



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“IMPLEMENTACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UN  
BANCO DE PRUEBAS PARA LA ADQUISICIÓN DE  
DATOS DE LOS ELEMENTOS DE PROTECCIÓN  
FRENTE A LOS TRANSITORIOS HIDRÁULICOS”**

**ARIAS SARABIA CÉSAR JONATHAN**

**TRABAJO DE TITULACIÓN  
TIPO: PROPUESTA TECNOLÓGICA**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2018**

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

---

2016-05-24

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

**ARIAS SARABIA CÉSAR JONATHAN**

Titulado:

**“IMPLEMENTACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS  
PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS DE LOS ELEMENTOS DE  
PROTECCIÓN FRENTE A LOS TRANSITORIOS HIDRÁULICOS”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

---

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

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Nelson Santiago Chuquin Vasco  
**DIRECTOR**

---

Ing. Juan Pablo Chuquin Vasco  
**MIEMBRO**

**EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** ARIAS SARABIA CÉSAR JONATHAN

**TRABAJO DE TITULACIÓN:** “IMPLEMENTACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS DE LOS ELEMENTOS DE PROTECCIÓN FRENTE A LOS TRANSITORIOS HIDRÁULICOS”

**Fecha de Examinación:** 2018-04-03

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

<b>COMITÉ DE EXAMINACIÓN</b>	<b>APRUEBA</b>	<b>NO APRUEBA</b>	<b>FIRMA</b>
Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Nelson Santiago Chuquin Vasco <b>DIRECTOR</b>			
Ing. Juan Pablo Chuquin Vasco <b>MIEMBRO</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. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza**  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de Titulación que presento, 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 del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

**Arias Sarabia César Jonathan**

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, César Jonathan Arias Sarabia, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi 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 autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

---

**Arias Sarabia César Jonathan**

Cedula de Identidad: 160057500-3

## **DEDICATORIA**

Principalmente dedico mi logro a Dios por la sabiduría y la fortaleza que en el camino de mi vida me ha brindado sin dejar que me derrumbe hasta alcanzar mi meta anhelada.

A mis padres Aida Saravia y César Arias que siempre me apoyaron en esta ardua lucha sin dejarme caer, me han enseñado valores y a vencer obstáculos que se presenten en mi camino hasta llegar a conseguir lo que me proponga.

A mi familia por los consejos y ánimos que me han brindado y que siempre han estado apoyándome con un granito de arena, a ellos les digo gracias y este logro cumplido es de todos por el esfuerzo y dedicación que contribuyeron.

A mis maestros que formaron parte de mi vida estudiantil, y que aportaron con sus conocimientos para cumplir con éxito una etapa de mi vida.

**César Jonathan Arias Sarabia**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme la salud y vida para lograr mis metas, a mi familia por brindarme todo el apoyo y confianza para ver culminada una meta más de la vida.

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por darme la oportunidad de obtener una profesión, y ser una ayuda para la sociedad.

Agradezco al Ing. Santiago Chuquin e Ing. Juan Chuquin, por brindarme su amistad y asesoramiento de la tesis, quienes con la ayuda de su conocimiento y experiencia se logró elaborar el presente documento.

**César Jonathan Arias Sarabia**

# CONTENIDO

Pág.

## RESUMEN

## SUMMARY

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	
1.1	Antecedentes .....	1
1.2	Formulación del problema .....	2
1.3	Justificación.....	2
1.3.1	<i>Justificación teórica.</i> .....	2
1.3.2	<i>Justificación metodológica.</i> .....	3
1.3.3	<i>Justificación práctica.</i> .....	3
1.4	Objetivos .....	3
1.4.1	<i>Objetivo General.</i> .....	3
1.4.2	<i>Objetivos específicos</i> .....	3
<b>2.</b>	<b>MARCO REFERENCIAL</b>	
2.1	Análisis de conceptos .....	4
2.1.1	<i>Fluido.</i> .....	4
2.1.2	<i>Flujo.</i> .....	4
2.2	Clasificación de flujos.....	4
2.3	Especificación de los Transitorios Hidráulicos.....	8
2.3.1	<i>Explicación del fenómeno.</i> .....	9
2.3.2	<i>Fórmulas de la presión máxima o sobrepresión.</i> .....	12
2.3.3	<i>Consecuencias de transitorios hidráulicos.</i> .....	17
2.4	Dispositivos para la disminución de transitorios hidráulicos.....	17
2.4.1	<i>Calderín de aire.</i> .....	17
2.4.1.1	<i>Parámetros de selección.</i> .....	18
2.4.1.2	<i>Valores límites de la presión de llenado del gas.</i> .....	19
2.4.2	<i>Chimenea de equilibrio.</i> .....	19
2.4.3	<i>Válvulas de seguridad o de alivio.</i> .....	20



2.4.3.1	<i>Campos de aplicación.</i>	21
2.4.4	<i>Válvulas de retención.</i>	21
2.4.4.1	<i>Válvulas de retención tipo clapeta.</i>	22
2.4.4.2	<i>Válvulas de retención tipo clapeta simple.</i>	23
2.4.4.3	<i>Válvulas de retención tipo clapeta simple con corto recorrido de clapeta.</i>	23
2.4.4.4	<i>Válvulas de retención tipo clapeta con sistema amortiguador.</i>	24
2.4.4.5	<i>Válvulas de retención con clapeta de eje semicentrado.</i>	25
2.4.4.6	<i>Válvulas de retención de semiclapeta doble o de disco partido.</i>	25
2.4.4.7	<i>Válvulas de retención de disco sobre eje longitudinal centrado.</i>	26
2.4.5	<i>Volante de inercia.</i>	26
2.4.6	<i>Válvulas anticipadoras de onda.</i>	27
2.4.7	<i>Ventosas.</i>	27
2.4.7.1	<i>Ventosa de gran orificio o de baja presión.</i>	29
2.4.7.2	<i>Ventosa trifuncional.</i>	29
2.4.7.3	<i>Recomendaciones de la AWWA para la ubicación de las ventosas.</i>	30
2.5	<i>Automatización industrial</i>	32
2.5.1	<i>Descripción general de un SCADA.</i>	33
2.5.2	<i>Partes de sistema SCADA.</i>	33
2.5.3	<i>Variables en un control de procesos.</i>	35
2.5.4	<i>Sensores.</i>	36
2.6	<i>Utilización del software LabVIEW para la adquisición de datos</i>	39
2.6.1	<i>Medición y Análisis de Datos con LabVIEW.</i>	40
<b>3.</b>	<b>IMPLEMENTACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS</b>	
3.1	<i>Descripción del banco de pruebas.</i>	43
3.2	<i>Descripción de los elementos del sistema bombeo</i>	43
3.2.1	<i>Bomba hidráulica.</i>	45
3.2.2	<i>Recipiente de almacenamiento de fluido.</i>	45
3.2.3	<i>Válvula check.</i>	46
3.2.4	<i>Flujómetro.</i>	46
3.2.5	<i>Ventosa.</i>	47
3.2.6	<i>Manómetro.</i>	47
3.2.7	<i>Válvula de alivio.</i>	48
3.2.8	<i>Calderín.</i>	48

3.2.9	<i>Tablero de control.</i>	49
3.2.10	<i>Válvula de globo.</i>	49
3.2.11	<i>Sensor de presión.</i>	50
3.2.12	<i>Tuberías.</i>	50
3.2.13	<i>Garruchas.</i>	50
3.3	Puesta en marcha del banco de pruebas	51
3.4	Cálculo de presión máxima	51
3.5	Selección de equipos, instrumentos, componentes electrónicos y accesorios	53
3.5.1	<i>Selección de equipos e instrumentos.</i>	53
3.5.1.1	<i>Selección de la bomba.</i>	53
3.5.1.2	<i>Selección del manómetro.</i>	54
3.5.1.3	<i>Selección del flujómetro.</i>	55
3.5.1.4	<i>Selección del calderín.</i>	55
3.5.1.5	<i>Selección de la válvula de alivio.</i>	56
3.5.1.6	<i>Selección de la válvula ventosa.</i>	57
3.5.2	<i>Selección de componentes electrónicos.</i>	58
3.5.2.1	<i>Selección del sensor.</i>	58
3.5.2.2	<i>Selección del sistema para la adquisición de datos.</i>	59
3.5.2.3	<i>Selección de las fuentes de alimentación.</i>	60
3.5.3	<i>Selección de accesorios.</i>	61
3.6	Montaje de equipos e instrumentos en el banco de pruebas	62
3.6.1	<i>Tecnología de montaje.</i>	62
3.6.1.1	<i>Parte hidráulica.</i>	62
3.6.1.2	<i>Adquisición de datos.</i>	63
3.7	Automatización del banco de pruebas para la adquisición de datos	63
3.7.1	<i>Adquisición de datos y procesamiento de señales.</i>	63
3.7.1.1	<i>Diagrama de control.</i>	63
3.7.1.2	<i>Calibración del sensor de presión.</i>	65
3.7.2	<i>Representación de variables medidas en el software LabVIEW.</i>	68
3.7.2.1	<i>Descripción del panel frontal.</i>	68
<b>4.</b>	<b>FASE EXPERIMENTAL MEDIANTE SOFTWARE LABVIEW Y ANÁLISIS DE COSTOS</b>	
4.1	Pruebas de funcionamiento del banco para la adquisición de datos	69

4.1.1	<i>Pruebas del banco en vacío a 32 psi.</i>	69
4.1.2	<i>Pruebas del banco en vacío a 50 psi.</i>	70
4.1.3	<i>Pruebas con intervención de elementos de protección.</i>	70
4.1.3.1	<i>Ensayo mediante calderín de aire a 32 psi.</i>	71
4.1.3.2	<i>Ensayo del calderín de aire a 50 psi.</i>	71
4.1.3.3	<i>Ensayo con la válvula de alivio a 32 psi.</i>	72
4.1.3.4	<i>Ensayo con la válvula de alivio a 50 psi.</i>	73
4.2	Manual de operación	73
4.3	Manual de mantenimiento	75
4.4	Análisis de costos	76
4.4.1	<i>Descripción del análisis de costos.</i>	76
4.4.2	<i>Costos directos.</i>	77
4.4.2.1	<i>Costos de accesorios y materiales.</i>	77
4.4.2.2	<i>Costos de maquinaria y equipos utilizados.</i>	79
4.4.2.3	<i>Costos de mano de obra.</i>	79
4.4.2.4	<i>Total de costos directos.</i>	80
4.4.3	<i>Costos indirectos.</i>	80
4.4.4	<i>Costos totales.</i>	80
4.5	Ficha técnica del equipo	80
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
5.1	Conclusiones	83
5.2	Recomendaciones	84

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## LISTA DE TABLAS

pág.

<b>Tabla 1-2:</b> Propiedades del aire .....	32
<b>Tabla 1-3:</b> Parámetros para determinación de presión máxima.....	51
<b>Tabla 2-3:</b> Datos de presión y voltaje .....	67
<b>Tabla 1-4:</b> Puesta en marcha del banco de pruebas .....	74
<b>Tabla 2-4:</b> Manual de mantenimiento.....	76
<b>Tabla 3-4:</b> Costo de accesorios y materiales.....	77
<b>Tabla 4-4:</b> Costos de maquinaria y equipos utilizados .....	79
<b>Tabla 5-4:</b> Costos de mano de obra .....	79
<b>Tabla 6-4:</b> Costos directos .....	80
<b>Tabla 7-4:</b> Costos indirectos .....	80
<b>Tabla 8-4:</b> Costos totales .....	80
<b>Tabla 9-4:</b> Ficha técnica del equipo.....	81

## LISTA DE GRÁFICOS

	pág.
<b>Gráfico 1-3:</b> Curva característica de la bomba .....	54
<b>Gráfico 2-3:</b> Diagrama para determinar el diámetro del orificio .....	58
<b>Gráfico 3-3:</b> Gráfica de presión vs voltaje.....	67
<b>Gráfico 1-4:</b> Resultados de las pruebas en vacío a 32psi.....	69
<b>Gráfico 2-4:</b> Resultado de las pruebas en vacío a 50 psi .....	70
<b>Gráfico 3-4:</b> Resultado mediante la prueba del calderín a 32 psi .....	71
<b>Gráfico 4-4:</b> Resultado con el calderín de aire a 50 psi .....	71
<b>Gráfico 5-4:</b> Resultado con la válvula de alivio a 32 psi.....	72
<b>Gráfico 6-4:</b> Resultado de la válvula de alivio a 50 psi.....	73

## LISTA DE FIGURAS

pág.

