBA CENTRÍFUGA CONEXIÓN EN SERIE Y PARALELO											
Versión: 2015		Plan Anual de mantenimiento											
LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA		FICHA DE REGISTRO											
Año: 2015													
Tarea	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	EP
01-a													
01-b													
02-a													
02-b													
03-a													
04-a													
04-b													
05-a													
05-b													
06-a													
06-b													
07-a													
07-b													
09-a													
09-b													
09-c													
08-a	Parte(s) Afectada(s)							Fecha				Firma	
08-b	Parte(s) Afectada(s)							Fecha				Firma	

Leyenda													
EP Ejecutada la práctica.							N/A No se Aplica						
1-a Limpieza Externa de Superficies Pintadas							6-a Condiciones Ambientales lugar de Operación						
1-b Limpieza Externa de Superficies Mixtas (pintura y acrílico)							6-b Condiciones Ambientales lugar de Almacenamiento						
2-a Limpieza Interna de Superficies Metálicas							7-a Pruebas Funcionales Completa						
2-b Limpieza Interna de Superficies Con Circuitos							7-b Pruebas Funcionales Por Partes						
3-a Inspección Externa							08-a Corrección de superficie tipo pintura						
3-b Inspección Interna							08-b Corrección de superficie tipo metálica						
4-a Lubricación O Engrase Externo							09-a Calibración general de instrumentos						
4-b Lubricación O Engrase Interno							09-b Calibración de manómetros						
5-a Ajustes Internos							09-c Calibración de tacómetros ópticos						
5-b Ajustes Externos													
Reemplazo de partes M (Mecánicas) – E (Eléctricas)													
M	Elemento y ubicación							Fecha:				Firma:	
E													
M	Elemento y ubicación							Fecha:				Firma:	
E													
Control	Ene		Feb		Mar		Abr		May		Jun		
	Jul		Ago		Sep		Oct		Nov		Dic		

Observaciones:

5.7 Guías de laboratorio

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA HIDRÁULICA

PRÁCTICA No: BOMBAS INSTALADAS EN SERIE Y PARALELO

1. DATOS GENERALES:

NOMBRE:

CODIGO:

GRUPO No.

FECHA DE REALIZACIÓN:

FECHA DE ENTREGA:

OBJETIVO:

- Conocer detalladamente el funcionamiento de la bomba centrífuga.
- Calcular el punto de funcionamiento de la bomba cuando la conexión sea para una sola, en serie y en paralelo.
- Visualizar los valores de las variables de la o las bomba(s) centrífugas por medio del software LabVIEW.
- Comparar los valores obtenidos en el software con respecto a los observados

EQUIPO



- Banco de pruebas de las bombas centrífugas instaladas en serie y paralelo.
- Módulo de adquisición de datos:
- NI USB 6009.
- Fuente de alimentación.
- Transmisores de presión y sensores de flujo:
- TURCK PT100, PT200
- Sensor de flujo GF2536
- Computadora con Software LabVIEW.

MARCO TEÓRICO:

Una bomba centrífuga es una máquina que transforma energía mecánica en energía hidráulica. Este tipo de bomba nos permite trasladar fluido, ya que al ingresar el fluido por el centro del rodete o impulsor, el mismo que se encuentra constituido por alabes que al girar produce una fuerza centrífuga capaz de elevar la presión del líquido, haciendo que este se impulse hacia el exterior.

- **Caudal [Q].** El valor de caudal es arrojado por el sensor de flujo que es de tipo paleta en el programa se lo aprecia de forma directa.

$$Q = \frac{V}{t}$$

Dónde: $V = \text{volumen}; [m^3];$
 $t = \text{Tiempo}; [s]$

- **Densidad (ρ).**

$$\rho = \frac{M}{V}$$

Dónde: $M = \text{Masa}; [kg]$
 $V = \text{Volumen}; [m^3]$

- **Ecuación de continuidad:**

$$Q_1 = Q_2$$

$$A_1 * v_1 = A_2 v_2$$

Dónde:

Q : Caudal [m^3/s]

A : Área [m^2]

v : Velocidad [m/s^2]

- ***Balance de Energía:***

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} - H_{r1-2} = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Dónde:

P : Presión

Z : Altura

H_{r1-2} : Pérdidas primarias entre 1 y 2

v : Velocidad

ρ : Densidad

g : Gravedad

- **Ecuación general de las pérdidas primarias o Ecuación de Darcy – Weisback**

$$Hr = \lambda \frac{L * v^2}{D * 2g}$$

Dónde:

Hr = Pérdidas de carga primaria.

λ = Coeficiente de pérdida de carga primaria.

L = Longitud de la tubería.

Di = Diámetro interno de la tubería.

v = Velocidad media del fluido.

Siendo λ adimensional la función f de la ecuación deberá ser una función de variables adimensionales. En efecto, el análisis dimensional demuestra que:

$$\lambda = f\left(\frac{\rho * v * Di}{\mu}, \frac{\varepsilon}{Di}\right)$$

Dónde:

$$\left(\frac{\varepsilon}{Di}\right) = \text{Rugosidad relativa.}$$

$$\left(\frac{\rho * v * Di}{\mu}\right) = \text{Número de Reynolds.}$$

En régimen laminar λ no es función de la rugosidad y se calcula con la ecuación.

