



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **“AUTOMATIZACIÓN DE LA ADQUISICIÓN DE DATOS PARA EL BANCO DE PRUEBAS DE LA BOMBA AXIAL DEL LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA HIDRÁULICA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”**

**MAKABENTA DE PEDRO ZIEGFRIED  
PORTERO PADILLA EDUARDO PABLO**

## **TRABAJO DE TITULACIÓN**

Previa a la obtención del Título de:

## **INGENIERO MECÁNICO**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2015**

---

**APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

2013-07-30

Yo recomiendo que el Trabajo de titulación preparado por:

**MAKABENTA DE PEDRO ZIEGFRIED  
PORTERO PADILLA EDUARDO PABLO**

Titulado:

**“AUTOMATIZACIÓN DE LA ADQUISICIÓN DE DATOS PARA EL BANCO DE  
PRUEBAS DE LA BOMBA AXIAL DEL LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA  
HIDRÁULICA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”**

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

**INGENIERO MECÁNICO**

---

Ing. Carlos Santillán Mariño  
**DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Dr. Marco Haro Medina.  
**DIRECTOR DE TESIS**

---

Ing. Pablo Montalvo Jaramillo.  
**ASESOR DE TESIS**

---

**EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** MAKABENTA DE PEDRO ZIEGFRIED

**TRABAJO DE TITULACIÓN:** “AUTOMATIZACIÓN DE LA ADQUISICIÓN DE DATOS PARA EL BANCO DE PRUEBAS DE LA BOMBA AXIAL DEL LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA HIDRÁULICA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”

**Fecha de Examinación:** 2015-12-10

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

<b>COMITÉ DE EXAMINACIÓN</b>	<b>APRUEBA</b>	<b>NO APRUEBA</b>	<b>FIRMA</b>
Ing. Edwin Viteri Núñez <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Dr. Marco Haro Medina <b>DIRECTOR DE TESIS</b>			
Ing. Pablo Montalvo Jaramillo <b>ASESOR</b>			

\* 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. Edwin Viteri Núñez  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

---

## **EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** PORTERO PADILLA EDUARDO PABLO

**TRABAJO DE TITULACIÓN:** “AUTOMATIZACIÓN DE LA ADQUISICIÓN DE DATOS PARA EL BANCO DE PRUEBAS DE LA BOMBA AXIAL DEL LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA HIDRÁULICA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”

**Fecha de Examinación:** 2015-12-10

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

<b>COMITÉ DE EXAMINACIÓN</b>	<b>APRUEBA</b>	<b>NO APRUEBA</b>	<b>FIRMA</b>
Ing. Edwin Viteri Núñez <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Dr. Marco Haro Medina <b>DIRECTOR</b>			
Ing. Pablo Montalvo Jaramillo <b>ASESOR</b>			

\* 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. Edwin Viteri Núñez  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El Trabajo de Titulación 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.

---

**Ziegfried Makabenta de Pedro**

---

**Eduardo Pablo Portero Padilla**

## **DECLARACION DE AUTENTICIDAD**

Nosotros, Ziegfried Makabenta de Pedro y Eduardo Pablo Portero Padilla, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

---

**Ziegfried Makabenta de Pedro**  
Cédula de ciudadanía: 171066780-7

---

**Eduardo Pablo Portero Padilla**  
Cédula de ciudadanía: 150063583-2

## **DEDICATORIA**

El desarrollo de esta tesis se lo dedico a mi padre Freddie y madre Eugenia por todo su amor, su orientación y apoyo incondicional, a mis hermanos Eureka, Frederick y Emily por ser los mejores compañeros de vida, a mis sobrinos, a mis tías Fe y Wela y a todos mis familiares por toda la confianza y apoyo que han hecho que pueda alcanzar esta meta.

A mis compañeros con los cuales he compartido las aulas, amigos que estuvieron conmigo en momentos buenos y malos. A todos aquellos que de alguna manera me apoyaron que sin su ayuda habría sido imposible desarrollar este Trabajo de Titulación, les agradezco infinitamente.

**Ziegfried Makabenta de Pedro**

El presente trabajo de titulación se lo dedico a mi mami Rosita, a mis hermanos Jaime, Patricio, Karina y Cándida, a mis sobrinos Anthony, José, Anahí, Analíz, Clio, Ariana y Jaime, a mi cuñado Jaime, en si a todos y cada uno de mis familiares, amigos y a todos aquellos quienes me brindaron su ayuda cuando más lo necesitaba tanto económica como moralmente.

A mis amigos, compañeros, a mis maestros, quienes sin su ayuda no hubiera podido desarrollar este Trabajo de Titulación. A todos ellos les agradezco desde lo más profundo de mi alma y corazón.

**Eduardo Pablo Portero Padilla**

## **AGRADECIMIENTO**

Gracias a Dios por darme la fortaleza y serenidad para seguir adelante a pesar de las dificultades, por brindarme la dicha de una vida llena de aprendizaje, de experiencias con caídas y victorias, que me han permitido llegar hasta este momento tan importante de mi formación. Quiero agradecer a mis padres por su esfuerzo incansable, por sus enseñanzas, que me han hecho valorar la importancia de la familia y del trabajo. A mis familiares, amigos y compañeros, que de alguna manera me ayudaron a culminar esta etapa de mi vida.

Un sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica en la cual me he formado como profesional, al personal administrativo, a cada uno de mis maestros que con paciencia y vocación nos inculcaron sus conocimientos, en especial al Director y Asesor de este Trabajo de Titulación.

**Ziegfried Makabenta de Pedro**

Principalmente quiero agradecer a Dios, por darme el don de la vida una vez más, ser mi fortaleza en mis momentos de desánimo, debilidad y por brindarme una vida llena de mucho aprendizaje, experiencia, felicidad, dificultades, contratiempos las cuales he sabido superar y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación como profesional.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, y principalmente a la Escuela de Ingeniería Mecánica, prestigiosa, celebre Universidad y su respectiva Escuela, por toda la enseñanza que me impartió en sus aulas, laboratorios y la preparación para un futuro competitivo, también a mis maestros en especial al Director: Dr. Marco Haro y muy especialmente al Asesor: Ing. Pablo Montalvo de este Trabajo de Titulación, que han contribuido a forjar en mí un futuro competitivo y de éxito.

**Eduardo Pablo Portero Padilla**



## CONTENIDO

	Pág.
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	
1.1. Antecedentes .....	1
1.2. Justificación .....	2
1.2.1. <i>Técnica</i> .....	2
1.2.2. <i>Económica</i> .....	2
1.2.3. <i>Académica</i> .....	2
1.3. Objetivos .....	3
1.3.1. <i>Objetivo general</i> .....	3
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	3
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	
2.1. Definición de la bomba axial .....	4
2.1.1. <i>Bombas de flujo axial</i> .....	4
2.1.2. <i>Bomba axial</i> .....	4
2.1.3. <i>Concepto</i> .....	4
2.2. Aplicación de la bomba axial .....	5
2.3. Tipos de bomba axial .....	5
2.4. Accesorios de la bomba axial .....	6
2.4.1. <i>Gibault</i> .....	6
2.4.2. <i>Codos</i> .....	7
2.4.3. <i>Codos de 90</i> .....	7
2.4.4. <i>Codos 45</i> .....	8
2.4.5. <i>Bridas compactas</i> .....	9
2.4.6. <i>Tubería</i> .....	10
2.4.7. <i>Válvula de mariposa</i> .....	10
2.4.8. <i>Manómetro de presión</i> .....	11
2.4.9. <i>Vacuómetros</i> .....	12
2.4.10. <i>Diafragma (Placa orificio)</i> .....	13
2.4.11. <i>Rectificador de flujo o Enderizador de vena para líquidos limpios</i> .....	15
2.5. Definición e importancia de automatización .....	17
2.6. Elementos y tipos de automatización .....	18
2.7. Estudio de las variables a ser medidas .....	19
2.7.1. <i>Presión en la succión</i> .....	19
2.7.2. <i>Presión de descarga</i> .....	19
2.7.3. <i>Caudal</i> .....	19
2.7.4. <i>Número de revoluciones del motor eléctrico</i> .....	20
2.8. Descripción del sistema de adquisición de datos .....	21
2.9. Visualización de datos por medio del software LabVIEW .....	22
<b>3. PUESTA A PUNTO DEL BANCO DE PRUEBAS DE LA BOMBA AXIAL</b>	
3.1. Condiciones anteriores en el que se encontraba el banco de pruebas .....	24
3.1.1. <i>Motor</i> .....	25
3.1.2. <i>Bomba axial</i> .....	25
3.1.3. <i>Tanque</i> .....	25
3.1.4. <i>Tubería y codos</i> .....	26
3.1.5. <i>Conexión tanque – bomba</i> .....	26
3.1.6. <i>Conexión bomba – tubería</i> .....	27
3.1.7. <i>Válvula de compuerta</i> .....	27
3.1.8. <i>Empotramiento de la bomba y motor</i> .....	27
3.2. Mantenimiento y readecuación del banco de pruebas de la bomba axial .....	28
3.2.1. <i>Motor</i> .....	28

3.2.2.	<i>Bomba axial</i> .....	29
3.2.3.	<i>Tanque</i> .....	29
3.2.4.	<i>Tubería y codos</i> .....	30
3.2.5.	<i>Bridas compactas y placa orificio</i> .....	30
3.2.6.	<i>Conexión tanque – bomba</i> .....	31
3.2.7.	<i>Conexión bomba – tubería</i> .....	31
3.2.8.	<i>Válvula de mariposa</i> .....	32
3.2.9.	<i>Base para empotramiento</i> .....	32
3.2.10.	<i>Rectificador de flujo o Enderezador de vena líquida</i> .....	32
3.2.11.	<i>Salida del tanque</i> .....	33
3.2.12.	<i>Mesa</i> .....	33
3.2.13.	<i>Tubería de drenaje</i> .....	33
3.2.14.	<i>Protección contra salpicaduras de agua</i> .....	34
3.3.	<i>Puesta a punto del banco de pruebas de la bomba axial</i> .....	34
<b>4.</b>	<b>PROYECCIÓN Y SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS E INSTRUMENTOS DEL BANCO DE PRUEBAS DE LA BOMBA AXIAL</b>	
4.1.	<i>Descripción del banco de pruebas de la bomba axial</i> .....	35
4.2.	<i>Evaluación del banco de pruebas de la bomba axial</i> .....	35
4.3.	<i>Sensores para la medición de variables</i> .....	36
4.3.1.	<i>Medición de presión vacuométrica o de vacío (Sensor PX209-30V15G5V, marca OMEGA)</i> .....	36
4.3.2.	<i>Medición de presión manométrica (Sensor PX309-030GV, marca OMEGA)</i> .....	36
4.3.3.	<i>Medición de caudal (Sensor PX409-001DWUV, marca OMEGA)</i> .....	36
4.3.3.1.	<i>Placa orificio</i> .....	37
4.3.3.2.	<i>Vena contracta</i> .....	39
4.3.4.	<i>Medición de número de revoluciones (Sensor inductivo M18 PNP Bi8U-EM18-AP6X-H1141, marca TURCK)</i> .....	39
4.3.5.	<i>Medición de torque (Celda de carga de flexión MODELO 102, marca UTILCELL)</i> .....	39
4.4.	<i>Datos técnicos de equipos e instrumentos</i> .....	39
4.4.1.	<i>Sensor PX209-30V15G5V</i> .....	39
4.4.2.	<i>Sensor PX309-030GV</i> .....	41
4.4.3.	<i>Sensor PX409-001DWUV</i> .....	41
4.4.4.	<i>Sensor inductivo M18 PNP Bi8U-EM18-AP6X-H1141</i> .....	43
4.4.5.	<i>Celda de carga de flexión MODELO 102</i> .....	44
4.4.6.	<i>Módulo de Adquisición Multifunción NI USB 6008</i> .....	45
4.5.	<i>Medidores de las variables y datos</i> .....	57
4.5.1.	<i>Características de los transductores de presión salida tipo cable (PX209)</i> .....	57
4.5.2.	<i>Características de los transductores de presión salida tipo cable (PX309)</i> .....	58
4.5.3.	<i>Características de los transductores de presión salida tipo cable (PX409)</i> .....	58
4.5.4.	<i>Sensor inductivo M18 PNP Bi8U-EM18-AP6X-H1141</i> .....	59
4.5.5.	<i>Celda de carga de flexión MODELO 102</i> .....	59
<b>5.</b>	<b>MONTAJE DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS EN EL BANCO DE PRUEBAS DE LA BOMBA AXIAL</b>	
5.1.	<i>Instalación de accesorios en el banco de pruebas de la bomba axial</i> .....	62
5.2.	<i>Instalación de sensores</i> .....	62
5.3.	<i>Automatización del banco de pruebas de la bomba axial</i> .....	66
5.4.	<i>Representación de variables medidas en el programa LabVIEW</i> .....	78
5.4.1.	<i>Datos técnicos del equipo</i> .....	79
5.4.2.	<i>Variables medidas por los instrumentos utilizados</i> .....	79
<b>6.</b>	<b>FASE EXPERIMENTAL</b>	
6.1.	<i>Realización de pruebas</i> .....	82

6.2.	Resultados de pruebas.....	83
6.3.	Análisis de resultados.....	84
<b>7.</b>	<b>ANÁLISIS DE COSTOS</b>	
7.1.	Costos directos.....	88
7.2.	Costos indirectos.....	89
7.3.	Costo total.....	89
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
8.1.	Conclusiones.....	90
8.2.	Recomendaciones.....	91

**BIBLIOGRAFÍA**

**ANEXOS**

**PLANOS**

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1	Características de las bombas ..... 4
2	Mediciones de flujo* ..... 15
3	Tiempo y volumen real de la bomba axial ..... 36
4	Características principales del sensor inductivo ..... 43
5	Especificaciones del sensor inductivo ..... 44
6	Convenciones de nomenclatura por tipo de controlador de salida digital ..... 45
7	Asignaciones de las terminales análogas ..... 46
8	Asignaciones de las terminales digitales ..... 47
9	Descripción de señales ..... 47
10	Precisión absoluta a escala completa, un solo terminal ..... 54
11	Precisión absoluta a escala completa, diferencial ..... 55
12	Niveles lógicos digitales ..... 56
13	Características de la celda de carga MODELO 102 ..... 60
14	Promedio total de los datos tomados para el sensor PX309-030GV ..... 68
15	Promedio total de los datos tomados para el sensor PX209-30V15G5V ..... 71
16	Promedio total de los datos tomados para la celda de carga de flexión ..... 75
17	Lectura de datos y cálculos del banco de pruebas de la bomba axial ..... 83
18	Costos de accesorios y materiales ..... 88
19	Costo de maquinaria y equipos utilizados ..... 89
20	Costos directos ..... 89
21	Costos indirectos ..... 89

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1	Valores de velocidad específicos para los diferentes diseños de bombas..... 5
2	Clasificación de la bomba axial ..... 6
3	Gibault asimétrico ..... 6
4	Codo 90° ..... 7
5	Codo 45° ..... 8
6	Bridas compactas ..... 9
7	Tubería instalada con sus respectivos accesorios ..... 10
8	Válvula de mariposa ..... 11
9	Manómetro con tubo de Bourdon ..... 12
10	Manómetro de Bourdon ..... 12
11	Vacuómetro de Bourdon ..... 13
12	Instalación de placa orificio ..... 13
13	Efecto de vena contracta ..... 14
14	Distintos tipos de orificios..... 14
15	Enderezador de vena líquida ..... 16
16	Longitud especificada del enderezador de vena líquida ..... 17
17	Gráfica para la determinación del ángulo (unidades en centímetros) ..... 20
18	Descripción del sistema de adquisición de datos ..... 21
19	Estado anterior del banco de pruebas de la bomba axial ..... 24
20	Estado anterior de la bomba axial ..... 24
21	Bomba axial ..... 25
22	Sello mecánico y rodamiento de bolas ..... 25
23	Estado anterior del tanque reservorio ..... 26
24	Accesorios anteriores del banco de pruebas de la bomba axial ..... 26
25	Conexión bridada entre el tanque y la bomba axial ..... 27
26	Estado anterior de la válvula de mariposa ..... 27
27	Empotramiento al suelo anterior del banco de pruebas de la bomba axial ..... 28
28	Condición actual del banco de pruebas de la bomba axial ..... 28
29	Bomba axial ..... 29
30	Estado actual del tanque..... 30
31	Disposición de la tubería y codos del banco de pruebas de la bomba axial ..... 30
32	Placa orificio ..... 31
33	Estado actual de la bomba axial con el motor ..... 31
34	Gibault ..... 32
35	Válvula de mariposa ..... 32
36	Enderezador de vena líquida ..... 33
37	Acondicionamiento de la descarga al tanque ..... 33
38	Protección contra salpicaduras de agua ..... 34
39	Dimensiones de la placa orificio (en milímetros) ..... 38
40	Maquinado de la placa orificio..... 38
41	Perfil de presión utilizando una placa orificio..... 39
42	NI USB 6008..... 45
43	NI USB 6008 (Vista lateral) ..... 45

44	Diagrama de aplicación con etiqueta de señal .....	46
45	Circuito de entrada analógica.....	48
46	Conexión de señales de tensión diferencial .....	49
47	Ejemplo de una medición diferencial de 20 V.....	49
48	Superación +10 V sobre AI en el retorno recortado de salida .....	49
49	Conexión de señal de voltaje sencilla - terminal.....	50
50	Circuito de salida analógica .....	50
51	Conexión de una carga .....	51
52	Ejemplo de conexión de una carga .....	52
53	Sensor PX209.....	58
54	Sensor PX309.....	58
55	Sensor PX409.....	59
56	Sensor inductivo .....	59
57	Celda de carga a flexión H100M (Vista superior) .....	61
58	Celda de carga MODELO 102 (Vista de frente) .....	61
59	Instalación del sensor PX209-30V15G5V .....	62
60	Instalación del sensor PX309-030GV.....	62
61	Ubicación de la vena contracta .....	63
62	Espitas de vena contracta.....	63
63	Instalación en el flujo de líquido .....	64
64	Instalación del sensor PX409-001DWUV.....	64
65	Instalación del sensor inductivo M18 PNP Bi8U-EM 18-AP6X-H1141.....	65
66	Ubicación de la celda de carga de flexión MODELO 102 .....	65
67	Equipo de calibración de manómetros neumáticos .....	66
68	Puerto de entrada analógico para el sensor PX309-030GV .....	67
69	Calibración del sensor PX309-030GV.....	67
70	Gráfica y ecuación resultante para el sensor PX309-030GV.....	68
71	Panel frontal para el sensor PX309-030GV.....	69
72	Diagrama bloque de programación para el sensor PX309-030GV .....	69
73	Puerto de entrada analógico para el sensor PX209-30V15G5V.....	70
74	Calibración del sensor PX209-30V15G5V .....	70
75	Gráfica y ecuación resultante para el sensor PX209-30V15G5V .....	71
76	Panel frontal para el sensor PX209-30V15G5V .....	72
77	Diagrama bloque de programación para el sensor PX209-30V15G5V.....	72
78	Puerto de entrada analógico para el sensor PX409-001DWUV .....	73
79	Calibración del sensor PX409-001DWUV .....	73
80	Panel frontal para el sensor PX409-001DWUV .....	74
81	Diagrama bloque de programación para el sensor PX409-001DWUV .....	74
82	Puerto de entrada analógico para la celda de carga de flexión MODELO 102 .....	75
83	Gráfica y ecuación resultante para la celda de carga MODELO 102.....	76
84	Panel frontal para la celda de carga de flexión MODELO 102.....	76
85	Diagrama bloque de programación para la celda de carga MODELO 102 .....	77
86	Placa para acoplamiento de señal para el sensor inductivo .....	77
87	Conexiones de los sensores a la tarjeta de adquisición y fuente de poder.....	78
88	Conexiones vistas de frente.....	78
89	Programa para el banco de pruebas de la bomba axial .....	82
90	Curvas para comparación Hm vs Q .....	85

## LISTA DE ABREVIACIONES

PVC	Policloruro de vinilo
AC	Asbesto cemento
HF	Hierro fundido
NI	National Instruments
CPVC	Policloruro de vinilo clorado
PLC	Controlador Lógico Programable
PC	Personal computer
RAM	Random acces memo
TCP/IP	Transmission control protocol/internet protocol
SCADA	Supervisory Control and Data Adquisition
TIA	Total Integrated Automation

## LISTA DE ANEXOS

- A** Guía de laboratorio.
- B** Mantenimiento preventivo para el banco de pruebas de la bomba axial.
- C** Accesorios mecánicos e hidráulicos.
- D** Hojas de calibración y certificación de los sensores de presión.
- E** Manual de operaciones y mantenimiento.
- F** Acta de donación voluntaria de la Automatización de la Adquisición de Datos para Banco de Pruebas de la Bomba Axial del Laboratorio de Turbomaquinaria Hidráulica.



## **RESUMEN**

En este trabajo se realizó la Automatización de la Adquisición de Datos para el Banco de Pruebas de la Bomba Axial del Laboratorio de Turbomaquinaria Hidráulica de la Facultad de Mecánica.

Se inicia con la adecuación de accesorios hidráulicos del banco de pruebas de la bomba axial. Para luego seguir con la automatización que fue hecha con el objetivo de ayudar a los estudiantes para una mejor comprensión, además de que conozcan la funcionalidad de este tipo de bombas. Se utilizaron los sensores PX209-30V15G5V, PX309-030GV, PX409-001DWUV, celda de carga de flexión MODELO 102 y el sensor inductivo M18 PNP Bi8U-EM18-AP6X-H1141.

Los sensores de la serie PX sirven para medir presiones de succión, descarga y diferencial, la celda de carga de flexión para medir la fuerza y el sensor inductivo para la medición del número de vueltas del motor eléctrico, todos los dispositivos fueron acoplados y calibrados por medio de la tarjeta de adquisición multifunción NI USB-6008 y una fuente de poder de 12 VDC. Finalmente se presentan los manuales de operación, conservación y seguridad.

## **ABSTRACT**

In this project the Automation of Data Acquisition was undertaken for the Axial Pump Testing Bench in the Hydraulic Turbomachinery Laboratory in the Mechanics Faculty.

The project started with the adjustment of testing bench axial pump hydraulic accessories. Following this, the automation process continued, this was carried out with the aim of helping students to gain greater comprehension, and also gave students the opportunity to learn the functionality of these types of pumps. PX209-30V15G5V, PX309-030GV and PX409-001DWUV sensors were used, along with a MODEL 102 load sensor and the inductive sensor M18 PNP Bi8U-EM18-AP6X-H1141.

The PX series sensors were used to measure suction pressure, discharge and differential, the load sensor was used to measure force and the inductive sensor for measuring the number of electric motor revolutions. All devices were coupled and calibrated through the multifunction acquisition card NI USB-6008 and a 12 VDC power source. Lastly, the operating, conservation and safety manuals were presented.

## **CAPÍTULO I**

### **1. INTRODUCCIÓN**

#### **1.1. Antecedentes**

Cuando comenzaba el desarrollo de las primeras máquinas, se realizaba la medición de variables en forma manual por medio de indicadores ubicados en diferentes equipos, donde el operario era el encargado de diagnosticar el estado del proceso, que estaba expuesto a cometer errores, dando como resultado una baja en la productividad.

Con el surgimiento de la revolución industrial se ha visto la necesidad de innovar y mejorar por medio de sistemas automatizados, que disminuyen la necesidad de tener presente en el lugar del proceso al operario, así como los riesgos que conllevan, además de mejorar la precisión en la toma de datos, dando como resultado mayor producción y desarrollo en muchos países.

Hoy en día gracias a los avances tecnológicos se ha realizado la automatización de muchos equipos con la mejora en el control de calidad por medio de instrumentos de medición y control, para optimizar su competitividad y eficiencia.

Además como deben tener en conocimiento las respectivas autoridades de la Facultad de Mecánica, durante todo el tiempo que se ha continuado con esta carrera que es Ingeniería Mecánica, no se ha realizado la debida automatización de ciertas máquinas de Turbomaquinaria Hidráulica, es por esta principal razón que nosotros nos hemos propuesto facilitar en algo el aprendizaje de los futuros Ingenieros Mecánicos implementando este Laboratorio de la asignatura que se mencionó antes con la "AUTOMATIZACIÓN DE LA ADQUISICIÓN DE DATOS PARA EL BANCO DE PRUEBAS DE LA BOMBA AXIAL DEL LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA HIDRÁULICA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA" esperando que sea una ayuda muy fundamental en el desarrollo de los estudiantes para hacerlo más interactivo, entretenido, moderno y académico según las tecnologías actuales.

Por esta razón se procedió a firmar un acta de compromiso, en la cual se estipula que la Facultad de Mecánica ni la Escuela de Ingeniería Mecánica, nos iban a financiar este trabajo de titulación ya que seríamos nosotros los que correríamos con todos los gastos.

## **1.2. Justificación**

**1.2.1. Técnica.** Los conocimientos adquiridos teóricamente y su aplicación en laboratorios desactualizados, ha sido una deficiencia para el desarrollo técnico de los estudiantes de Ingeniería que tienen grandes dificultades en la adaptación en el campo laboral.

La ESPOCH tiene como objetivo, la formación de profesionales con talento humano, competitivos con educación de alto nivel y capacidades para el desarrollo del país, en la que se enfrenta a circunstancias de diferentes áreas de la Ingeniería que se presentan en las grandes industrias a nivel nacional e internacional y en la vida diaria.

La Facultad de Mecánica ha impulsado por medio de los avances tecnológicos la automatización de los bancos de pruebas para generar y perfeccionar la formación académica y realizar investigación formativa en el área de Turbomaquinaria Hidráulica en los laboratorios.

**1.2.2. Económica.** La inversión en educación, recursos científicos y tecnológicos es uno de los pilares para el progreso económico de la sociedad como también para cubrir las necesidades y demandas del país. Al tener los bancos de pruebas en óptimas condiciones se puede realizar ensayos en las que se obtienen resultados muy significativos a las que se presentan en grandes sistemas, con la ventaja de que los ensayos a escala permiten reducir costos que en la vida real nos resultarían muy caros.

**1.2.3. Académica.** La importancia de la formación de los estudiantes de la Facultad de Mecánica exige que los Laboratorios de Turbomaquinaria Hidráulica como es la bomba axial sea funcional, con equipos e instrumentos debidamente actualizados para obtener resultados fiables y precisos, la misma que conlleva al desarrollo social en este mundo globalizado en la que los avances tecnológicos cada vez son más exigentes.

Cabe indicar que ni la Facultad de Mecánica, ni tampoco la Escuela de Ingeniería Mecánica invirtieron ningún capital, ya que todos los gastos corrieron por cuenta de los autores de este Trabajo de Titulación, ya que nos tocó a nosotros mismos el autofinanciarnos por nuestros medios, ya que el problema más grave que se presentó fue con los sensores de presión que no los encontramos en Ecuador y tuvimos que importarlos desde el Reino Unido.

### **1.3. Objetivos**

**1.3.1.** *Objetivo general.* Automatización de la Adquisición de Datos para el Banco de Pruebas de la Bomba Axial del Laboratorio de Turbomaquinaria Hidráulica de la Facultad de Mecánica.