<b>Figura 1-2:</b> Flujo estacionario o no estacionario .....	5
<b>Figura 2-2:</b> Flujo laminar.....	6
<b>Figura 3-2:</b> Flujo turbulento .....	6
<b>Figura 4-2:</b> Flujo ideal .....	6
<b>Figura 5-2:</b> Flujo rotacional e irrotacional.....	7
<b>Figura 6-2:</b> Flujo compresible o incompresible.....	7
<b>Figura 7-2:</b> Flujo viscoso y no viscoso.....	8
<b>Figura 8-2:</b> Onda de presión en el cierre instantáneo de una válvula.....	8
<b>Figura 9-2:</b> Cierre instantáneo de una válvula al final de una tubería.....	10
<b>Figura 10-2:</b> Calderín de aire.....	18
<b>Figura 11-2:</b> Chimenea de equilibrio.....	20
<b>Figura 12-2:</b> Válvula de alivio.....	21
<b>Figura 13-2:</b> Válvula de retención .....	22
<b>Figura 14-2:</b> Válvula de retención tipo clapeta .....	23
<b>Figura 15-2:</b> Válvula de retención tipo clapeta simple.....	23
<b>Figura 16-2:</b> Válvula de retención tipo clapeta simple.....	24
<b>Figura 17-2:</b> Válvulas de retención tipo clapeta con sistema amortiguador.....	24
<b>Figura 18-2:</b> Válvula de retención semiclapeta .....	25
<b>Figura 19-2:</b> Válvula de retención de disco.....	26
<b>Figura 20-2:</b> Volante de inercia .....	27
<b>Figura 21-2:</b> Válvula anticipadora de onda .....	27
<b>Figura 22-2:</b> Purgadores .....	28
<b>Figura 23-2:</b> Ventosa de gran orificio .....	29
<b>Figura 24-2:</b> Ventosa trifuncional .....	29
<b>Figura 25-2:</b> Ventosas unidireccionales .....	30
<b>Figura 26-2:</b> Partes del sistema SCADA .....	34
<b>Figura 27-2:</b> Variables en un control de proceso.....	35
<b>Figura 28-2:</b> Sensor de contacto .....	36
<b>Figura 29-2:</b> Sensor óptico .....	37
<b>Figura 30-2:</b> Sensor de temperatura de silicio .....	37
<b>Figura 31-2:</b> Sensor de humedad .....	38
<b>Figura 32-2:</b> Sensor magnético.....	38
<b>Figura 33-2:</b> Panel frontal.....	40
<b>Figura 34-2:</b> Análisis de datos con LabVIEW .....	41
<b>Figura 35-2:</b> Entorno LabVIEW .....	42
<b>Figura 1-3:</b> Elementos que compone el banco de pruebas .....	44
<b>Figura 2-3:</b> Bomba tipo Jet.....	45
<b>Figura 3-3:</b> Recipiente de almacenamiento de fluido .....	45
<b>Figura 4-3:</b> Válvula check .....	46

<b>Figura 5-3:</b> Fluviómetro .....	46
<b>Figura 6-3:</b> Ventosa .....	47
<b>Figura 7-3:</b> Manómetro.....	47
<b>Figura 8-3:</b> Accesorios en las tuberías.....	48
<b>Figura 9-3:</b> Calderín de aire.....	48
<b>Figura 10-3:</b> Tablero de control.....	49
<b>Figura 11-3:</b> Válvula de globo.....	49
<b>Figura 12-3:</b> Tuberías .....	50
<b>Figura 13-3:</b> Garruchas.....	50
<b>Figura 14-3:</b> Banco de pruebas para la adquisición de datos .....	51
<b>Figura15-3:</b> Tarjeta Arduino.....	60
<b>Figura 16-3:</b> Fuente de alimentación.....	61
<b>Figura 17-3:</b> Diseño final del banco de pruebas .....	62
<b>Figura 18-3:</b> Diagrama de control del banco de pruebas.....	64
<b>Figura19-3:</b> Calibración del sensor .....	66
<b>Figura 20-3:</b> Panel frontal.....	68

## **LISTA DE ABREVIACIONES**

<b>SCADA</b>	Supervisión Control y Adquisición de Datos
<b>AWWA</b>	Asociación Americana del Trabajo del Agua
<b>GPIB</b>	Bus de Interfaz de Propósito General
<b>PLC</b>	Controlador Lógico Programable
<b>DCS</b>	Sistema de Control Distribuido
<b>VI</b>	Instrumento Virtual



## **LISTA DE ANEXOS**

- A** Dimensiones y características de las tuberías
- B** Selección del manómetro de presión
- C** Selección del calderín de aire
- D** Selección de la válvula de alivio
- E** Selección del sensor de presión
- F** Ensamble total del banco de pruebas

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo, implementar y automatizar un banco de pruebas para la adquisición de datos de los elementos de protección frente a los transitorios hidráulicos, minimizando los fenómenos del golpe de ariete y cavitación. El desarrollo del proyecto tiene como alcance implementar y automatizar un banco de pruebas; esto implicó la recopilación de información necesaria para aplicar la metodología adecuada en la visualización de resultados, el estudio de los elementos de protección existentes en el mercado y seleccionar la opción más viable que cumplan con los requerimientos del usuario. Posteriormente se realizó el cálculo de la presión máxima presente en el sistema, como también la selección de elementos hidráulicos y automáticos para el respectivo banco de pruebas, realizando la selección del sensor de presión de acuerdo a la presión máxima presente en las tuberías; el mismo principio se utilizó para la selección de los demás instrumentos como son: calderín con diafragma, válvula de alivio, válvula ventosa y manómetro; para el análisis de la variable de presión se aplicó el software LabVIEW; por último se realizaron las pruebas de amortiguamiento de las sobrepresiones ocasionadas mediante el cierre brusco de la válvula. Los resultados fueron la visualización de las sobre presiones, así como el amortiguamiento de las mismas mediante los elementos de protección. En conclusión el banco de pruebas para la adquisición de datos nos permite visualizar la importancia de la implementación de los sistemas de protección ante las sobrecargas de presión, mejorando así el conocimiento de los estudiantes. Se recomienda el manejo adecuado de operación para realizar el proceso, el mismo que evitará las posibles averías en el equipo.

**Palabras clave:** <TECNOLOGÍAS Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <GOLPE DE ARIETE>, <TRANSITORIOS HIDRÁULICOS>, <BANCO DE PRUEBAS>, <ELEMENTOS DE PROTECCIÓN>, <LABVIEW (SOFTWARE)>, <AUTOMATIZACIÓN >, <SOBREPRESIÓN>, <CAVITACIÓN>

## SUMMARY

The current research work is aimed to implement and automate a test bench for acquiring data acquisition of the protection elements against hydraulic transients, minimizing the phenomena of water hammer and cavitation. The purpose of the project is to implement and automate a test bench: this involved the collection of information needed to apply the appropriate methodology in the visualization of results, the study of the existing protection elements in the market and to select the most viable option that meet the user's requirements. Subsequently, the calculation of the maximum pressure in the system was carried out, as well as the selection of hydraulic and automatic elements for the respective test bench, making the selection of the pressure sensor according to the maximum pressure in the pipes. The same principle was used for the selection of other instruments such as: cylinder with diaphragm, relief valve, vent valve and pressure gauge. Lab VIEW software was used to analyze the variable pressure and finally, damping tests of the overpressures caused by the abrupt closure of the valve were performed. The visualization and the damping of the overpressures by means of the protection elements were the results. In conclusion, the test bench for acquiring data acquisition allow us to view the significance of the protection system implementation against pressure overloads, thus improving students' knowledge. It is recommended the proper handling of operation to carry out the process, which will prevent possible breakdowns in the equipment.

**Keywords:** <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <WATER HAMMER>, <HYDRAULIC TRANSIENTS>, <TEST BENCH>, <PROTECTION ELEMENTS>, <LAB VIEW SOFTWARE>, <AUTOMATE>, <OVERPRESSURES>, <CAVITATION>.



# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

La necesidad del abastecimiento de fluidos ya sean estos para el consumo de las poblaciones o para el sistema industrial, ha ocasionado la necesidad de realizar varios proyectos de infraestructura en el cual se incluya dentro de sus instalaciones, sistemas de bombeo, que permitan vencer desniveles topográficos y así obtener los beneficios de los recursos hidráulicos en donde se necesita; todo esto a causa de la configuración orográfica de nuestro país, sus múltiples necesidades del recurso hídrico y el acelerado crecimiento de la población.

Para el correcto funcionamiento en un sistema de circulación de fluido, es necesario tener en cuenta ciertos fenómenos sean estos el golpe de ariete o transitorios hidráulicos, el cual es fundamental la consideración en una instalación. Cierta perturbación ocasionada en el régimen en presión mediante una conducción genera un transitorio, las perturbaciones que comúnmente se generan es por el cierre brusco de la válvula, por el paro de una bomba o arranque de la misma.

En la obra sobre el choque hidráulico el científico ruso N. Zhukovski realizó un estudio por primera vez de este fenómeno, como parte de sus investigaciones hidroaeromecánicas, las mismas que fueron el principio teórica para la comprensión del funcionamiento de la bomba de golpe de ariete o también conocido como ariete hidráulico, esto demuestra que los fenómenos físicos y naturales en general no deben considerarse como negativos o positivos, sino como leyes que debemos incorporar a nuestro arsenal cognitivo hacia una armónica actuación del hombre en la naturaleza y hacia la plenitud creadora del ser humano.

Mediante estos antecedentes, se considera necesario que nuestros profesionales se encuentren completamente preparados para poder realizar los diferentes diseños.

Los aspectos esenciales que ayudan al correcto funcionamiento y cuidado de un sistema de bombeo, es la consideración en el diseño, la ocurrencia del fenómeno de flujo transitorio, el cual debe ser considerado obligatoriamente, al no ser así, podría causar graves averías a los componentes de estos sistemas y por consiguiente generar grandes pérdidas económicas y financieras por la destrucción de un sistema del que dependen muchas actividades productivas.

Para ello se opta un banco de pruebas, para determinar las causas y efectos que puede producir este fenómeno, con medios actuales que permiten tener una mejor conceptualización del tema, en la Escuela de ingenierías industriales de la universidad de Valladolid, se tiene un trabajo de fin de grado en ingeniería mecánica, el diseño, construcción y puesta a punto de un banco de pruebas para el estudio del golpe de ariete en instalaciones hidráulicas, el cual será sumamente importante para fortalecer los conocimientos prácticos de los estudiantes de la Universidad de Valladolid; es lo que se busca implementar en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. (CALONGE HERVÁS, 2016)

## **1.2 Formulación del problema**

En la actualidad el laboratorio de mecánica de fluidos de la escuela de Ing. Mecánica, no cuenta con un banco de pruebas que nos permita conocer la aplicación y el funcionamiento de los elementos de protección, como válvula de alivio, ventosas, tanque presurizado que son elementos hidráulicos, los mismos que son utilizados para disminuir los inconvenientes ocasionados por los transitorios hidráulicos.

## **1.3 Justificación**

**1.3.1 Justificación teórica.** Los conocimientos adquiridos teóricamente y su aplicación en laboratorios con equipos ha sido una deficiencia para el desarrollo técnico de los estudiantes de Ingeniería que tienen grandes dificultades en la adaptación en el campo laboral.

Uno de los aspectos principales que involucran al correcto funcionamiento y cuidado de un sistema de bombeo, es la consideración en el diseño de la ocurrencia del fenómeno de flujo transitorio.