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad \text{Cuando } Re \leq 2000$$

O con la ecuación de Fanno: Si $5 * 10^3 \leq Re \leq 10^8$ y $10^{-6} \leq \varepsilon / D \leq 10^{-2}$

$$\lambda = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{k}{3.7d}\right) + \left(\frac{5.74}{Re^{0.90}}\right)\right]^2}$$

- **Pérdidas secundarias:**

$$h_{pa} = k \frac{v^2}{2g}$$

Dónde:

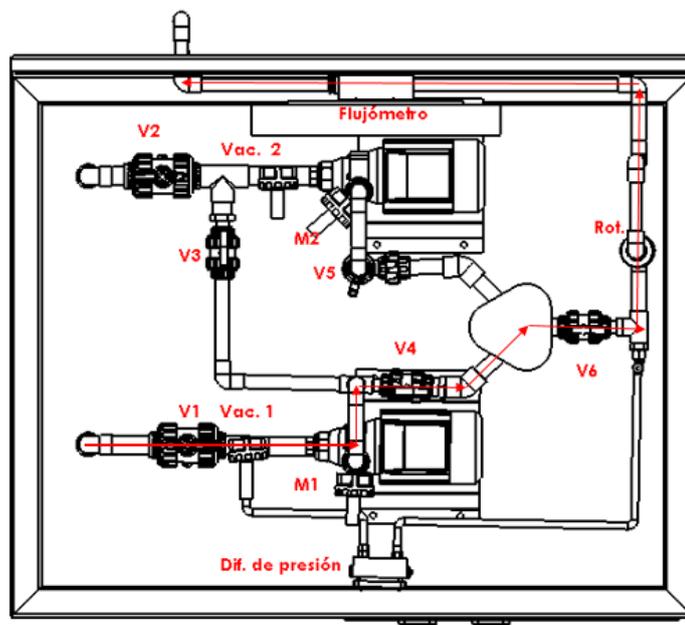
h_{pa} = Pérdida de carga secundaria.

k = Coeficiente adimensional de pérdida de carga secundaria.

v = Velocidad media en la tubería, si se trata de codos, válvulas, etc.

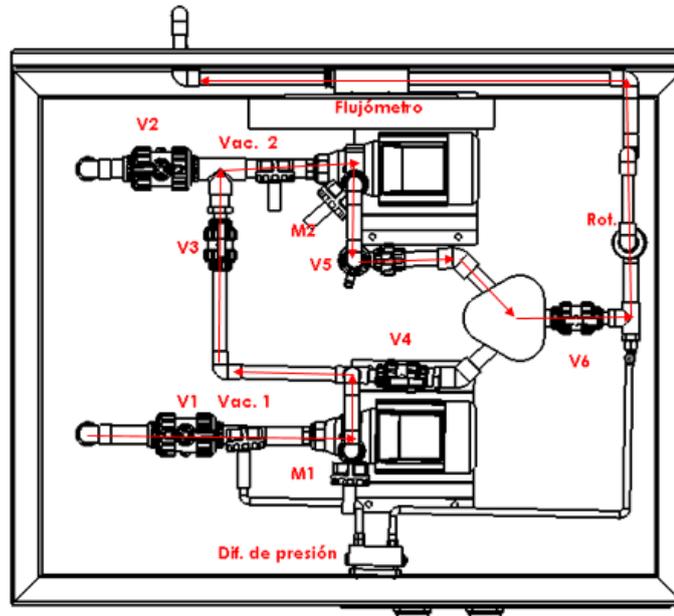
SISTEMA PARA UNA SOLA BOMBA.

Al estar encendida la bomba instantáneamente gira su rodete, los mismo que generan un vacío en la entrada de la boca del rodete, esto provoca que el líquido sea impulsado hacia afuera. Es uno de los métodos más usados como para el abastecimiento de líquido para un hogar promedio, además su instalación es sencilla, posee bajo costo inicial, no ocupan mayor tamaño.

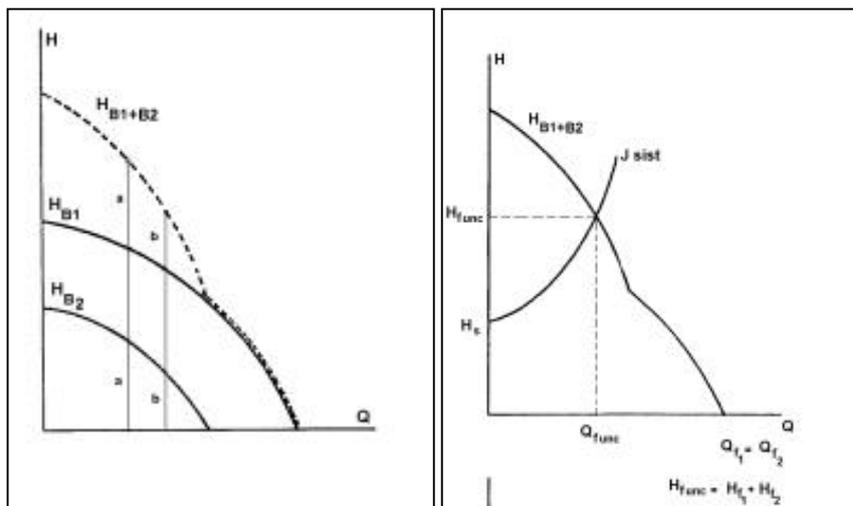


SISTEMA EN SERIE

Este tipo de sistema se utiliza para elevar un mismo caudal a distintas alturas, o a su vez para impulsar un determinado caudal, venciendo grandes resistencias debidas a grandes longitudes de tubería.

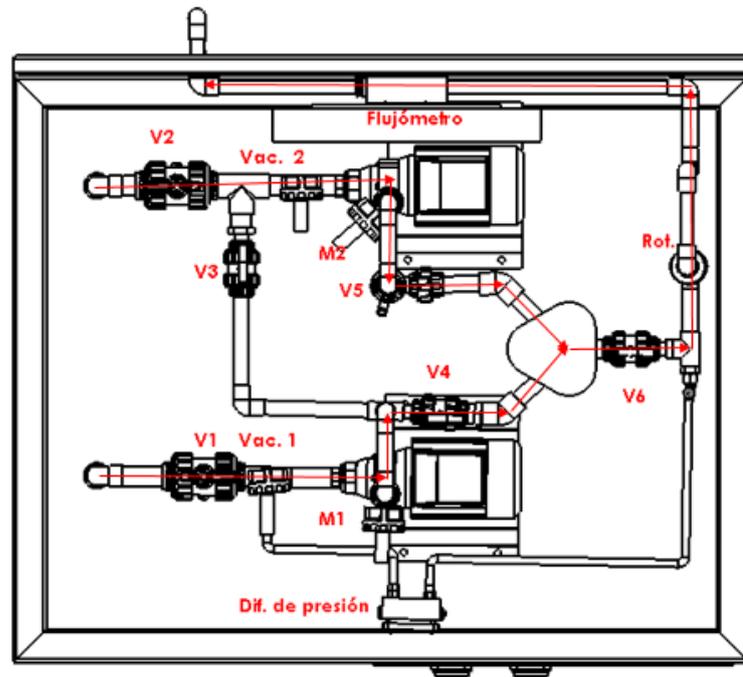


Las curvas características de un sistema de bombas en serie se representan en la siguiente figura:

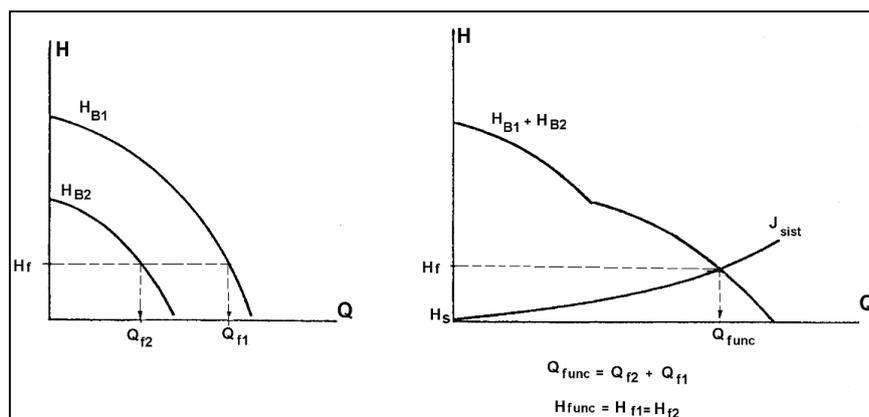


SISTEMA PARALELO

Es un sistema muy utilizado para el abastecimiento o remoción de grandes volúmenes de fluido. Un claro ejemplo tenemos en la figura, operando con bombas instaladas en paralelo.



El sistema en paralelo mantiene constante la presión de bombeo pero aumenta el caudal, esto se podrá observar en la curva que caracteriza a este sistema la misma que se representa en la figura:



PROCEDIMIENTO

- El recipiente que contiene el líquido que para nuestro caso es agua, está ubicada en la parte inferior del banco, previamente al desarrollo del laboratorio se debe verificar el nivel del líquido en el reservorio que se encuentre en la parte inferior del banco.
- Conectar la fuente de energía eléctrica de la bomba, módulo de adquisición de datos y el computador.
- Encender el computador e ingresar al programa de adquisición de datos de la bomba centrífuga dispuesta en serie y paralelo, ingresar los datos del grupo, el número de la práctica.
- Encender el sistema de bombeo y verificar que este cebado.
- Realizar las aperturas o cierres de las válvulas de acuerdo al tipo de conexión que se le quiera dar.
- Si se quiere realizar el funcionamiento para una sola bomba se debe encender solo la bomba 1 y cerrar la válvula 3.
- Para la conexión en serie se debe cerrar la válvula 4 y válvula 2 mientras las de más deben estar abiertas.
- Para la conexión en paralelo se cierra la válvula 3 mientras las de más deben estar abiertas.
- Proceder con la adquisición de datos a las distintas aperturas señaladas en la válvula seis, en este caso mostrara diez datos.

Ángulo de apertura	Porcentaje de apertura
0	100
10	90
20	80
30	70
40	60
50	50
60	40
70	30
80	20
90	0

- Ejecutar el programa.
- Una vez adquiridos los datos deseados pulsar en el programa de adquisición el botón generar reportes para obtener el archivo Excel.
- Abrir la válvula de globo para que la o las bombas regresen a su normalidad.
- Apagar la o las bomba(s) centrífuga (s)
- Desconectar el banco de pruebas de la fuente de energía.
- Vaciar el agua del reservorio luego de terminar cada práctica de laboratorio.

CÁLCULO TIPO:

TABLA DE RESULTADOS:

Los resultados obtenidos en la presente práctica se resumen en la tabla de datos, Ver Anexo D

CUESTIONARIO:

1. Graficar H vs Q
2. Graficar HB vs Q
3. Graficar el punto de funcionamiento.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

BIBLIOGRAFÍA

CAPÍTULO VI

6. CÁLCULO Y ANÁLISIS DE COSTOS.

6.1 Análisis de costos por operación y mantenimiento.

El capítulo se destaca los gastos realizados que en resumen es el resultado de la suma de los costos directos e indirectos necesarios para la tesis denominada automatización de la adquisición de datos en un banco de pruebas de bombas centrífugas instaladas en serie y paralelo.

6.2 Costos directos

Se considera los costos de materiales, mano de obra, utilización de equipos y gastos de transporte de materiales que se han utilizado en la adecuación del banco. Los instrumentos que se adquirieron se muestran en las presentes tablas.

6.2.1 Costos de accesorios y materiales.

Tabla 27. Costos de accesorios y materiales hidráulicos.

Elemento	Descripción	Unidad	Cantidad	Prec.Unit. (USD)	Costo (USD)
Codo 90°	RR H PP de 3/4"	Unidad	7	0,55	3,84
Válvula check	Pegler inglesa 1"	Unidad	1	9,50	9,50
Tee	IPS de 3/4"	Unidad	1	0,90	0,90
Teflón	Amarillo	Unidad	3	0,80	2,40
Tubo PVC	1"	m	2	23,42	46,84
Pegamento	plomo abro	Unidad	1	2,40	2,40
Unión	RR PP de 1"	Unidad	2	1,03	2,06
Llave esférica	SK 3/4"	Unidad	1	3,51	3,51
Unión universal	IPS de 3/4"	Unidad	1	1,30	1,30
Válvula de compuerta	3/4"	Unidad	1	5,00	5,00
Sellador	IPS de 50 cm2	Unidad	1	5,50	5,50
Tubería 3/4"	PVC	Unidad	1	7,50	7,50
Desoxidante	litro	Unidad	1	3,50	3,50
Pegamento	Dr. Bond	Unidad	2	0,80	1,60
Bisagra dorada	1/2"	Unidad	3	0,03	0,10
Unidad conectora	PMLX 3/4	Unidad	2	2,80	5,60
Organizador plástico	material tipo pet	Unidad	1	15,59	15,59