**1.3.2.** *Objetivos específicos:*

- Describir el funcionamiento de la Bomba Axial.
- Realizar el respectivo mantenimiento, evaluar las condiciones físicas y mecánicas del banco de la Bomba Axial y ponerlo a punto.
- 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 Axial, al igual que su respectivo registro de mantenimiento.
- Determinar y elaborar el manual de operaciones con guías de laboratorio.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Definición de la bomba axial

**2.1.1.** *Bombas de flujo axial.* Son usadas generalmente para manejar grandes caudales, se fabrican en tamaños de 8 a 48 pulgadas. Como se adaptan al bombeo de grandes volúmenes de agua contra cargas relativamente bajas, por esta razón son de uso más frecuente en obras de drenaje. Suelen tener varias etapas, pero la cabeza máxima que se puede obtener es de aproximadamente 10 m. (BARRERA, 1989)

Tabla 1. Características de las bombas

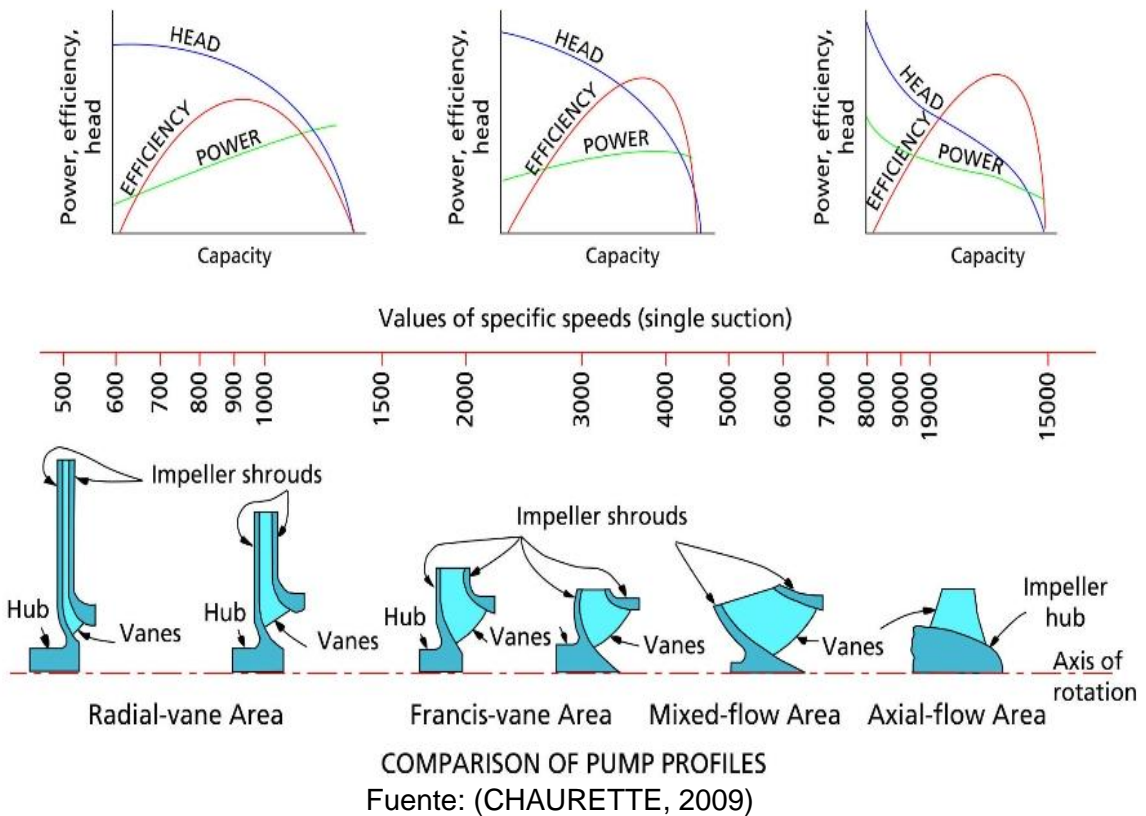
Tipo de bomba	Carga de succión	Carga total	Gasto
Centrífuga	Media	Alta	Medio
Flujo mixto	Media-baja	Media	Medio-alto
Axial	Baja	Baja	Alto

Fuente: (BARRERA, 1989)

**2.1.2.** *Bomba axial.* La bomba axial debe su nombre a la forma en que el agua atraviesa la bomba, en sentido axial, distinto al flujo tangencial que caracteriza a la bomba centrífuga y distinto al flujo semi-tangencial en el caso de los impulsores de una bomba tubular. El impulsor de una bomba axial es una hélice simple, la cual propulsa el agua en la misma dirección de su eje, desde la entrada hasta la salida. La bomba axial es usada para caudales mayores y pequeñas alturas de bombeo. (PALOMINO, 2009)

**2.1.3** *Concepto.* Este tipo de máquinas o turbomáquinas hidráulicas son una de las más usadas cuando se requiere bombear aguas pluviales o grandes caudales con una disminución considerable de presión, ya que no trabajan con grandes presiones, además que se puede bombear una gran cantidad de agua contra una altura de elevación baja. El impulsor tiene forma de hélice que está formado de entre 2 a 6 aspas es por esto también que se las denomina bomba de hélice, además de que son guiados fíjamente por delante y por atrás del rodete, ya que son finalmente estos álabes los que producen que el líquido pase en dirección axial al rodete. Este tipo de bomba no deberá utilizarse para aguas residuales no tratadas o fangos, ya que los trapos pueden quedarse enredados en los álabes – guías. (MATAIX, 2001)

Figura 1. Valores de velocidad específicos para los diferentes diseños de bombas.



## 2.2. Aplicación de la bomba axial

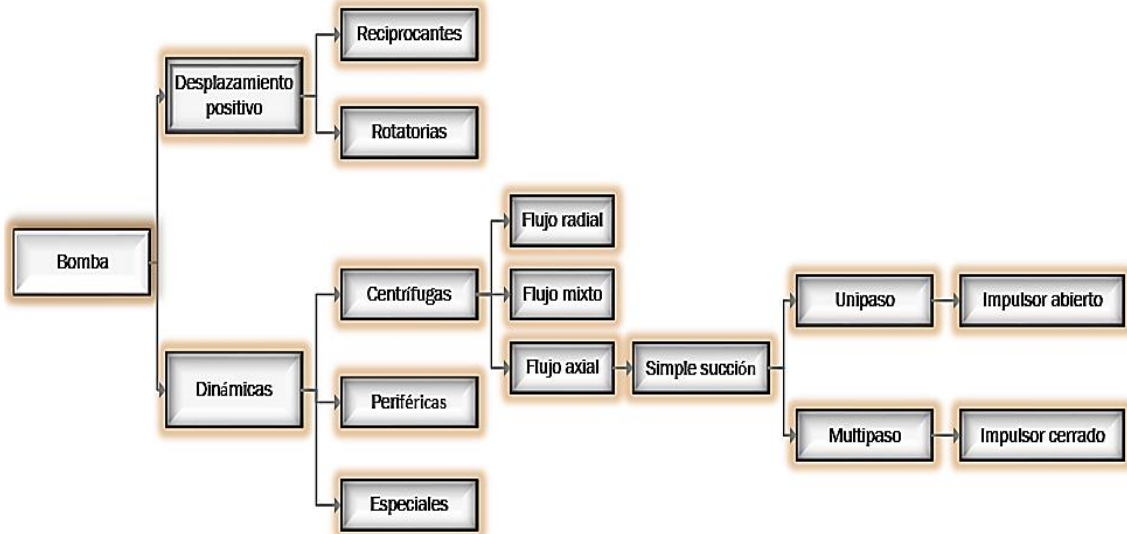
Pueden ser varias como por ejemplo:

- Suministro de agua.
- Tratamiento de agua.
- Riego.
- Drenaje.
- Limpieza de filtros.
- Protección contra Incendios.
- Industria en general.
- Circulación de agua.
- Calefacción, refrigeración y aire acondicionado.

## 2.3. Tipos de bomba axial

Se encuentran dentro de este tipo una serie de bombas con su respectiva clasificación, pero como a nosotros solo nos interesa analizar las bombas de tipo axial nos centraremos en la misma.

Figura 2. Clasificación de la bomba axial



Fuente: (MATAIX, 2001)

## 2.4. Accesorios de la bomba axial

2.4.1. *Gibault*. La unión Gibault, se usa comúnmente en tuberías de AC (Asbesto - cemento) y HF (Hierro fundido). Esta unión por su diseño goza de preferencias por la comodidad de su montaje.

Figura 3. Gibault asimétrico



Fuente: (Autores)

Elasticidad de la Unión Gibault:

Es una cualidad que tiene esta unión y consiste en que la tubería se adapte a las fuerzas que operan sobre ella, recobrando su forma y extensión una vez que terminen dichas fuerzas.

Gracias a su elasticidad, la unión Gibault permite:

- Conservar su impermeabilidad, aún en terreno poco estable.



- Acomodarse fácilmente a los movimientos eventuales de los tubos debido por ejemplo a asentamientos.
- Tienen capacidad de deflexión máxima de cinco grados, es decir, que puede hacer un “codo” de 5 grados. Esto equivale a mover el extremo libre del tubo (de 4,0 m) aproximadamente 25 centímetros hacia los lados.

**2.4.2. Codos.** Son accesorios de forma curva que se utilizan para cambiar la dirección del flujo de las líneas tantos grados como lo especifiquen los planos o dibujos de tuberías. Los codos estándar son aquellos que vienen listos para la pre-fabricación de piezas de tuberías y que son fundidos en una sola pieza con características específicas.

Tipos: PVC (policloruro de vinilo), Galvanizados, Cobre, Acero al Carbón, Acero Inoxidable, Aleaciones, Vidrio, Latón, CPVC (policloruro de vinilo clorado), Asbesto.

**2.4.3. Codos de 90°.**

Figura 4. Codo 90°



Fuentes: (Autores)

Características:

- Diámetro: es el tamaño del orificio del codo, entre sus paredes existen desde 1/4" hasta 120".
- Ángulo: existente entre ambos extremos del codo y sus grados depende del giro

o desplazamiento que requiera la línea.

- Radio: dimensión que va desde el vértice hacia uno de sus arcos, pueden ser: radio corto, largo, de retorno y extra largo.
- Espesores: determinan el grosor de pared del codo.
- Aleación: tipo de material o mezcla de materiales con el cual se elabora el codo.
- Junta: procedimiento que se emplea para pegar un codo con un tubo y pueden ser: soldable a tope, roscable, embutible.
- Aplicación: realizan el cambio de dirección de una tubería en 90°.

#### 2.4.4. Codos 45°.

Figura 5. Codo 45°



Fuente: (Autores)

Características:

- Diámetro: es el tamaño del orificio del codo, entre sus paredes existen desde 1/4" hasta 120".
- Angulo: existente entre ambos extremos del codo y sus grados depende del giro o desplazamiento que requiera la línea.

- Radio: dimensión que va desde el vértice hacia uno de sus arcos, pueden ser: radio corto, largo, de retorno y extra largo.
- Espesores: determinan el grosor de pared del codo.
- Aleación: tipo de material o mezcla de materiales con el cual se elabora el codo.
- Junta: procedimiento que se emplea para pegar un codo con un tubo y pueden ser: soldable a tope, roscable, embutible.
- Aplicación: realizan el cambio de dirección de una tubería en 45°. (ROJAS, s.f)

**2.4.5. Bidas compactas.** Son utilizadas para aplicaciones universales, tanto en horizontal como en vertical, en piezas en bruto y mecanizadas.

Figura 6. Bidas compactas



Fuente: (Autores)

Ventaja:

- Radica que en el hecho de que permite el rápido montaje y desmontaje de la tubería las cuales requieran reparaciones o mantenimiento. (COTACALLAPA, 2014)

Características:

- Sujeción exacta y precisa.

- Facilidad de manejo.
- Gran fuerza de sujeción con poco esfuerzo.
- Gran área de sujeción.
- Posibilidades de fijaciones flexibles y fáciles.
- Resistente a la corrosión debido a la propiedad de su material. (HALDER, s.f)

**2.4.6.** *Tubería.* Se llama así al conjunto formado por los tubos (sección circular) y su sistema de unión o ensamble. Una tubería se compone de dos o más tubos ensamblados mediante un sistema de unión que permite la conducción de un fluido. Tanto la tubería como los codos son de material PVC.

Figura 7. Tubería instalada con sus respectivos accesorios



Fuente: (Autores)

**2.4.7.** *Válvula de mariposa.* La válvula de mariposa es del tipo de flujo rectilíneo. La barrera al flujo es un disco oscilante que gira sobre un eje transversal central y se acciona con la rotación del eje. El disco se asienta en las paredes del cuerpo de la válvula; la rotación del eje se logra por medio de una palanca, engranajes cónicos o engranajes sinfín o rectos; el sello del eje es con una empaquetadura. Estas válvulas se utilizan, en general, para control de gases. En ocasiones se emplean dos válvulas que funcionan en paralelo con líquidos o gases para proveer al control de temperatura con una derivación alrededor de un intercambiador de calor.

Ventajas:

- La válvula de mariposa aumenta muy poco la caída de presión en el sistema de tubería.
- El cuerpo de la válvula es muy corto en comparación con otros y requiere poco espacio en la tubería.

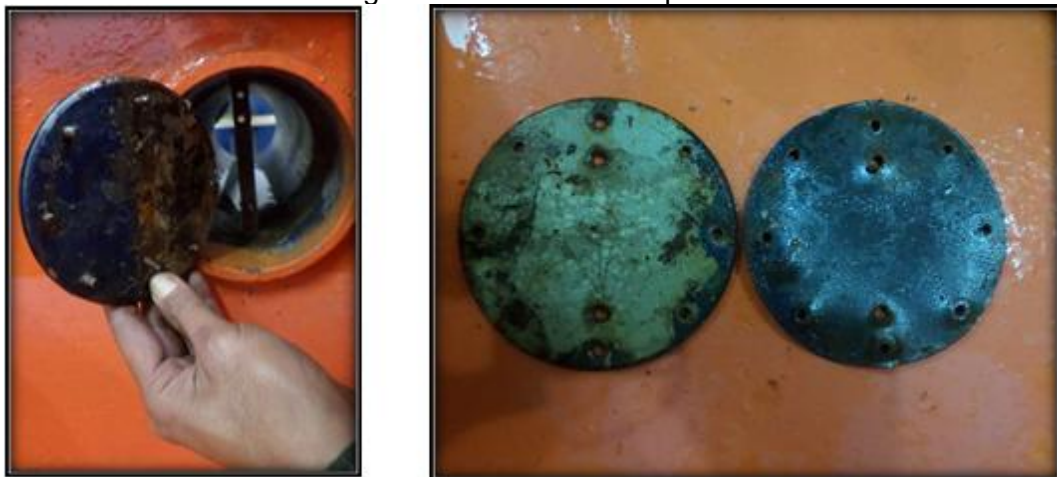
- Se pueden lograr un control moderado del flujo con la válvula en posiciones desde cerrada hasta unos 60° de apertura.
- Estas válvulas se pueden diseñar para cierre hermético. Sin embargo, hay alrededor de 2% si no tiene asiento blando.

Desventajas:

- La válvula de mariposa no es satisfactoria para control preciso del flujo.
- Los sólidos entorpecen el funcionamiento del disco, las corrientes de gas o líquido que tienden a formar incrustaciones pueden inutilizar pronto la válvula.

El diseño hidrodinámico de esta válvula permite emplearla como reguladora de consumo en condiciones de gastos y presiones bajas, así como para estrangular la descarga de una bomba en ciertos casos. La válvula de mariposa puede sustituir a la de compuerta cuando se tiene diámetros grandes y presiones bajas en la línea de conducción del fluido. (GREENE, 1983)

Figura 8. Válvula de mariposa



Fuente: (Autores)

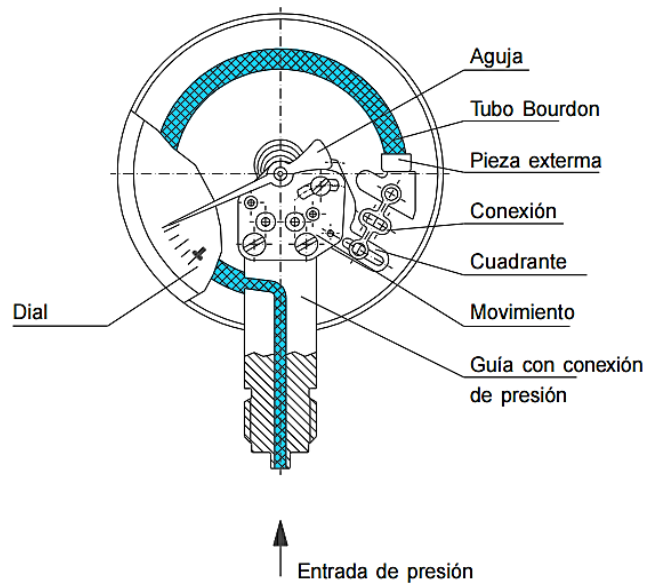
**2.4.8. Manómetro de presión.** Los tubos de Bourdon son tubos de forma circular con una sección cruzada oval. La presión del medio actúa en el interior del tubo y como resultado la sección cruzada oval se convierte en casi redonda. Debido a que se produce una curvatura de la tensión del anillo del tubo, éste dobla el tubo de Bourdon. El final del tubo, que no es fijo, se mueve. Por lo que este movimiento es una medición para la presión.

Este movimiento lo indica la aguja. Los tubos de Bourdon doblan un ángulo de aproximadamente  $250^\circ$ , que se utiliza para presiones de hasta 60 bar aproximadamente.

Es un instrumento diseñado para medir los cambios de presión y convertir estos cambios en un movimiento mecánico, indicándolos sobre una escala graduada (caratula).

Los elementos de medición de presión tipo Bourdon son los más comúnmente usados para medir un amplio rango de presiones. (WIEGAND, s.f)

Figura 9. Manómetro con tubo de Bourdon



Fuente: (WIEGAND, s.f)

Figura 10. Manómetro de Bourdon



Fuente: (Autores)

**2.4.9. Vacuómetros.** Se denomina vacuómetro al instrumento que permite realizar la medición de la presión cuando esta resulta menor a la presión atmosférica. Por eso

se dice que los vacuómetros miden el vacío. Se trata, pues, de un manómetro adecuado para medidas negativas de presiones relativas.

Recordemos que la presión atmosférica o presión de la atmosfera refleja la fuerza por unidad de superficie ejercida por el aire sobre la superficie planetaria. Se trata de una magnitud física que señala como se proyecta la fuerza de forma perpendicular por cada unidad de superficie.

Figura 11. Vacuómetro de Bourdon



Fuente: (Autores)

En concreto, lo que hace un vacuómetro es medir cómo cae la presión en un determinado entorno. (DEFINICIÓN.DE, 2008)

**2.4.10.** *Diafragma (Placa orificio).* La placa orificio consiste en una placa perforada ubicada en el interior de una tubería. Posee además, dos tomas de presión, una en la parte anterior y otra en la parte posterior de la placa, a las cuales se conecta un manómetro de presión diferencial.

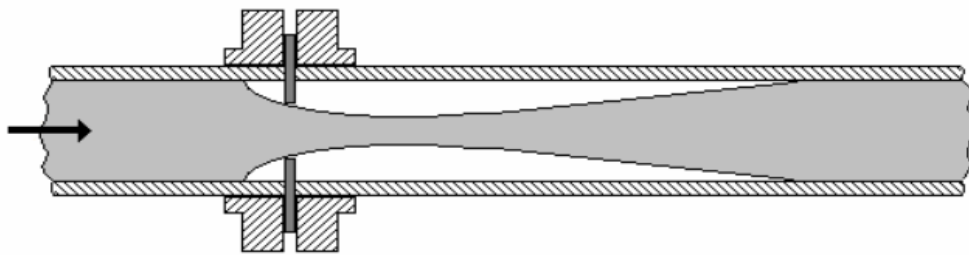
Figura 12. Instalación de placa orificio



Fuente: (Autores)

La placa orificio hace que la obstrucción al paso del fluido por la tubería sea de forma abrupta, esto provoca que la vena fluida presente una sección inferior a la del estrechamiento que se denomina “vena contracta” y que se encuentra corriente abajo del mismo (Figura 13). El efecto de la vena contracta no sucede cuando el estrechamiento de la sección de la cañería es de forma gradual.

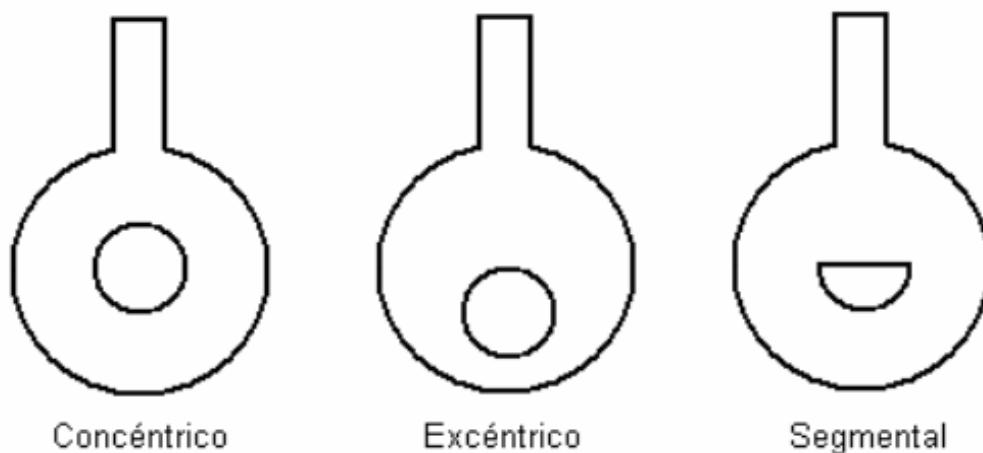
Figura 13. Efecto de vena contracta



Fuente: (LÓPEZ GARCÍA, y otros, 2007)

El orificio de la placa puede ser concéntrico, excéntrico o segmental, como se muestra en la Figura 14. El concéntrico es el más comúnmente utilizado. El orificio de la placa es circular y concéntrico con el tubo en el que va instalado. Su exactitud es mucho mayor a la de los otros dos tipos de orificios. El excéntrico, el orificio en la placa es circular y tangente a la pared interna de la cañería en un punto. Se utiliza para fluidos con dos fases: vapor húmedo, líquidos que contienen sólidos, aceites que contienen agua, etc. El segmental, es un orificio en forma de segmento circular tangente en un punto a la circunferencia interna de la cañería. Se utiliza para fluidos barrocos con la ventaja que no acumula sólidos en el lado anterior a la placa.

Figura 14. Distintos tipos de orificios



Fuente: (LÓPEZ GARCÍA, y otros, 2007)

De acuerdo a la referencia bibliográfica, la ecuación del caudal para la placa orificio es la misma que para la tobera:



$$Q_{real} = KA \sqrt{\frac{2g}{\gamma}} \sqrt{p_1 - p_2} \left[ \frac{m^3}{s} \right] \quad (1)$$

En este caso, A es al área del orificio de la placa. Recuérdese que  $K = CM$ . Los valores de C se obtienen de curvas que son función del número de Reynolds y que tienen como parámetro a  $\beta = d/D$ . Por último, la precisión de la placa orificio está en el orden de  $\pm 1\%$  y  $\pm 2\%$ . (LÓPEZ GARCÍA, y otros, 2007)

Tabla 2. Mediciones de flujo\*

Tipo de cabeza	Líquidos	Líquidos viscosos	Lechada	Gas	Sólidos	Lineal	Capacidad de cobertura	Costo	Exactitud en % de la escala	Totalizador indirecto	Pérdida de presión
1. Placas orificios	✓	L		✓		SR	4:1	Bajo	¼ – 2	✓	Elevado
2. Rotámetros	✓	L	L	✓		✓	10:1	Med	½ – 2	---	F
3. Tubos Venturi, boquillas	✓	L	✓	✓		SR	4:1	Elevado	¼ – 2	✓	Med
4. Tubos Pitot	✓			✓		SR	3:1	Bajo	2 – 5	---	L
5. Codo	✓	L	L	✓		SR	3:1	Bajo	5 – 10	---	No
6. Medidores de blanco	✓	L	L			SR	4:1	Med	½ – 2	✓	Elevado
7. Vertederos, canales	✓	L	L			NL	100:1	Bajo	2 – 5	---	Med
<b>Tipo de velocidad</b>											
1. Magnético	✓	✓	✓			✓	20:1	Elevado	½ – 1	✓	No
2. De vórtices	✓	L				✓	10:1	Med	½ – 1	✓	Med
<b>De desplazamiento</b>											
1. Desplazamiento positivo	✓	L				✓	20:1	Med	¼ – 1	✓	Med
2. Turbina	✓	L	L	✓		✓	20:1	Med	¼ – 1	✓	Med
<b>Flujo de masa</b>											
1. Tipos de peso					✓	✓	20:1	Med	½ – 3	---	---
2. Fluviómetros sólidos					✓	✓	20:1	Med	½ – 3	---	---

\*L, limitado; NL, no lineal; SR, raíz cuadrada; F, fijo

Fuente: (ROSALER, 1989)

**2.4.11. Rectificador de flujo o Enderezador de vena para líquidos limpios.** El enderezador de vena para líquidos limpios, gases y vapor, es para solucionar los inconvenientes que produce el flujo turbulento y la imposibilidad de poder instalar el medidor en un tramo recto adecuado por la falta de espacio, se han desarrollado unos dispositivos llamados enderezadores de vena. Cuando el caudal de flujo atraviesa este dispositivo, éste se “endereza y uniforma” hacia un perfil de flujo turbulento desarrollado. De esta manera es posible optimizar la performance o el rendimiento de medición de caudalímetros que operan por principio velocimétrico. Está fundamentado por un

determinado número de tubos de igual diámetro dispuestos geoméricamente concéntricos de manera simétrica con disponibilidades para tuberías desde  $\varnothing$  2" hasta 24" y el material de construcción puede variar de acuerdo a especificaciones técnicas o más claro del material que se disponga.

Permite también reducir la distancia de tramo recto de tubería necesaria antes del medidor de caudal; ahorrando costos y espacio físico. Aplicable para optimizar la performance de: Placas orificio, Tubos pitot, Turbinas, Vortex y Ultrasónicos. (AGUAMARKET, 2000 - 2015)

La instalación de los elementos de presión diferencial requiere que se respeten unas distancias de tramos rectos de la tubería, antes y después del elemento. En general, el tramo de tubería recta es de 16 a 44 diámetros de tubería aguas arriba y de 2,5 a 5 diámetros de tubería aguas abajo generalmente. Cuando la longitud de tubería recta disponible es pequeña, debido a las condiciones de instalación por codos, curvas, válvulas, etc., y las distancias son críticas, se utilizan dispositivos llamados enderezadores de venas que dan un régimen laminar del fluido y permiten reducir el espacio recto necesario (Figura 15).

Por otro lado, los elementos de presión diferencial absorben una pérdida de carga que depende de la relación de diámetros  $d/D$  y que es una fracción de la presión diferencial que crea el elemento, pudiendo apreciarse que el orden de pérdida de carga de mayor a menor es placa-orificio, tobera, tubo Venturi. (CREUS, 2010)

Figura 15. Enderezador de vena líquida



Fuente: (Autores)

Figura 16. Longitud especificada del enderezador de vena líquida



Fuente: (Autores)

## 2.5. Definición e importancia de la automatización

El término Automatización viene de la palabra griega “auto” y significa la ejecución por medios propios de un proceso, en el que materia, información o energía es cambiado o transformado. Automatización es la tecnología que trata de la aplicación de sistemas mecánicos, electrónicos y de bases computacionales para operar y controlar la producción, es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos. En los más modernos sistemas de automatización, el control de las máquinas es realizado por ellas mismas gracias a sensores de control que le permiten percibir cambios en sus alrededores de ciertas condiciones tales como temperatura, volumen y fluidez de la corriente eléctrica y otros, sensores los cuales le permiten a la máquina realizar los ajustes necesarios para poder compensar estos cambios. Hoy una gran mayoría de las operaciones industriales son realizadas por enormes máquinas de este tipo. El alcance va más allá que la simple mecanización de los procesos ya que esta provee a operadores humanos mecanismos para asistirlos en los esfuerzos físicos del trabajo, la automatización reduce ampliamente la necesidad sensorial y mental del humano. La automatización como una disciplina de la ingeniería es más amplia que un simple sistema de control, abarca la instrumentación industrial, que incluye los sensores y transmisores de campo, los sistemas de control y supervisión, los sistema de transmisión y recolección de datos y las aplicaciones de software en tiempo real para supervisar y controlar las operaciones de plantas o procesos industriales.

## 2.6. Elementos y tipos de automatización

Cuando la flexibilidad es el calificativo que engloba todas las tendencias presentes en la automatización de las plantas industriales, los medios de transporte interno deben ser asimismo flexibles. Ante esta necesidad, los sistemas modulares constituyen la respuesta idónea. Robustez, mejor sujeción y, especialmente, incorporación de nuevos tipos de accionamientos y elementos de control, son las principales novedades que han ido introduciéndose en los sistemas modulares de automatización.

Existen cinco formas de automatizar en la actualidad, de modo que se deberá analizar cada situación a fin de decidir correctamente el esquema más adecuado. Los tipos de automatización son:

- *Control automático de procesos*, se refiere usualmente al manejo de procesos caracterizados de diversos tipos de cambios (generalmente químicos y físicos); un ejemplo de esto lo podría ser el proceso de refinación de petróleo.
- *Proceso electrónico de datos*, frecuentemente es relacionado con los sistemas de información, centros de cómputo, etc. Sin embargo en la actualidad también se considera dentro de esto la obtención, análisis y registros de datos a través de interfaces y computadores, por lo que el presente trabajo de tesis se enfocara en este tipo de automatización para la máquina hidráulica del Laboratorio de Turbomaquinaria que es la bomba axial.
- *Automatización fija*, es aquella asociada al empleo de sistemas lógicos tales como: los sistemas de elevadores y compuertas lógicas; sin embargo estos sistemas se han ido flexibilizando al introducir algunos elementos de programación como en el caso de los (PLC's) o Controladores Lógicos Programables.
- *Control numérico computarizado*, se considera de Control Numérico por Computador, también llamado CNC, a todo dispositivo capaz de dirigir el posicionamiento de un órgano mecánico móvil mediante órdenes elaboradas de forma totalmente automática a partir de informaciones numéricas en tiempo real, un ejemplo de este tipo de automatización son los denominados tornos CNC.
- *Automatización flexible*, consiste en procesos automáticos, reprogramables con mucha agilidad y con cambio muy rápido de herramientas, lo, que permiten

procesar en las mismas máquinas diversos productos en tandas de bajo volumen, logrando combinar así los efectos de la economía de escala, la economía de alcance y la flexibilidad de producción. (GUILLÉN, y otros, 2011)

## **2.7. Estudio de las variables a ser medidas**

**2.7.1. Presión en la succión.** Este parámetro se lo puede establecer y medir en la entrada de la bomba que es en donde se encuentra la hélice con sus respectivas aspas (aguas abajo), en donde específicamente se produce la succión o a veces también puede llegar a producirse una presión manométrica para lo cual se utilizará un sensor vacuo-manométrico (presión negativa y positiva) PX209-30V15G5V cuyas especificaciones técnicas se las realizará más adelante.