**1.3.2 Justificación metodológica.** La metodología de estudio de fenómenos transitorios mediante el uso de bancos de prueba, permite a los estudiantes obtener mejores conocimientos de las diferentes técnicas que existen para disminuir o eliminar los daños producidos.

**1.3.3 Justificación práctica.** En la actualidad se considera de gran importancia para el desarrollo académico de los estudiantes de la Facultad de Mecánica, por lo cual los laboratorios de Turbo maquinaria e Hidráulica deben estar ampliamente dotados con equipos e instrumentos debidamente actualizados que permitan simular prácticas similares a la vida profesional.

## **1.4 Objetivos**

**1.4.1 Objetivo General.** Implementar y automatizar un banco de pruebas para la adquisición de datos de los elementos de protección frente a los transitorios hidráulicos.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

Realizar un estudio bibliográfico del funcionamiento y comportamiento de los elementos de protección existentes, frente a los transitorios hidráulicos.

Implementar el banco de pruebas con sus respectivos elementos de protección.

Automatizar el banco de pruebas para la adquisición de datos de presión generados por los transitorios hidráulicos.

Utilizar el software LabVIEW para visualizar el comportamiento de la variable presión.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO REFERENCIAL

#### 2.1 Análisis de conceptos

**2.1.1 Fluido.** “Los fluidos son sustancias capaces de fluir y que se adaptan a la forma de los recipientes que los contienen. Cuando están en equilibrio, los fluidos no pueden soportar fuerzas tangenciales o cortantes. Todos los fluidos son compresibles en cierto grado y ofrecen poca resistencia a los cambios de forma, pueden dividirse en líquidos y gases. Las diferencias esenciales entre líquidos y gases son (a) los líquidos son prácticamente incompresibles y los gases son compresibles, por lo que en muchas ocasiones hay que tratarlos como tales y (b) los líquidos ocupan un volumen definido y tienen superficies libres mientras que una masa dada de gas se expande hasta ocupar todas las partes del recipiente que lo contenga”. (GILES, 1994)

“Un fluido es una sustancia en la que se deforma continuamente cuando se somete a una tensión de cortadura, por muy pequeña que ésta sea. Una fuerza cortante es la componente tangente a la superficie, y esta fuerza, dividida por el área de ésta región, es la tensión de cortadura media sobre el área considerada. La tensión de cortadura en un punto, es el límite del cociente de la fuerza cortante por el área cuando el área se reduce a cero en el punto”. (STREETER, 2001)

**2.1.2 Flujo.** Estudio del movimiento de un fluido, en dicho estudio se involucra las leyes del movimiento de la Física, las propiedades del fluido y características del medio ambiente o conducto por el cual fluyen. La rama de la hidráulica que se encarga de estudiar dicho movimiento le corresponde a la hidrodinámica.

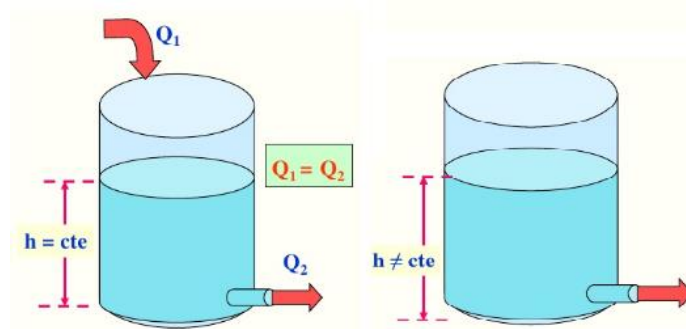
#### 2.2 Clasificación de flujos

La clasificación de flujos se puede realizar de muchas maneras atendiendo al cambio de velocidad y dirección que sufren las partículas debido al espacio recorrido, al cambio de velocidad, dirección y posición de las partículas respecto al tiempo, a las variaciones de las propiedades respecto al tiempo o a los procesos termodinámicos que puedan presentar dichos movimientos. Así un flujo puede ser: laminar, turbulento, ideal, permanente, no



permanente, uniforme, no uniforme, estable, inestable, estacionario, reversible, irreversible, adiabático, etc. El flujo de los fluidos puede ser:

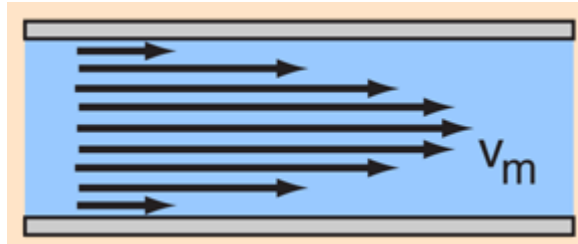
*Estacionario o no estacionario.* Cuando la velocidad del fluido  $v$  en cualquier punto no varía con el tiempo, se dice que el movimiento del fluido es estacionario. Es decir, todas las partículas que pasen por un punto del fluido lo harán con la misma velocidad en ese punto. En un flujo no estacionario las velocidades son función del tiempo (rápidos, catarata, etc.). Para el flujo estacionario, la velocidad  $v$  en un punto dado, es constante conforme transcurre el tiempo y todas las partículas que atraviesen por ese punto, lo harán con la misma velocidad y la trayectoria de una partícula del fluido que corresponde a una línea de corriente que es tangente en cada punto al vector velocidad, en el flujo estacionario, la distribución de líneas de corriente del flujo no cambia con el tiempo. (TIPLER, 1999)



**Figura 1-2:** Flujo estacionario o no estacionario

Fuente: (LLANOS, 2016)

*Laminar.* Se conoce como laminar porque el movimiento de las partículas del fluido se produce siguiendo trayectorias bastante regulares, separadas y perfectamente definidas dando la impresión de que se tratara de láminas o capas casi paralelas entre sí, las cuales se deslizan unas sobre otras, sin que exista intersección o intercambio transversal entre ellas.



**Figura 2-2:** Flujo laminar

Fuente: (OLMO, y otros, 2015)

*Turbulento.* El flujo turbulento es desarrollado debido a que la naturaleza tiene tendencia hacia el desorden y esto en términos de flujos significa tendencia hacia la turbulencia. Este tipo de flujo se caracteriza por trayectorias circulares erráticas, semejantes a remolinos. El flujo turbulento ocurre cuando las velocidades de flujo son generalmente muy altas o en fluidos en los que las fuerzas viscosas son muy pequeñas.

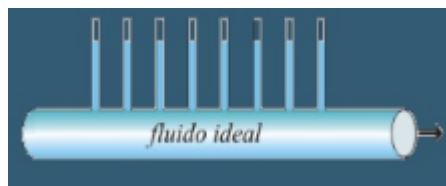
La turbulencia puede originarse por la presencia de paredes en contacto con el fluido o por la existencia de capas que se muevan a diferentes velocidades. Además, un flujo turbulento puede desarrollarse bien sea en un conducto liso o en un conducto rugoso.



**Figura 3-2:** Flujo turbulento

Fuente: (VÉLEZ, 2017)

*Ideal.* Un fluido ideal no posee fricción, es incompresible, el cual esta supuesto que tiene una viscosidad nula y que su velocidad en un punto de flujo será constante en un tiempo. El fluido ideal es solo una suposición útil en el análisis de situaciones de flujo.



**Figura 4-2:** Flujo ideal

Fuente: (VÉLEZ, 2017)

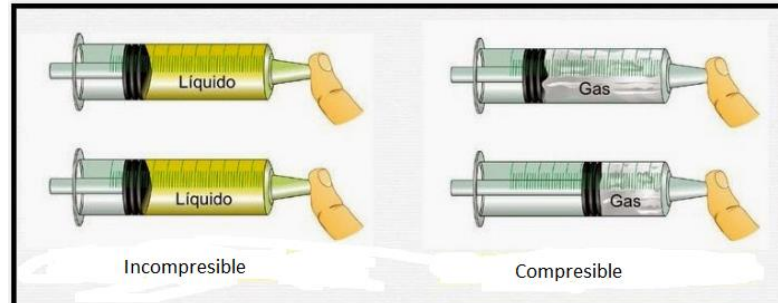
*Rotacional e irrotacional.* Cuando se tiene un fluido que se desplaza en una corriente circular, pero las partículas del fluido no giran alrededor del eje que pasa por su centro de masas, y si el elemento de fluido en un punto dado no tiene una velocidad angular neta alrededor de ese punto, el flujo es irrotacional. Si sucede todo lo contrario se trataría de un fluido rotacional.



**Figura 5-2:** Flujo rotacional e irrotacional

Fuente: (ROSASCO, 2014)

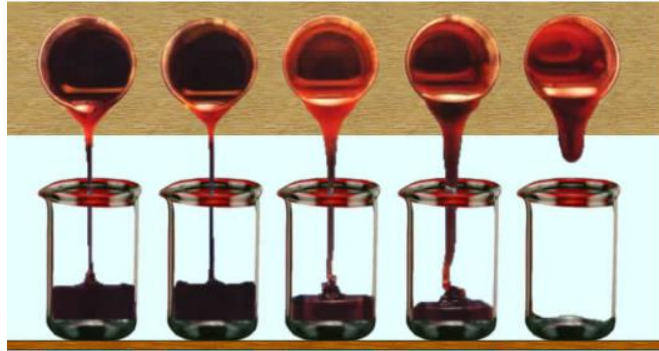
*Compresible o incompresible.* Por lo general puede considerarse que los líquidos fluyen de forma incompresible y la densidad de los mismos es constante.



**Figura 6-2:** Flujo compresible o incompresible

Fuente: (PIMIENTA RAMIREZ, 2014)

*Viscoso y no viscoso.* La viscosidad es una medida de la resistencia de los líquidos a fluir. Cuanto más viscoso es un líquido, más lento es su flujo. La viscosidad introduce fuerzas tangenciales entre las capas del fluido en movimiento relativo y se traduce en una disipación de energía. Un fluido que no tiene viscosidad se llama fluido ideal, sin embargo, el modelo de viscosidad nula es una aproximación bastante buena para ciertas aplicaciones.



**Figura 7-2:** Flujo viscoso y no viscoso

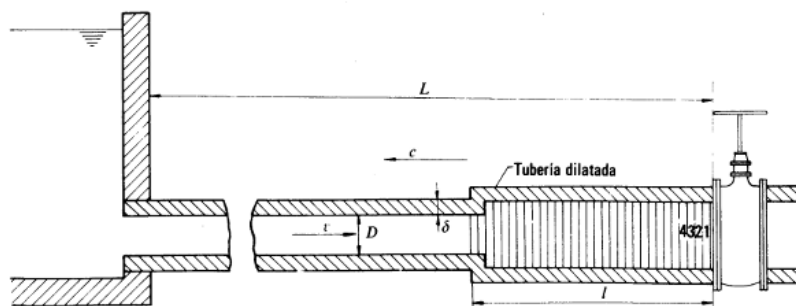
Fuente: (WIDMAN, 2016)

### 2.3 Especificación de los Transitorios Hidráulicos

Transitorio hidráulico también llamado golpe de ariete es un término que se utiliza para describir el choque producido por una súbita disminución en la velocidad del fluido. En una tubería, al cerrar una válvula el tiempo que tarda la onda de presión en viajar aguas arriba hasta la embocadura de la tubería y volver aguas abajo hasta la válvula. (GILES, 1994).

El golpe de ariete es un fenómeno causado por un repentino incremento o disminución de la velocidad del flujo, donde la tubería ya no es considerada rígida y el líquido es compresible.

Este fenómeno se produce en los conductos al cerrar o abrir una válvula y al poner en marcha o parar una máquina hidráulica, o también al disminuir bruscamente el caudal. (MATAIX, 2007)



**Figura 8-2:** Onda de presión en el cierre instantáneo de una válvula

Fuente: (MATAIX, 2007)

Dónde  $c$  será la velocidad con que viaja la onda y  $v$  la velocidad con la que circula el fluido. La tubería se dilata (o se contrae) al avanzar la onda de presión (o de depresión).