Tope de presión	material tipo pet	Unidad	6	0,15	0,87
Tee de cobre	1/2"	Unidad	4	6,75	27,00
Acrílico	protector	Unidad	1	18,00	18,00
Neplos	3/4"x3" y de 1"	Unidad	7	0,47	3,32
Neplos H.G.	1"X3X1/2"	Unidad	4	0,86	3,44
Rotámetro	1-10 GPM	Unidad	1	168,00	168,00
Tapón hembra	3/4 IPS	Unidad	2	0,45	0,90
Unión H.G	1"	Unidad	4	0,53	2,12
Manómetro	100 PSI	Unidad	1	6,04	6,04
Manómetro	200 PSI	Unidad	1	6,05	6,05
Tarrajá	varios	Unidad	1	4,48	4,48
				TOTAL	357,36

Fuente: Autores

Tabla 28. Costos de accesorios y materiales mecánicos

Elemento	Descripción	Unidad	Cantidad	Prec.Unit. (USD)	Costo (USD)
Pintura Sintética	Plus anaranjado F5RK 2012	gal	0,13	25,86	3,36
Pintura Sintética	Plus azul base 2012	Unidad	0,5	24,68	12,34
Sintético transparente	Brillo protector	Unidad	0,25	20,54	5,14
Sintético plus	blanco gl 2012	gal	0,21	23,09	4,85
Lija fandeli	número 180-2012	Unidad	1	0,35	0,35
Thinner	tipo laca	Litro	9	1,55	13,91
Botón # 32	plástico tipo metálico	Unidad	3	0,80	2,40
Llave mixta	Numero 10	Unidad	1	3,00	3,00
Llave mixta	numero 12	Unidad	1	0,80	0,80
Remache pop	1/8*1/2	Unidad	10	0,02	0,20
Remache pop	5/32*3*4	Unidad	10	0,03	0,30
Tornillo de estufa	5/32*3/4	Unidad	15	0,06	0,90
Broca acero	5/16 IRWIN	Unidad	1	4,25	4,25
Perno hexagonal	5/16*2 1/2"	Unidad	4	0,15	0,60
Rodela plana	5/16"	Unidad	20	0,03	0,60
Rodela de presión	5/16"	Unidad	8	0,02	0,16
Cerradura	tipo cajón	Unidad	2	0,90	1,80
Rodela de presión	1/4"	Unidad	8	0,02	0,16
Tornillo estufa	5/32"X1/2"	Unidad	5	0,05	0,25
Rodela plana	1/4"	Unidad	4	0,01	0,04
Botonera trifas	15 a metálica	Unidad	1	5,25	5,25
Fondo nitro	Gris (7200)	Litro	2	3,98	7,95
Llantas	Sintéticas	Unidad	4	5,00	20,00
Tool	N 0,6	Unidad	2	15,11	30,22
Sie sanflex		Unidad	1	1,43	1,43
Tuerca acero	mm RF 12*1,25	Unidad	4	0,19	0,76
Arandela de presión	M12	Unidad	4	0,08	0,34
				TOTAL	121,36

Fuente: Autores

Tabla 29. Costos de accesorios y materiales electrónicos.

Elemento	Descripción	Unidad	Cantidad	Prec. Unit. (USD)	Costo (USD)
Tarjeta de adquisición de datos NI USB 6009	NI USB-6009 Bus-Powered M Series Multifunction DAQ	Unidad	1	483,84	483,84
Adaptador 2"	Omega FP 5320 S	Unidad	1	138,00	138,00
Adaptador 3/4"	Omega FP 5307 M	Unidad	1	169,00	169,00
Envío y nacionalización	Adaptadores	Unidad	1	114,80	114,80
Cable flexible	#2250 FT 24AWG 4C SHLD PVC	Metros	3	2,00	6,00
Fuente de alimentación	RS-75-24	Unidad	1	26,32	26,32
Sensor de caudal	Omega FP 5600	Unidad	1	252,00	252,00
Sensor de caudal	Omega FP 5600	Unidad	1	330,00	330,00
Envío y nacionalización	Sensor de flujo	Unidad	1	204,40	204,40
Transmisor de presión	SITRANS P220 0-150 Psi	Unidad	2	235,65	471,30
Placa	Acondicionamiento de señal	Unidad	2	18,00	36,00
				TOTAL	2086,38

Fuente: Autores.

El costo total de accesorios y materiales para la automatización de la adquisición de datos en un banco de pruebas de bombas centrífugas instaladas en serie y paralelo; se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 30. Costo total de accesorios y materiales.

Materiales	Valor (USD)
Mecánicos	121,36
Hidráulicos	357,36
Electrónicos	2086,38
TOTAL	2565,09

Fuente: Autores

6.2.2 Costos por equipos y maquinaria.

Tabla 31. Costo de equipos y maquinaria.

Máquinas/Herramientas	Costo/Hora(USD)	Horas Equipo	Costo (USD)
Soldadora	3	4	12
Amoladora	2	10	20
Compresor	2	3	6
Taladro de mano	3	5	15
Taraja mecánica	4	1	4
Otros equipos			20
		TOTAL	77

Fuente: Autores

6.2.3 Costos de mano de obra.

Tabla 32 Costos de mano de obra.

Trabajador	Salario/Hora(USD)	Horas de trabajo	Costo (USD)
Electricista	3,05	1	3,05
Metalmecánico	9,33	24	224
Plomero	3	1	3,22
		TOTAL	230,27

Fuente: Autores

Tabla 33 Total de costos directos.

Costo por	Valor (USD)
Materiales	2565,09
Maquinaria y equipos	77,00
Mano de obra	230,27
TOTAL	2872,37

Fuente: Autores

6.3 Costos indirectos.

Los costos indirectos se considera los imprevistos, utilidad y costo de ingeniería que van entre el (8-15) % que involucra con la supervisión, diseño, adecuación, construcción

Tabla 34. Costos indirectos

Detalle	Cantidad (%CD)	Valor (USD)
Ingenieriles (Diseño y supervisión)	10%	287,24
Imprevistos	6%	172,34
Utilidad	0%	0
	TOTAL	459,58

Fuente: Autores

6.4 Costos totales.

Los costos totales se obtienen al sumar los costos directos más los costos indirectos, por lo tanto al realizar la sumatoria se tiene el valor de:

$$CT = CD + CI$$

$$CT = \$2\,872,37 + \$459,58$$

$$CT = \$3\,331,95$$

CAPÍTULO VII

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

7.1 Conclusiones.

La realización de pruebas del banco de bombas centrífugas instaladas en serie y paralelo en condiciones reales permitió observar el funcionamiento y comportamiento de las variables físicas que intervienen en el sistema de bombeo en serie y paralelo.