**2.7.2. Presión de descarga.** Este parámetro se lo puede establecer y medir en la salida de la bomba, es decir después de la hélice, donde específicamente se produce la presión de descarga para lo cual se utilizará un sensor manométrico (presión positiva) PX309-030GV cuyas especificaciones técnicas se las detalla más adelante.

**2.7.3. Caudal.** La medición del caudal se lo realizará con ayuda de una placa orificio y de bridas compactas entre las cuales estará sujeto este elemento (placa orificio), además que se evitará muchos contratiempos y dificultades con la tubería y su instalación, en este caso se utilizará un sensor diferencial PX409-001DWUV cuyas especificaciones técnicas se las detallará más adelante. Además de que se procedió a calcular el caudal en el banco de pruebas de la bomba axial mediante la utilización de la ecuación del vertedero triangular, mediante la siguiente forma:

- Determinación del ángulo  $\theta$
- Aplicación de la ecuación del vertedero triangular, para determinar el caudal teórico.

### **Determinación del cálculo de caudal por medio de la ecuación del vertedero de triangular:**

- Determinación del ángulo  $\theta$ :

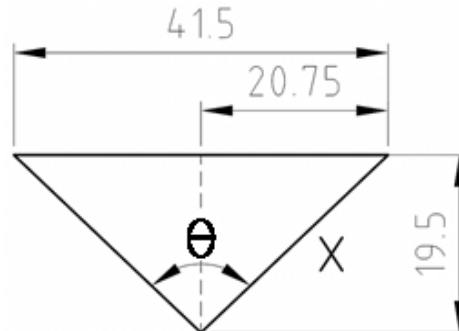
$$X = \sqrt{(20,75)^2 + (19,5)^2}$$

$$X = 28,475$$

$$\text{sen} \frac{\theta}{2} = \frac{20,75}{28,48}$$

$$\theta = 93,54^\circ$$

Figura 17. Gráfica para la determinación del ángulo (unidades en centímetros)



Fuente: (Autores)

- Aplicación de la ecuación del vertedero triangular:

$$Q_T = \frac{8}{15} * C_q * \sqrt{2g} * H^{5/2} * \text{tg} \left( \frac{1}{2} \theta \right) \quad (2)$$

Donde:

$Q_T$  = Caudal teórico.

$C_q$  = Coeficiente de gasto del vertedero triangular.

$H$  = Altura del agua que pasa por la sección del vertedero.

$\theta$  = Ángulo que forma el vertedero triangular.

$$Q_T = \frac{8}{15} * (0,6) * \sqrt{2 * 9,81} * (0,135)^{5/2} * \text{tg} \left( \frac{1}{2} (93,54^\circ) \right)$$

$$Q_T = 0,01009679 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_T = 36,35 \frac{m^3}{h}$$

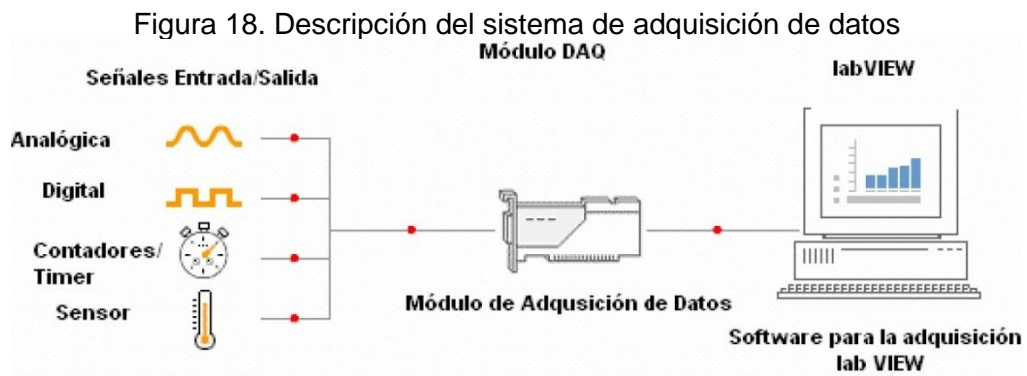
**2.7.4.** *Número de revoluciones del motor eléctrico.* Para la automatización de adquisición de datos y encontrar la potencia de entrada o potencia de accionamiento en

el motor eléctrico, se necesita el número de revoluciones como dato, por esta razón fue que se utilizará un sensor inductivo M18 PNP Bi8U-EM18-AP6X-H1141, para que este cuente el número de vueltas que da el rotor del motor eléctrico en un minuto, ya que se conoce que:

$$P_{acc} = F * d * N \quad (3)$$

## 2.8. Descripción del sistema de adquisición de datos

Adquisición de datos es el proceso de obtener o generar información de manera automatizada desde recursos de medidas analógicas y digitales como sensores y dispositivos bajo prueba. Utiliza una combinación de hardware y software basados en un computador para brindar un sistema de medida flexible y definido por el usuario.



En la Figura 18 se observa el esquema descriptivo del proceso de adquisición de datos, en el que se puede distinguir claramente los pasos que sigue la señal sensada hasta llegar al computador. Primero, el sensor registra el fenómeno físico (presión, caudal, velocidad, etc.) que se está analizando y emite una señal de salida correspondiente ya sea analógica o digital; luego esta señal es interpretada por el módulo de adquisición que digitaliza la señal para enviarla al computador, donde se visualizan, analizan y almacenan según se requiera.

La adquisición de datos consiste en tomar un conjunto de variables físicas, convertirlas en voltajes y digitalizarlas de manera que se puedan procesar en una computadora. Se requiere una etapa de acondicionamiento que adecua la señal a niveles compatibles con el elemento que hace la transformación a señal digital. El elemento que realiza dicha transformación es la tarjeta o módulo de adquisición de datos. Las ventajas de un sistema típico de adquisición son: flexibilidad de procesamiento, posibilidad de realizar

tareas en tiempo real o en análisis posteriores, gran capacidad de almacenamiento, rápido acceso a la información y toma de decisión, posibilidad de emular una gran cantidad de dispositivos de medición, activar varios instrumentos al mismo tiempo, y facilidad de automatización.

## **2.9. Visualización de datos por medio del software LabVIEW**

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) esta direccionada a ser una plataforma que está desarrollada en base a los lenguajes de programación gráfico teniendo una gran aplicación en la industria, ofreciendo una gran gama de hardware provista de cientos de librerías integradas para el análisis avanzado, detallado en lo que compete a la visualización de datos en un ambiente revolucionario en el desarrollo gráfico controlando, adquiriendo, analizando y presentando detalladamente datos.

Ventajas:

- El LabVIEW presenta un gran desarrollo en lo que corresponde a la medición, automatización y en la parte de gobierno o control.
- Tiene una facilidad para poner los datos en herramientas estadísticas.
- La facilidad de poder integrarse con cientos de instrumentos y elementos de medición.
- Comparte los datos de los procesos con otros PLC.
- Por su sencillez es utilizado por científicos, técnicos y estudiantes de todo el mundo.
- Tiene una gran aplicación en la industria.
- Tiene un gran campo en el área del análisis y la investigación.
- Es una de las mejores opciones para el monitoreo y gobernación o control de máquinas y equipos.



- Se lo puede adaptar con cualquier Hardware y Software de medición.
- Mayoriza el rendimiento de un sistema o proyecto.
- Tiene un alto rango en mediciones a alta velocidad de una gran gama de sensores.
- El monitoreo es efectivo tanto que nos permite establecer planes de mantenimiento predictivo.
- El desarrollo es integral y completo.
- Se puede desarrollar gráficos de interfaz de usuario. (GUILLÉN, y otros, 2011)

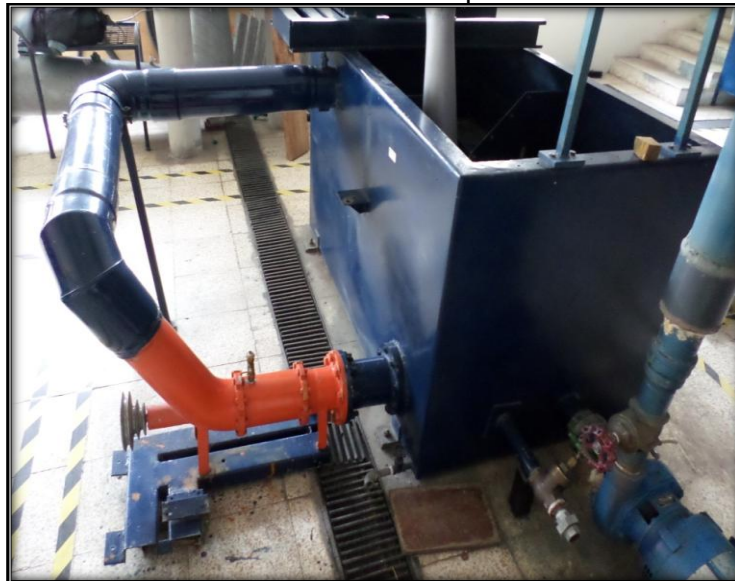
## CAPÍTULO III

### 3. PUESTA A PUNTO DEL BANCO DE PRUEBAS DE LA BOMBA AXIAL

#### 3.1. Condiciones anteriores en el que se encontraba el banco de pruebas

El banco de pruebas de la bomba axial se encontraba en malas condiciones y fuera de operación.

Figura 19. Estado anterior del banco de pruebas de la bomba axial



Fuente: (Autores)

Figura 20. Estado anterior de la bomba axial



Fuente: (Autores)

**3.1.1. Motor.** El banco de pruebas de la bomba axial se encontraba sin un motor de accionamiento, los sistemas motrices no se encontraban adecuadamente empotrados al piso del laboratorio, la transmisión del motor a la bomba se lo realizaba mediante poleas y correas con considerables pérdidas en la transmisión.

**3.1.2. Bomba axial.** El eje motriz de la bomba se la trató de hacer girar en forma manual pero estaba totalmente trabada, por lo que procedimos a desarmarla en sus respectivos componentes, descubrimos que internamente se encontraba con cierta corrosión. La hélice y sus aspas se encontraban relativamente en buenas condiciones, pero el rodamiento de bolas y el sello que estaban instalados al lado opuesto no funcionaban.

Figura 21. Bomba axial



Fuente: (Autores)

Figura 22. Sello mecánico y rodamiento de bolas



Fuente: (Autores)

**3.1.3. Tanque.** El tanque, al realizar una inspección visual se encontraba en un estado de alta corrosión especialmente en su base y cierta corrosión en sus paredes. Al realizar el traslado del banco de pruebas a su ubicación definitiva se pudo observar que tenía fisuras por donde filtraba el agua.

Figura 23. Estado anterior del tanque reservorio



Fuente: (Autores)

**3.1.4. Tubería y codos.** El material de la tubería era de desagüe de PVC pero la instalación, la longitud y la configuración no eran muy adecuados para el proceso de adquisición automática de datos, para la instalación de accesorios y sensores era necesario considerar ciertos estándares y normas.

Al realizar el desmontaje de la bomba, esta tubería se encontraba fragilizada por lo que se fisuró quedando sin utilidad.

Figura 24. Accesorios anteriores del banco de pruebas de la bomba axial



Fuente: (Autores)

**3.1.5. Conexión tanque–bomba.** La brida que une el tanque con la bomba se encontraba en buenas condiciones, pero con un problema debido a que la cara de la brida que se une con la de la brida de la bomba no se encontraban paralelas por lo que se creaba problemas para poder empotrarla, ya que esto hacía que el extremo opuesto a las bridas quede muy desnivelado con respecto al suelo.

Figura 25. Conexión bridada entre el tanque y la bomba axial



Fuente: (Autores)

**3.1.6.** *Conexión bomba–tubería.* Esta unión no era la adecuada ya que la tubería se conectaba a la salida de la bomba solamente por medio de una tubería que había sido calentada anteriormente y ensamblada a esta con ayuda de macilla para poder acoplarse a la bomba, debido a que los diámetros a la salida de la bomba (diámetro externo de descarga) y de la tubería eran de diámetros diferentes 134 mm y 160 mm respectivamente.

**3.1.7.** *Válvula de compuerta.* Esta válvula es de construcción artesanal y sencilla. Es de accionamiento manual pero esta no se la podía hacer girar adecuadamente ni generaba un cierre adecuado o peor aún hermético, necesitaba un mantenimiento adecuado por tener cierta corrosión por lo que se realizó su desmontaje.

Figura 26. Estado anterior de la válvula de mariposa



Fuente: (Autores)

**3.1.8.** *Empotramiento de la bomba y motor.* Estos no se encontraban empotrados por lo que la bomba estaba empernada a una base de empotramiento no adecuada, incluso el motor no podía ser colocado en esta base.

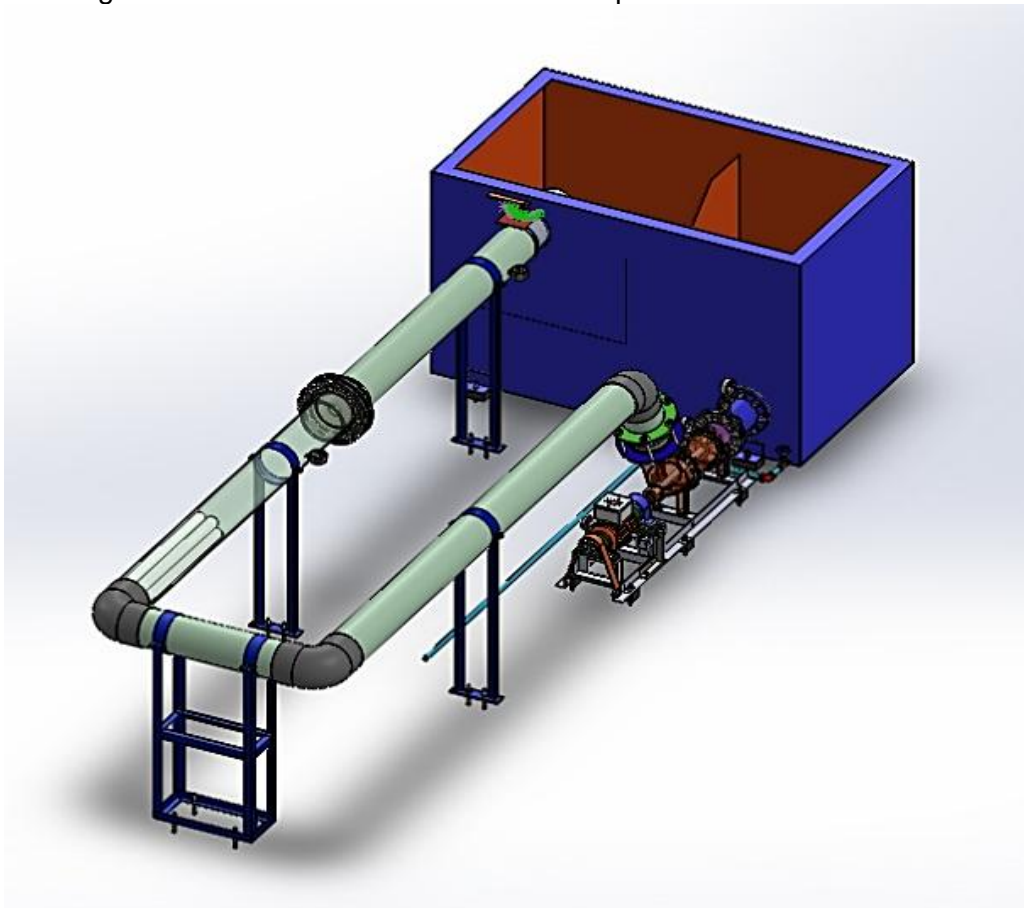
Figura 27. Empotramiento al suelo anterior del banco de pruebas de la bomba axial



Fuente: (Autores)

### 3.2. Mantenimiento y readecuación del banco de pruebas de la bomba axial

Figura 28. Condición actual del banco de pruebas de la bomba axial



Fuente: (Autores)

**3.2.1. Motor.** Se nos asignó un motor de 2 hp trifásico de marca WEG, al que se le adecuó adaptando chumaceras para poderlo balancear y de esta manera se lo acopló a nuestro banco, conjuntamente se colocó un sensor inductivo y una celda de carga a flexión para la adquisición de datos. Además se optó por colocar una junta flexible entre

el eje del motor que se conecta con el eje de la bomba. Para el encendido y apagado del motor se colocaron botoneras que se encuentran en la mesa contigua.

**3.2.2.** *Bomba axial.* Se reemplazaron el rodamiento de bolas y el sello de 7/8 de pulgada. Se procedió a retirar la corrosión superficial de la parte interior y se le aplicó una capa de pintura antioxidante. Al colocar cada uno de sus componentes con precisión, se realizó con cautela el apriete de los pernos del cuerpo de la bomba ya que cualquier desalineamiento producía que se haga imposible el giro del eje de la misma. Para el sellado de cada parte del cuerpo de la bomba se lo realizó con silicona y con empaques de caucho según fue la necesidad. Se realizó las pruebas de hermeticidad a la bomba para evitar cualquier fuga de agua del cuerpo de esta en cada una de sus juntas y además comprobar si el sello mecánico funciona adecuadamente y que este no permita que pase el agua hacia el rodamiento de bolas.

Figura 29. Bomba axial



Fuente: (Autores)

**3.2.3.** *Tanque.* Se evaluó el estado del tanque que en su base tiene un espesor de 4 mm, y que la capa de corrosión era de aproximadamente hasta de 0,4 mm aproximadamente por lo que se procedió a rasquetear y lijar el fondo del tanque hasta eliminar la mayor parte de la corrosión posible, luego se le aplicó líquido antioxidante “Desoxiquim” para eliminar totalmente el óxido. Se procedió a realizar el mismo procedimiento con las paredes que se encontraba con una corrosión moderada. La zona en la base del tanque que se encontraba fisurada o agrietada por la que filtraba agua, se eliminó y se reemplazó por un pedazo nuevo de plancha. Luego se procedió a pintar el interior del tanque con varias capas de pintura gris antioxidante y la una capa de pintura antioxidante final que fue de color naranja pomelo. De la misma manera se procedió al pintado del exterior del tanque.

El tanque se encuentra empotrado al piso del laboratorio por medio de pernos de anclaje de  $\frac{1}{2}$  pulgada.

Además para poder aprovechar las dimensiones del tanque con respecto al caudal que se requirió en nuestras pruebas, se ha dibujado una línea horizontal que indica hasta donde se recomienda llenar con agua el tanque.

Figura 30. Estado actual del tanque



Fuente: (Autores)

**3.2.4. Tubería y codos.** La tubería de desagüe y sus codos antiguos se procedió a reemplazarlos por una tubería para presión de 6 pulgadas comercial o 160 mm con sus respectivos codos de 45° y 90°, y se los instaló según nuestros requerimientos. Además se colocaron unos apoyos adecuados que son empotrados (con pernos de anclaje de 5/16 pulgadas) al piso del laboratorio que impiden cualquier deslizamiento debido a cualquier carga que soporte la tubería. Para unir la tubería y sus accesorios se aplicó un pegamento especial (KALIPEGA) para estos usos.

Figura 31. Disposición de la tubería y codos del banco de pruebas de la bomba axial



Fuente: (Autores)

**3.2.5. Bridas compactas y placa orificio.** Para la colocación de la placa orificio o diafragma se adaptó a la tubería dos bridas compactas, las cuales fueron torneadas y refrentadas ambas 2 mm de profundidad para mejorar el sellado, y para que exista un acople concéntrico entre la tubería, las bridas compactas y la placa, respectivamente.



Figura 32. Placa orificio



Fuente: (Autores)

**3.2.6.** *Conexión tanque–bomba.* Las bridas tanque–bomba se encuentran en buenas condiciones, pero para poder superar el desalineamiento de las caras de las bridas del tanque y de la bomba se lo pudo hacer compensando por medio de empaquetaduras hechas de caucho, pero primeramente se procedió a empotrar la bomba con su base respectiva y el motor que la acciona.

Figura 33. Estado actual de la bomba axial con el motor



Fuente: (Autores)

**3.2.7.** *Conexión bomba–tubería (Gibault, Fuente: Autores).* Debido a la diferencia de diámetros entre la salida de la bomba y el diámetro de la tubería se logró la conexión adecuada por medio de un “Gibault asimétrico” de hierro fundido de fabricación personalizada para nuestro requerimiento.

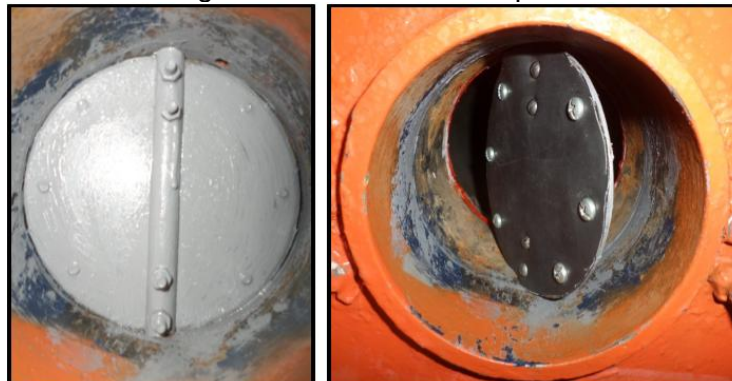
Figura 34. Gibault



Fuente: (Autores)

**3.2.8.** *Válvula de mariposa.* Se realizó el respectivo mantenimiento de la válvula para poder realizar adecuadamente las pruebas a diferentes grados de cierre y apertura en la descarga de la bomba al tanque.

Figura 35. Válvula de mariposa



Fuente: (Autores)

**3.2.9.** *Base para empotramiento.* Se fabricó una base de empotramiento para la bomba y para el motor la misma que nos permitió el alineamiento entre la bomba y el motor con su respectivo acople flexible, para reducir los alineamientos se colocaron alzas y cauchos.

Para empotrar esta base al piso se utilizaron pernos de anclaje de ½ pulgada.

**3.2.10.** *Rectificador de flujo o Enderezador de vena líquida.* Se colocó un rectificador de flujo de tuberías PVC de 50,3 mm de diámetro externo con un arreglo adecuado de 7 tubos de 600 mm de longitud y que se introdujo dentro de la tubería de 6 pulgadas (de diámetro interno de  $D = 152$  mm) a 7 D de distancia desde el borde en donde se colocó la placa orificio. Para poder fijarlo a la tubería y que esta no se desplace de su posición

se procedió a atornillarlo a la tubería de conducción con tornillos inoxidables autoroscables de diámetro 3 x 6 mm.

Figura 36. Enderezador de vena líquida



Fuente: (Autores)

**3.2.11.** *Salida del tanque.* A la salida del tanque se colocó un tramo de tubería para evitar que el agua salpique cuando esté en funcionamiento debido al alto caudal que eroga la bomba.

Figura 37. Acondicionamiento de la descarga al tanque



Fuente: (Autores)

**3.2.12.** *Mesa.* Para colocar los circuitos, botoneras, la computadora y evitar que personas ajenas entren a áreas restringidas y estropeen cualquier componente del equipo se ha colocado una mesa. Como componente del equipo por encima del cuerpo de la bomba.

**3.2.13.** *Tubería de drenaje.* Para drenar el agua del tanque se colocó en el fondo y a un extremo del mismo, una válvula de compuerta manual y se adaptó una tubería de ½ pulgada que se dirige hacia los canales de drenaje del laboratorio de Turbomaquinaria Hidráulica.

**3.2.14.** *Protección contra salpicaduras de agua.* Para proteger la computadora que se nos asignó, se realizó una protección contra agua, para evitar que salpique el líquido del tanque hacia el ordenador, el cual se lo desarrollo con un ángulo de  $\frac{3}{4}$  x 1/8 mm, y acrílico transparente. Esta protección se encuentra ubicada entre el tanque y la mesa en donde se encuentran los circuitos.

Figura 38. Protección contra salpicaduras de agua



Fuente: (Autores)

### **3.3. Puesta a punto del banco de pruebas de la bomba axial**

Se procedió al cambio de toda la tubería y accesorios del banco de pruebas de la bomba axial, del empotramiento y el acondicionamiento adecuado entre el motor y la bomba axial, además de la adecuación de los diferentes sensores y demás aparatos de medición visuales y manuales para la realización de esta automatización, por tal motivo la bomba axial se encuentra “puesta a punto” para su respectivo trabajo y funcionamiento adecuado.

## **CAPITULO IV**

### **4. PROYECCIÓN Y SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS E INSTRUMENTOS DEL BANCO DE PRUEBAS DE LA BOMBA AXIAL**

#### **4.1. Descripción del banco de pruebas de la bomba axial**

El banco de pruebas de la bomba axial, es una de las turbomáquinas más grandes, que ocupa un mayor espacio a comparación de las otras máquinas hidráulicas. Es por eso que se procedió a la readecuación de la misma ya que habían sido varios años que no se encontraba en uso, por esta razón fue que decidimos cambiar la tubería y sus respectivos accesorios, y ahora se la puede considerar como un nuevo banco de pruebas ya que se realizó la revisión, mantenimiento, reubicación y readecuación del mismo, de la mayoría de sus componentes tanto principales como secundarios, cabe destacar que todas las condiciones de la bomba fueron modificadas y rediseñadas por los autores de esta tesis.

En estos momentos se la puede encontrar funcionando con absoluta normalidad y realizando el trabajo para el cual se la había diseñado en un inicio el cual era bombear agua de manera axial y realizar la recirculación del agua a través del tanque reservorio, ya que como no se encontró datos técnicos de esta bomba se procedió a realizar las respectivas pruebas de manera empírica o experimentalmente, que fueron los parámetros que se consideró para la respectiva “Automatización de la adquisición de datos para el banco de pruebas de la bomba axial del Laboratorio de Turbomaquinaria Hidráulica de la Facultad de Mecánica”.

#### **4.2. Evaluación del banco de pruebas de la bomba axial**

Una vez readecuado, instalado, cambiado la tubería sus accesorios y hecho el mantenimiento del banco de pruebas de la bomba axial se realizaron pruebas de operación para evaluarla en diferentes condiciones de funcionamiento y de esta manera observar las vibraciones y los tipos de defectos que poseía este banco, luego de corregirlas y encontrar los parámetros adecuados para el funcionamiento óptimo de este banco de pruebas, antes de su respectiva adquisición de datos nos detuvimos a observar los variables con las nuevas modificaciones y rediseño de la bomba axial y obteniendo así los nuevos parámetros antes de la automatización.

Antes de la automatización se realizó las pruebas necesarias y la calibración de cada uno de los sensores que se utilizó para la adquisición de datos de este banco de pruebas para obtener los parámetros con mayor precisión y reducir los errores, obteniendo los resultados esperados con ayuda del programa LabVIEW y por medio del módulo de adquisición multifunción NI USB 6008.

### 4.3. Sensores para la medición de variables

**4.3.1.** *Medición de presión vacuométrica o de vacío (Sensor PX209-30V15G5V, marca OMEGA).* Este sensor es un transductor de presión de estado sólido con salidas de 0 a 5 Vdc o 4 a 20 mA rango de vacío a 300 psi y se lo utilizó para la medición de la presión de entrada o presión en la succión para el banco de pruebas de la bomba axial ya que posee un rango de – 14,7 psig hasta 15 psig.

**4.3.2.** *Medición de presión manométrica (Sensor PX309-030GV, marca OMEGA).* Este sensor es un transductor de presión de alto rendimiento que se lo utilizo para la medición de la presión de salida o presión de descarga para el banco de pruebas de la bomba axial, ya que posee un rango de presión de 0 psig hasta 30 psig.