En la figura 8-2 se muestra una tubería de longitud  $L$ , espesor  $\delta$  y diámetro interior  $D$  por donde fluye agua procedente de una presa y que finaliza en el extremo derecho donde se encuentra una válvula. Se obstruye instantáneamente el flujo, considerando el principio de conservación de la energía, al disminuir la fuerza cinética, ésta se va transformando en un trabajo de compresión del fluido que llena la tubería y en el trabajo necesario para dilatar esta última: se ha generado un incremento de presión, o un golpe de ariete positivo.

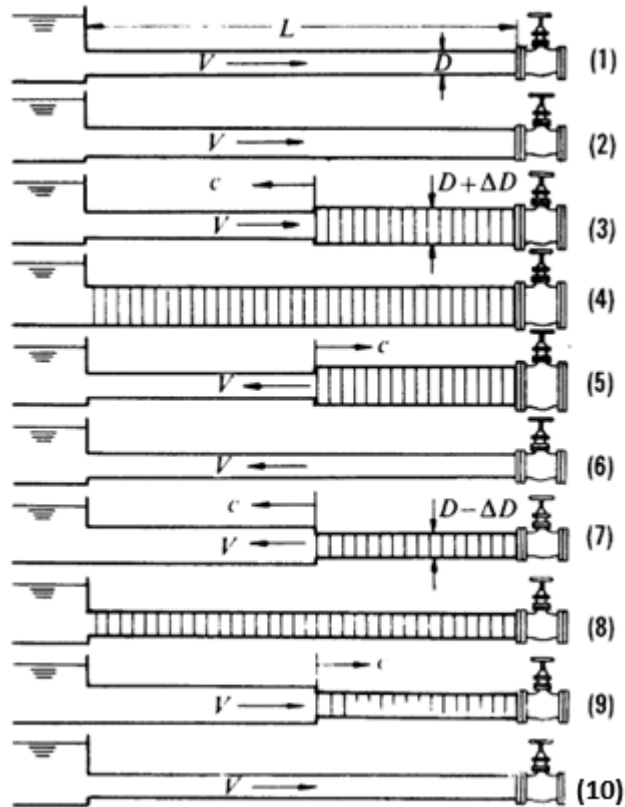
Por el contrario, si se abre la válvula en cuestión de segundos se genera un golpe de ariete negativo o también conocida como depresión.

**2.3.1 Explicación del fenómeno.** Físicamente no es posible cerrar una válvula instantáneamente, para un estudio inicial primario esta consideración ayudará al estudio de los casos reales.

Si cerramos por completo instantáneamente la válvula de la figura 8-2, y dividimos imaginariamente el fluido que se encuentra en toda la tubería en rodajas, como las que se observa 1, 2, 3 y 4 mostradas en la figura, la primera rodaja se quedará en reposo y a continuación la 2, 3, 4 etc., conforme transcurre el tiempo. Es decir, en la válvula se ha generado una onda de presión que viaja con velocidad  $c$ , la misma que en un momento considerado tiene sentido opuesto a la velocidad  $v$  del fluido: se ha producido una onda elástica, o sea una onda de presión que viaja por la tubería, se refleja en el embalse, vuelve a la válvula, de nuevo al embalse, y así sucesivamente; generando variaciones de presión y depresión en la tubería, la misma que se expande y se comprime durante el desplazamiento de la onda. (MATAIX, 2007)

Ahora consideremos  $c$  la velocidad de la onda y  $L$  la longitud de la tubería, el tiempo que se demora la onda para recorrer el espacio que existe entre la válvula y el embalse es  $t_0 = L/c$ . Al cabo de un tiempo  $T = 4t_0 = 4L/c$  el ciclo se repite.

Consideremos en la figura 9-2 los distintos acontecimientos que suceden en la tubería en un periodo  $T = 4L/c$ .



**Figura 9-2:** Cierre instantáneo de una válvula al final de una tubería

Fuente: (MATAIX, 2007)

*No hay perturbación.* Régimen permanente. El fluido en la tubería se transporta con velocidad  $v$  del embalse a la válvula. Diámetro de la tubería normal.

*Tiempo 0.* La válvula se cierra instantáneamente. La velocidad del fluido tiende a cero a partir del contacto directo con la válvula, no instantáneamente, en toda la tubería. . (MATAIX, 2007)

*Tiempo  $t_0/2 = \frac{1L}{2c}$ .* La onda de presión se ha propagado hacia el embalse con celeridad  $c$  y el frente de onda ha llegado a la mitad de la tubería. Mitad derecha de la tubería dilatada por la sobrepresión. Mitad izquierda, diámetro normal. En esta mitad izquierda el agua sigue circulando con velocidad  $v$  hacia la válvula. En la mitad derecha  $v=0$ .

*Tiempo  $t_0 = L/c$ .* La onda de presión ha llegado al embalse. En toda la tubería el líquido está en reposo  $v=0$ , pero no en equilibrio.

*Tiempo*  $3/2t_0 = 3/2L/c$ . La mitad izquierda de la tubería se ha contraído a su diámetro normal. La onda sigue propagándose hacia la derecha con velocidad  $c$ , y en la mitad izquierda de la tubería el fluido circula con la velocidad  $v$ .

*Tiempo*  $2t_0 = 2L/c$ . Diámetro de toda la tubería normal. Todo el fluido de la tubería en movimiento desde la válvula hacia el embalse con velocidad  $v$ ; o sea en dirección contraria a la de la figura 2,1 ,2 y 3. No hay sobrepresión en ninguna parte de la tubería , pero por la inercia la presión continua disminuyendo, la onda elástica se sigue propagando, ahora con depresión desde la válvula hacia el embalse con la velocidad  $c$ ; el diámetro de la tubería ira disminuyendo por debajo de su diámetro normal.

*Tiempo*  $5/2t_0 = \frac{5L}{2c}$  . La depresión ha alcanzado la mitad de la tubería. La mitad derecha de la tubería contiene agua en reposo y a una presión por debajo de la normal. El diámetro de la tubería en esta mitad es inferior al normal.

*Tiempo*  $3t_0 = 3\frac{L}{c}$ . El agua en toda la tubería está en reposo; pero no en equilibrio, y el agua inicia su movimiento desde el embalse a la válvula con velocidad  $v$  dirigida hacia la derecha, la depresión reina en toda la tubería. El diámetro de toda la tubería es inferior al normal.

*Tiempo*  $7/2t_0 = \frac{7L}{2c}$ . En la mitad izquierda de la tubería el fluido está en movimiento con velocidad  $v$  hacia la válvula. En la mitad de la derecha el líquido continúa en reposo y en depresión. El diámetro de la parte izquierda es normal. y la mitad derecha menor que el normal;  $c$  y  $v$  tienen el mismo sentido.

*Tiempo*  $4t_0 = 4\frac{L}{c}$  . Diámetro de la tubería normal. Todo el fluido en movimiento con velocidad  $v$  hacia la válvula. Todo igual que en el tiempo 0. Luego el periodo de este movimiento es:

$$T = 4t_0 = 4\frac{L}{c} \quad (1)$$

Teóricamente este movimiento oscilatorio en el interior del conducto, continuara indefinidamente, mientras que en la práctica la deformación de la tubería y la viscosidad del líquido disipan energía y las oscilaciones se amortiguan.

**2.3.2 Fórmulas de la presión máxima o sobrepresión.** El estudio del golpe de ariete fue hecho en primer lugar por Joukowski, mientras que la solución completa del problema fue dada por Allievi.

Para realizar el cálculo de la variación de presión producida por el golpe de ariete, se considera el tiempo de cierre  $t_c$  de la válvula.

El cierre puede ser:

*Instantáneo:*  $t_c = 0$ . Caso teórico, físicamente no es imposible; pero muy importante y de mucha ayuda para explicar la esencia del fenómeno.

*Rápido:*  $0 < t_c < 2t_c = 2\frac{L}{c} = T/2$ . La presión máxima producida será la misma que en el cierre instantáneo; aunque la curva de las presiones generadas en la tubería en función del tiempo sea distinta. Durante el cierre rápido la onda de presión no alcanzaría a viajar al estanque, reflejarse y regresar a la válvula, antes de que termine la mitad del ciclo. (MATAIX, 2007)

*Lento:*  $t_c > 2t_c = 2\frac{L}{c} = T/2$ . En este caso, la presión máxima será menor que en los dos casos anteriores mencionados, porque la depresión de la onda elástica no alcanza a llegar a la válvula antes de que se complete el medio ciclo, lo que impide el aumento ulterior de la presión.

*Presión máxima en cierre total o parcial instantáneo de la válvula en una tubería elástica.* Supongamos en la figura 15-1 que el cierre de la válvula es instantáneo. El fluido se desacelera, lo que da lugar a una fuerza de inercia  $F_i$ , siendo:

$$F_i = -m \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (2)$$



Donde  $\Delta_t$  no es el tiempo de cierre de la valvula (por hipótesis  $t_c = 0$ ; sino el intervalo de tiempo que ha durado para que una cierta masa  $m = \rho l A$  de fluido que ocupa una longitud finita de tubería  $l$  disminuya la velocidad un valor finito  $\Delta_v$ .

En cierre total:

$$\Delta_v = -v \quad (3)$$

En el cierre parcial:

$$\Delta_v = v' - v \quad (4)$$

Donde:

$v'$  = Velocidad final del fluido

Llevando los valores (3) y (4) a la Ec. (2), tendremos:

Cierre total:

$$F_i = \rho l A \frac{v}{\Delta t} \quad (5)$$

Cierre parcial

$$F_i = \rho l A \frac{(v - v')}{\Delta t} \quad (6)$$

Donde  $l$  es la longitud recorrida por la onda elástica a partir de la válvula en el tiempo  $\Delta_t$  (véase Fig.8-1)

Por otra parte la sobrepresión será:

$$\Delta_p = F_i A \quad (7)$$

Siendo, evidentemente:

$$c = l/\Delta_t \quad (8)$$

La velocidad de propagación o celeridad de onda. Llevando, por tanto, los valores (7) y (8) a las Ecs. (5) y (6)

se obtiene finalmente la fórmula de Joukowski.

$$\Delta_p = l/\Delta_t \quad (9)$$

*Sobrepresión en cierre instantáneo total de la válvula.* Se emplea la siguiente ecuación:

$$\Delta_p = \rho c(v - v') \quad (10)$$

*(Sobrepresión en cierre instantáneo parcial de la válvula).* Joukowski, además, descubrió la fórmula siguiente, que permite calcular c.

*Fórmula de Joukowski para la celeridad de la onda de presión en una tubería.* Para lo cual se utiliza la siguiente expresión:

$$(11)$$

$$c = \frac{\sqrt{\frac{E_0}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{DE_0}{E\delta}}}$$

Dónde:

$c$  = Celeridad onda elástica del fluido en la tubería. [m/s]

$E_0$  = Módulo de elasticidad de volumen del fluido. [ $\frac{N}{m^2}$ ]

$\rho$  = Densidad del fluido. [ $\frac{Kg}{m^3}$ ]

$D$  = Diámetro de la tubería. [m]

$E$  = Módulo de elasticidad del material de la tubería.

$\delta$  = Espesor de la tubería [m]

El numerador de la Ec. (11) como se demuestra en Física, es la celeridad de la onda elástica en el fluido.

Celeridad onda elástica en agua:

$$C_0 = \sqrt{\frac{E_0}{\rho}} = 1,425 \text{ m/s} \quad (12)$$

Tomando como valor medio del módulo de Young para el acero usado en la construcción de tuberías forzadas (o tuberías a presión de las centrales hidroeléctricas, donde puede producirse el golpe de ariete) un valor de  $2,5 \times 10^{11} N/m^2$ , y llevando este valor, así como de la Ec. (12) a la Ec. (11), tendremos la fórmula aproximada.

Agua, tubería corriente de acero:

$$c = \frac{10000}{\sqrt{50 + 0,5D/\delta}} \text{ m/s} \quad (13)$$

*Presión máxima en cierre lento uniforme total de una válvula en una tubería rígida.* En el cierre lento supondremos en primera aproximación para simplificar que el conducto de fluido analizado es rígido, o sea que no se deforma, y que el cierre de la válvula es uniforme.