Se realizó las pruebas en el funcionamiento de una bomba y se apreció una disminución en el rendimiento por causa del tiempo de funcionamiento y el mantenimiento.

Al ejecutar las pruebas en el sistema de bombas instaladas en serie se determinó un claro incremento de la presión de bombeo, manteniéndose el caudal de las bombas constante; en cambio en el sistema de bombas instaladas en paralelo se estableció que el caudal aumentó, pero la presión de bombeo se mantiene constante.

Se desarrolló una adecuada selección del sensor de flujo, de los transductores de presión, de la tarjeta DAQ y del software LabVIEW, los cuales permitieron adquirir en tiempo real los datos, facilitando la comprensión y estudio del sistema de bombas instaladas en serie y paralelo.

Los datos y gráficas obtenidas en las pruebas realizadas, permitieron afirmar que en el sistema en serie se produce un incremento de la presión de bombeo y el caudal se mantiene constante, así como también en el sistema en paralelo aumenta el caudal y la presión de bombeo se mantiene constante.

Se determinó que el sistema de bombas instaladas en serie se utiliza en el instante que se desea alcanzar grandes alturas de bombeo a un caudal constante; así como también si los requerimientos de suministros de fluido son altos se utiliza un sistema de bombas instaladas en paralelo para precautelar que una sola bomba se sobre dimensione y trabaje en zonas no adecuadas.

7.2 Recomendaciones.

Para utilizar el banco de bombas centrífugas instaladas en serie y paralelo se debe realizarlo con la presencia del docente o asistente de cátedra del área, el mismo que proporcionara la documentación y datos necesarios para realizar el ensayo.

Para realizar las distintas prácticas se deberá utilizar equipo de seguridad y protección como el mandil y protección auditiva.

Realizar los ensayos verificando que los equipos se encuentren en buen estado y las tuberías no presente fugas, además observar que el agua en el reservorio no contenga objetos que puedan interrumpir el ensayo.

Adquirir los datos una vez que se observe en la pantalla del computador que las variables físicas medidas se mantenga constante.

Terminada la práctica evacuar el agua del reservorio para evitar acumulación de sedimentos.

BIBLIOGRAFÍA

GEORG FISCHER. 2015. GF Georg Fischer. [En línea] 2015. [Citado el: 15 de Mayo de 2015.]
<http://www.gfps.com/signet>.

Instrumentacion Industrial. TECNOFICIOS. [En línea] [Citado el: 6 de Mayo de 2015.]
<http://www.tecnoficio.com/docs/doc58.php>.

Academia.edu. Academia. edu. [En línea] [Citado el: 5 de Enero de 2015.]
http://www.academia.edu/8014551/BOMBA_CENTR%C3%8DFUGA_DEFINICI%C3%93N_Las_Bombas_cent%C3%ADfugas_tambi%C3%A9n_llamadas_Rotodin%C3%A1micas.

Bombas, Curso de. 2003. Bombas. [En línea] 27 de 02 de 2003. [Citado el: 5 de Enero de 2015.]
<https://adnervillarroel.files.wordpress.com/2013/05/bombas.pdf>.

Cataluña, Universidad Politecnica de. epsem. [En línea] Universidad Politecnica de Cataluña. [Citado el: 20 de Febrero de 2015.]
<http://epsem.upc.edu/~bombacentrifuga/castella/introduccio%20centrifuges.html>.

CHICALA, Carlos. 2004. *Adquisición de datos: medir para conocer y controlar.* s.l. : Soluciones en control, 2004.

CUADRADO, Edwin. 2010. *Mantenimiento Industrial. Riobamba.* 2010.

EBERLEIN, Sergio. 2012. Universidad Nacional de Rosario. [En línea] 2012. [Citado el: 30 de Abril de 2015.]
http://www.fceia.unr.edu.ar/eca2/Files/Apuntes/CONVERSORES%20TENSION%20-%20FRECUENCIA%20%20_V-2012-1_.pdf.

ESPINOZA, O. 2009. maqtool. [En línea] 13 de Noviembre de 2009. [Citado el: 15 de Noviembre de 2013.] <http://maqtool.wordpress.com/2009/11/13/bomba-de-agua-con-golpe-de-ariete/>.

HERNANDEZ, Pablo. 2005. editorial. dCA. [En línea] 21 de 12 de 2005. [Citado el: 18 de Noviembre de 2014.]
http://editorial.cda.ulpgc.es/instalacion/1_ABASTO/13_dimensionado/i132.htm.

ISO 9906. 2012. Bombas rotodinámicas. Ensayos de rendimiento hidráulico de aceptación. Niveles 1, 2 y 3. [En línea] 01 de Junio de 2012. [Citado el: 15 de Marzo de 2015.]
http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=41202.

LM331 Datasheet. 2015. Electronic Components Datasheet Search. [En línea] 2015. [Citado el: 25 de Abril de 2015.]
http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Datasheet%20lm331&gclid=CjwKEAajw8LOsBRDdub-swPW8riISJAAnmS01Uk-uxDBdGS94Gju-HizP-p8THtQ8wi-Nof4w734G8xoCapXw_wcB.

MATAIX, Claudio. 1986. *Mecánica de fluidos y Máquinas hidráulicas.* Madrid : Castillo, S.A., 1986.

MONJE, Sofia. 2004. Curso de Bombas. [En línea] 21 de 10 de 2004. [Citado el: 26 de 1 de 2015.]

NATIONAL INSTRUMENTS. 2015. NATIONAL INSTRUMENT. [En línea] National Instrument, 2015. [Citado el: 5 de Enero de 2015.] <http://www.ni.com>.

ORTEGA, Ing. Edwin J. 2013. [En línea] Universidad Santiago de Cali, 16 de Abril de 2013. [Citado el: 24 de Noviembre de 2014.] <http://www.slideshare.net/Edw1a/clasificacion-de-sensores>.