**4.3.3.** *Medición de caudal (Sensor PX409-001DWUV, marca OMEGA).* Antes de instalar el sensor y una vez que se instaló los diferentes accesorios del banco de pruebas de la bomba axial se procedió a adquirir datos empíricamente para determinar el caudal real que estaba erogando la bomba, para lo cual se tomó 10 lecturas de tiempos con un determinado caudal especificado y los resultados fueron los siguientes:

Tabla 3. Tiempo y volumen real de la bomba axial

	<b>Tiempo [s]</b>	<b>Volumen [cm<sup>3</sup>]</b>
	4,17	43 521
	4,19	43 521
	4,36	43 521
	4,50	43 521
	4,01	43 521
	4,59	43 521
	4,26	43 521
	4,41	43 521
	4,07	43 521
	4,17	43 521
<b>Promedio</b>	4,27	43 521

Fuente: (Autores)

Estos resultados se los promediaron y se dividió el volumen para el tiempo obteniendo de esta manera el caudal real que erogaba la bomba axial, el cual fue:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (4)$$

$$Q = \frac{43521 \text{ cm}^3}{4,27 \text{ s}} = 10185,12 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

$$Q = 10185,12 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} = 611,11 \frac{\text{l}}{\text{min}} = 10,19 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Para la medición de caudal en la automatización de datos se elaboró una placa orificio que se ubicó entre las bridas compactas y se utilizó el sensor diferencial PX409-001DWUV. Este sensor es un transductor de presión diferencial micromecanizado, húmedo - húmedo, se lo utilizó para realizar la medición del caudal para el banco de pruebas de la bomba axial mediante el procedimiento de placa orificio ya que posee un rango de presión de 0 a 1 psi<sub>D</sub>.

**4.3.3.1. Placa orificio.** Una placa orificio es una restricción con una abertura más pequeña que el diámetro de la tubería en la que está insertada.

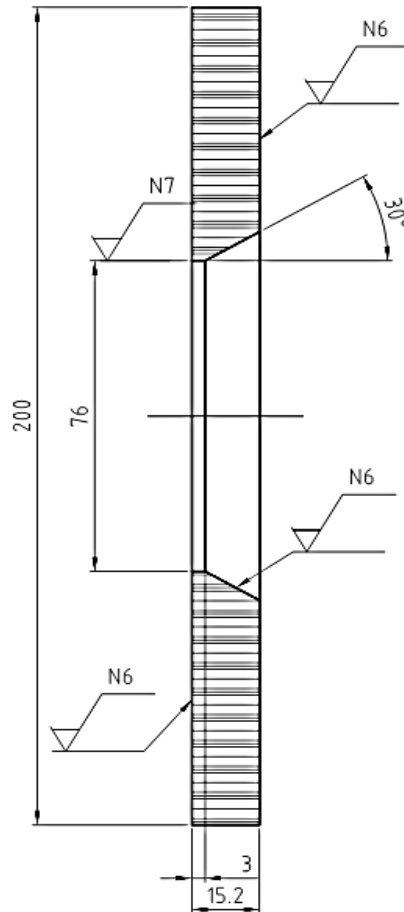
La placa orificio típica presenta un orificio concéntrico, de bordes agudos. Debido a la menor sección, la velocidad del fluido aumenta, causando la correspondiente disminución de la presión.

El caudal puede calcularse a partir de la medición de la caída de presión en la placa orificio. La placa orificio es el sensor de caudal más comúnmente utilizado, pero presenta una presión no recuperable muy grande, debido a la turbulencia alrededor de la placa, ocasionando un alto consumo de energía. La presión es recuperada a lo largo del resto del tramo de la tubería. Pero lo que importa es el cambio de presión ubicado en la placa orificio para nuestro estudio. Este tipo de dispositivo para la medición de caudal posee un cierto grado de certeza el momento en el que se instala correcta y adecuadamente respectivamente ya que como es un medidor de tipo convencional hace la medición mucho más fácil ya que se facilita mediante el sensor diferencial PX409-001DWUV que posee una presión diferencial de 0 – 1 psi<sub>D</sub>, ya que es un sensor con una sensibilidad muy precisa, estable, y lineal, después de haber realizado la respectiva calibración de este sensor de presión mediante la tarjeta de adquisición multifunción NI

USB-6008, que tiene 8 entradas analógicas y 8 entradas digitales (Facultad de Ingeniería, 2012 - 2013)

*Dimensiones de la placa orificio:*

Figura 39. Dimensiones de la placa orificio (en milímetros)



Fuente: (Autores)

Figura 40. Maquinado de la placa orificio

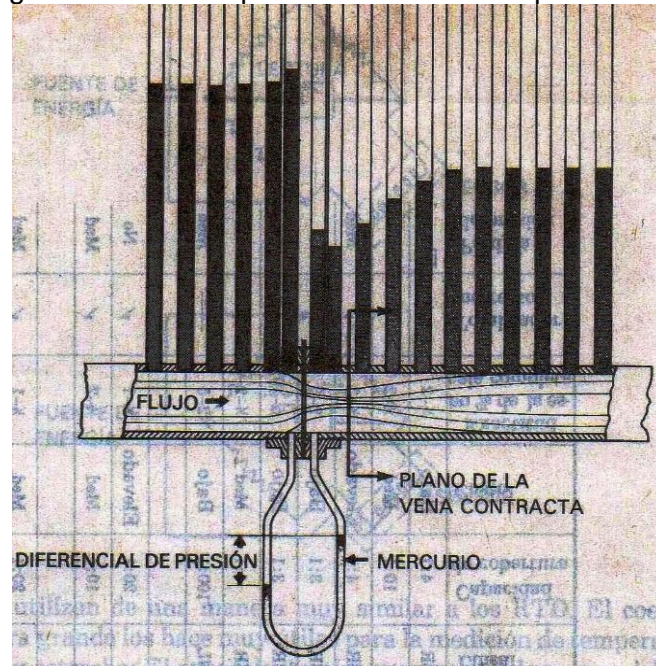


Fuente: (Autores)



**4.3.3.2. Vena contracta.** La vena contracta es la ubicación donde el flujo hacia abajo tiene la velocidad máxima y el área mínima de sección. La ubicación de este parámetro importante es con respecto a la relación entre el diámetro de la abertura del orificio y el diámetro interior del tubo. (ROSALER, 1989).

Figura 41. Perfil de presión utilizando una placa orificio



Fuente: (ROSALER, 1989)

**4.3.4. Medición de número de revoluciones (Sensor inductivo M18 PNP Bi8U-EM18-AP6X-H1141, marca TURCK).** Este sensor se lo utilizo para la medición del número de vueltas o rpm en el motor eléctrico en el banco de pruebas de la bomba axial, ya que posee un rango muy amplio de medida de hasta 2000 rpm y tiene una frecuencia de 1500 Hz. Además de que la marca de este sensor inductivo es TURCK que es alemana.

**4.3.5. Medición de torque (Celda de carga de flexión MODELO 102, marca UTILCELL).** Este sensor se utilizó para encontrar la variación del valor de la fuerza que produce el torque en el motor eléctrico del banco de pruebas, ya que posee una exactitud muy buena, además de que se lo adecuo a nuestras necesidades. La marca de este sensor es UTILCELL.

#### **4.4. Datos técnicos de equipos e instrumentos:**

**4.4.1. Sensor PX209-30V15G5V:**

Especificaciones principales:

- Tensión de salida Excitación: 24 Vdc @ 15 mA (7 a 35 Vdc de salida de 5 V, 12 a 35 de 10 V)
- Salida: 0 a 5 Vdc o 0-10 Vdc  $\pm$  1,5% (3 hilos)
- Balance cero: 0 Vdc  $\pm$  2% FSO
- Salida de 4 a 20 mA Excitación: 24 Vdc (7 a 35 Vdc) protegido para polaridad inversa
- Salida: de 4 a 20 mA  $\pm$  1% FSO (2 hilos)
- Balance cero: 4 mA  $\pm$  2% FSO
- Max. Resistencia de bucle: 50 x (tensión de alimentación -10) Ohms

Especificaciones comunes Precisión: 0,25% BFSL (Incluyendo linealidad, histéresis y repetibilidad)

- Temperatura de funcionamiento: -54 A 121 °C (-65 a 250 °F)
- Temperatura compensada: -20 A 80 °C (-4 a 176 °F)
- Efectos térmicos: 0,04% FS / °C (0,02% FS / °F)
- Presión de prueba: 150%
- Presión de rotura: 300% Gama máx.
- Tiempo de respuesta: 2 ms típico
- Sensibilidad a las vibraciones: A los 20 g vibración sinusoidal pico de 10 Hz a 2000 Hz (1,2 "D.A.), la salida no excederá de 0,04% FS / g durante 15 psi rango de 0,005% FS / g para 100 psi y arriba
- Frecuencia natural: 35 kHz de 100 psi rango

- Tipo: de silicio difundido medidores de tensión
- Piezas húmedas: 316 SS, borosilicate vidrio, nitruro de silicio, epoxi
- Conexión presión: 1/4-18 NPT
- Conexiones eléctricas: PX209: 1 m (36") con blindaje Cable de 4 conductores  
PX219: DIN 43 650 plug Conector suministrado
- Peso: 128 g (4,5 oz)

#### 4.4.2. *Sensor PX309-030GV:*

Especificaciones principales:

- Rangos de baja presión 1, 2 y 5 psi
- Rangos de ingeniería desde 1 psi a 10 000 psi
- Rangos de presión absoluta y compensada
- Construcción robusta de acero inoxidable
- Tecnología de silicio micro-mecanizado
- Alta estabilidad, baja deriva
- Alta precisión 0,25% típica
- Compensación de la temperatura
- Calificación IP 65
- 3 estilos diferentes:
  - PX309 conexión por cable
  - PX319 conexión estilo DIN (conector pareja incluido)
  - PX329 conexión cierre por giro (conector paraje no incluido)

#### 4.4.3. *Sensor PX409-001DWUV:*

Especificaciones principales:

- Precisión: 0,08 % mejor línea recta de linealidad, histéresis y repetibilidad combinadas
- Resistencia mínima entre el cuerpo del transductor y cualquier cable: 100 MΩ

- Temperatura de funcionamiento:  
Salida de mV/V y 5 a 10 Vdc: -45 a 121 °C (-49 a 250 °F)  
Salida de mA: -45 a 115 °C (-49 a 239 °F)
- Rango de temperatura compensada:  
10 in H<sub>2</sub>O a 5 psi: -17 a 85 °C (1 a 185 °F)  
15 a 1000 psi: -29 a 85 °C (-20 a 185 °F)
- Precisión térmica: cero Intervalo % de desplazamiento sobre rango de temperatura compensada  
10 in H<sub>2</sub>O a 1 psi: ±1,00% ±1,00%  
2,5 a 1000 psi: ±0,50% ±0,50%
- Ciclos de presión: 1 millón como mínimo
- Estabilidad a largo plazo (1 año): ±0,1% escala completa típica
- Ancho de banda: CC a 1 kHz típico
- Tiempo de respuesta: <1 ms.
- Conformidad CE: Cumple con EN1326-1: 2006 para ubicaciones industriales
- Choque: 50 g, 11 ms eje semi sinusoidal, vertical y horizontal
- Vibración: 5-2000-5 Hz, ciclo de 30 minutos, curva L, especificación de milésima 810 figura 514-2-2, eje vertical y horizontal
- Piezas húmedas: Acero inoxidable 316L
- Presión de línea/estática: 500 psi máx. aplicados a ambos lados simultáneamente
- Presión de prueba (diferencial): rango de 10 in H<sub>2</sub>O = rango de 10 veces  
rango de 1 psi = rango de 6 veces  
rangos de 2,5 a 750 psi = rango de 4 veces  
rango de 1000 psi = rango de 3 veces

- Presión de contención del lado alto (diferencial):  
Rangos de 10 in H<sub>2</sub>O a 5 psi: a 1000 psi  
Rangos 15 a 1000 psi: a 3000 psi  
Puertos de presión: NPT macho de ¼
- Terminaciones eléctricas:  
PX409: cable de 2 m (6')  
PX409C: cable de 2 m (6') con rosca NPT de ½ del conducto  
PX419: Mini DIN (se incluye conector de acoplamiento)  
PX429: Cierre por torsión, (el conector de acoplamiento se vende por separado)  
PX459: Conector M12
- Conector de acoplamiento PX429: PT06F10-6S
- Peso: 200 g (7 onzas) máx.

#### 4.4.4. *Sensor inductivo M18 PNP Bi8U-EM18-AP6X-H1141:*


Especificaciones técnicas y principales:

Tabla 4. Características principales del sensor inductivo

<b>Descripción</b>	<b>Código</b>
Montaje:	Embebible
Principio de operación:	Inductivo
Distancia de funcionamiento nominal (mm):	8
Características de sensado:	Sensor Uprox
Material de la carcasa rectificado:	Acero inoxidable
Estilo de armazón:	Metal Barrel, Parcialmente roscado, Latón cromado
Diámetro, Altura, Longitud (mm):	18
Función de salida:	Normalmente abierta (N.O.)
Salida:	Transistor PNP (fuente de corriente)
Rango de voltaje:	10 a 30 VDC, polaridad protegida, Pulsada SCP
Número de LED:	1 LED
Conector integral:	'eurofast', M12x1, metal o plástico, macho
Configuración de conector:	Directo
Número de PINs:	4 PIN
Código de fabricación:	Cableado estándar
Frecuencia de conmutación:	1.5 KHz

Fuente: (DATASHEETLIB, 2005)

Tabla 5. Especificaciones del sensor inductivo

<b>Designación de tipo</b>	B18U-EM18-AP6X-H1141
N° de identificación	1644734
<b>Distancia de conmutación nominal Sn</b>	8 mm
Condición para el montaje	enrasado
Distancia de conmutación asegurada	$\leq (0,81 \times S_n)$ mm
Precisión de repetición	$\leq 2$ % v. f.
Variación de temperatura	$\leq \pm 10$ %
	$\leq \pm 15$ %, $\leq -25$ °C $\geq +70$ °C
Histéresis	3...15 %
Temperatura ambiente	-30... +85°C
<b>Tensión de servicio</b>	10...30 VDC
Ondulación residual	$\leq 10$ % Uss
Corriente DC nominal	$\leq 200$ mA
Corriente sin carga I0	$\leq 20$ mA
Corriente residual	$\leq 0,1$ mA
Tensión nominal de aislamiento	$\leq 0,5$ kV
Protección cortocircuito	sí/ cíclica
Fallo de la tensión en Ie	$\leq 1,8$ V
Protección ante corto-circuito/polaridad inversa	sí/ completa
Función de salida	3 hilos, contacto de cierre, PNP
Clase de protección	
Frecuencia de conmutación	1,5 kHz
<b>Modelo</b>	tubo roscado, M18 x 1
Medidas	52 mm
Material de la carcasa	acero inoxidable, V2A (1,4301)
Material de la cara activa	plástico, LCP
par de apriete máx. de la tuerca de la carcasa	25 Nm
Conexión	conector, M12 x 1
Resistencia a la vibración	55 Hz (1 mm)
Resistencia al choque	30 g (11 ms)
Grado de protección	IP68
MTTF	874 Años según SN 29500 (ed. 99) 40°C
<b>Indicación estado de conmutación</b>	LED amarillo

Fuente: (DATASHEETLIB, 2005)

#### 4.4.5. Celda de carga de flexión MODELO 102:

Especificaciones principales:

- Célula de carga de flexión
- Soporte elástico de aluminio
- 3000 divisiones O.I.M.L. R60 clase C
- Protección IP 66 (EN 60 529)
- Gran precisión con cargas descentradas
- Aplicaciones: - Plataformas monocélula hasta 350 x 350 mm - Ensacadoras (UTILCELL, 2005)

- La aplicación para este tipo de celda de cargas son las balanzas de pesaje de una aduana, mercado o industria que posee una gran carga para transportar.

#### 4.4.6. Módulo de Adquisición Multifunción NI USB 6008.

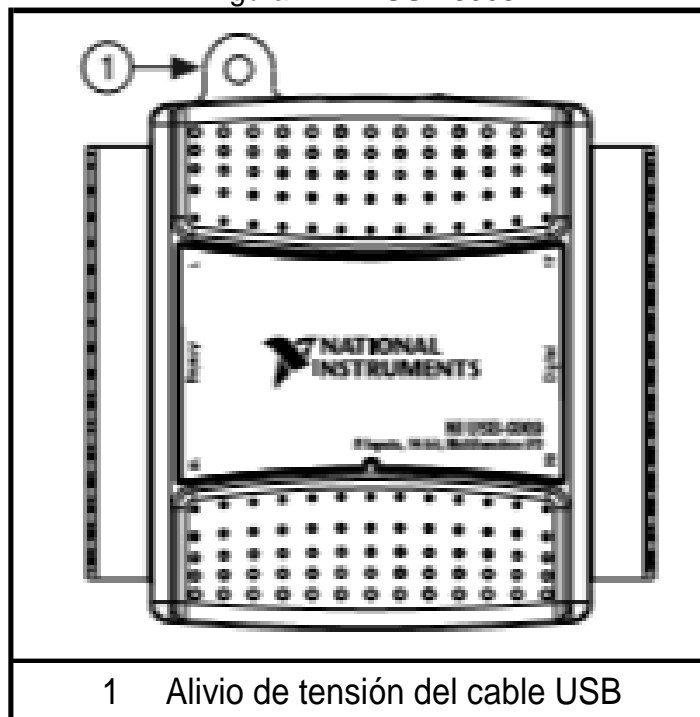
El NI USB – 6008 ofrece conexión con ocho entradas analógicas (AI), dos canales de salida analógica (AO), 12 canales con entradas / salidas digitales (DIO), y un contador de 32 bits con una interfaz USB de alta velocidad.

Tabla 6. Convenciones de nomenclatura por tipo de controlador de salida digital

Funcionalidad de hardware	Terminología NI-DAQmx
Drenaje abierto	Colector abierto
Empujar tirar	Unidad activa

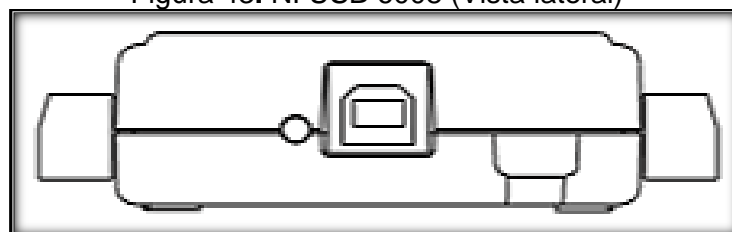
Fuente: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2006)

Figura 42. NI USB 6008



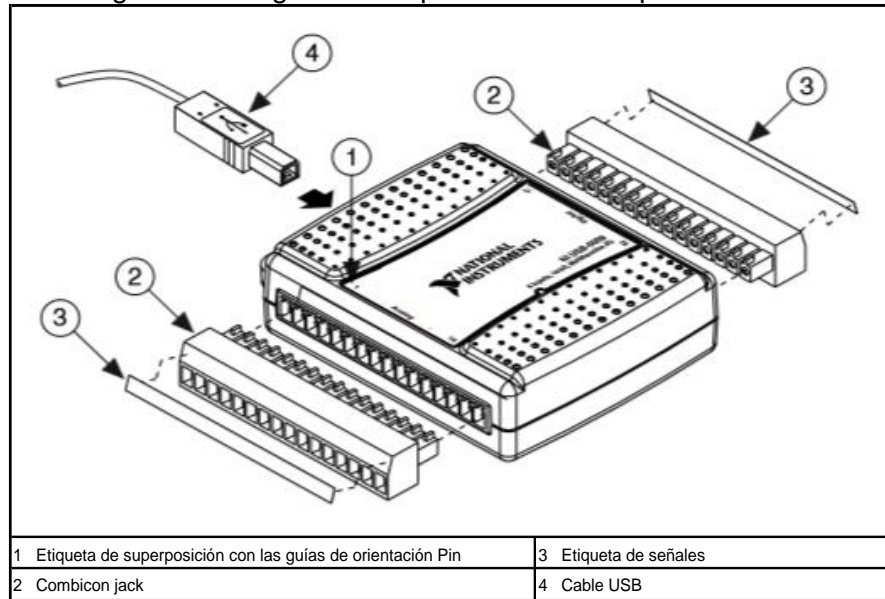
Fuente: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2006)

Figura 43. NI USB 6008 (Vista lateral)



Fuente: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2006)

Figura 44. Diagrama de aplicación con etiqueta de señal



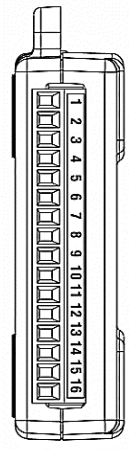
Fuente: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2006)

### Conector I/O:

El NI USB 6008 se suministra con un bloque de terminales de tornillo desmontable para señales analógicas y un bloque de terminales de tornillo desmontable para señales digitales. Estos bloques de terminales proporcionan 16 conexiones que utilizan de 16 AWG a 28 AWG.

La tabla 7 se enumeran las asignaciones de terminales analógicos, y en la tabla 8 se enumeran las asignaciones de terminales digitales.

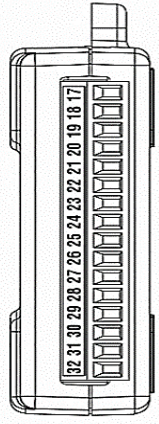
Tabla 7. Asignaciones de las terminales analógicas

Module	Terminal	Signal, Single-Ended Mode	Signal, Differential Mode
	1	GND	GND
	2	AI 0	AI 0+
	3	AI 4	AI 0-
	4	GND	GND
	5	AI 1	AI 1+
	6	AI 5	AI 1-
	7	GND	GND
	8	AI 2	AI 2+
	9	AI 6	AI 2-
	10	GND	GND
	11	AI 3	AI 3+
	12	AI 7	AI 3-
	13	GND	GND
	14	AO 0	AO 0
	15	AO 1	AO 1
	16	GND	GND

Fuente: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2006)



Tabla 8. Asignaciones de las terminales digitales

Module	Terminal	Signal
	17	P0.0
	18	P0.1
	19	P0.2
	20	P0.3
	21	P0.4
	22	P0.5
	23	P0.6
	24	P0.7
	25	P1.0
	26	P1.1
	27	P1.2
	28	P1.3
	29	PFI 0
	30	+2.5 V
31	+5 V	
32	GND	

Fuente: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2006)

### Descripción de señal:

La tabla 9 describe las señales disponibles en los conectores de I / O.

Tabla 9. Descripción de señales

Nombre	Referencia	Dirección	Descripción
GND	----	----	<b>Ground</b> - El punto de referencia para las mediciones de un solo extremo de AI, el sesgo de punto de retorno de corriente para medidas de modo diferencial, voltajes AO, las señales digitales en el conector de I / O, +5 VCC y la referencia VDC +2.5.
AI <0...7>	Varios	Entrada	<b>Canales de entrada analógica 0 a 7</b> - Para las mediciones de un solo extremo, cada señal es un canal de tensión de entrada analógica. Para las mediciones diferenciales, AI 0 y AI 4 son las entradas positivas y negativas diferenciales del canal de entrada analógico 0. Los siguientes pares de señales también forman los canales de entrada diferenciales: <AI 1, AI 5>, <AI 2, AI 6>, y <AI 3, IA 7>.
AO 0	GND	Salida	<b>Canal Analógico de Salida 0</b> - Suministra la salida de voltaje de AO al canal 0.
AO 1	GND	Salida	<b>Canal Analógico de Salida 1</b> - Suministra la salida de voltaje de AO al canal 1.
P1 <0...3> P0 <0...7>	GND	Entrada o Salida	<b>Señales digitales de I / O</b> - Se pueden configurar individualmente cada señal como entrada o salida.
+2.5 V	GND	Salida	<b>+2.5 V externo de referencia</b> - proporciona una referencia para las pruebas de recapitulación de regreso
+5 V	GND	Salida	<b>+5 V Fuente de energía</b> : proporciona potencia de hasta 5 V y 200 mA.
PFI 0	GND	Salida	<b>PFI 0</b> - Este pin se puede configurar ya sea como un disparador digital o una entrada de contador de eventos.

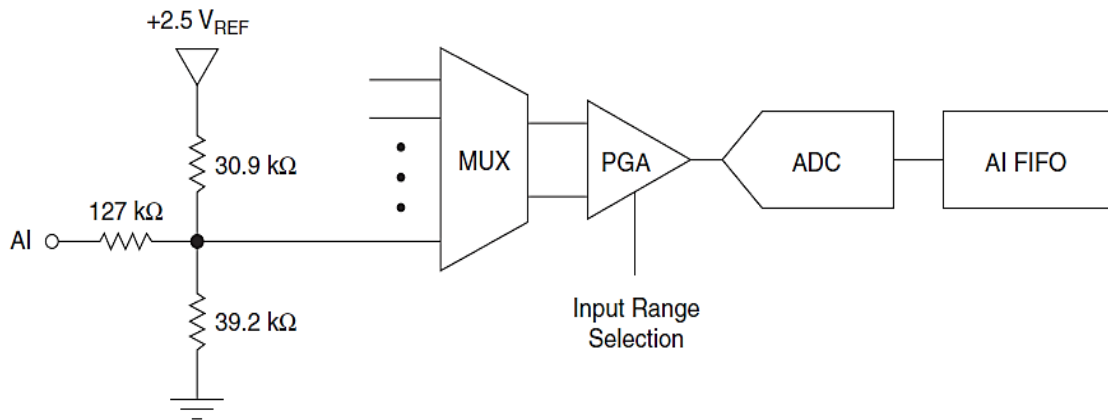
Fuente: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2006)

### Entrada Analógica:

Puede conectar las señales de entrada analógicas a la NI USB 6008 a través del conector de E / S. Consulte la tabla 9 para obtener más información sobre la conexión de las señales de entrada analógicas.

*Circuitos de entrada analógica:*

Figura 45. Circuito de entrada analógica



Fuente: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2006)

**MUX:** El NI USB 6008 tiene un convertidor analógico – a – digital (ADC). El multiplexor (MUX) en ruta un canal de AI a la vez al PGA.

**PGA:** El amplificador programable de ganancia de entrada proporciona ganancias de 1, 2, 4, 5, 8, 10, 16, o 20 cuando está configurado para mediciones diferenciales y con ganancia de 1 cuando se configura para mediciones de composición individuales. El aumento de la PGA se calcula automáticamente basado en el rango de tensión seleccionado en la aplicación de medición.

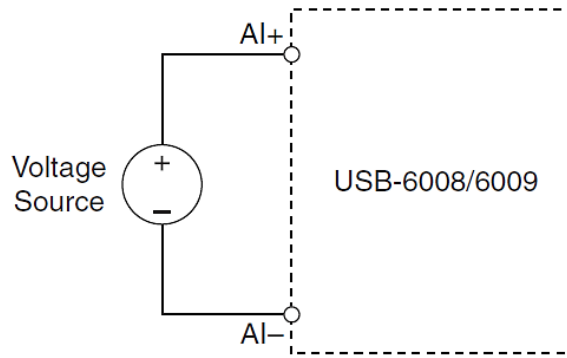
**Convertidor A / D:** El convertidor analógico – a – digital (ADC) digitaliza la señal AI mediante la conversión de la tensión analógica en un código digital.

**AI FIFO:** El NI USB 6008 puede realizar conversiones tanto únicas y múltiples A / D de un número fijo o de infinitas muestras. Un tampón (FIFO) primero en entrar, primero en salir mantiene los datos durante las adquisiciones de AI para asegurar que no se pierden datos.

**Modos de entrada analógica:** Puede configurar los canales de AI sobre el NI USB 6008 para tomar medidas de una sola terminal o diferentes. Consulte la tabla 9 para obtener más información sobre las conexiones de E / S para las mediciones de una sola terminal o diferenciales.

**Conexión de señales de tensión diferencial:** Para señales diferenciales, conecte el cable positivo de la señal en el terminal AI+, y el cable negativo al terminal AI-.

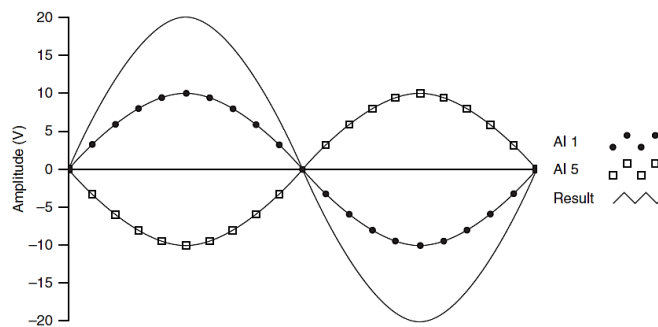
Figura 46. Conexión de señales de tensión diferencial



Fuente: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2006)

El modo de entrada diferencial puede medir  $\pm 20$  V señales en el rango de  $\pm 20$  V. Sin embargo, la tensión máxima en cualquier pasador es de  $\pm 10$  V con respecto a GND. Por ejemplo, si AI 1 es +10 V y AI 5 es -10 V, entonces la medición que se devuelve desde el dispositivo es +20 V.