Tomando en cuenta la fuerza de inercia debida a la deceleración del fluido que circula por una tubería de sección A, longitud L con velocidad v en el tiempo de cierre de la válvula  $t_c$ , se tiene:

$$F_i = -m \frac{dv}{dt} = -\rho AL \frac{dv}{dt}$$

Y analógicamente al caso anterior:

$$\Delta_p = F_i/A \text{ y } \Delta_p = -\rho L \frac{dv}{dt} \text{ pero}$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{0-v}{t_c} = -\frac{v}{t_c} \quad (\text{movimiento uniforme})$$

Luego:

Tubería rígida, cierre lento y uniforme:

$$\Delta_p = \frac{\rho Lv}{t_c} \quad (14)$$

*Sobrepresión en cierre lento de una válvula.* Se emplea la siguiente expresión:

$$\Delta_p = k \frac{\rho Lv}{t_c} \quad (15)$$

(Tubería elástica, cierre lento, k=1 a 2)

De la Ec. (15) se deducen las siguientes consecuencias prácticas; el peligro del golpe de ariete de una instalación es tanto mayor:

- Si la longitud de la tubería es mayor (por ejemplo, la tubería forzada de la turbina al embalse)
- Si mayor es la velocidad del líquido en la tubería
- Por el cierre rápido de la válvula (por ejemplo, el cierre demasiado rápido del inyector de una turbina Pelton puede generar el golpe de ariete. (MATAIX, 2007).

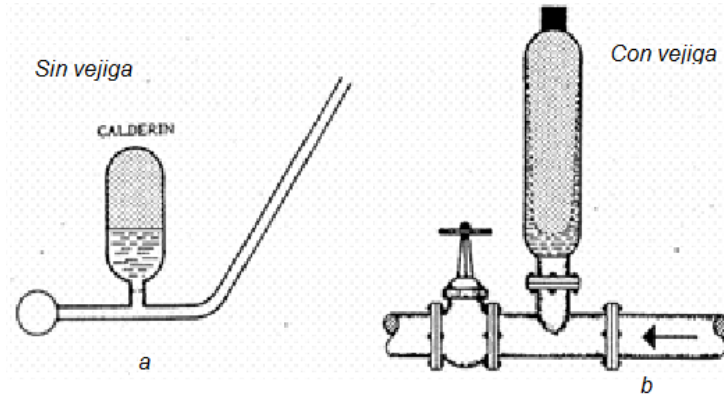
**2.3.3 Consecuencias de transitorios hidráulicos.** El fenómeno del golpe de ariete puede generar presiones extremas en las redes de distribución, lo cual puede llevar a fallas en la red y artefactos hidráulicos, e inclusive rupturas en las tuberías, con el consiguiente riesgo de corte del servicio, pérdidas de agua, intrusión de contaminantes al sistema, etc. Un golpe de ariete severo puede generar la separación de la columna de agua, con consecuencias desastrosas para la integridad de las tuberías. Debido a esto la simulación del flujo no-permanente y del golpe de ariete se ha convertido en un requisito esencial para asegurar el correcto diseño y operación de los sistemas de distribución de agua. (TWYMAN, y otros, 2009)

## **2.4 Dispositivos para la disminución de transitorios hidráulicos**

Las sobrepresiones del golpe de ariete obligan a proyectar tuberías con mayor resistencia que tienen un mayor costo. Para evitar esto se instalan unos mecanismos que reducen total o parcialmente el golpe de ariete.

**2.4.1 Calderín de aire.** Se trata de un depósito acoplado a la tubería (figura 10-2a), totalmente cerrado y en el cual penetra agua formando un colchón de aire. Cuando se produce sobrepresión el agua penetra en el depósito comprimiendo el aire y perdiendo energía, cuando se produce una depresión el agua del depósito sale a la tubería produciéndose vacío en el depósito, este aporte de agua disminuye la depresión en la tubería. El sistema no es práctico por necesitar grandes depósitos cuando la instalación de riego es de cierto tamaño, además el inconveniente de que el aire confinado en su interior se va gastando tanto por disolución como por arrastre; en consecuencia, la instalación de un calderín incluye un compresor que reponga y mantenga dentro de una cantidad de aire sensiblemente constante.

Una solución lógica consiste en encerrar el aire dentro de una vejiga (figura 10-2b), con lo que el aire y el agua ya no están en contacto, no necesitando la instalación de un compresor.



**Figura 10-2:** Calderín de aire

Fuente: (SALAS, 2008)

*Aplicaciones.* Los acumuladores hidroneumáticos ofrecen numerosas posibilidades de aplicación:

- Almacenamiento de energía para el ahorro de potencia de accionamiento de la bomba en instalaciones con servicio intermitente.
- Reserva de energía para casos de emergencia, por ejemplo, en caso de avería de la bomba hidráulica.
- Compensación de pérdidas por fuga.
- Amortiguación de golpes y vibraciones en caso de vibraciones periódicas.
- Compensación de volumen en caso de cambios de presión y temperatura.

**2.4.1.1** *Parámetros de selección.* Cuando se selecciona un amortiguador de pulsaciones, es necesario considerar los siguientes parámetros principales.

- Presión de servicio P1 y P2
- Cantidad del fluido  $\Delta V$
- Campo de aplicación
- Temperatura de funcionamiento
- Tipo de fluido

**2.4.1.2** *Valores límites de la presión de llenado del gas.* Para el cálculo de un acumulador, las siguientes presiones son de importancia fundamental:

Presiones de llenado del gas a temperatura ambiente y con la cámara de fluido vacía.

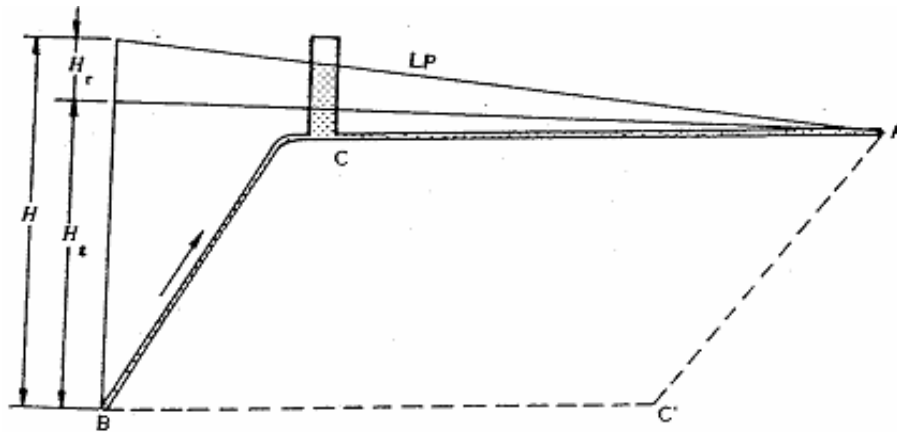
- Presión de servicio mínima P1
- Presión de servicio máxima P2
- Presión de precarga máxima P0

Para lograr el mejor aprovechamiento posible del volumen del acumulador y también una elevada vida útil, se recomienda respetar los siguientes valores:  $P0 \approx 0,9P1$

La presión hidráulica máxima no debe exceder cuatro veces la presión de llenado, ya que de lo contrario la elasticidad de la vejiga se sometería a un esfuerzo excesivo y tendría como consecuencia un cambio de compresión excesivo con un intenso aumento de la temperatura del gas:  $P2 \leq 4P0$

La vida útil de la vejiga del acumulador será más larga cuanto menor sea la diferencia entre P1 y P2. No obstante, también se reduce en consecuencia el coeficiente de utilización de la capacidad máxima del acumulador.

**2.4.2** *Chimenea de equilibrio.* La tubería se conecta a un tubo vertical piezométrico, cuya altura sobrepasa la línea de carga. Cuando se produce sobrepresión el agua sale por la chimenea, cuando hay depresión el agua de la chimenea entra en la conducción, disminuyendo en ambos casos la energía del golpe. Tiene como limitación el tamaño de la chimenea que tiende a ser muy grande.



**Figura 11-2:** Chimenea de equilibrio

Fuente: (SALAS, 2008)

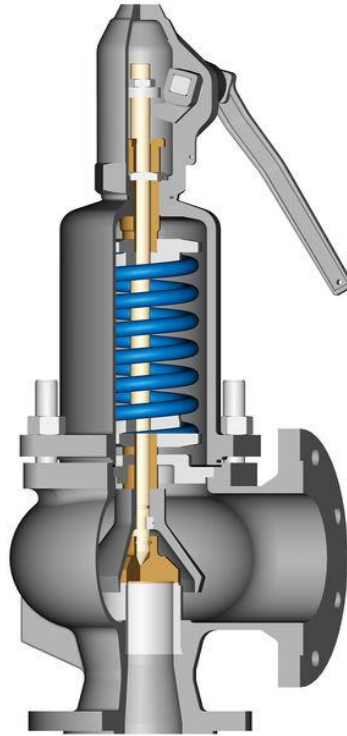
Ventajas:

- Reduce la amplitud de las fluctuaciones de presión en la tubería forzada, al reflejar las ondas incidentes y cambiarlas de signo mucho antes de llegar al embalse, lo que sería el caso en ausencia de la chimenea.
- Protege la galería de presión de las sobrepresiones por golpe de ariete.
- Mejora las características de regulación de la turbina al reducir la inercia de la columna de agua afectada, que se limita tan solo a la tubería forzada.
- La chimenea constituye una reserva de agua próxima a la central que permite acelerar o decelerar el agua de la tubería más lentamente de lo que la turbina a veces requiere, reduciendo la amplitud de las oscilaciones de presión.

**2.4.3 Válvulas de seguridad o de alivio.** Son válvulas de presión, con una presión prefijada que cuando se sobrepasa por efecto del golpe, se abre y deja salir agua. Hay que instalarlas siempre al aire, por encima del terreno y en sitios de fácil desagüe, lo que no siempre es posible.

Para que funcionen bien, hay que situarlas en bifurcaciones y a menos de 500 metros del extremo de línea. Entre dos válvulas no debe haber más de 2000 m y deben permitir la salida de un caudal igual o superior al doble del gasto máximo de un hidrante.





**Figura 12-2:** Válvula de alivio

Fuente: (BOPP, 2018)

**2.4.3.1 Campos de aplicación.** Las válvulas de seguridad de alivio de presión deben ser instaladas en todos aquellos equipos o sistemas que trabajen a presión, para protegerlos frente a sobrepresiones debido a condiciones anormales de operación (por elevación de temperatura, por llenado, reacción incontrolada, etc) y debido a situaciones de emergencias (incendios, etc). Así pues deben instalarse en calderas de vapor, de agua caliente, en sobrecalentadores, recalentadores, reactores, acumuladores, en depósitos, etc, así como en muchos sistemas de tuberías donde circulan fluidos a cierta presión y es posible un bloqueo del fluido en un tramo, pudiendo sufrir una sobrepresión por alguna de las causas citadas anteriormente.

**2.4.4 Válvulas de retención.** Es el sistema más usado. Consiste en colocar a lo largo de la tubería y dentro de la misma, una serie de válvulas de manera que cuando se para el flujo de líquido, se cierra, dividiendo la longitud total en tantos tramos como válvulas se hayan colocado, disminuyendo las sobrepresiones.

Su único inconveniente son las pérdidas de carga localizadas que produce su colocación

en el interior de la tubería, que son altas y producen un mayor consumo de energía con el consiguiente aumento de coste. Gasto que se compensa con el ahorro en la inversión de la instalación.