PEREZ, Ramiro V. Marbello. 2013. FUNCIONAMIENTO DE BOMBAS ROTODINÁMICAS. [En línea] 27 de 11 de 2013. [Citado el: 5 de 2015 de Enero.] <http://www.bdigital.unal.edu.co/11934/51/3353962.2007.Parte11.pdf>.

PROTON. 2009. PROTON. [En línea] 2009. [Citado el: 26 de Enero de 2015.] <http://proton.ucting.udg.mx/~redblade/Paginas/Robotica/Tareas/sensores/Sensores.html>.

RÉ Armando, Luciano Ré y los integrantes del Taller IntiEspinar - Curso. 2008. taller - inti. [En línea] 13 de Mayo de 2008. [Citado el: 16 de Febrero de 2015.] <http://www.taller-inti.org/download/pdf/1/16.08.05.Folleto%20bomba%20de%20ariete%20%20pulgadas%20s oldada.pdf>.

REALPE, German D. 2013. Medios y tecnología. [En línea] 2013. [Citado el: 25 de Noviembre de 2014.] http://operadormediosytecnologia.blogspot.com/p/blog-page_19.html.

SALAS, A. F. 2007. OpenCourseWare Universidad de Sevilla. [En línea] Copyright 2007, 2007. [Citado el: 26 de Enero de 2015.] http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%207.%20Bombas/tutorial_05.htm.

TURCK. 2015. Manuales de instrumentos. [En línea] 2015. [Citado el: 28 de Mayo de 2015.] <https://stevenengineering.com/pdf/46PRESSURE-TRANSMITTER.pdf>.

VALDIVIEZO. 2014. *Diseño e implementación de un manual de operación y mantenimiento para los laboratorios de turbomaquinaria, mecánica de fluidos, control automático e instrumentación de la Facultad de Mecánica.* RIOBAMBA : s.n., 2014.

VARITEL. 2015. Sensores de presion. [En línea] 2015. [Citado el: 28 de Mayo de 2015.] http://www.varitel.com/html/sensores_de_presion.html.

VENTIMILLA, Wiliam. 2012. ADQUISICION DE DATOS. [En línea] 17 de Octubre de 2012. [Citado el: 18 de Enero de 2015.] <http://wmantilla2012.blogspot.com/>.

Wikipedia. 2014. Wikipedia. [En línea] Fundación Wikimedia, Inc, 19 de Noviembre de 2014. [Citado el: 2 de Diciembre de 2014.] <http://es.wikipedia.org/wiki/Sensor>.

ANEXOS

Anexo F
Características NI USB 6009

General	
Familia de Productos	DAQ Multifunción
Tipo de Medida	Voltaje
Form Factor	USB
Sistema Operativo / Objetivo	Linux
	Mac OS
	Pocket PC
	Windows
Tipo de Aislamiento	None
Entrada Analógica	
Canales de una sola terminal	8
Canales Diferenciales	4
Resolución de Entrada Analógica	14 bits
Rango	-10 V - 10 V
Precisión	7.73 mV
Rango	-1 V - 1 V
Precisión	1.53 mV
Número de Rangos	8
Muestreo Simultáneo	No
Memoria Interna	512 B
Salida Analógica	
Número de Canales	2
Resolución	12 bits
Rango	0 V - 5 V
Precisión	7 mV
Rango	0 V - 5 V
Precisión	7 mV
Razón de Actualización	150 S / s
Capacidad de Corriente Simple	5 mA
Capacidad de Corriente Total	10 mA
E / S Digital	
Canales Bidireccionales	12
Temporización	Software
Niveles Lógicos	TTL
Filtros de Entrada Programables	No
¿Soporta Estados de Encendido Programables?	No
Entrada Digital	
Rango de Voltaje Máximo	0 V - 5 V
Salida Digital	
Capacidad de Corriente Simple	8.5 mA
Capacidad de Corriente Total	102 mA
Rango de Voltaje Máximo	0 V - 5 V
Contadores / Temporizadores	
Temporizador Watchdog	No
Contadores	1
Operaciones a Búfer	No
Debouncing / Glitch Removal	No
Frecuencia Máx. de la Fuente	5 MHz
Generación de Pulso	No
Tamaño	32 bits
Estabilidad de Tiempo	50 ppm
Niveles Lógicos	TTL
Especificaciones Físicas	
Longitud	8.51 cm
Ancho	8.18 cm
Altura	2.31 cm
Conector de E / S	Terminales de tornillo
Potencia USB	Energizado por Bus

Anexo G

Características y especificaciones de la fuente de alimentación



75W Single Output Switching Power Supply

RS-75 series



- Features :
- Universal AC input / Full range
- Protections: Short circuit / Overload / Over voltage
- Cooling by free air convection
- LED indicator for power on
- 100% full load burn-in test
- All using 105°C long life electrolytic capacitors
- Withstand 300VAC surge input for 5 second
- High operating temperature up to 70°C
- Withstand 5G vibration test
- No load power consumption<0.5W
- High efficiency, long life and high reliability
- 3 years warranty