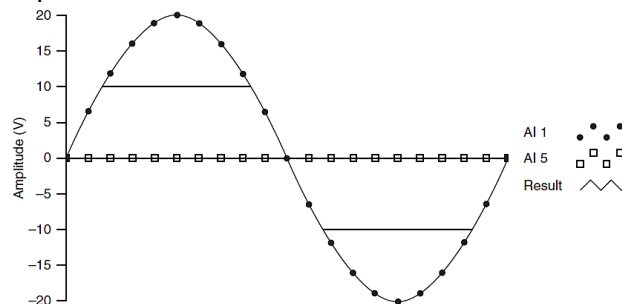
Figura 47. Ejemplo de una medición diferencial de 20 V



Fuente: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2006)

Conexión de una señal superior a  $\pm 10$  V en cualquiera de los pasadores recortados que resultan en una salida.

Figura 48. Superación +10 V sobre AI en el retorno recortado de salida

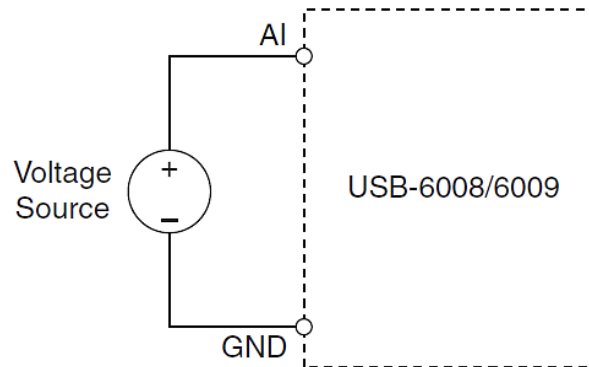


Fuente: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2006)

Conexión de referencia de señales de tensión sencilla – terminal:

Para conectar señales de tensión de una sola terminal de referencia (RSE) a la NI USB 6008, conecte la señal de voltaje positivo al terminal AI deseado y la señal de tierra a un terminal GND.

Figura 49. Conexión de señal de voltaje sencilla - terminal



Fuente: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2006)

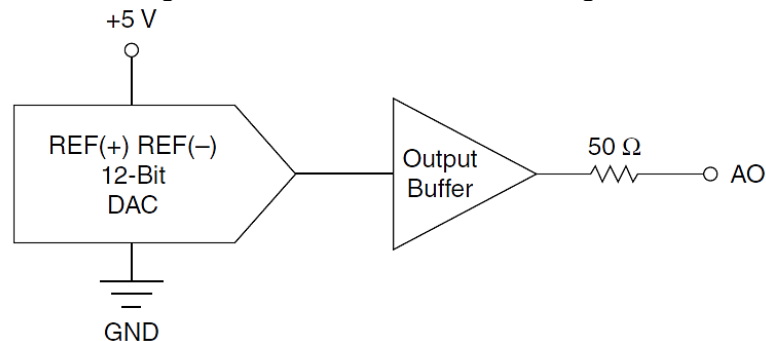
*Gatillo digital:* Cuando se define una tarea AI, se puede configurar el PFI 0 como entrada de disparo digital. Cuando el gatillo digital está activado, la tarea AI espera un aumento ascendente en PFI 0 antes de iniciar la adquisición. Para utilizar el gatillo ia / Start con una fuente digital, especifique PFI 0 como la fuente y seleccione el aumento ascendente.

### Salidas Análogas:

El NI USB 6008 dispone de dos canales AO independientes que pueden generar salidas de 0 –5 V. Todas las actualizaciones de líneas AO son con software programado.

*Circuito de salida analógica:*

Figura 50. Circuito de salida analógica

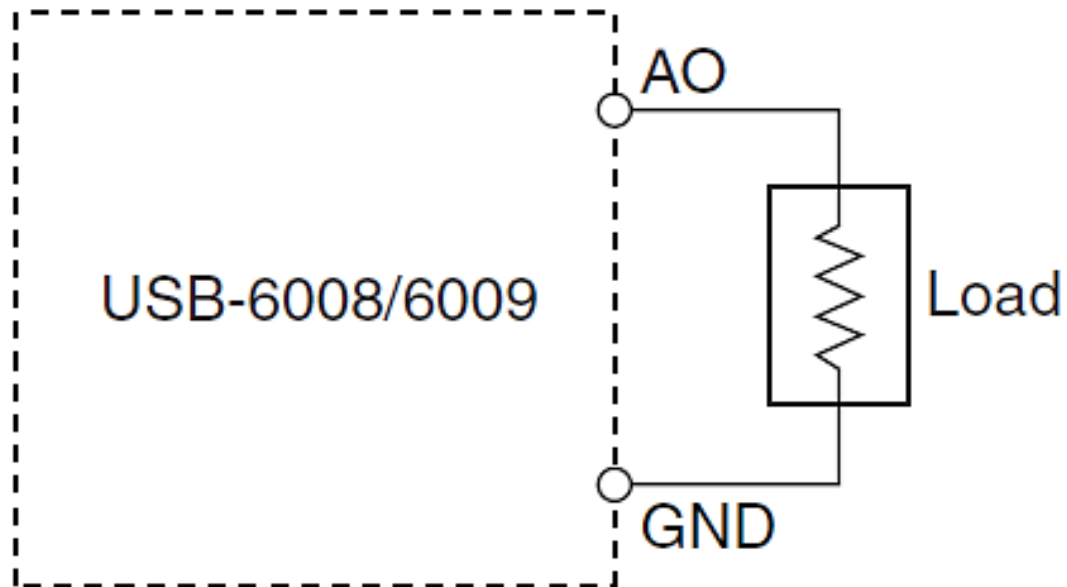


Fuente: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2006)

*DACs:* Convertidor digital a analógico (DACs) permite convertir códigos digitales a voltajes analógicos.

*Conexión de cargas de salida analógica:* Para conectar cargas a la NI USB 6008, conecte el cable positivo de la carga a la terminal AO, y la conexión a tierra de la carga a un terminal GND.

Figura 51. Conexión de una carga



Fuente: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2006)

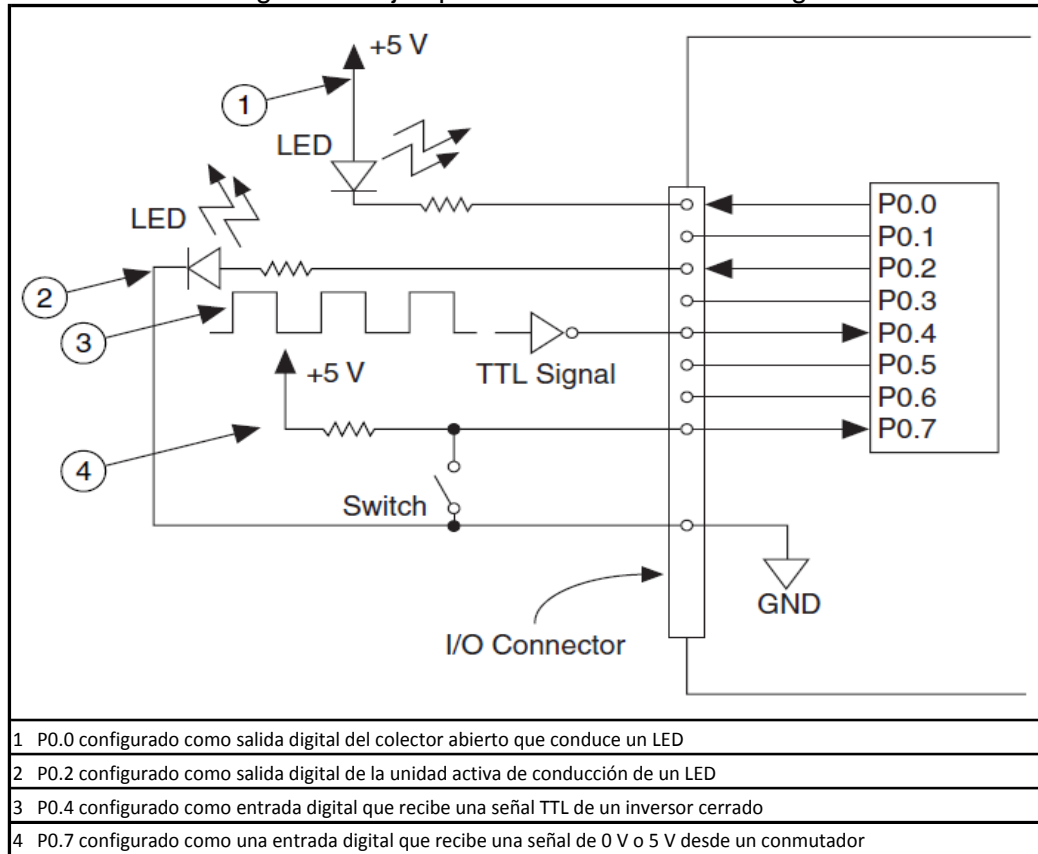
*Minimizando fallos en la señal de salida:* Cuando se utiliza una DAC para generar una forma de onda, se puede observar fallos en la señal de salida. Estos fallos son normales; cuando una DAQ cambia de un voltaje a otro, produce problemas técnicos debido a las cargas liberadas. Los mayores fallos se producen cuando el bit más significativo se produce en los cambios en el código del DAC. Usted puede construir un filtro de fallos de paso bajo para eliminar algunos de estos problemas técnicos, en función de la frecuencia y la naturaleza de la señal de salida. Consulte [ni.com/support](http://ni.com/support) para obtener más información sobre cómo minimizar interferencias.

### **Digitales I / O:**

El NI USB 6008 dispone de 12 líneas digitales, P0.<0..7> y P1.<0..3>, que comprenden el puerto DIO. GND es la señal de referencia de tierra para el puerto DIO. Usted puede programar individualmente todas las líneas como entradas o salidas.

*Circuitos digitales I / O:* La figura 42 muestra la conexión de P0.<0..7> a un ejemplo de señales configuradas como entradas digitales y salidas digitales. Puede configurar P1.<0..3> similarmente.

Figura 52. Ejemplo de conexión de una carga



Fuente: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2006)

## Protección I / O

Para proteger el NI USB 6008 contra sobretensión, baja tensión, y las condiciones de sobrecorriente, así como la existencia de ESD, debe evitar estas condiciones de falla utilizando las siguientes pautas:

- Si configura una línea DIO como una salida, no la conecte a cualquier fuente externa de señal, señal de tierra, o fuente de alimentación.
- Si configura una línea DIO como salida, debe entender los requerimientos actuales de la carga conectada a estas señales. No exceda los límites de salida de corriente especificadas del dispositivo DAQ. National Instruments tiene varias soluciones de acondicionamiento de señal para aplicaciones digitales que requieren una alta unidad actual.
- Si configura una línea DIO como entrada, no conduzca la línea con tensiones fuera de su rango de operación normal. Las líneas DIO tienen un rango de operación más pequeña que las señales de AI.

- Tratar el dispositivo DAQ como lo haría con cualquier dispositivo sensible estático. Siempre tierra adecuadamente a ti mismo y el equipo al manipular el dispositivo de adquisición de datos o la conexión a la misma.

*Estado encendido:* En el inicio del sistema y restablecer, el hardware establece todas las líneas DIO a entradas de alta impedancia. El dispositivo DAQ no conduce la señal de alta o baja. Cada línea tiene una débil resistencia pull-up conectado a ella.

*DIO estático:* Cada uno de los NI USB 6008 sus líneas DIO se pueden utilizar como un DI estática o DO línea. Puede utilizar las líneas DIO estáticas para supervisar o controlar las señales digitales. Todas las muestras de líneas DI estáticas y actualizaciones de líneas no son software cronometrados.

### **Referencia y Fuentes de alimentación:**

El NI USB 6008 crea una referencia externa y suministra una fuente de alimentación.

*+2,5 V Referencias externas:* El NI USB 6008 crea una alimentación de tensión de referencia de alta pureza para la ADC utilizando un circuito regulador, un amplificador, y un filtro multi-estado. La tensión de referencia +2,5 V resultante se puede utilizar como una señal para la prueba de auto.

*+5 V Fuente de alimentación:* El NI USB 6008 suministra una salida de 5 V, 200 mA. Esta fuente puede ser utilizada para alimentar componentes externos.

### **Especificaciones:**

Las siguientes especificaciones son típicas a 25 °C, a menos que se indique lo contrario.

#### *Entrada analógica*

Tipo de convertidor	.....	Aproximación sucesiva
Entradas analógicas	.....	8 único - terminal, 4 diferenciales seleccionable por software
Resolución de entrada		
USB 6008	.....	12 bits diferenciales 11 bits único - terminal
USB 6009	.....	14 bits diferencial

13 bits único - terminal

Tasa máxima de muestreo<sup>1</sup>

Un solo canal

USB 6008 ..... 10 kS/s  
 USB 6009 ..... 48 kS/s

Canales múltiples

USB 6008 ..... 10 kS/s  
 USB 6009 ..... 42 kS/s

AI FIFO ..... 512 bytes

Tiempo de resolución ..... 41,67 ns (24 MHz tiempo base)

Tiempo de precisión ..... 100 ppm de la tasa real de muestreo

Rango de entrada

Unico - Terminal .....  $\pm 10$  V

Diferencial .....  $\pm 20$  V,  $\pm 10$  V,  $\pm 5$  V,  $\pm 4$  V  
 $\pm 2,5$  V,  $\pm 2$  V,  $\pm 1,25$  V,  $\pm 1$  V

Voltaje de funcionamiento .....  $\pm 10$  V

Impedancia de entrada ..... 144 k $\Omega$

Protección al sobrevoltaje .....  $\pm 35$

<sup>1</sup> Podría ser dependiente del sistema

Fuente de disparo ..... Software o gatillo digital externo  
 8 único - terminal, 4 diferenciales

Ruido del sistema ..... seleccionable por software

USB 6008, diferencial ..... 1,47 mVrms

USB 6009, único - terminal ..... 2,93 mVrms

USB 6009, diferencial ..... 0,37 mVrms

USB 6009, único - terminal ..... 0,73 mVrms

Tabla 10. Precisión absoluta a escala completa, un solo terminal

Rango	Típico a 25 °C [mV]	Máximo sobre temperatura [mV]
$\pm 10$	14,7	138

Fuente: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2006)



Tabla 11. Precisión absoluta a escala completa, diferencial

Rango	Típico a 25 °C [mV]	Máximo sobre temperatura [mV]
±20 V	14,7	138
±10 V	7,73	84,8
±5 V	4,28	58,4
±4	3,59	53,1
±2.5	2,56	45,1
±2	2,21	42,5
±1.25	1,70	38,9
±1	1,53	37,5

Fuente: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2006)

### Salida Analógica:

Tipo de convertidor	.....	Aproximación sucesiva
Las salidas analógicas	.....	2
Resolución de salida	.....	12 bits
Tasa máxima de actualización	.....	150 Hz, software oportuna
Rango de salida	.....	0 a +5 V
Impedancia de salida	.....	50 Ω
Salida de la unidad actual	.....	5 mA
Estado de encendido	.....	0 V
Velocidad de subida	.....	1 V / μs
Corriente de cortocircuito	.....	50 mA
Precisión absoluta (sin carga)	.....	7 mV típico, 36,4 mV máxima a gran escala

### Digital I / O:

I / O digital		
P0.<0..7>	.....	8 líneas
PI. <0..3>	.....	4 líneas
Control de dirección	.....	Cada canal programable individualmente como entrada o salida
Tipo de controlador de salida		
USB 6008	.....	Colector abierto (drenaje abierto)
USB 6009	.....	Cada canal programable individualmente como unidad activa (push-pull) o colector abierto (drenaje abierto)
Compatibilidad	.....	TTL, LVTTTL, CMOS
Rango de tensión absoluta máxima	.....	- 0,5 a 5,8 V con respecto a GND
Resistencia pull-up	.....	4,7 kW a 5 V
Estado de encendido	.....	entrada (alta impedancia)

Tabla 12. Niveles lógicos digitales

Nivel	Mínimo	Máximo	Unidades
Entrada de bajo voltaje	0,3	0,8	V
Entrada de alto voltaje	2,0	5,8	V
Corriente de fuga de entrada	----	50	A
Baja tensión de salida (I = 8,5 mA)	----	0,8	V
Alta tensión de salida			
Unidad activa (push-pull), I = -8,5 mA	2,0	3,5	V
Colector abierto (drenaje abierto), I = -0,6 mA, nominal	2,0	5,0	V
Colector abierto (drenaje abierto), I = -8,5 mA, con resistencia de pull-up externa	2,0	----	V

Fuente: (NATIONAL INSTRUMENTS, 2006)

*Voltaje externo:*

+5 V de salida (200 mA máximo)	.....	+5 V típico, +4,85 V mínimo
+2,5 V de salida (1 mA máximo)	.....	+2,5 V típico
Exactitud a +2,5 V	.....	0,25% máximo
Referencia de temperatura deriva	.....	50 ppm/ °C máximo

*Contador:*

Numero de contadores	.....	1
Resolución	.....	32 bits
Mediciones del contador	.....	Conteo por flanco (flanco descendente)
Resistencia Pull-push	.....	4,7 kΩ a 5 V
Frecuencia máxima de entrada	.....	5 MHz
Mínimo ancho de pulso alto	.....	100 ns
Mínimo ancho de pulso bajo	.....	100 ns
Entrada de alto voltaje	.....	2,0 V
Entrada de bajo voltaje	.....	0,8 V

*Interfaz de bus:*

Especificación de USB	.....	USB 2,0 a toda velocidad
Velocidad bus de USB	.....	12 Mb / s

*Requerimientos de energía:*

USB		
	4,10 a 5,25 VDC	80 mA típico, 500 mA máximo
	USB suspendido	300 μA típico, 500 μA máximo

### Características físicas:

Si necesita limpiar el módulo, límpielo con una toalla seca.

#### Dimensiones

Sin conectores	.....	6,35 cm x 8,51 cm x 2,31 cm (2,50 in x 3,35 in x 0,91 in)
Con conectores	.....	8,18 cm x 8,51 cm x 2,31 cm (3,22 in x 3,35 in x 0,91 in)
Conectores I / O	.....	USB serie B del receptáculo, cabeceras de enchufe terminal de bloqueo de posición

#### Peso

Con conectores	.....	84 g (3 oz)
Sin conectores	.....	54 g (1,90 oz)

Cableado para los tornillos terminales ..... 16 a 28 AWG

Torque para los terminales del tornillo ..... 0,22 a 0,25 N · m  
(2,0 to 2,2 lb · in)

## 4.5 Medidores de las variables y datos

**4.5.1.** *Características de los transductores de presión salida tipo cable (PX209).* Los transductores de presión de la serie PX209 Spara uso general de OMEGA son exactos, altamente confiables y adecuado para los más duros ambientes industriales. El pequeño tamaño y ligereza de la serie PX209 hacen que sean ideales para entornos de golpes y vibraciones. El inusualmente alto rendimiento de este transductor de presión de estado sólido proviene del puente de 4 brazos activos de silicio difundido micro-mecanizado con su diafragma y película fina patentada que proporciona un aislamiento dieléctrico. Un ASIC patentado proporciona una excelente compensación de temperatura de -20 a 80 ° C (-4 A 176 ° F), y unas tolerancias muy altas de balance cero y span. Con una construcción completa en acero, el PX209 tiene un excelente rendimiento a golpes y vibraciones y las partes húmedas son impermeable a casi todos los líquidos industriales y gases.

Figura 53. Sensor PX209



Fuente: (OMEGA)

**4.5.2.** *Características de los transductores de presión salida tipo cable (PX309).* **TECNOLOGÍA (Estado del arte).** La serie de transductores PX309 de alto rendimiento para uso general de OMEGA utilizan dos tecnologías de silicio. Para rangos de presión por debajo de 100 psi utilizan un sensor de silicio de alta precisión protegido por un fluido que llena la membrana de acero inoxidable. Para rangos superiores a 100 psi se utilizan galgas de silicio de alta precisión molecularmente unidas a la membrana de acero inoxidable. Ambos sistemas proporcionan un sensor robusto con una alta precisión y una excelente estabilidad a largo plazo.

Figura 54. Sensor PX309



Fuente: (OMEGA)

**4.5.3.** *Características de los transductores de presión salida tipo cable (PX409).* Transductores de presión diferencial húmedo/húmedo para líquidos como agua o aceite hidráulico. Salidas de mV/V, 0 a 5 o 0 a 10 Vdc, o 4 a 20 mA. Rangos unidireccionales 0 - 10 pulg de H<sub>2</sub>O a 0 - 1000 psid.

Figura 55. Sensor PX409



Fuente: (OMEGA)

**4.5.4.** *Sensor inductivo M18 PNP Bi8U-EM18-AP6X-H1141.* Se compone de un circuito tanque donde el inductor es el elemento detector, y un capacitor tiene un valor tal que pone al sistema en resonancia. Un circuito comparador mide la tensión del capacitor con respecto a una tensión patrón prefijada. Cuando el circuito tanque está en resonancia, la tensión en el capacitor es máxima. En esas condiciones, el comparador no entrega salida. Si se acerca un elemento metálico al inductor, se producen en él corrientes de Foucault que lo sacan de resonancia. En esas circunstancias, la tensión en el capacitor cae, y el comparador entrega una salida proporcional a la diferencia entre la máxima y la que ahora existe en el capacitor. Detecta cualquier tipo de metal porque inducen corriente en el elemento que se acerca. (Facultad de Ingeniería, 2012 - 2013).

Figura 56. Sensor inductivo



Fuente: (Autores)

**4.5.5.** *Celda de carga de flexión MODELO 102.* Son transductores electrónicos que transforman o trasladan la fuerza o peso a cambios de voltaje.

Por lo que este cambio de voltaje produce en la instrumentación de salida una deflexión repetible o indicación que puede ser calibrado directamente en términos de la carga aplicada a la celda.

Una celda de carga debe de contar con un punto de apoyo y un punto de carga, una vez fija en su punto de apoyo y aplicándole una carga esta se deforma, al igual que los extensómetros, los cuales cambian su impedancia y permiten el paso de corriente eléctrica variando la diferencia de potencial proporcionalmente al incremento de la carga y la deformación de la celda.

Este voltaje que se obtiene a la salida de la celda de carga varía desde 0 mV hasta 30 mV en la mayoría de las celdas de carga comerciales. (ESPINOSA ESQUIVEL, 1995)

Características específicas de la celda de carga MODELO 102:

Tabla 13. Características de la celda de carga MODELO 102

<b>Especificaciones</b>			<b>Specifications</b>
Cargas nominales (Ln)	5-8-10-15 20-30-50	kg	Nominal capacities (Ln)
Clase de precisión	3000	n. OIML	Accuracy class
Carga mínima	0	%Ln	Minimum dead load
Carga de servicio	150	%Ln (1)	Service load
Cargas límite		%Ln (1)	Safe load limit
Error combinado	< ±0.017	%Sn (2)	Total error
Error repetibilidad	< ±0.01	%Sn	Repeatability error
Efecto de la temperatura: en el cero	< ±0.01	%Sn/5°K	Temperature effect: on zero
en la sensibilidad	< ±0.006	%Sn/5°K	on sensitivity
Error de fluencia (30 minutos)	< ±0.016	%Sn	Creep error (30 minutes)
Compensación de temperatura	-10...+40	°C	Temperature compensation
Límites de temperatura	-20...+70	°C	Temperature limits
Sensibilidad nominal (Sn)	2±10%	mV/V	Nominal sensitivity (Sn)
Tension de alimentación nominal	10	V	Nominal input voltage
Tension de alimentación máxima	15	V	Maximum input voltage
Resistencia de entrada	400±20	Ω	Input impedance
Resistencia de salida	350±3	Ω	Output impedance
Desequilibrio inicial	<±2	%Sn	No load output
Resistencia de aislamiento	>5000	MΩ	Insulation resistance
Deformación máxima (a Ln)	0,3-0,5	mm	Maximum deflection (at Ln)
(1) En carga centrada sobre la célula. No para cargas excéntricas Only central loads on the load cell. Not for off-center loads			
(2) Error combinado. No Linealidad e Histéresis / Total error. Non Linearity and Hysteresis			

Fuente: (UTILCELL, 2005)

Figura 57. Celda de carga a flexión H100M (Vista superior)



Fuente: (Autores)

Figura 58. Celda de carga MODELO 102 (Vista de frente)



Fuente: (Autores)

## CAPÍTULO V

### 5. MONTAJE DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS EN EL BANCO DE PRUEBAS DE LA BOMBA AXIAL

#### 5.1. Instalación de accesorios en el banco de pruebas de la bomba axial

Se procedió a cambiar la antigua tubería y sus respectivos accesorios, por los nuevos componentes que se adquirió, la figura siguiente muestra el nuevo banco de pruebas para la bomba axial.

#### 5.2. Instalación de sensores

- La instalación del sensor PX209-30V15G5V se lo hizo al inicio de la bomba axial o sea en la succión de la bomba.

Figura 59. Instalación del sensor PX209-30V15G5V



Fuente: (Autores)

- El sensor PX309-030GV se lo hizo en la sección central del cuerpo de la bomba axial.

Figura 60. Instalación del sensor PX309-030GV



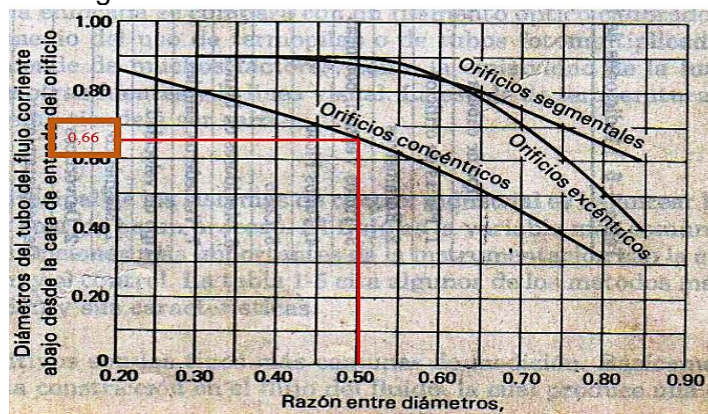
Fuente: (Autores)



- El sensor PX409-001DWUV se lo instaló mediante las siguientes figuras que fueron los parámetros más esenciales para la ubicación de este sensor diferencial. Según la Figura 61 y la Figura 62, debido a que la relación  $\beta = d/D$ , que es donde se nos recomendaba instalar la descarga para la toma de baja presión, donde  $d$  es el diámetro de la placa orificio (76 mm) y  $D$  es el diámetro interno de la tubería (152 mm),  $\beta = 76/152$ , da como resultado un  $\beta = 0,5$ , se nos recomendaba instalar la toma de baja presión a  $0,66D$  en donde se produce la vena contracta que es el punto de máxima velocidad y mínima presión del fluido erogado, y se ubica a 100,32 mm desde el lado o borde de salida de la placa orificio aguas abajo, pero no lo consideramos para nuestra adquisición de datos debido a que la presión no era la esperada.

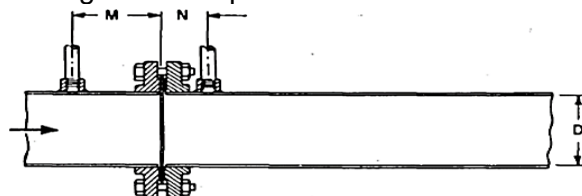
Por tal motivo se procedió a tomar las especificaciones que se remarcan en el cuadro en rojo de la Figura 63.

Figura 61. Ubicación de la vena contracta



Fuente: (ROSALER, 1989)

Figura 62. Espigas de vena contracta

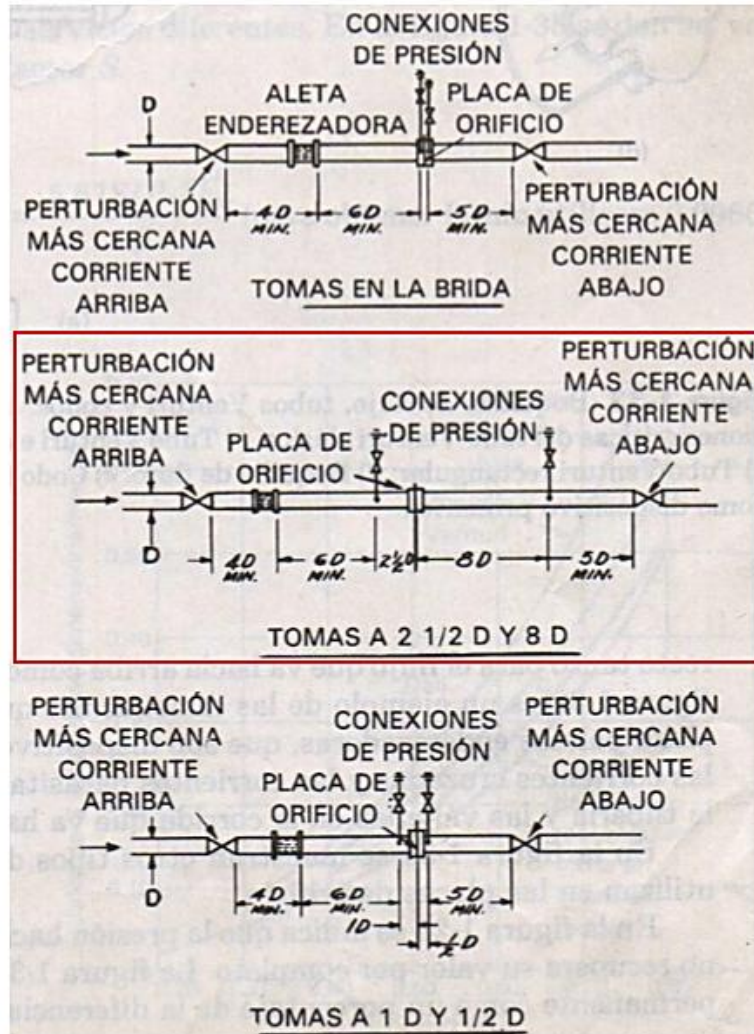


Dimensión *M*: se toma entre  $\frac{1}{2}$  y 2 diámetros de la tubería de corriente ascendente, frente a la placa de orificio.