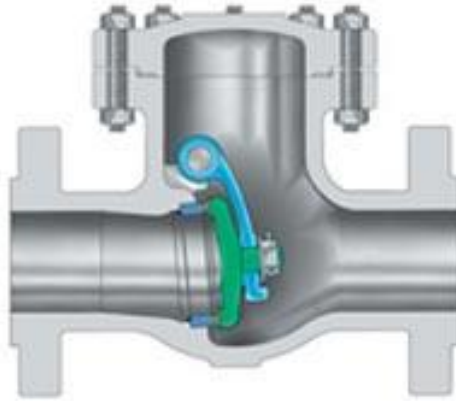
**Figura 13-2:** Válvula de retención

Fuente: (BOPP, 2018)

**2.4.4.1** *Válvulas de retención tipo clapeta.* Este tipo de válvulas tienen ciertas limitaciones para su utilización.

Sus limitaciones son:

- No se pueden instalar verticalmente cuando la corriente va hacia abajo.
- No funcionan correctamente cuando la velocidad del agua sobrepasa los 1.5 m/s.
- No funcionan correctamente cuando las presiones estáticas empiezan a ser elevadas. Si se trabaja con más de 3 atmósferas de presión, conviene asegurarse de la fiabilidad de la válvula de clapeta simple que se trate de elegir.
- No funcionan correctamente cuando las sobrepresiones del golpe de ariete empiezan a ser importantes. En ocasiones, la presión estática puede ser baja, pero una gran longitud de la tubería puede dar lugar a golpes de ariete excesivos para ciertas válvulas de retención.
- No funcionan correctamente cuando los caudales son importantes.
- Su funcionamiento es incorrecto cuando se cierran bruscamente, produciendo vibraciones que pueden dañar las tuberías y otras válvulas.



**Figura 14-2:** Válvula de retención tipo clapeta

Fuente: (BOPP, 2018)

**2.4.4.2** *Válvulas de retención tipo clapeta simple.* Son de fácil construcción. El disco se levanta por acción del agua hasta unos noventa grados. Su cierre suele ser muy brusco y entonces produce un golpetazo que repercute en las tuberías y en otros elementos adyacentes y puede originar un fuerte golpe de ariete.



**Figura 15-2:** Válvula de retención tipo clapeta simple

Fuente: (BOPP, 2018)

**2.4.4.3** *Válvulas de retención tipo clapeta simple con corto recorrido de clapeta.*

Supone una mejora extraordinaria en la válvula simple, pues al tener la clapeta un menor recorrido no produce apenas golpetazo y puede admitir velocidades y presiones mayores. Esta válvula se puede utilizar también con aguas sucias.



**Figura 16-2:** Válvula de retención tipo clapeta simple

Fuente: (BOPP, 2018)

**2.4.4.4 Válvulas de retención tipo clapeta con sistema amortiguador.** Supone una mejora sobre las anteriores. El contrapeso permite regular en situaciones la cadencia del cierre hasta optimizarla. El amortiguador deja que la válvula se cierre en un 90 % antes de empezar a actuar, y de esta manera, el 10 % final del recorrido de la clapeta está controlado.

Esta es una de las pocas válvulas de retención que se pueden emplear con aguas negras.

La máxima velocidad admisible es del orden de 2 m/s y puede permitir presiones de hasta 10 o 20 atmósferas, dependiendo de los materiales de su construcción.



**Figura 17.2:** Válvulas de retención tipo clapeta con sistema amortiguador

Fuente: (BOPP, 2018)

**2.4.4.5** *Válvulas de retención con clapeta de eje semicentrado.* Es la válvula de clapeta que se puede considerar más fiable. En las anteriores, la clapeta gira por medio de una bisagra colocada en su extremo, mientras que en esta válvula la clapeta gira en dos semiejes descentrados que evitan que se produzca golpetazo.

Es la que produce menos pérdida de carga, son de costo más bien elevado y no se deben usar con aguas negras.

**2.4.4.6** *Válvulas de retención de semiclapieta doble o de disco partido.* La clapeta o disco se ha partido en dos y las bisagras se colocan en un eje centrado. Los semidiscos van ayudados en el cierre por unos muelles, pero a pesar de ello, no se deben colocar para flujos verticales hacia abajo.

No suele dar golpetazo si está debidamente diseñada y construida con los materiales adecuados. Admite velocidades de hasta 5 m/s y puede construirse para grandes presiones.

Suele venderse para ser encajada entre dos bridas, al no disponer de bridas propias.

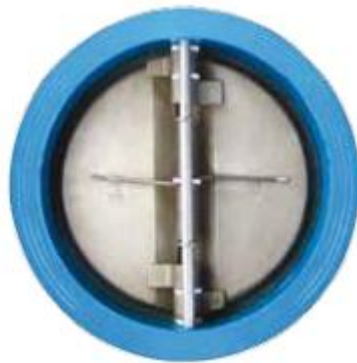


**Figura 18-2:** Válvula de retención semiclapieta

Fuente: (BOPP, 2018)

**2.4.4.7 Válvulas de retención de disco sobre eje longitudinal centrado.** Las características de estas válvulas de retención, también conocida como válvulas de retención Williams–Hager, permiten las siguientes aplicaciones:

- Son recomendables cuando se esperen presiones de trabajo elevadas o cuando se puedan producir fuertes sobrepresiones por golpe de ariete.
- Admiten velocidades del flujo de agua de hasta 3 m/s.
- Se pueden colocar en cualquier posición, incluso verticalmente, cuando se quiera que retengan flujos de agua dirigidos hacia abajo. Se deben colocar exclusivamente en instalaciones de aguas limpias, nunca en aguas negras.



**Figura 19-2:** Válvula de retención de disco

Fuente: (BOPP, 2018)

**2.4.5 Volante de inercia.** Este mecanismo se basa en incorporar a la parte rotatoria del grupo de impulsión un volante cuya inercia impida la parada inmediata del motor y en consecuencia aumente el tiempo de parada de la bomba, con la consiguiente minoración de las sobrepresiones.

Este sistema crea una serie de problemas mecánicos mayores, cuanto mayor sea el peso del volante.



**Figura 20-2:** Volante de inercia

Realizado por: Autor

**2.4.6 Válvulas anticipadoras de onda.** Estas válvulas están diseñadas para que se produzca su apertura en el momento de parada de la bomba y cuando se produce la depresión inicial, de tal forma que cuando vuelva a la válvula la onda de sobrepresión, ésta se encuentre totalmente abierta, minimizando al máximo las sobrepresiones que el transitorio puede originar.



**Figura 21-2:** Válvula anticipadora de onda

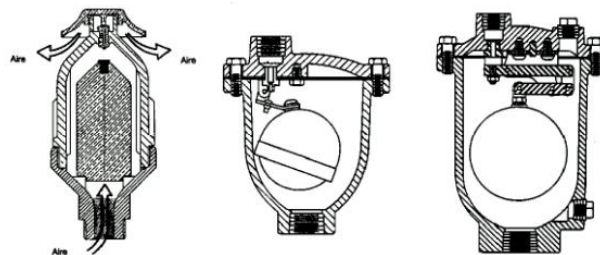
Fuente: (BERMAND, 2014)

**2.4.7 Ventosas.** Las ventosas son dispositivos mecánicos sencillos, imprescindibles en todo tipo de redes de distribución de agua, cuya misión es permitir un adecuado funcionamiento de las tuberías, regulando la cantidad de aire libre que existe en el interior de las mismas.

Así pues, las ventosas tienen las siguientes misiones:

- Expulsar el aire del interior de la tubería o permitir que entre desde el exterior.

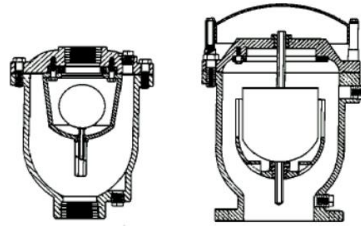
- Extraer el aire de las conducciones e impedir su entrada.
- Permitir la entrada de aire del exterior a las conducciones, pero evitar su expulsión. Todos los modelos consisten básicamente en un cuerpo en forma de copa cuya parte superior se cierra mediante una tapa que tiene un orificio de un tamaño determinado y en su parte inferior posee una brida o rosca para su conexión con la tubería. En el interior del cuerpo se aloja el mecanismo de obturación que consiste en un flotador que obtura directamente el orificio de la tapa o bien, este, mediante un sistema de palancas acciona un obturador que es quien cierra el orificio de salida del aire. En todos los casos hay una junta de caucho u otro material sintético que asegura la estanqueidad del aparato. Existen en el mercado los modelos siguientes:
- *Purgador o ventosa de pequeño orificio o de alta presión.* Este tienen un orificio de para la salida de aire de pequeño diámetro, no mayor de 12 mm, y su objetivo es expulsar las pequeñas burbujas que se generan durante el correcto funcionamiento de los sistemas de tuberías, por tanto, evacuan pequeñas cantidades de aire a la misma presión de que se encuentra funcionando la instalación. Aunque este tipo de accesorio también nos permite la entrada del aire del exterior, lo hace en tan pequeñas cantidades que este efecto es despreciable.



**Figura22-2: Purgadores**  
Fuente: (SERRANO RODRÍGUES, 1995)



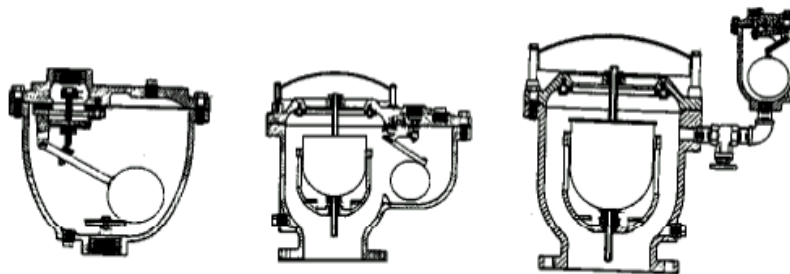
**2.4.7.1 Ventosa de gran orificio o de baja presión.** Estas poseen un orificio de grandes dimensiones, de 25 a 400 mm de diámetro, esto permite la salida de mayores cantidades de aire, cuando la instalación se encuentra llena del mismo, y la entrada de este cuando las tuberías se vacían, voluntaria o accidentalmente debido a rotura de las mismas. Por tanto, estas ventosas se utilizan para el llenado y el vaciado de las tuberías de las instalaciones hidráulicas.



**Figura 23-2:** Ventosa de gran orificio

Fuente: (SERRANO RODRÍGUES, 1995)

**2.4.7.2 Ventosa trifuncional.** También se llaman de doble propósito y es una combinación de las dos anteriores de manera que combina en un solo cuerpo o en dos cuerpos separados las funciones descritas para los dos tipos anteriores.

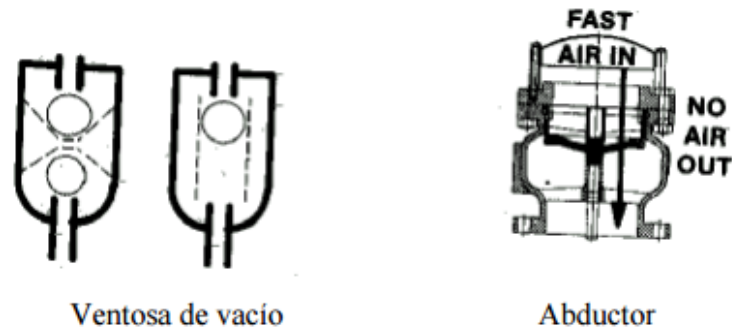


**Figura 24-2:** Ventosa trifuncional

Fuente: (SERRANO RODRÍGUES, 1995)

Ventosas unidireccionales. Son aquellas que solo permiten el paso del aire en una sola dirección. Su construcción es similar a las de gran orificio ya descrito siendo una variante de estas. Existen dos tipos: - Ventosa de vacío.- Se utilizan en aquellas situaciones en que necesariamente debe haber una presión negativa en la tubería, como en el caso de la succión de una bomba centrífuga de eje horizontal o en la parte superior de un sifón, puntos en los que para su cebado el aire debe ser expulsado. Su construcción es similar a las de gran orificio, solo que en este caso el mismo o un segundo flotador obtura el orificio

de entrada desde la tubería cuando la ventosa se vacía, impidiendo que el aire entre en ella. -Abductores.- Es el caso contrario al anterior, este es capaz de admitir grandes cantidades de aire pero impide su salida. También tiene la misma estructura que las ventosas de grandes orificios, solo que en este caso un muelle obliga al flotador a estar en posición cerrado. Se utiliza para prevenir golpes de ariete admitiendo aire durante la fase depresiva.