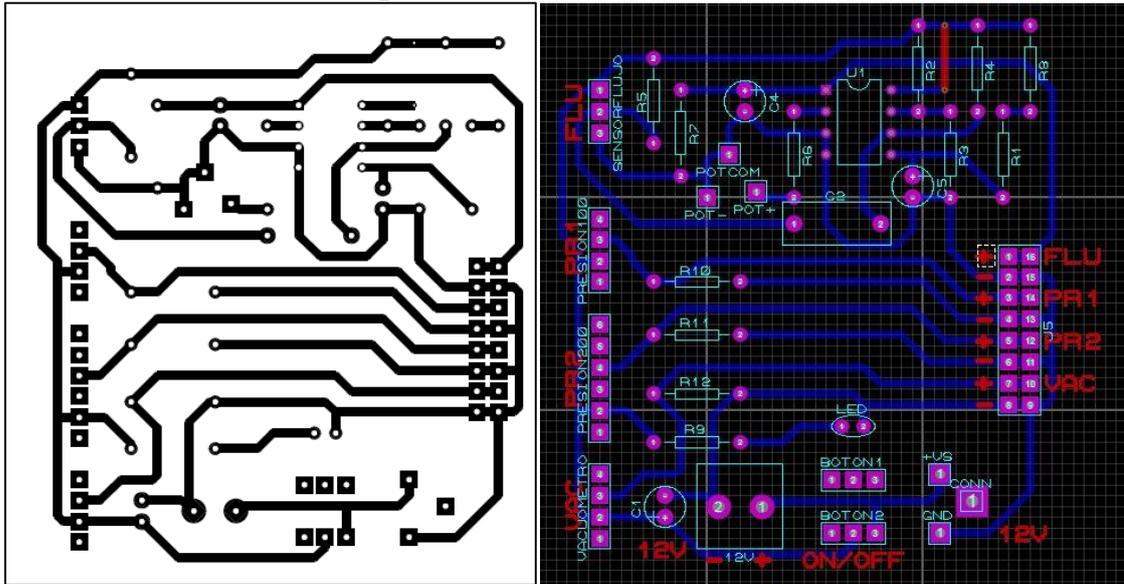


SPECIFICATION

MODEL	RS-75-3.3	RS-75-5	RS-75-12	RS-75-15	RS-75-24	RS-75-48	
OUTPUT	DC VOLTAGE	3.3V	5V	12V	15V	24V	48V
	RATED CURRENT	15A	12A	6A	5A	3.2A	1.6A
	CURRENT RANGE	0 ~ 15A	0 ~ 12A	0 ~ 6A	0 ~ 5A	0 ~ 3.2A	0 ~ 1.6A
	RATED POWER	49.5W	60W	72W	75W	76.8W	76.8W
	RIPPLE & NOISE (max.) Note.2	80mVp-p	80mVp-p	120mVp-p	120mVp-p	120mVp-p	200mVp-p
	VOLTAGE ADJ. RANGE	3V ~ 3.6V	4.75 ~ 5.5V	10.8 ~ 13.2V	13.5 ~ 16.5V	22 ~ 27.6V	42 ~ 54V
	VOLTAGE TOLERANCE Note.3	±3.0%	±2.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%
	LINE REGULATION Note.4	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%
	LOAD REGULATION Note.5	±2.0%	±1.0%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%
	SETUP, RISE TIME	500ms, 30ms/230VAC 1200ms, 30ms/115VAC at full load					
HOLD UP TIME (Typ.)	60ms/230VAC 14ms/115VAC at full load						
INPUT	VOLTAGE RANGE	88 ~ 264VAC 125 ~ 373VDC (Withstand 300VAC surge for 5sec. Without damage)					
	FREQUENCY RANGE	47 ~ 63Hz					
	EFFICIENCY (Typ.)	75%	79%	84.5%	86%	88.5%	89.5%
	AC CURRENT (Typ.)	2A/115VAC 1.2A/230VAC					
	INRUSH CURRENT (Typ.)	COLD START 40A/230VAC					
LEAKAGE CURRENT	<2mA / 240VAC						
PROTECTION	OVERLOAD	110 ~ 150% rated output power Protection type : Hiccup mode, recovers automatically after fault condition is removed					
	OVER VOLTAGE	3.8 ~ 4.45V	5.75 ~ 6.75V	13.8 ~ 16.2V	17.25 ~ 20.25V	27.6 ~ 32.4V	55.2 ~ 64.8V
ENVIRONMENT	WORKING TEMP.	-25 ~ +70°C (Refer to "Derating Curve")					
	WORKING HUMIDITY	20 ~ 90% RH non-condensing					
	STORAGE TEMP., HUMIDITY	-40 ~ +85°C, 10 ~ 95% RH					
	TEMP. COEFFICIENT	±0.03%/°C (0~50°C)					
	VIBRATION	10 ~ 500Hz, 5G 10min./1cycle, period for 60min. each along X, Y, Z axes					
SAFETY & EMC (Note 6)	SAFETY STANDARDS	UL60950-1, TUV EN60950-1 approved					
	WITHSTAND VOLTAGE	I/P-O/P:3KVAC I/P-FG:1.5KVAC O/P-FG:0.5KVAC					
	ISOLATION RESISTANCE	I/P-O/P, I/P-FG, O/P-FG:100M Ohms / 500VDC / 25°C / 70% RH					
	EMC EMISSION	Compliance to EN55022 (CISPR22) Class B, EN61000-3-2,-3					
OTHERS	EMC IMMUNITY	Compliance to EN61000-4-2,3,4,5,6,8,11, EN61000-6-2 (EN50082-2), heavy industry level, criteria A					
	MTBF	265Khrs min. MIL-HDBK-217F (25°C)					
	DIMENSION	129*97*38mm (L*W*H)					
NOTE	PACKING	0.41Kg; 30pcs/13.3Kg/0.86CUFT					
		1. All parameters NOT specially mentioned are measured at 230VAC input, rated load and 25°C of ambient temperature. 2. Ripple & noise are measured at 20MHz of bandwidth by using a 12" twisted pair-wire terminated with a 0.1uf & 47uf parallel capacitor. 3. Tolerance : includes set up tolerance, line regulation and load regulation. 4. Line regulation is measured from low line to high line at rated load. 5. Load regulation is measured from 0% to 100% rated load. 6. The power supply is considered a component which will be installed into a final equipment. The final equipment must be re-confirmed that it still meets EMC directives. For guidance on how to perform these EMC tests, please refer to "EMI testing of component power supplies." (as available on http://www.meanwell.com)					

Anexo H

Circuito para el acondicionamiento de señales



ELEMENTO	NOMBRE	VALOR	UNIDAD	ELEMEN TO	NOMBRE	VALOR	UNIDAD
R5	Resistencia	100	Ω	R14	Resistencia	10	K Ω
R6	Resistencia	1	K Ω	C1	Capacitor c.	0,1	uF
R7	Resistencia	10	K Ω	C2	Capacitor poliéster	68	nF
R8	Resistencia	10	K Ω	C4	Cap. Electrolítico	1	uF
R9	Resistencia	390	K Ω	U3	LM331		
R10	Resistencia	390	K Ω	U4	LM317T		
R11	Resistencia	390	K Ω	RV2	Potenciómetro	5	K Ω
R12	Resistencia	390	K Ω	J1 y v2	T block 2 pines		
R13	Resistencia	56	K Ω	J2	T block 3 pines		