Razón entre el diámetro del orificio y el de la tubería	Ubicación de la espiga de presión corriente abajo ( <i>N</i> ) (Diámetros de la tubería)		
	Mínimo	Medio	Máximo
0.2	0.31	0.85	1.30
0.3	0.44	0.80	1.15
0.4	0.47	0.73	1.00
0.5	0.47	0.66	0.84
0.6	0.42	0.57	0.70
0.7	0.35	0.45	0.55
0.8	0.25	0.33	0.41

Fuente: (SMITH, y otros, 1991)

Figura 63. Instalación en el flujo de líquido



Fuente: (ROSALER, 1989)

Figura 64. Instalación del sensor PX409-001DWUV



Fuente: (Autores)

- El sensor inductivo M18 PNP Bi8U-EM18-AP6X-H1141, se lo hizo a un costado del motor eléctrico para que realice la contabilización del número de vueltas en el mismo.

Figura 65. Instalación del sensor inductivo M18 PNP Bi8U-EM 18-AP6X-H1141



Fuente: (Autores)

- Celda de carga de flexión MODELO 102, esta celda de carga fue ubicada a lado del motor eléctrico para que realice la medición de fuerza cuando esté en funcionamiento el motor eléctrico, en la figura siguiente se indica la localización correcta de la celda de carga:

Figura 66. Ubicación de la celda de carga de flexión MODELO 102



Fuente: (Autores)

### 5.3. Automatización del banco de pruebas de la bomba axial

Se procedió inicialmente a la calibración de los respectivos sensores de la siguiente manera:

- Se utilizó el equipo de “calibración de manómetros neumáticos” para calibrar los respectivos sensores de presión, cuya señal es analógica.

Figura 67. Equipo de calibración de manómetros neumáticos



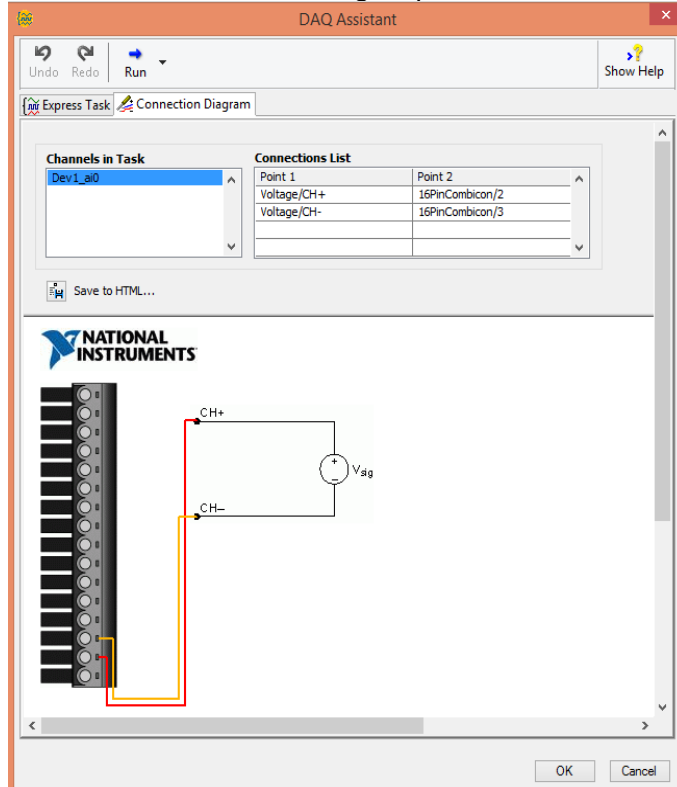
Fuente: (Autores)

- Se utilizó el juego de pesas del Laboratorio de Turbomaquinaria Hidráulica, para calibrar la celda de carga de flexión MODELO 102.
- Se empleó la tarjeta de adquisición multifunción NI USB 6008 y sus respectivas entradas analógicas para la realización de la calibración, la cual consistió en obtener la respectiva ecuación de presión en función de voltios o milivoltios [ $P_{resión} = f(V)$  y  $P_{resión} = f(mV)$ ], en el caso de la celda de carga de flexión se obtuvo la ecuación que fue fuerza en función de milivoltios [ $F_{uerza} = f(mV)$ ]

#### Proceso de calibración del sensor PX309-030GV:

- En el primer puerto de entrada analógica A0 (ai0) de la tarjeta de adquisición multifunción NI USB 6008, se conectó el sensor PX309-030GV que es un sensor de presión manométrica (presión positiva) con un rango de medición de presión de 0 – 30 psig.
- Se presentó dificultades ya que la salida de este sensor fue en milivoltios (mV) su configuración fue la siguiente:

Figura 68. Puerto de entrada analógico para el sensor PX309-030GV



Fuente: (Autores)

- Se procedió a calibrar el sensor gracias al equipo antes mencionado el cual se lo fue variando de 3 psi en 3 psi, para obtener 10 datos tanto de subida (que corresponde cuando la presión en el sensor comienza a subir) y de bajada (en este caso opuesto a lo anterior).

Figura 69. Calibración del sensor PX309-030GV



Fuente: (Autores)

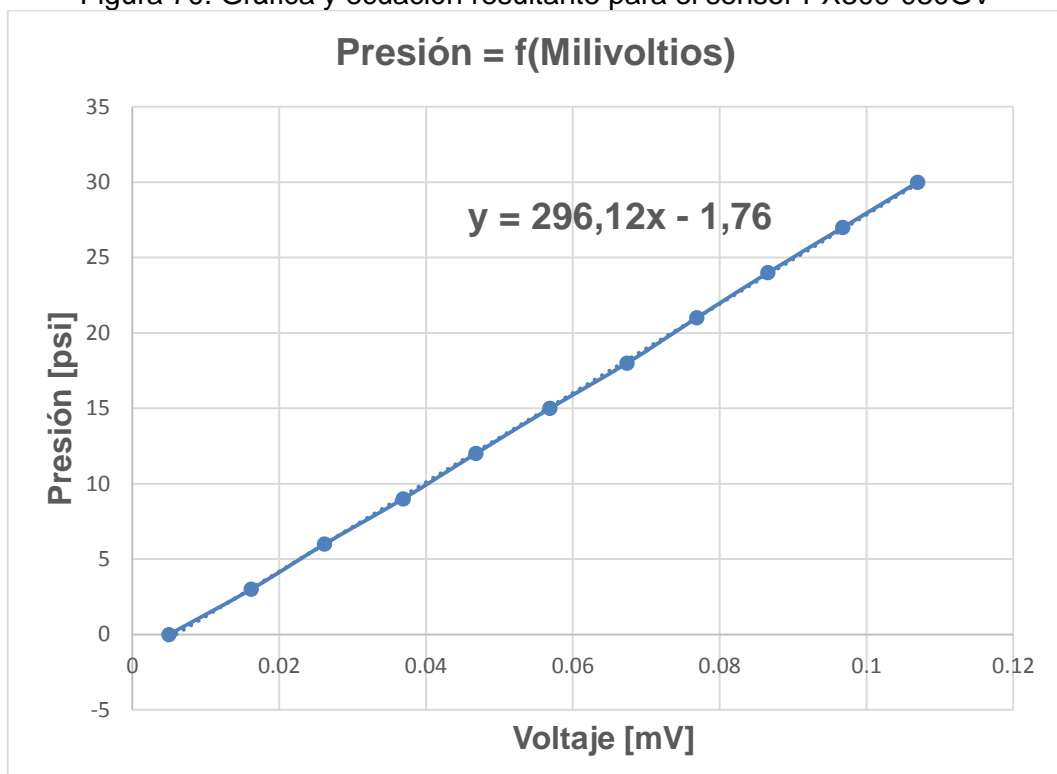
- Se procedió anotar los datos tanto de subida como de bajada, obtenido el siguiente promedio total y su respectiva ecuación:

Tabla 14. Promedio total de los datos tomados para el sensor PX309-030GV

Presión [psi]	Voltaje [mV]
0	0,0050
3	0,0162
6	0,0262
9	0,0369
12	0,0468
15	0,0569
18	0,0674
21	0,0769
24	0,0866
27	0,0968
30	0,1070

Fuente: (Autores)

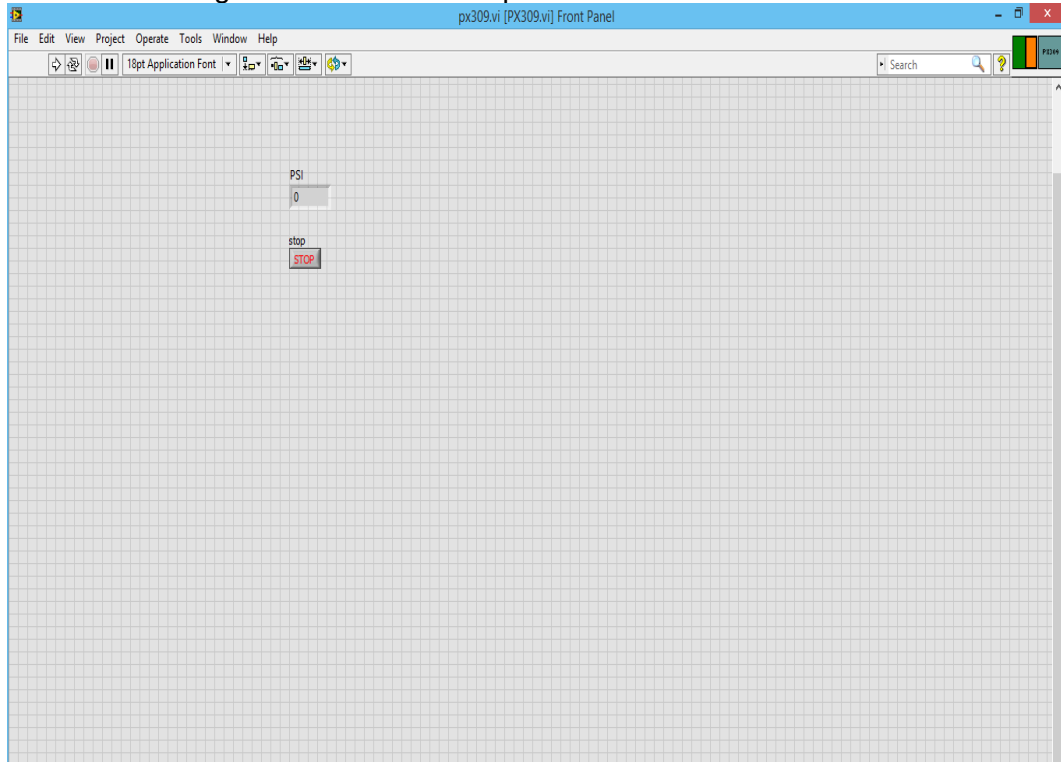
Figura 70. Gráfica y ecuación resultante para el sensor PX309-030GV



Fuente: (Autores)

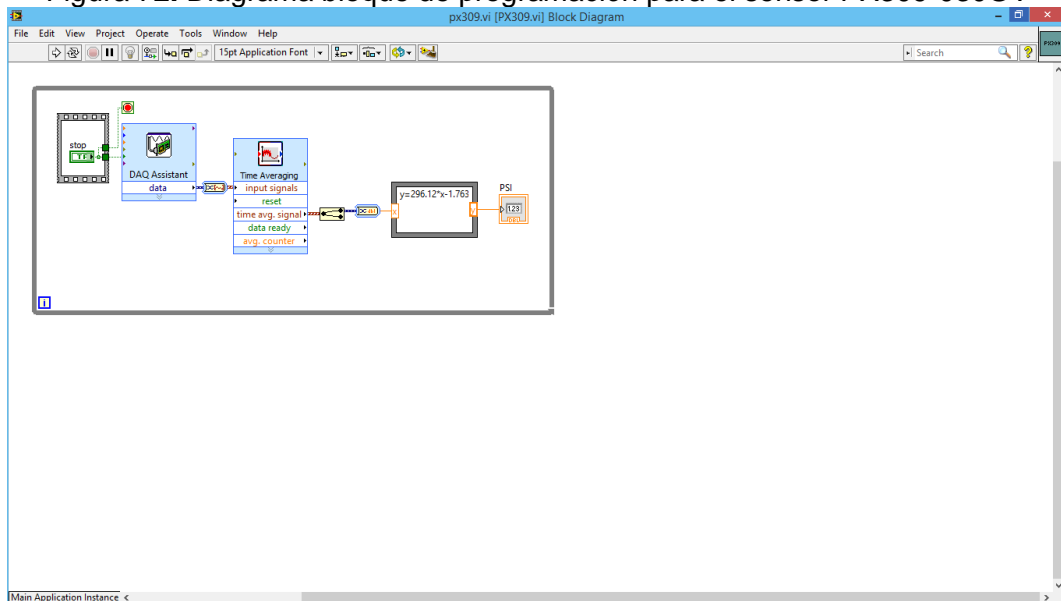
- Se procedió a efectuar el programa como un icono de LabVIEW, quedando como resultado el siguiente diagrama y su respectiva programación:

Figura 71. Panel frontal para el sensor PX309-030GV



Fuente: (Autores)

Figura 72. Diagrama bloque de programación para el sensor PX309-030GV



Fuente: (Autores)

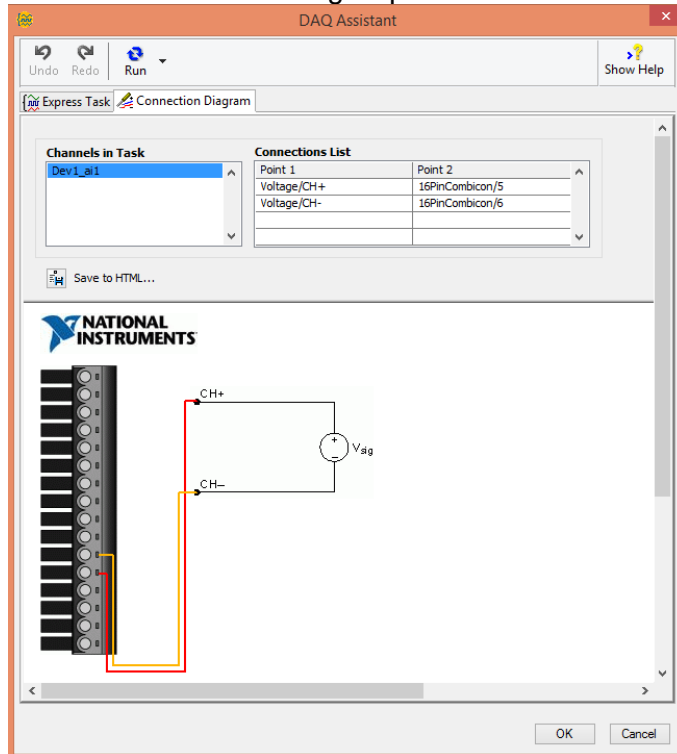
### Proceso de calibración del sensor PX209-30V15G5V:

- En el segundo puerto de entrada analógica A1 (ai1) de la tarjeta de adquisición multifunción NI USB 6008, se conectó el sensor PX209-30V15G5V que es un sensor de presión manométrica y vacuométrica (presiones positiva y negativa) con

un rango de medición de presión de -14,7 psig a 15 psig.

- En este sensor no se presentaron muchas dificultades, ya que la salida del mismo fue en voltios.
- No se utilizó ningún filtro extra.

Figura 73. Puerto de entrada analógico para el sensor PX209-30V15G5V



Fuente: (Autores)

- Se procedió a calibrar el sensor gracias al equipo antes mencionado el cual se lo fue variando de 1 psi en 1 psi, hasta obtener 15 datos tanto de subida y de bajada.

Figura 74. Calibración del sensor PX209-30V15G5V



Fuente: (Autores)



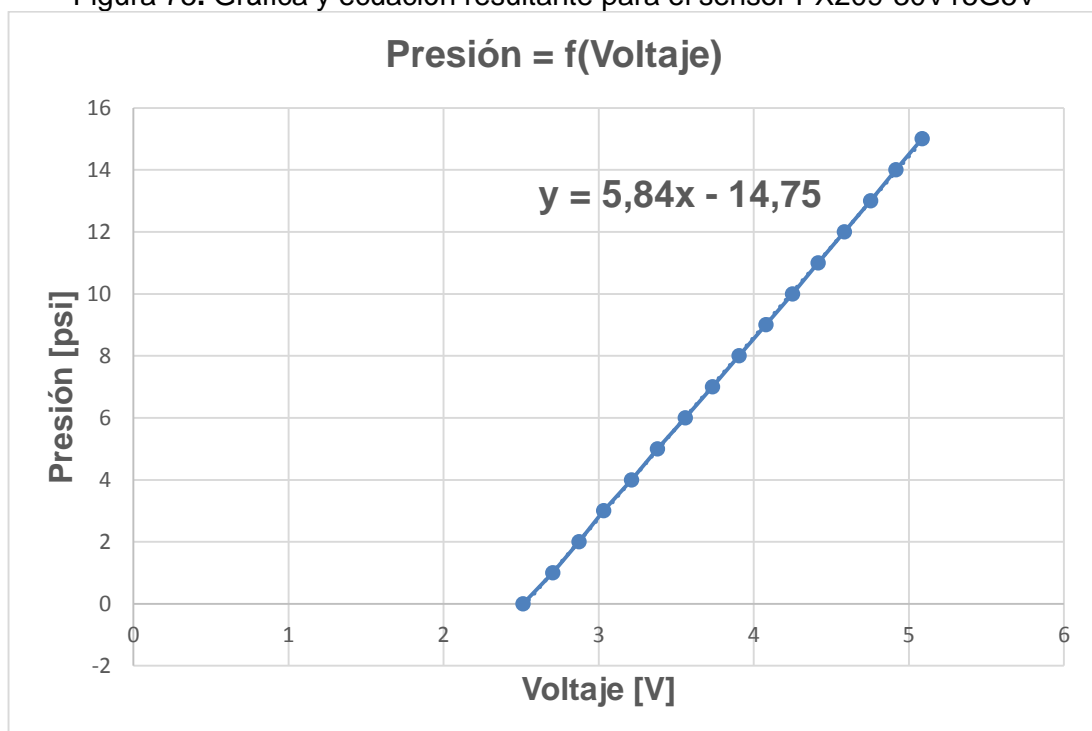
- Se procedió anotar los datos tanto de subida como de bajada, obtenido el siguiente promedio total y su respectiva ecuación:

Tabla 15. Promedio total de los datos tomados para el sensor PX209-30V15G5V

Presión [psi]	Voltaje [V]
0	2,51198
1	2,70349
2	2,87294
3	3,03262
4	3,21192
5	3,37889
6	3,55869
7	3,73452
8	3,90532
9	4,07870
10	4,24906
11	4,41418
12	4,58309
13	4,75297
14	4,91672
15	5,08462

Fuente: (Autores)

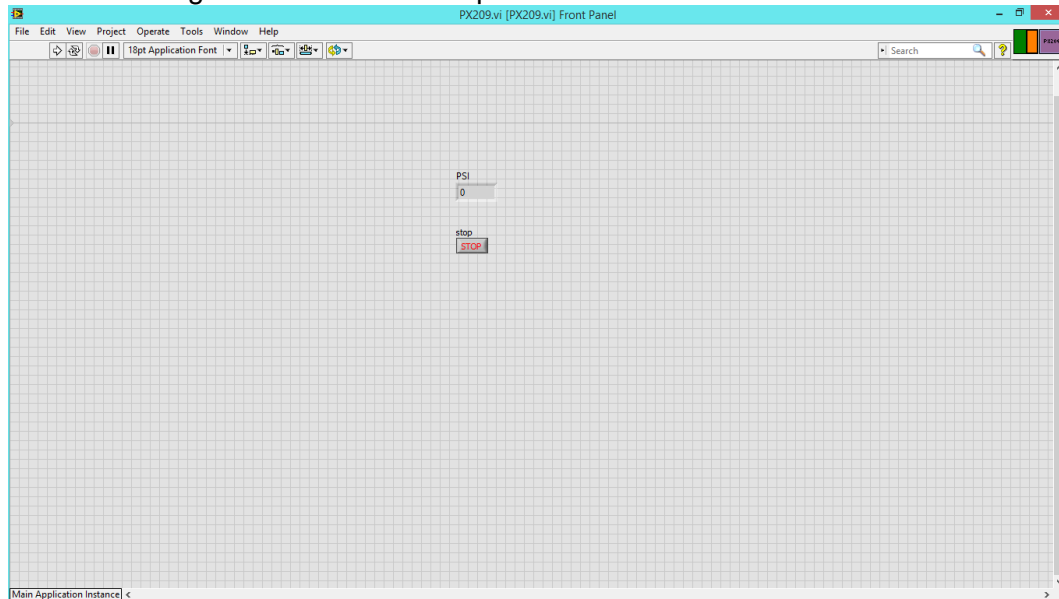
Figura 75. Gráfica y ecuación resultante para el sensor PX209-30V15G5V



Fuente: (Autores)

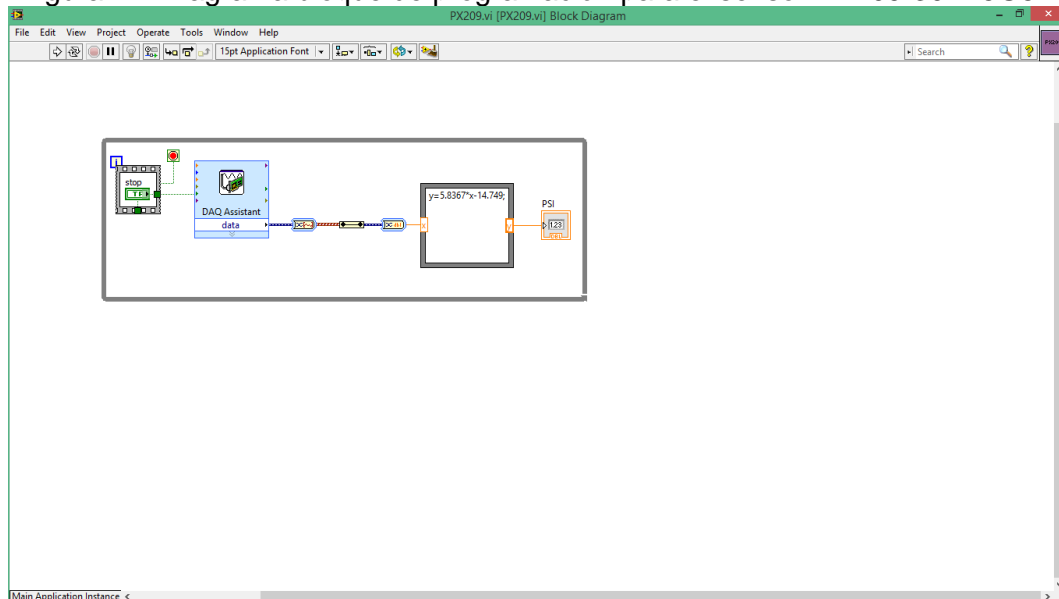
- Se procedió a efectuar el programa como un icono de LabVIEW, quedando como resultado el siguiente diagrama y su respectiva programación:

Figura 76. Panel frontal para el sensor PX209-30V15G5V



Fuente: (Autores)

Figura 77. Diagrama bloque de programación para el sensor PX209-30V15G5V



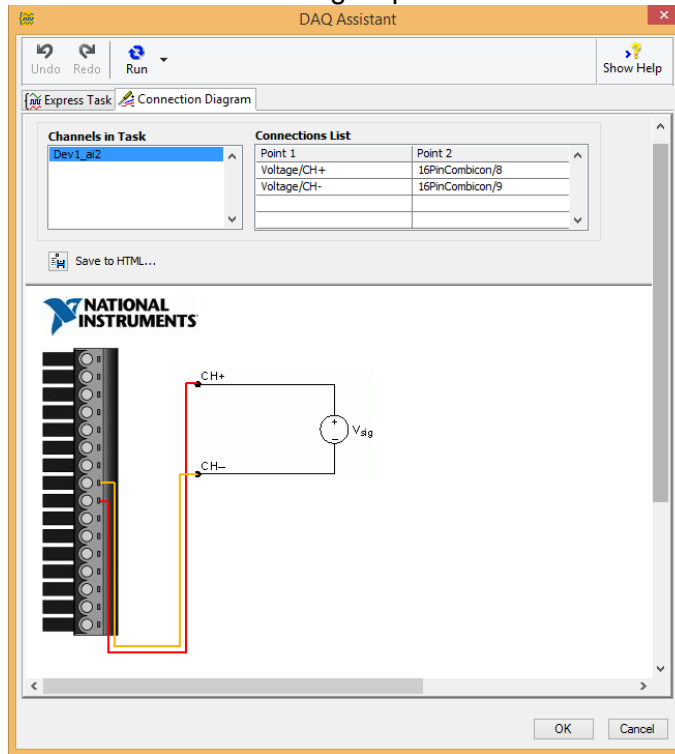
Fuente: (Autores)

### Proceso de calibración del sensor PX409-001DWUV:

- En el tercer puerto de entrada analógica A2 (ai2) de la tarjeta de adquisición multifunción NI USB 6008, se conectó el sensor PX409-001DWUV que es un sensor de presión diferencial con un rango de medición de presión de 0 – 1 psi<sub>D</sub>.

- No se presentó dificultades aunque la salida fue en milivoltios (mV) su configuración fue la siguiente:

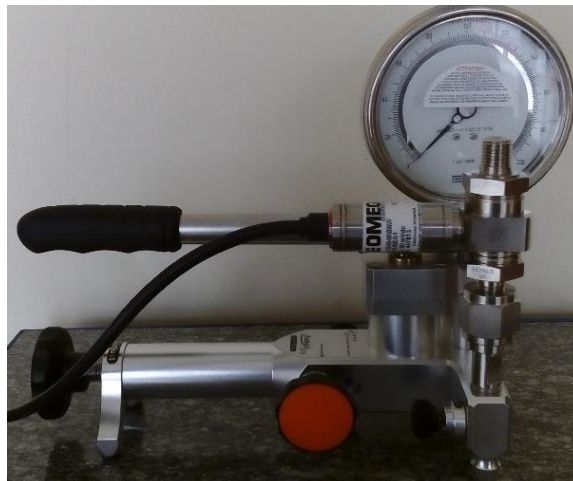
Figura 78. Puerto de entrada analógico para el sensor PX409-001DWUV



Fuente: (Autores)

- No se obtuvo ninguna ecuación resultante ya que se procedió a calibrar el sensor con ayuda del equipo de calibración de manómetros neumáticos.