**Figura 25-2:** Ventosas unidireccionales

Fuente: (SERRANO RODRÍGUES, 1995)

**2.4.7.3 Recomendaciones de la AWWA para la ubicación de las ventosas.** El manual M51 de la AWWA, 2001, “Air release, air/vacuum, and combination air valves” sugiere que las ventosas debe instalarse en los siguientes puntos:

1. Puntos altos: válvula de aire de combinación.
2. Carreras horizontales largas: válvula de liberación de aire o combinación a 1250 pies a 2500 pies (380 - intervalos de 760 m).
3. Descensos largos: válvula combinada de aire de 1250 pies a 2500 pies (380 m a 760 m) intervalos.
4. Ascensiones largas: válvula de aire y vacío a 1250 pies a 2500 pies (380 m a 760 m) intervalos.
5. Disminución en una pendiente ascendente: válvula de aire y vacío; y

6. Aumento en una pendiente de bajada: válvula de aire de combinación.

En adición:

1. Coloque entre una bomba y una válvula de retención o una válvula de control normalmente cerrada; y
2. Adyacente a cualquier válvula de cierre rápido y aguas abajo de las válvulas de control automático.

Para calcular de manera aproximada el tamaño necesario del orificio de salida de la ventosa teniendo en cuenta que la cantidad de aire existente en el interior de la instalación se debe simplemente al aire que deja de estar disuelto en el agua, en el manual de la AWWA se propone el siguiente método:

Paso 1. En primer lugar, hay que transformar las unidades del flujo a pies cúbicos por minuto que en unidades del sistema internacional se miden en metros cúbicos por segundo. Este primer paso se realiza ya que en las tablas que se toman en el manual de la AWWA la presión viene expresada generalmente en libras/ pulgada<sup>2</sup> (psi), el caudal en pies cúbicos por minuto (cfm) y el diámetro del orificio en pulgadas (in).

Paso 2. Multiplicar el flujo resultante del Paso 1 por 0,02, de este modo se determina el volumen de aire que hay que expulsar como un 2% del flujo de agua existente en la tubería.

Paso 3. Determinar la presión de trabajo en la ventosa restando a la línea de alturas piezométricas, la cota a la cual se encuentra la misma.

Paso 4. Conocidos el caudal de aire que hay que expulsar y la presión en el orificio de salida se puede determinar el tamaño del orificio mediante la tabla siguiente.

**Tabla 1-2: Propiedades del aire**

T(°C)	0	5	10	15	20	25	30
CB	0,0286	0,0252	0,0224	0,0201	0,0183	0,0167	0,0154

Fuente: (MONGE REDONDO, 2017)

## 2.5 Automatización industrial

La automatización industrial consiste en gobernar la actividad y la evolución de los procesos sin la intervención continua de un operador humano. En los últimos años, se ha desarrollado el sistema denominado SCADA (siglas en inglés de Supervisory Control And Data Acquisition), por medio del cual se pueden supervisar y controlar las distintas variables que se presentan en un proceso o planta. Para ello se deben utilizar diversos periféricos, software de aplicación, unidades remotas, sistemas de comunicación, etc., que le permiten al operador tener acceso completo al proceso mediante su visualización en una pantalla de computador.

El primer tipo de SCADA se utilizó en aplicaciones tales como tuberías de gas y líquidos, la transmisión y distribución de energía eléctrica y en los sistemas de distribución de agua, para su control y monitoreo automático.

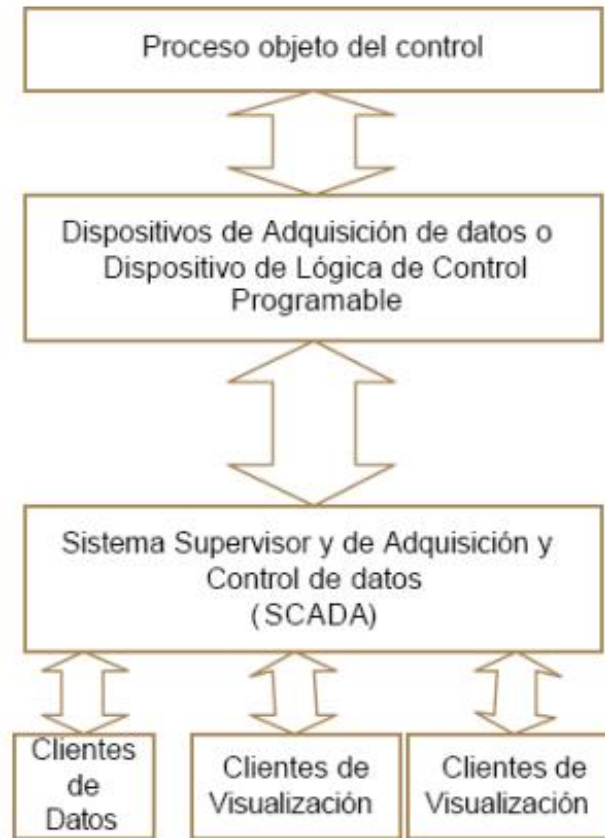
Hoy en día existen varios sistemas que permiten controlar y supervisar, tales como PLC, DCS y ahora SCADA, que se pueden integrar y comunicar entre sí mediante una red ethernet con el fin de que el operador pueda mejorar la interfaz en tiempo real. Esto permite no solo supervisar el proceso sino tener acceso al historial de las alarmas y variables de control con mayor claridad, combinar bases de datos relacionadas, presentar en un simple computador, por ejemplo, una plantilla Excel, un documento Word, todo en ambiente Windows, con lo que todo el sistema resulta más amigable. (PÉREZ LÓPEZ, 2015)

**2.5.1 Descripción general de un SCADA.** Los sistemas SCADA se conocen en español como Control Supervisor y Adquisición de Datos. Según (RODRIGUEZ, 2008), el SCADA permite la gestión y control de cualquier sistema local o remoto gracias a una interfaz gráfica que comunica al usuario con el sistema. (PÉREZ LÓPEZ, 2015)

Un sistema SCADA es una aplicación o conjunto de aplicaciones de software especialmente diseñadas para funcionar sobre ordenadores de control de producción, con acceso a la planta mediante la comunicación digital con instrumentos y actuadores, e interfaz gráfica de alto nivel para el operador (pantallas táctiles, ratones o cursores, lápices ópticos, etc.). Aunque inicialmente solo era un programa que permitía la supervisión y adquisición de datos en procesos de control, en los últimos tiempos ha surgido una serie de productos de hardware y buses especialmente diseñados o adaptados para este tipo de sistemas. (PÉREZ LÓPEZ, 2015)

La interconexión de los sistemas SCADA también es propia, y se realiza mediante una interfaz del PC a la planta centralizada, cerrando el lazo sobre el ordenador principal de supervisión. El sistema permite comunicarse con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, sistemas de dosificación, etc.) para controlar el proceso en forma automática desde la pantalla del ordenador, que es configurada por el usuario y puede ser modificada con facilidad. Además, provee a diversos usuarios de toda la información que se genera en el proceso productivo. Los SCADA se utilizan en el control de oleoductos, sistemas de transmisión de energía eléctrica, yacimientos de gas y petróleo, redes de distribución de gas natural y generación energética (convencional y nuclear). (PÉREZ LÓPEZ, 2015)

**2.5.2 Partes de sistema SCADA.** Un proceso automatizado de un sistema SCADA consta de diferentes partes que nos permiten controlar el proceso, hasta una adquisición de datos para el usuario.

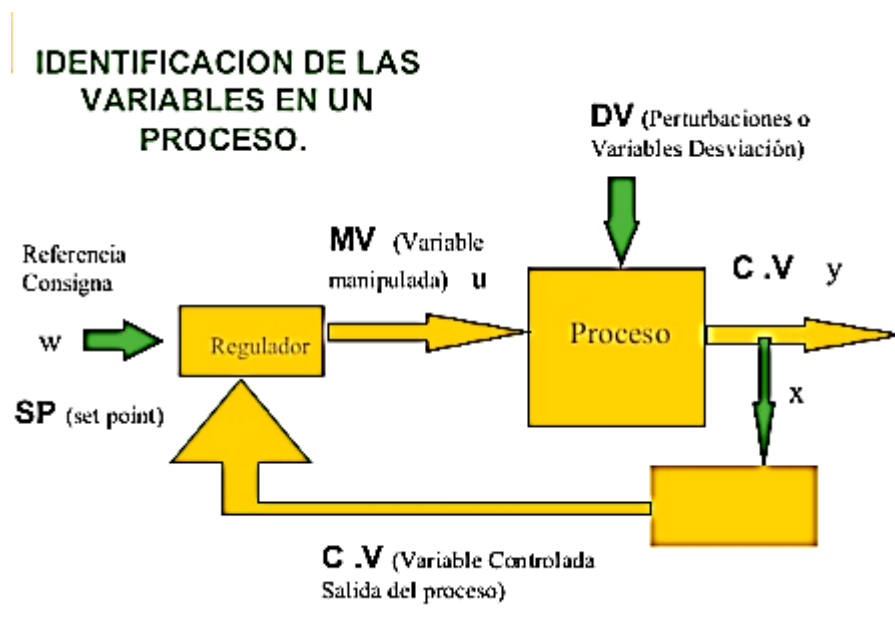


**Figura 26-2:** Partes del sistema SCADA

Fuente: (CORRALES, 2007)

- 1) *Procesos objeto de control:* Es el proceso que se desea supervisar. En consecuencia el origen de los datos que se requieren coleccionar y distribuir
- 2) *Adquisición de datos:* Son un conjunto de instrumentos de medición dotados de alguna interface de comunicación que permita su interconexión.
- 3) *SCADA:* Combinación de hardware y software que permita la colección y visualización de los datos proporcionados por los instrumentos
- 4) *Clientes:* Conjunto de aplicaciones que utilizan los datos obtenidos por el sistema SCADA.

**2.5.3 Variables en un control de procesos.** Las entradas y salidas de un proceso son denominadas variables, debido a que están interrelacionadas con el mismo en una forma estática y/o dinámica. Los diferentes tipos de variables que intervienen en un proceso, son: variables manipuladas, variables controladas, variables no controladas y perturbaciones.



**Figura 27-2:** Variables en un control de proceso

Fuente: (ARTEAGA RIVERA, 2014)

*Variables manipuladas.* Variables que nosotros podemos cambiar o mover para garantizar que la variable controlada presente el valor deseado. La variable manipulada es la cantidad o condición que es variada por el controlador de tal manera que afecte el valor de la variable controlada.

*Variables controladas.* Variables que queremos controlar, bien sea tratando de mantenerlas constantes (Control Regulatorio) o tratando de seguir alguna trayectoria deseada (Servocontrol), ejemplos de estas pueden ser, flujos, composiciones, temperaturas, presión, nivel, etc. Normalmente, la variable controlada es la salida de un sistema.

*Variables no controladas.* Son aquellas variables sobre las cuales no se ejerce control, en algunos casos estas variables no afectan o no ejercen ningún efecto sobre el proceso.

*Perturbaciones.* Una perturbación es una señal desconocida y de carácter aleatorio, que tiende a modificar, en forma indeseada, el valor de salida de un sistema. Si la perturbación se genera dentro del sistema se denomina interna, en tanto que una externa se produce fuera del sistema. Son por lo general flujos, temperaturas, composiciones. No todo el tiempo pueden ser medidas, pero el sistema de control debe ser capaz de regular el proceso en presencia de ellas (premisa que en algunas ocasiones no se logra), tales como temperaturas, presión, concentración, etc.

**2.5.4 Sensores.** El sensor traduce la información que le llega del exterior en un impulso eléctrico, normalmente digital (pasa o no pasa corriente), que puede ser analizado y procesado por la unidad de control del sistema.

*Tipos de Sensores.* Existen diferentes tipos de sensores, en función del tipo de variable que tengan que medir o detectar:

*De contacto.* Se emplean para detectar el final del recorrido o la posición límite de componentes mecánicos. Por ejemplo: saber cuándo una puerta o una ventana que se abren automáticamente están ya completamente abiertas y por lo tanto el motor que las acciona debe pararse.