Anexo I
Tabla de resultados

	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO				
	FACULTAD DE MECÁNICA				
	LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA HIDRÁULICA				
	BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS CENTRÍFUGAS INSTALADAS EN SERIE Y PARALELO				
					
Materia:	Turbomaquinaria Hidráulica		Fecha:		
Profesor:	Ing. Marco Ordoñez		Hora:		
Grupo:			Práctica N°		

CIERRE DE VALVULA	P(-)B1	P(-)B2	P(100)	P(200)	CAUDAL	ALTURA UTIL	ALTURA TOTAL DE BOMBEO
					Q	H	HB
GRADOS	KPa	KPa	Kpa	Kpa	m³/seg	mca	mca
0							
10							
20							
30							
40							
50							
60							
70							
80							
90							

Anexo J Facturas de adquisición



Chiriyacu Alto Gonzalo Martin 676 y
Ana Paredes de Alfaro
Telf.: (593-2) 2655 601 / 2641 598
Cel.: 099 770 7610
E-mail: guillemobracerob@bracero-ingenieros.com
Quito - Ecuador

FACTURA 001-001

Nº 000006057

AUT. SRI.: 1114612066

Válido su emisión hasta el 01/Abril/2015
FECHA AUT. S.R.I. 01/Abril/2014

Fecha: FC0000106057-EI0000000000
 Cliente: 2014/11/14 R.U.C.: 0609113555
EUGENIA MERCEDES PARRAJU
 Dirección: MALTAS 227 Y ESQUINALES Nota de Pedido N. 2607190
 Orden de Compra N. _____

CÓDIGO	CANT.	DESCRIPCIÓN	V. UNITARIO.	V. TOTAL
	1.00	Material PT01VR-13-LI3-HI141	262.620	262.62 I
	1.00	Material PT200R-13-LI3-HI141	262.620	262.62 I
	1.00	Material PT100R-13-LI3-HI141	262.620	262.62 I
	3.00	Material CABLE CONECTOR 5 METROS	22.450	67.35 I
	1.00	Material J-2536-PO	454.250	454.25 I
	1.00	Material PP48T007F	131.100	131.10 I
	2.00	Material UNIONES	9.000	18.00 I

CANT. UN MIL DOS CIENTOS SESENTA Y CUATRO 38/100

SUBTOTAL		
DESCUENTO		1,458.56
I.V.A. 0%		320.72
I.V.A. 12%		
TOTAL USD.		136.54
		1,274.38

DEBO Y PAGARE EN FAVOR DE INGUIBRA CIA. LTDA. EN EL PLAZO ESTIPULADO, EL VALOR CONSTANTE EN ESTA FACTURA, POR LA MERCADERIA DESTALLADA EN LA RUBRA, RECIBIDA EN ESTA FACTURA, A TOTAL Y ENTERA SATISFACCION. EN CASO DE MORA RECONOCERE ADENAS EL INTERES LEGAL VIGENTE CALCULADO A LA EPOCA EN QUE SE EFECTUE EL PAGO EFECTIVO. RENUNCIO DOMICILIO ME SUJETO A LOS JUICES COMPETENTES DE LA CIUDAD DE QUITO Y AL TRAMITE DEL JUICIO EJECUTIVO O VERBAL SUMARIO, A ELECCION DEL ACTOR, RENUNCIO A LA POSIBILIDAD DE SOLICITAR REVOLUCION DE LA MERCADERIA SIN PROTESTO.


 RECIBI CONFORME

Fecha de Entrega: _____ Preparado por: _____
 Condiciones de Pago: 2014/11/14 GECONDIA PANEZ
CREDITO 30 DIAS Vencimiento : 2014/12/14
 Aprobado por: _____

ASESORAMIENTO TÉCNICO

ORIGINAL B. ADQUIRENTE: 1ra. COPIA Ctl.; EMISSOR: 2da. COPIA Ctl.; SIN VALOR A CREDITO TRIBUTARIO



DataLights Cia. Ltda.
 Los Juglares 1-17 y Francisco de Orellana
 PBX: (593)7 288 2288 ■ Fax: (593)7 281 7800
 www.datalights.com.ec
 info@datalights.com.ec
 P.O. Box: 01.05.1879 ■ Cuenca- Ecuador

R.U.C.: 0190370844001

FACTURA N° 001-001-0003753

AUT. SRI.1114204528

"OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD"

FECHA: Cuenca, 23 de diciembre de 2014.
 CLIENTE: EUGENIA MERCEDES NARANJO VARGAS R.U.C./C: 0604113555
 DIRECCION: CALLES MALTAS 227 Y ESQUIMALES
 CIUDAD: RIOBAMBA
 A _____ DIAS VISTA SE PAGARA A LA ORDEN DE: _____
 ENTREGADO A: _____ FECHA PAGO: _____
 LUGAR PAGO: _____

ARTICULO	CANT.	V. UNITARIO	VALOR TOTAL
779321-22 USB-6009 Kit - USB-6009 and LabVIEW Student Edition for Windows.	1	462,30	462,30
SON: Quinientos diecisiete con 78/100			SUBTOTAL 12 % 462,30
			SUBTOTAL 0% -
			DESCUENTO -
			SUBTOTAL 462,30
			I.V.A. 12 % 55,48
			VALOR TOTAL 517,78

ESTIMADOS CLIENTES
 Según el Art. 130 LRTI, se recibirá la Retención hasta 5 días después de la emisión de la Factura, caso contrario se procederá al cobro total de la misma.

VENDEDOR  DataLights Cia. Ltda.

RECIBI CONFORME

QUE SE EMITE EN COPIA ORIGINAL Y EN COPIAS EN GRÁFICAS "D.O." TEL. 2835207 R.U.C. 0102054863001 AUT. 2105
 EMSOR 21-ENERO-2014 CADUCA 27-ENERO-2016 TIRAJE: 5001-4900 ORIGINAL: ADQUIRENTE - COPIA ROSADA: EMSOR - COPIA VERDE: COPIA SIN VALOR PARA EFECTOS TRIBUTARIOS

PLANOS