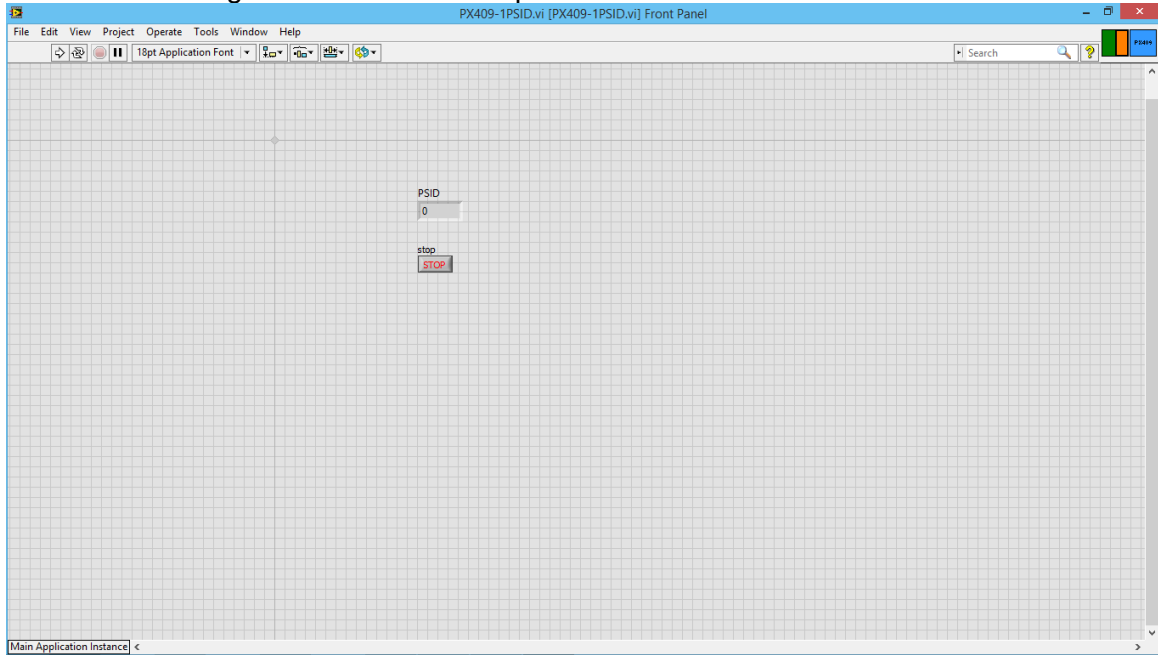
Figura 79. Calibración del sensor PX409-001DWUV



Fuente: (Autores)

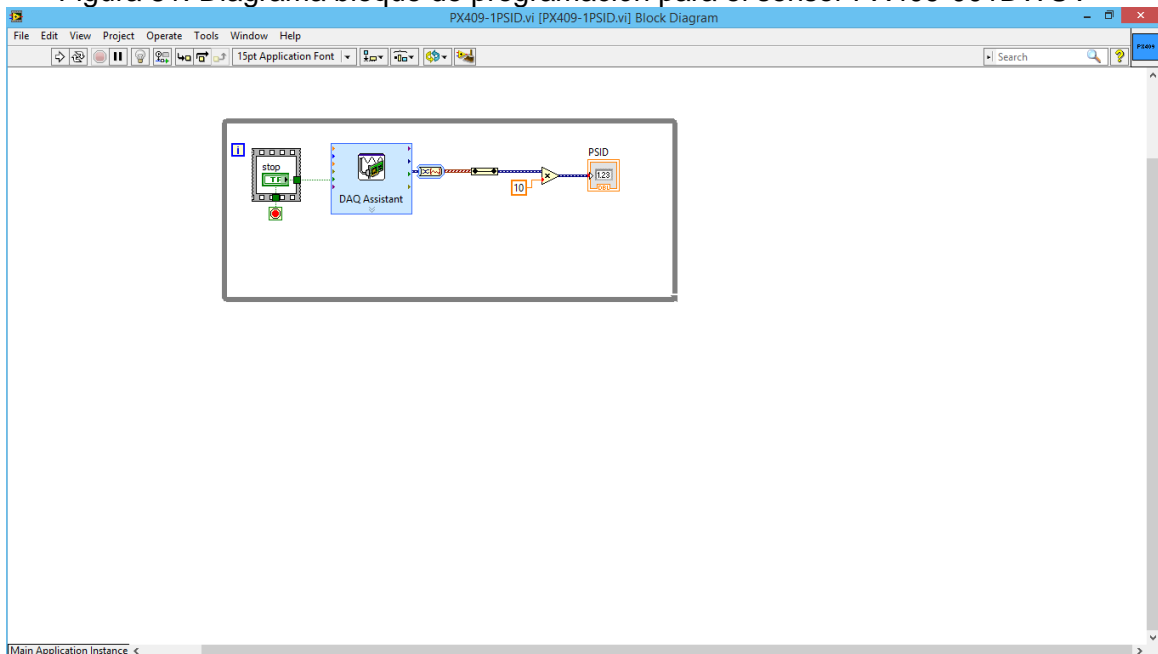
- Se procedió a efectuar el programa como un icono de LabVIEW, quedando como resultado el siguiente diagrama y su respectiva programación:

Figura 80. Panel frontal para el sensor PX409-001DWUV



Fuente: (Autores)

Figura 81. Diagrama bloque de programación para el sensor PX409-001DWUV

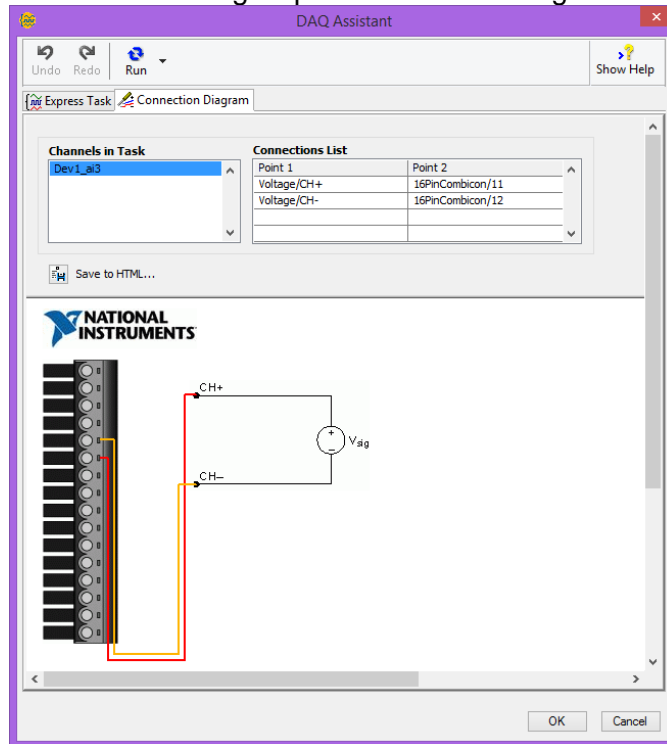


Fuente: (Autores)

### Proceso de calibración de la Celda de Carga de Flexión MODELO 102:

- En el cuarto puerto de entrada analógica A3 (ai3) de la tarjeta de adquisición multifunción NI USB 6008, este es el último puerto accesible ya que los otros se los puede referenciar y se conectó la celda de carga de flexión MODELO 102 que es un sensor de fuerza con un rango de medición de fuerza de 0 – 10 kgf.

Figura 82. Puerto de entrada analógico para la celda de carga de flexión MODELO 102



Fuente: (Autores)

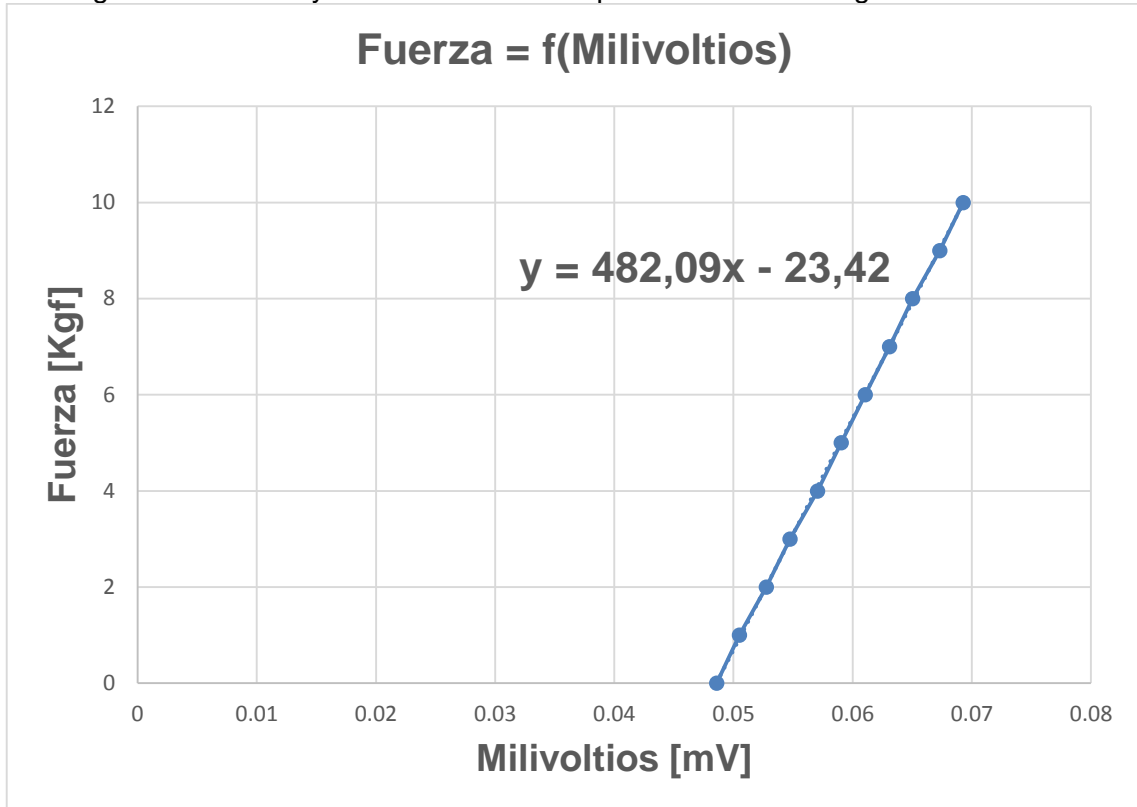
- Se procedió a calibrar la celda de carga de flexión gracias al juego de pesas que existe en el Laboratorio de Turbomaquinaria Hidráulica, el cual se lo fue variando de 1 kgf en 1 kgf, para obtener 10 datos tanto de subida y de bajada.
- Se procedió anotar los datos tanto de subida como de bajada, obtenido el siguiente promedio total y su respectiva ecuación:

Tabla 16. Promedio total de los datos tomados para la celda de carga de flexión

<b>MODELO 102</b>	
<b>Fuerza [kgf]</b>	<b>Voltaje [mV]</b>
0	0,04858
1	0,05050
2	0,05277
3	0,05474
4	0,05704
5	0,05903
6	0,06104
7	0,06309
8	0,06502
9	0,06731
10	0,06926

Fuente: (Autores)

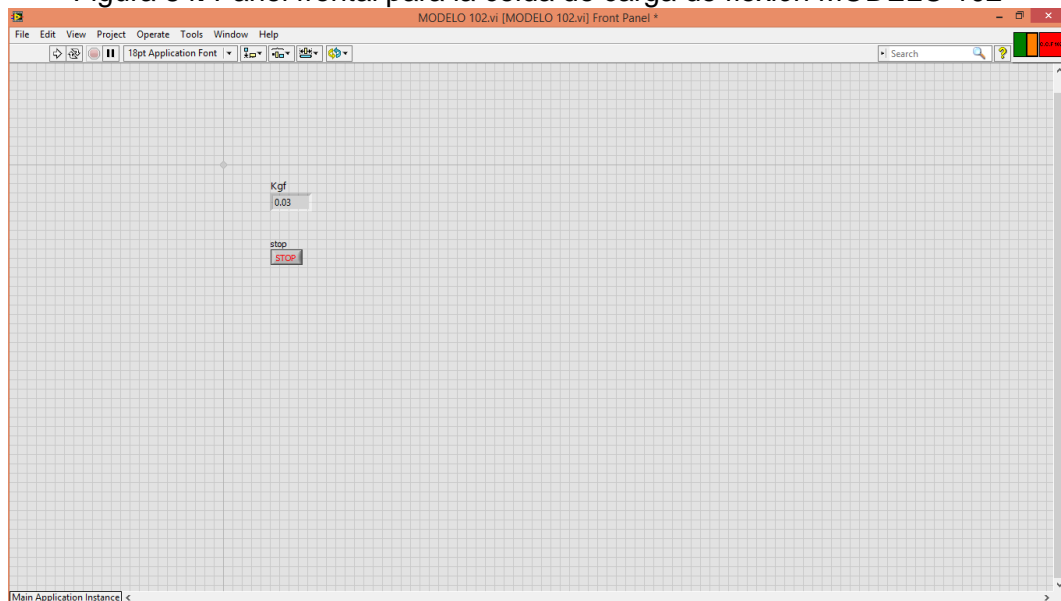
Figura 83. Gráfica y ecuación resultante para la celda de carga MODELO 102



Fuente: (Autores)

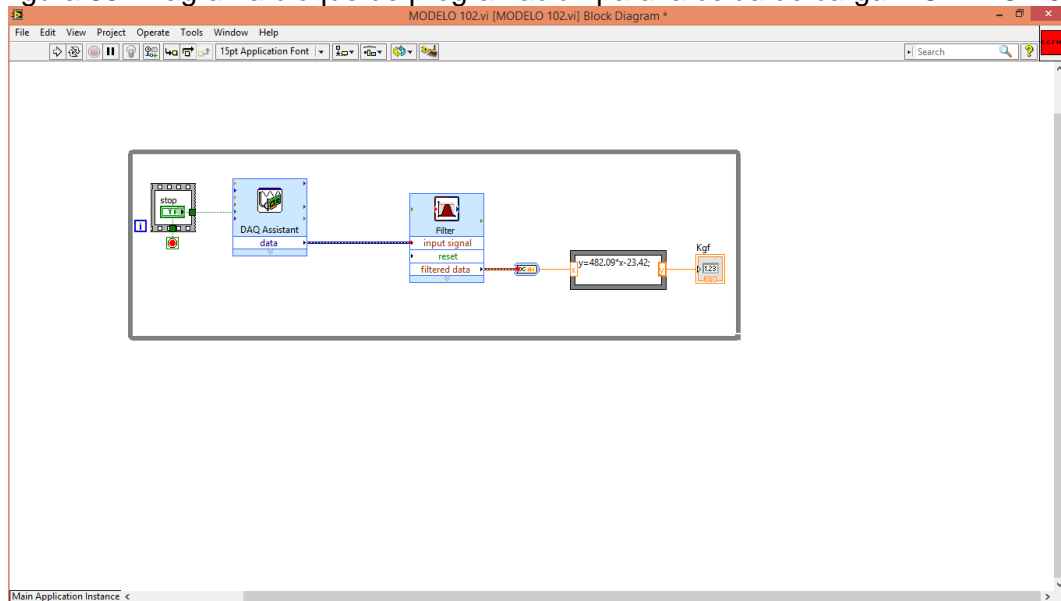
- Se procedió a la respectiva programación en LabVIEW, la cual consta del panel frontal y el diagrama bloque de programación que representan a la celda de carga de flexión MODELO 102 y sus valores respectivos de fuerza en función de milivoltios.

Figura 84. Panel frontal para la celda de carga de flexión MODELO 102



Fuente: (Autores)

Figura 85. Diagrama bloque de programación para la celda de carga MODELO 102



Fuente: (Autores)

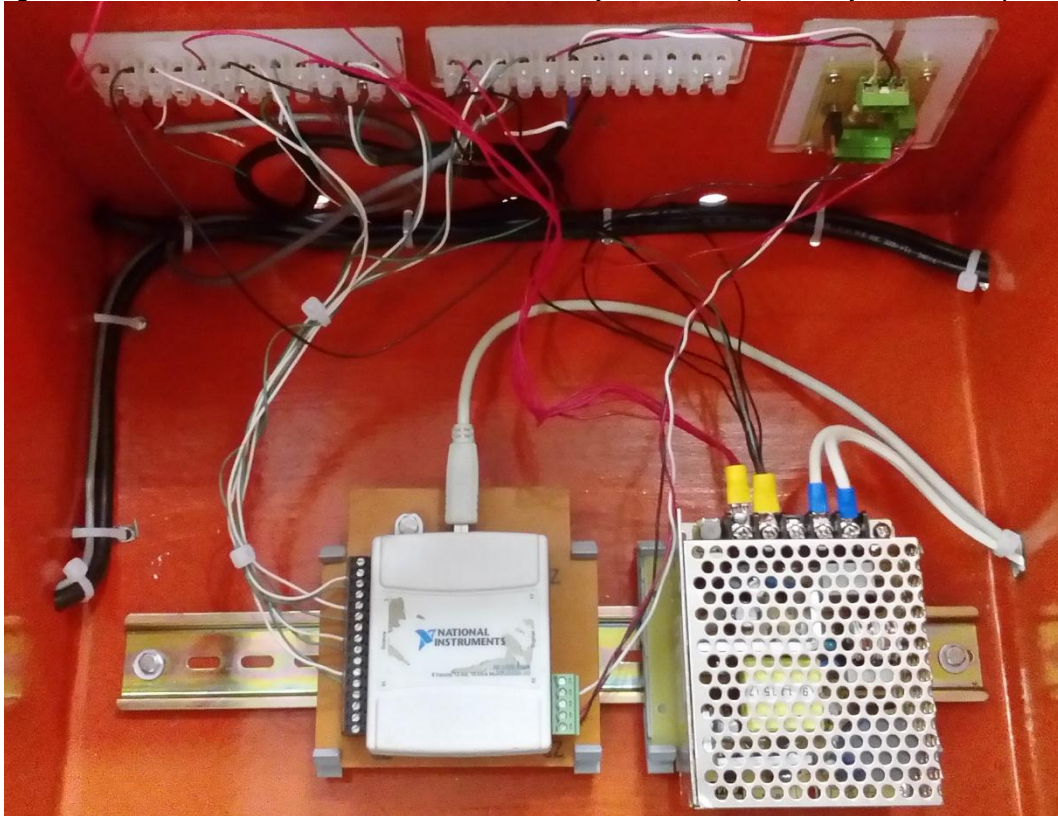
Para realizar la respectiva programación de adquisición de datos en LabVIEW se procedió hacer las conexiones en la mesa que se designó para este fin, para lo cual se acoplo las borneras, la placa para acoplamiento de señal para el sensor inductivo, la tarjeta de adquisición NI USB 6008 y la fuente de poder de 12 VDC y los cables respectivos.

Figura 86. Placa para acoplamiento de señal para el sensor inductivo



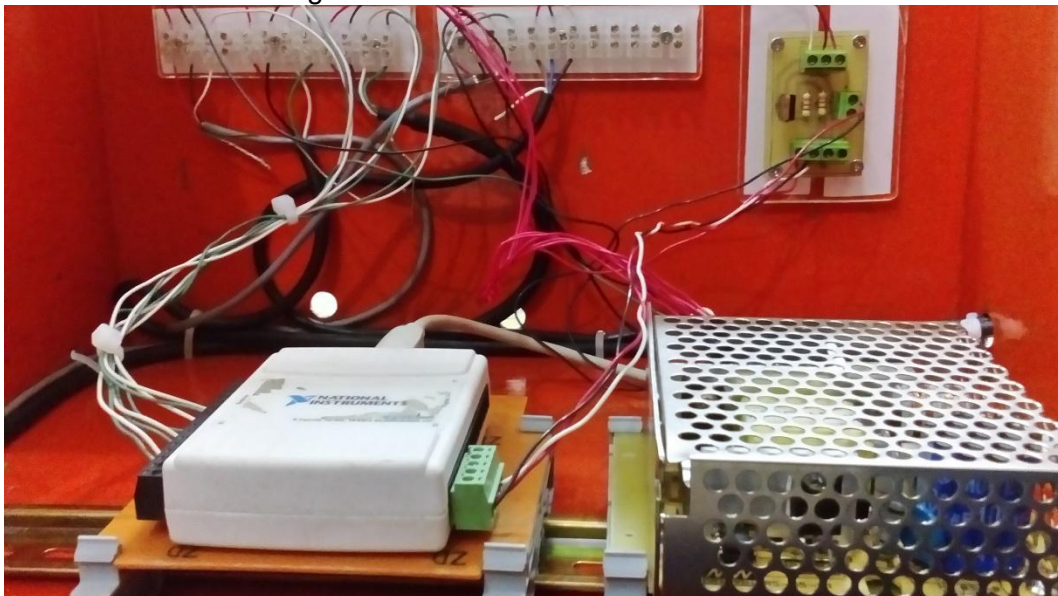
Fuente: (Autores)

Figura 87. Conexiones de los sensores a la tarjeta de adquisición y fuente de poder



Fuente: (Autores)

Figura 88. Conexiones vistas de frente



Fuente: (Autores)

#### 5.4. Representación de variables medidas en el programa LabVIEW

El cálculo tipo para la bomba axial se lo realizó con el punto de mayor eficiencia que en nuestro caso fue a los **90 grados** de apertura de la válvula de mariposa, ya que también



se puede decir que la válvula de mariposa se encuentra **totalmente abierta**, se procedió a tomar los datos que generó el programa LabVIEW para evaluar y demostrar la validez de las ecuaciones que se utilizó en el programa.

**5.4.1.** *Datos técnicos del equipo.*

Diámetro de succión	$D_s = 0,115 \text{ m}$
Diámetro de descarga	$D_d = 0,12475 \text{ m}$
Brazo del motor	$d = 0,13 \text{ m}$

**5.4.2.** *Variables medidas por los instrumentos utilizados.*

Presión de succión	$P_s = -0,08 \text{ mca}$
Presión de descarga	$P_d = 4,31 \text{ mca}$
Altura Diferencial	$h_v = 0,63 \text{ mca}$
Velocidad angular del motor de la bomba	$N_M = 1761 \text{ RPM (1800 rpm)}$
Fuerza ejercida por el brazo del motor	$F = 2,49 \text{ kg}$

**5.4.3.** *Variables evaluadas por la adquisición de datos.*

- Cálculo de caudal:

$$Q = K * A_o * \sqrt{2 * g * h_v} \quad \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] \quad (5)$$

Donde:

$h_v$  = altura diferencial [mca]

$A_o$  = área del orificio [ $\text{m}^2$ ]

K = constante multiplicativa empírica

La constante para el cálculo del caudal fue 0,60975 y se procedió a evaluar el mismo.

$$Q = 0,60975 * 0,00454 * \sqrt{2 * 9,8 * 0,63}$$

$$Q = 9,72 * 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 9,72 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

- Cabeza manométrica:

$$H_m = \Delta P + \frac{V_D^2 - V_S^2}{2 * g} + \Delta z \quad (6)$$

Donde:

$\Delta P$  = diferencia de presiones entre la succión y descarga [mca]

$V_D$  = velocidad en la descarga [m/s]

$V_S$  = velocidad en la succión [m/s]

$\Delta z$  = diferencia de alturas entre la succión y la descarga [m]

$$H_m = 4,31 - (-0,08) + \frac{(0,79)^2 - (0,93)^2}{2 * 9,8} + 0$$

$$H_m = 4,38 \text{ mca}$$

- Potencia útil o hidráulica:

$$P_u = \frac{\gamma * Q * H_m}{75} \quad (7)$$

Donde:

$P_u$  = Potencia útil [CV]

$Q_R$  = caudal real [m<sup>3</sup>/s]

$\gamma$  = peso específico [kg/m<sup>3</sup>]

$H_m$  = cabeza manométrica [mca]

$$P_u = \frac{1000 * 0,00972 * 4,38}{75}$$

$$P_u = 0,56 \text{ CV}$$

- Potencia de accionamiento:

$$P_a = F * d * N \quad (8)$$

$$P_a = 0,001396 * F * d * N \quad (9)$$

Donde:

$P_a$  = potencia de accionamiento [CV]

$F$  = fuerza medida por la celda de carga de flexión [kg]

$N$  = revoluciones por minuto [rpm]

$d$  = brazo del motor [m]

$$P_a = 0,001396 * 2,49 * 0,13 * 1761$$

$$P_a = 0,79 \text{ CV}$$

- Eficiencia total ( $\eta_t$ ):

$$\eta_t = \frac{P_u}{P_a} * 100 \tag{10}$$

$$\eta_t = \frac{0,56}{0,79} * 100$$

$$\eta_t = 70,88 \%$$

## CAPÍTULO VI

### 6. FASE EXPERIMENTAL

#### 6.1. Realización de pruebas

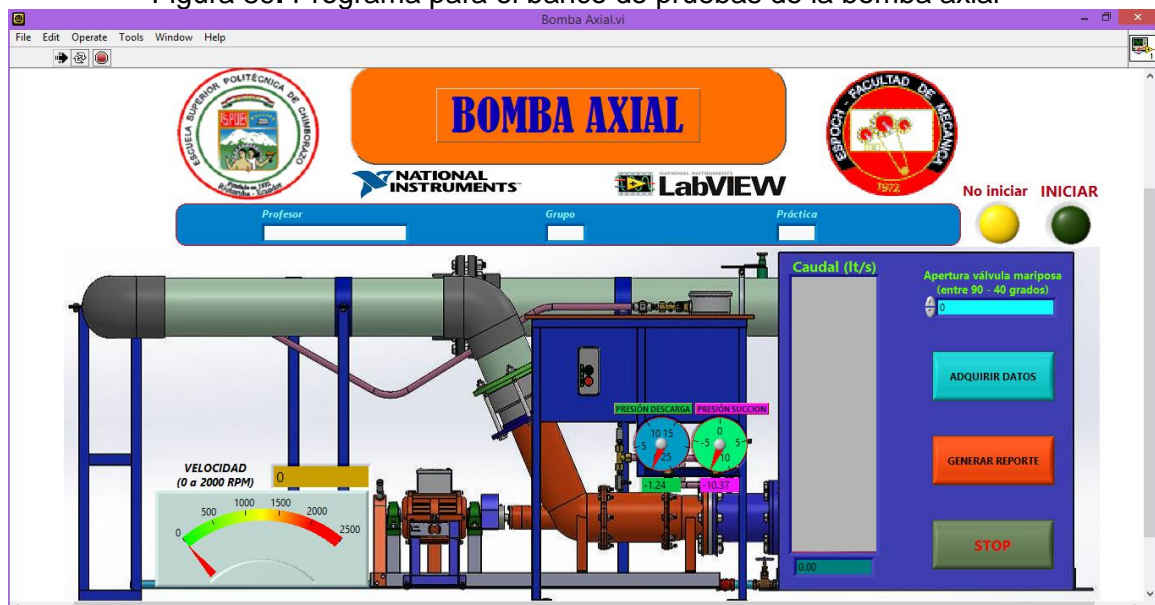
Se realizó un total de 21 pruebas antes de obtener los datos precisos ya generados como reporte en Microsoft Excel, en el cual se determinó que la constante para el caudal  $K$  fue igual a 0,61 y los demás datos generados fueron el resultado de las ecuaciones que se incluyeron en el cálculo tipo detallado anteriormente.

Los resultados que se obtuvieron de la programación que se realizó internamente en LabVIEW mediante las ecuaciones que se especificaron anteriormente, se detallan en una tabla que se genera y se exporta automáticamente hacia Microsoft Excel mediante la interfaz que se perpetró en dicho programa para que efectuó estrictamente esta operación en el programa de la bomba axial.

El programa contiene los siguientes datos para completar:

- Nombre del profesor.
- Numero de grupo.
- Numero de práctica.

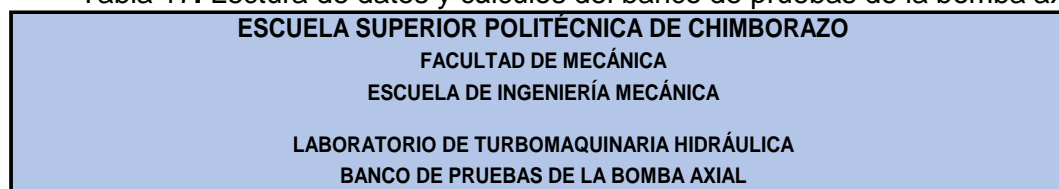
Figura 89. Programa para el banco de pruebas de la bomba axial



Fuente: (Autores)

## 6.2. Resultados de pruebas

Tabla 17. Lectura de datos y cálculos del banco de pruebas de la bomba axial



Materia:	Turbomaquinaria Hidráulica	Fecha:	dom, 06 de dic de 2015
Profesor:	Dr. Marco Haro	Hora:	15:14:00
Grupo:	8.00	Práctica:	5.00

APERTURA		PRESIONES		REV.	PRES. DIF.	CAUDAL			POTENCIAS				$\eta_r$
SUCCIÓN	DESCARGA (GRADOS)	PS	PD	N	hv	Q	VS	VD	F	Pa	HM	Pu	
		mca	mca	rpm	mca	Lts/s	m/s	m/s	kg	CV	mca	CV	%
T.A	90	-0.08	4.31	1761	0.63	9.69	0.93	0.79	2.49	0.8	4.34	0.56	70.25
T.A	85	-0.06	4.35	1761	0.62	9.63	0.92	0.79	2.53	0.81	4.39	0.56	69.14
T.A	80	-0.06	4.37	1762	0.6	9.52	0.92	0.78	2.54	0.82	4.42	0.57	69.51
T.A	75	-0.04	4.43	1762	0.58	9.35	0.9	0.76	2.57	0.82	4.46	0.56	68.29
T.A	70	-0.04	4.47	1762	0.56	9.18	0.88	0.75	2.59	0.83	4.5	0.55	67.27
T.A	65	-0.02	4.67	1762	0.48	8.44	0.81	0.69	2.63	0.84	4.57	0.51	60.96
T.A	60	0	4.69	1762	0.43	8.02	0.77	0.66	2.64	0.84	4.61	0.49	58.3
T.A	55	0.02	4.8	1762	0.37	7.43	0.72	0.61	2.67	0.85	4.66	0.46	54.11
T.A	50	0.04	5.22	1762	0.29	6.54	0.63	0.54	2.68	0.86	5.17	0.45	52.33
T.A	45	0.06	5.25	1762	0.18	5.22	0.5	0.43	2.69	0.86	5.31	0.36	44.69
T.A	40	0.08	5.31	1762	0.11	4.06	0.39	0.33	2.71	0.87	5.4	0.28	35.47

Fuente: (Autores)

### 6.3. Análisis de resultados

Se determinó que cuando la válvula de mariposa se encuentra totalmente abierta, o a 90 grados del indicador que se ubicó en la misma, se obtuvo el punto de mayor eficiencia el cual fue 70,25%, lo que quiere decir que todo el acoplamiento de los accesorios hidráulicos y demás acondicionamientos que se realizó, se encuentran muy bien instalados. Además que el caudal se asemeja al real.

La presión de succión fue de -0,08 mca (metros de columna de agua), la de descarga fue de 4,31 mca, las revoluciones se mantuvieron casi constantes debido al acoplamiento directo que se realizó entre el motor y la bomba axial.

La variación de la fuerza y la eficiencia disminuyen a medida que se va cerrando la válvula de mariposa, y la altura de bombeo o cabeza manométrica va aumentando por la misma razón anterior.

Como se puede observar en la tabla de resultados la presión de succión y la presión de descarga comienzan a subir sus valores a medida que se va cerrando la válvula de mariposa, esto se produce debido a que se restringe cada vez más y más el paso del agua por la salida de descarga al reservorio.

El número de revoluciones comienza con un valor de 1761 rpm, pero luego sube y se estabiliza en un valor de 1762 rpm, a pesar de que la válvula de mariposa se comienza a cerrar la velocidad del motor no disminuye y se mantiene con el mismo valor.

Como era de esperarse el valor de altura diferencial  $h_v$ , inicia con un valor máximo y a medida que se sigue cerrando la válvula de mariposa comienza a disminuir y esto es directamente relacionado con el caudal  $Q$ , ya que como se puede observar en la ecuación (5) estos dos valores se encuentran relacionados.

Las velocidades de succión y descarga  $V_s$  y  $V_D$  respectivamente, inician con un valor máximo y comienza a disminuir a medida que se cierra la válvula de mariposa, de acuerdo a los valores registrados se puede determinar que el diámetro de succión es menor que el diámetro de descarga, ya que físicamente es correcto de acuerdo a lo estipulado en el efecto Venturi en el que se explica por el Principio de Bernoulli y el principio de continuidad: que si el caudal de un fluido es constante y continuo por una

sección de menor dimensión la presión de esta parte de la tubería disminuye, pero si la sección es de mayor dimensión esta misma presión aumenta. Dicho en otras palabras más sencillas a menor diámetro de tubería mayor velocidad pero menor presión y a mayor diámetro de tubería menor velocidad y mayor presión en la misma.

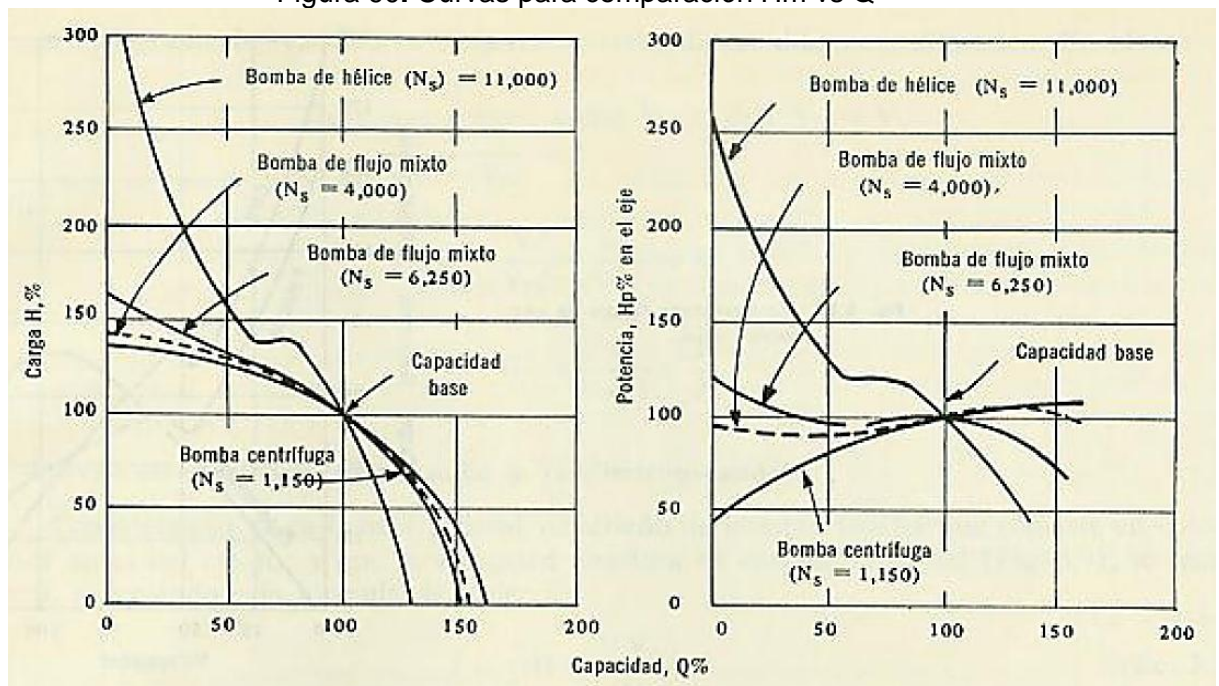
El valor de la fuerza que sensa la celda de carga de flexión  $F$ , inicia con un valor menor pero a medida que se cierra la válvula de mariposa, esta misma fuerza comienza a aumentar estableciéndose en un valor máximo de 2,71 kg, esto también se encuentra dentro de lo correcto ya que se produce una mayor resistencia en el motor eléctrico.

Las potencias de accionamiento y útil  $P_a$  y  $P_u$  respectivamente, como se puede observar se encuentran e inician con valores mayores al igual que era de esperarse que los mismos sean diferentes ya que siempre se debe cumplir que  $P_a > P_u$ .

El valor de altura de cabeza manométrica o altura de bombeo  $H_m$ , empieza a subir a medida que se comienza a cerrar la válvula de mariposa, estableciéndose en un valor máximo de bombeo de agua de 5,4 metros de columna de agua.

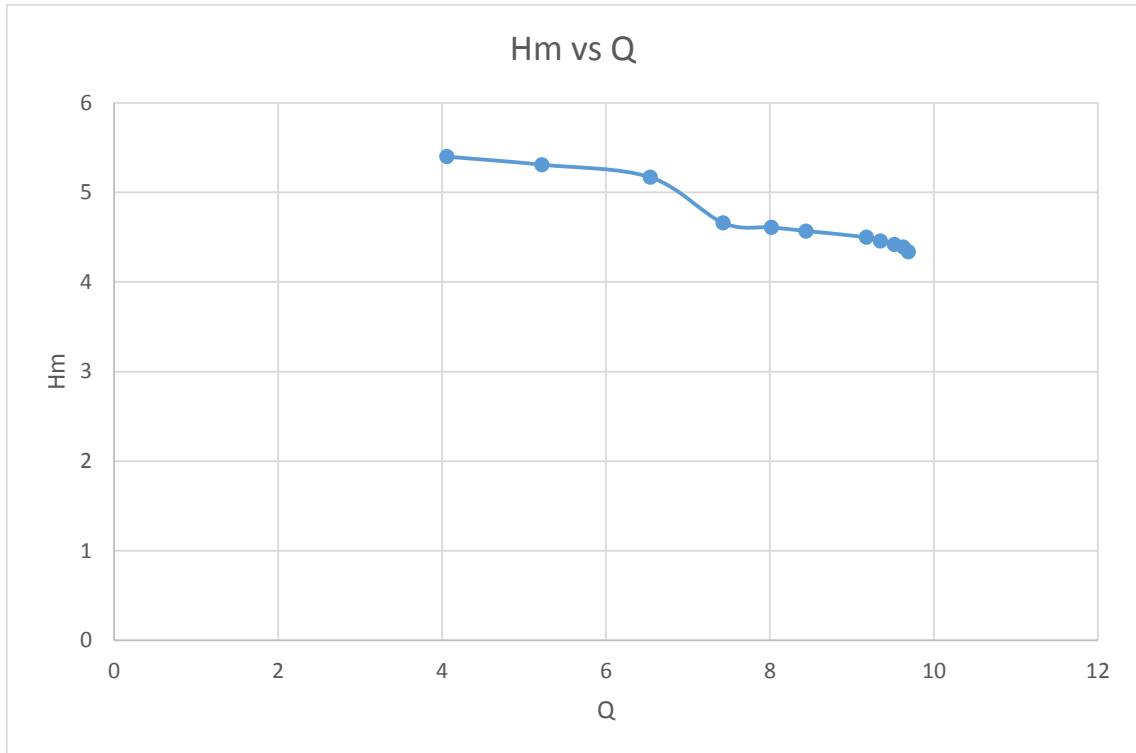
La eficiencia  $\eta_T$ , disminuye su valor a medida que se inicia a cerrar la válvula de mariposa, este valor se calcula estrictamente con la potencias de accionamiento y útil, respectiva utilizando la ecuación (10).

Figura 90. Curvas para comparación  $H_m$  vs  $Q$



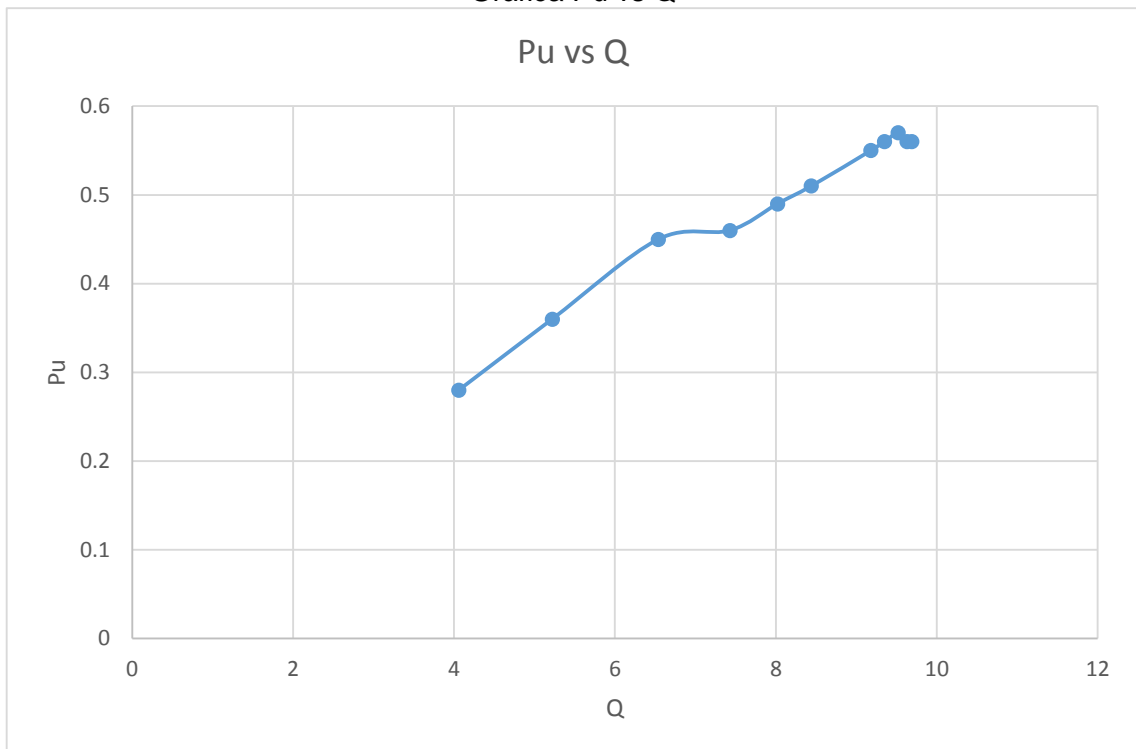
Fuente: (POLO ENCINAS, 1975)

Gráfica Hm vs Q



Fuente: (Autores)

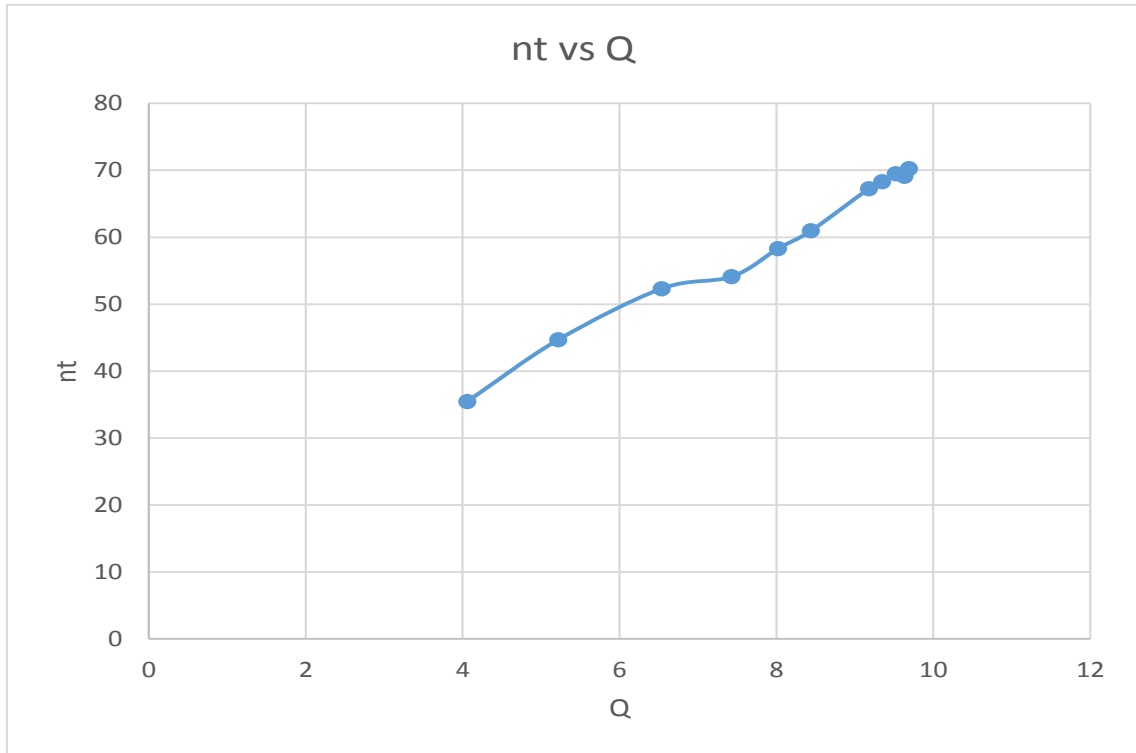
Gráfica Pu vs Q



Fuente: (Autores)



Gráfica nt vs Q



Fuente: (Autores)

## CAPITULO VII

### 7. ANÁLISIS DE COSTOS

#### 7.1. Costos directos

Tabla 18. Costos de accesorios y materiales

Item	Nombre y descripción	Cantidad	Costo [USD]
1	Sensor de presión diferencial PX409-001DWUV/1 psi <sub>D</sub>	1	943,97
2	Sensor de presión manométrica PX309-030GV/0 a 30 psig	1	280,85
3	Sensor de presión vacuo - manométrica PX209-30V15G5V/-14,7 a 15 psig	1	314,78
4	Sensor inductivo M18 PNP BI8U-EM18-AP6X-H1141	1	151,72
5	Cable conector M12	1	21,92
6	Celda de carga de flexión MODELO 102/10 KG	1	90,60
7	Press snub1/4x1/4 NPT LT OIL/H2O	3	240,00
8	Tarjeta de adquisición NI USB-6008	1	575,96
9	Fuente de poder 12 VDC	1	77,80
10	Gibault asimétrico	1	235,00
11	Infraestructura metálica y estructura para soporte	4	447,93
12	Placa de acoplamiento de señal	1	25,00
13	Accesorios metálicos y de madera	3	9,50
14	Elementos electrónicos	14	67,35
15	Acrílico transparente	4	44,70
16	Tubería EC 160 mm X 6 m X 0,63 MPa	1	119,68
17	Codo CC 160 mm X 90 grados	2	82,66
18	Brida compacta PVC INY EC 160 mm	2	92,69
19	Codo CC 160 mm X 45 grados	1	36,89
20	Accesorios hidráulicos	32	71,00
21	Manómetros con silicona de 0 a 30 psig y de 0 a 30 psig sin glicerina	2	52,00
22	Vacuómetro -30 a 0 psig y de 0 a 30 psig	1	40,00
23	Tubería de desagüe	1	13,60
24	Elementos eléctricos	18	13,96
<b>Total</b>			<b>4049,56</b>

Fuente: (Autores)

Tabla 19. Costo de maquinaria utilizada

<b>Máquinas</b>	<b>Costo/hora</b>	<b>Tiempo [h]</b>	<b>Costo [USD]</b>
Torno	15,00	2	30,00
Torno	15,00	2	30,00
Torno	15,00	1,34	20,00
Torno	15,00	0,80	12,00
Torno	15,00	0,40	6,00
<b>Total</b>			<b>98,00</b>

Fuente: (Autores)

### Tabla de costos directos

Tabla 20. Costos directos

<b>Item</b>	<b>Valor [USD]</b>
Accesorios y materiales	4049,56
Maquinaria utilizada	98,00
Planos y asesoramiento	1400,00
<b>Total</b>	<b>5547,56</b>

Fuente: (Autores)

### 7.2. Costos indirectos

Tabla 21. Costos indirectos

<b>Detalles</b>	<b>Cantidad [%CD]</b>	<b>Valor [USD]</b>
Ingenieriles (Supervisión)	5%	277,38
<b>Total</b>		<b>277,38</b>

Fuente: (Autores)

### 7.3. Costo total

El costo total equivale a la suma de los costos directos más los costos indirectos, sumados estos dos valores se tiene el valor de 5824,94 USD.

## CAPITULO VIII

### 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 8.1. Conclusiones

Se ha realizado el rediseño, reacondicionamiento y mantenimiento de todos los elementos del equipo del banco de pruebas de la bomba axial que no se encontraba en buenas condiciones.

Las condiciones ambientales consideradas en esta tesis se las realiza en la ciudad de Riobamba – Ecuador a una temperatura promedio de 14°C.

Debido a que la bomba axial no tiene especificaciones técnicas se realizó los cálculos para encontrar el caudal erogado en condiciones óptimas, también se encontró el caudal real por medio de la experimentación, en las condiciones ambientales y técnicas del equipo.

La experimentación se realiza variando las mediciones a diferentes aperturas de la válvula de descarga y debido a que los álabes son fijos no se pueden considerar otros parámetros para variar la operación de la bomba axial.

Se ha determinado que en esta automatización de adquisición de datos se pudo comparar los parámetros y cálculos con los monitoreados gracias a la ayuda de LabVIEW de las diferentes variables que se involucraron en la bomba axial como fueron el caudal, presión en la entrada de la bomba al igual que en la salida, potencia de entrada y salida para confrontarlos con las variables de estudio.

Es muy aplicable para un laboratorio en un colegio, universidad y cualquier institución de educación superior o en general para la industria.

Se realizó la automatización de adquisición de datos con el módulo de adquisición multifunción NI USB 6008, que es programable y que tiene otras entradas y salidas tanto digitales como análogas adicionales que aún no han sido utilizadas en esta automatización que podrían ser aprovechadas si en un futuro se desea implementar de mejor manera este banco de pruebas.

Se ha determinado que la constante K para el cálculo del caudal fue de 0,609751 con lo cual se desarrolló toda la adquisición de datos.

Se ha determinado que la máxima eficiencia que se pudo desarrollar con este banco de pruebas fue de 71,43%, que tiene una relación con el caudal que eroga la bomba de 9,35 l/s.

Cabe indicar que toda la automatización de adquisición de datos se logró gracias a LabVIEW que fue el único programa que utilizamos para la calibración de los respectivos sensores, acondicionamiento de señal y para la programación.

## **8.2. Recomendaciones**

Se recomienda jamás cerrar completamente la válvula de mariposa o de descarga ya que esto genera una presión de 6 mca o 8,53 psig, la cual puede llegar a dañar el sensor diferencial. Sí se desea saber la presión interna en la tubería de esta bomba se recomienda cerrar las válvulas de bola que se encuentran conectadas con el sensor diferencial para que no exista daños irreversibles en este sensor.

Se recomienda que otra variable que se pudiera considerar para la experimentación es la variación de la velocidad del motor, que acciona la bomba por medio de un variador de frecuencia trifásico de 220 V.

Se recomienda que al realizar el llenado del tanque con agua tener mucho cuidado de evitar que se moje la mesa en donde se encuentran los circuitos de control y de potencia, para evitar riesgos eléctricos y daño del equipo.

Para la experimentación se recomienda llenar el tanque con agua hasta la línea marcada en el tanque, debido a que el tanque resulta ser pequeño para este tipo de bomba que eroga alto caudal.

La válvula de mariposa debe ser tratada con el debido cuidado ya que es fabricada artesanalmente además que se la aprovechó y se le facilitó el mantenimiento, debido a que ya estaba instalada en el equipo y por su bajo costo, pero si se requiere se puede reemplazar por una válvula que exista en el mercado, con mayor precisión y mejor hermeticidad.

Se recomienda que el agua del tanque debe ser drenada manualmente mediante la válvula de compuerta situado en el fondo del tanque para este propósito y debe ser secada con un trapo limpio una vez terminada la práctica.

Se recomienda no poner ninguna carga sobre la tubería de PVC, ni arrimarse a la misma.

Se recomienda cuidar todos y ciertos elementos del equipo que pueden estar vulnerables a cambios de calibración o deterioro debido a cualquier acción externa por lo que hay que evitar manipular los sensores y manómetros ubicados sin el conocimiento debido.

Se recomienda realizar la práctica de laboratorio dentro del tiempo de veinte minutos, ya que si se mantiene encendido mucho el tiempo el motor eléctrico se sobrecalentara, para lo cual requeriría un acondicionamiento externo de ventilación.

Se recomienda desconectar los enchufes conectados a los 110 V y 220 V una vez terminada la práctica.

Recomendamos que se aplique el debido mantenimiento al banco de pruebas de la bomba axial, siguiendo paso a paso el manual de operaciones y el manual de seguridad, para que no exista deterioro ni accidentes.

## BIBLIOGRAFÍA

**AGUAMARKET. 2000 - 2015.** Aguamarket. *Enderezador de vena*. [En línea] 2000 - 2015. [Citado el: 7 de Agosto de 2015.]  
<http://www.aguamarket.com/productos/productos.asp?producto=13990&nombreproducto=enderezador+de+vena>.

**BARRERA, Rodrigo. 1989.** *RIEGOS Y DRENAJES*. USTA. Bogota : MONSERRAT, 1989. pág. 629.

**CHAURETTE, Jacques. 2009.** CAVITATION PREDICTION. *Fundamentals! Pumps that is*. [En línea] 9 de abril de 2009. [Citado el: 14 de 08 de 2015.]  
<http://www.pumpfundamentals.com/help2.html>.

**COTACALLAPA, Carmen. 2014.** SlideShare. *Tipos de tuberías*. [En línea] 2014. [Citado el: 12 de 08 de 2015.] <http://es.slideshare.net/freddyramirofloresvega/tipos-de-tuberias>.

**CREUS, Antonio. 2010.** *INSTRUMENTACION INDUSTRIAL*. Octava Edicion. Barcelona, España : Alfaomega Grupo Editor, 2010. pág. 792. 978-607-707-042-9.

**DATASHEETLIB. 2005.** Datasheetlib. *BI 8U-M18-AP6X-H1141 Datasheet*. [En línea] 2005. [Citado el: 10 de 08 de 2015.] [http://www.datasheetlib.com/datasheet/609816/bi-8u-m18-ap6x-h1141\\_turck.html#specs](http://www.datasheetlib.com/datasheet/609816/bi-8u-m18-ap6x-h1141_turck.html#specs).

**DEFINICIÓN.DE. 2008.** DEFINICIÓN.DE. *Definición de vacuómetro*. [En línea] 2008. [Citado el: 24 de 07 de 2015.] <http://definicion.de/vacuometro/>.

**DISAI. 2005.** Disai Automatic Systems. *Acoplamientos flexibles*. [En línea] 02 de 02 de 2005. [Citado el: 19 de 07 de 2015.]  
<http://www.disai.net/public/images/catalogos/doc/HOHNER/Acoplamientos.pdf>.

**ESPINOSA ESQUIVEL, Moisés. 1995.** Universidad Autónoma de Nueva León. *Diseño y construcción de una celda de carga*. [En línea] 03 de 1995. [Citado el: 03 de 08 de 2015.] <http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1020074697.pdf>.

**Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires. 2012 - 2013.** [En línea] 2012 - 2013. [Citado el: 12 de Agosto de 2015.]  
<http://materias.fi.uba.ar/7609/material/S0305MedicionCaudal1.pdf>.

**GREENE, Richard W. 1983.** *Válvulas. Selección, uso y mantenimiento*. Mexico : McGRAW-HILL, 1983. pág. 279.

**GUILLÉN, Anita y MARCALLA, Alex. 2011.** *Automatización de las Turbomáquinas del Laboratorio de Fluídos de la Facultad de Mecánica*. Riobamba, Ecuador : s.n., 2011. 15T00484.

**HALDER, Norm+Technik. s.f.** HALDER. *Elementos de sujeción*. [En línea] s.f. [Citado el: 18 de 07 de 2015.]  
[http://www.halder.de/halder\\_pdf/katalogseiten/11\\_ES/N4\\_ES\\_S284.pdf](http://www.halder.de/halder_pdf/katalogseiten/11_ES/N4_ES_S284.pdf).

**IJASA. 1964.** IJASA. *Sellos mecánicos*. [En línea] 1964. [Citado el: 01 de 08 de 2015.]  
<http://www.ijasa.com/pdf/CATALOGO%20SELLOS%20MECANICOS.pdf>.

**LÓPEZ GARCÍA y RAMÓN, M. 2007.** UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA. *Facultad de Ingeniería*. [En línea] Agosto de 2007. [Citado el: 10 de Agosto de 2015.] [http://www.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/procesos/apuntes/Medicion\\_de\\_Caudal.pdf](http://www.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/procesos/apuntes/Medicion_de_Caudal.pdf).

**LÓPEZ, Walter y MOYÓN, Nelson. 2011.** *Desarrollo de un sistema SCADA para la medición de temperatura con sistemas embebidos para el Laboratorio de Mecatrónica de la Facultad de Mecánica*. Riobamba, Ecuador : s.n., 2011.

**MATAIX, Claudio. 2001.** *Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas*. Segunda Edición. Mexico : Mexicana, registro número 723, 2001. pág. 660. 968-6034-29-3.

**NATIONAL INSTRUMENTS. 2006.** National Instruments. *Introducción a la Tecnología FPGA: Los Cinco Beneficios Principales*. [En línea] 2006. [Citado el: 05 de 08 de 2015.] <http://www.ni.com/white-paper/6984/es/>.

**PALOMINO, Karen. 2009.** *Riego por BOMBEO Y DRENAJE*. Lima, Perú : StarBook, 2009. pág. 169. 978-84-92650-05-7.

**Plastigama. 2012.** Plastigama. *Tuberías y accesorios de PVC y PE BD*. [En línea] 18 de 06 de 2012. [Citado el: 03 de 09 de 2015.] [http://sitio.plastigama.com/images/hojasTecnicas/TUBERIAS-ACCESORIOS\\_DE\\_PVC-PE\\_BD.pdf](http://sitio.plastigama.com/images/hojasTecnicas/TUBERIAS-ACCESORIOS_DE_PVC-PE_BD.pdf).

**POLO ENCINAS, Manuel. 1975.** *Turbomaquinas Hidraulicas*. Mexico : Limusa, 1975.

**ROJAS, Amanda. s.f.** SlideShare. *Accesorios para tuberías*. [En línea] s.f. [Citado el: 12 de 08 de 2015.] <http://es.slideshare.net/acazro/accesorios-para-tuberas>.

**ROSALER, Robert C. 1989.** *Manual de Mantenimiento Industrial IV*. Juarez, Mexico : McGRAW-HILL, 1989. 968-451-974-5.

**SMITH, Carlos y CORRIPIO, Armando. 1991.** *Control Automático de Procesos*. Mexico : Limusa, 1991. 968-18-3791-6.

**UTILCELL. 2005.** *Células de carga*. 2005.

**WIEGAND, Alexander. s.f.** WIKA. *Manómetros con elementos elásticos*. [En línea] s.f. [Citado el: 14 de 08 de 2015.] [http://de-de.wika.de/upload/DS\\_IN0001\\_ES\\_1365.pdf](http://de-de.wika.de/upload/DS_IN0001_ES_1365.pdf).