**Figura 28-2:** Sensor de contacto

Fuente: (RODRIGUEZ, 2016)

Los principales son los llamados fines de carrera (o finales de carrera). Se trata de un interruptor que consta de una pequeña pieza móvil y de una pieza fija que se llama NA, normalmente abierto, o NC, normalmente cerrado.



*Ópticos.* Detectan la presencia de una persona o de un objeto que interrumpen el haz de luz que le llega al sensor. Los principales sensores ópticos son las fotorresistencias, las LDR.



**Figura 29-2:** Sensor óptico

Fuente: (RODRIGUEZ, 2016)

*Térmicos.* Los termistores son los principales sensores de temperatura. Se trata de resistencias cuyo valor asciende con la temperatura (termistor PTC) o bien disminuye con la temperatura (termistor NTC).

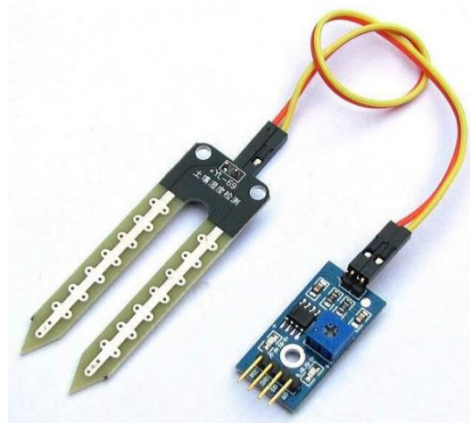
Por lo tanto, depende de la temperatura que el termistor permita o no el paso de la corriente por el circuito de control del sistema.



**Figura 30-2:** Sensor de temperatura de silicio

Fuente: (RODRIGUEZ, 2016)

*De humedad.* Se basan en que el agua no es un material aislante como el aire sino que tiene una conductividad eléctrica. Por lo tanto un par de cables eléctricos desnudos (sin cinta aislante recubriéndolos) van a conducir una pequeña cantidad de corriente si el ambiente es húmedo; si colocamos un transistor en zona activa que amplifique esta corriente tenemos un detector de humedad.



**Figura 31-2:** Sensor de humedad

Fuente: (RODRIGUEZ, 2016)

*Magnéticos.* Detecta los campos magnéticos que provocan los imanes o las corrientes eléctricas. El principal es el llamado interruptor Reed; consiste en un par de láminas metálicas de materiales ferromagnéticos metidas en el interior de una cápsula que se atraen en presencia de un campo magnético, cerrando el circuito.



**Figura 32-2:** Sensor magnético

Fuente: (RODRIGUEZ, 2016)

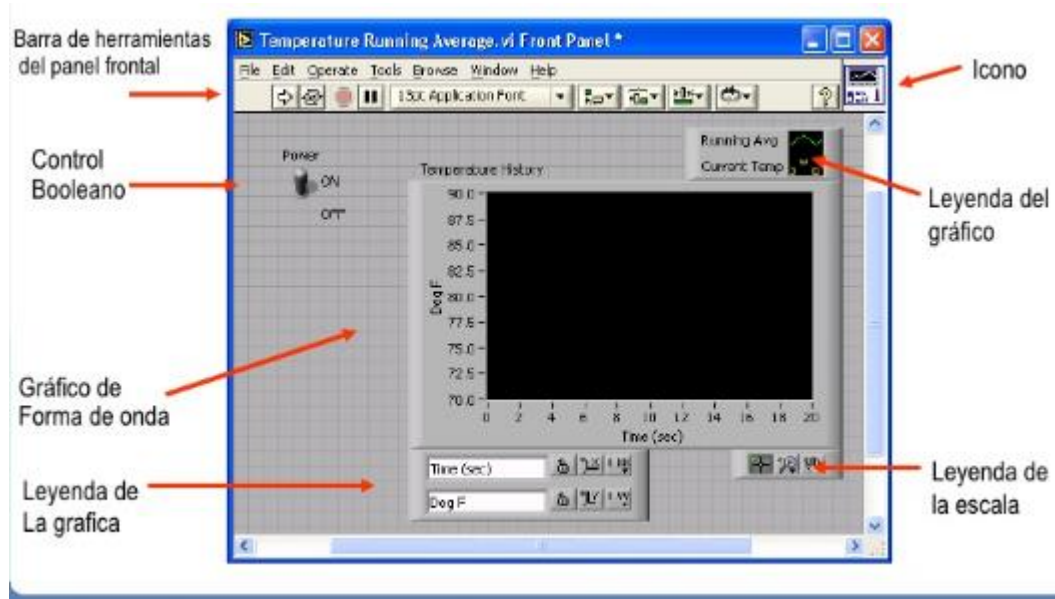
## 2.6 Utilización del software LabVIEW para la adquisición de datos

LabVIEW es el acrónimo de Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench. Es un lenguaje y a la vez un entorno de programación gráfica en el que se pueden crear aplicaciones de una forma rápida y sencilla.

National Instruments, la empresa desarrolladora y propietaria de LabVIEW, se fundó en 1976 en Austin, Texas. Sus primeros productos eran dispositivos para el bus de instrumentación GPIB. En abril de 1983 comenzó el desarrollo de lo que sería su producto estrella. LabVIEW, que verá la luz en octubre de 1986, con el lanzamiento de LabVIEW 1.0 para Macintosh (los ordenadores más populares en aquella época y que ya disponían de interfaz gráfica) y en 1990 la versión 2, para Windows habría que esperar a septiembre de 1992. Los principales hitos de LabVIEW.

*Entorno.* LabVIEW es una herramienta de programación gráfica. Originalmente este programa estaba orientado para aplicaciones de control de equipos electrónicos usados en el desarrollo de sistemas de instrumentación, lo que se conoce como instrumentación virtual. Por este motivo los programas creados en LabVIEW se guardarán en ficheros llamados VI (Virtual Instrument), y con la misma extensión. De una forma similar, también se da nombre a sus botones, pantallas, etc. En LabVIEW estas partes reciben el nombre de Panel Frontal y Diagrama de Bloques respectivamente.

*Panel Frontal.* Es la parte que verá el usuario, suele tener fondo gris.

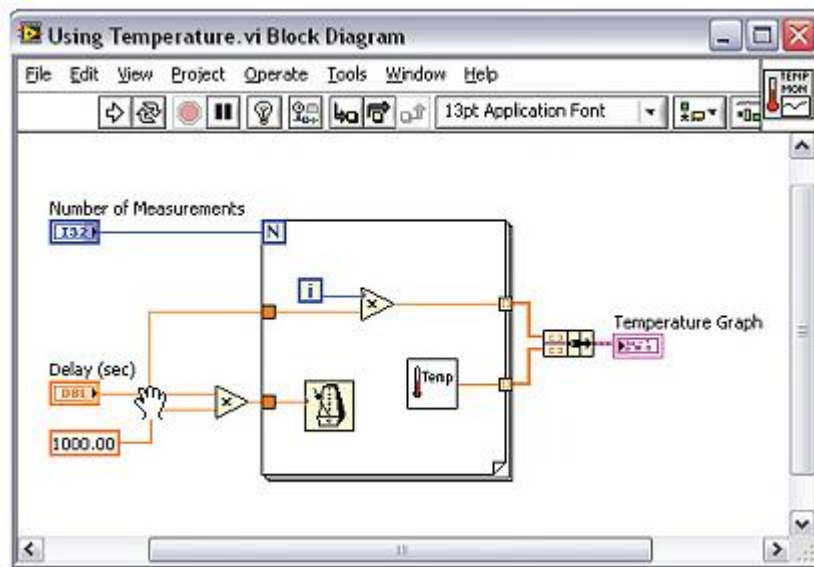


**Figura 33-2:** Panel frontal

Fuente: (TORRES, 2009)

*Diagrama de Bloques.* Es donde se realizará la programación y suele tener fondo blanco. El panel Frontal y el diagrama de bloques están conectados a través de los terminales (elementos que sirven como entradas o salidas de datos). De la misma forma que un indicador luminoso de la carátula de un instrumento está representado como un diodo en la circuitería interna. En un programa en LabVIEW ese mismo indicador luminoso estará representado como una entrada de tipo booleano en el Diagrama de Bloques, sobre esta entrada el programa o el usuario podrá escribir un valor. (TRAVIS, y otros, 2006)

**2.6.1 Medición y Análisis de Datos con LabVIEW.** Miles de ingenieros y científicos confían en LabVIEW para una gran variedad de aplicaciones: Pruebas y medición, control de procesos y automatización, monitoreo y simulación. LabVIEW es la herramienta preferido a su incomparable conectividad con instrumentos, poderosas capacidades de adquisición de datos, flujo de datos natural basado en una interface gráfica de programación, escalabilidad, y sobre todo lo completo de sus funciones. Una necesidad persistente sin importar el área de especialización es el hecho que los usuarios deben de manipular los datos y mediciones, y tomar decisiones basadas en esta información.



**Figura 34-2:** Análisis de datos con LabVIEW

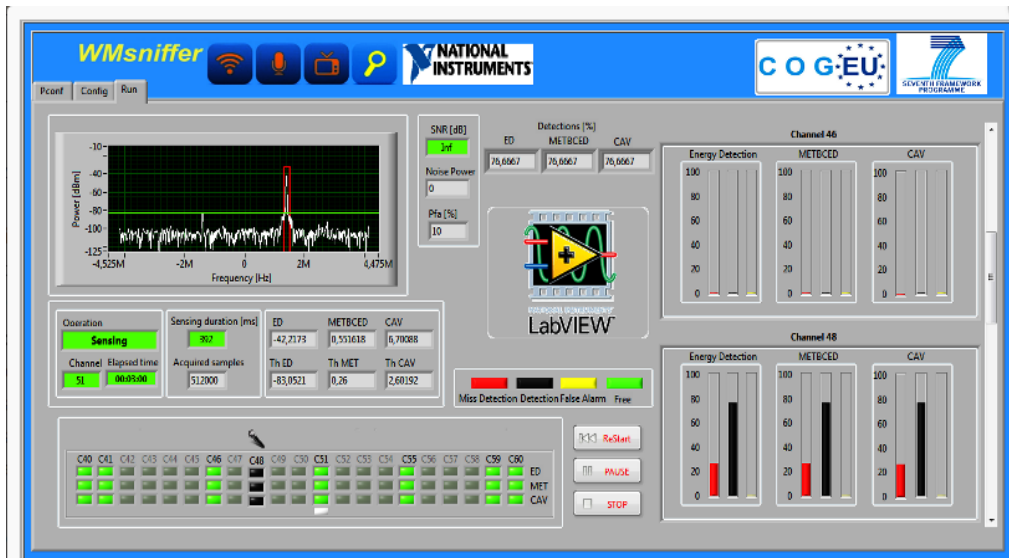
Fuente: (TORRES, 2009)

*Beneficios del Enfoque de LabVIEW.* Los instrumentos tradicionales y la mayoría de las aplicaciones de software tienen interfaces de usuario fijas. Los datos que presentan y los controles disponibles para los usuarios han sido definidos para cubrir todas las capacidades del software o el hardware en particular y no casos específicos.

*La desventaja asociada con este enfoque puede ser doble.* Los datos representados genéricamente, muchas veces no son útiles inmediatamente. Gran parte del tiempo usted está interesado únicamente en una parte de los datos adquiridos o quizás los datos solamente son útiles después del procesamiento y el análisis.

Los controles extraños se presentan cuando usted tiene cosas específicas que hacer. Los menús complejos, configuraciones y modos hacen a los instrumentos más difíciles de usar.

Cada instrumento virtual (VI) de LabVIEW tiene un panel frontal donde usted, como desarrollador, puede elegir mostrar datos o exponer controles a sus usuarios. Si usted crea un VI con los controles apropiados y los muestra para su necesidad específica, obtendrá resultados más precisos invirtiendo menos tiempo configurando las medidas e interpretando los datos.



**Figura 35-2: Entorno LabVIEW**

Fuente: (TORRES, 2009)

## **CAPÍTULO III**

### **3. IMPLEMENTACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS**

#### **3.1 Descripción del banco de pruebas**

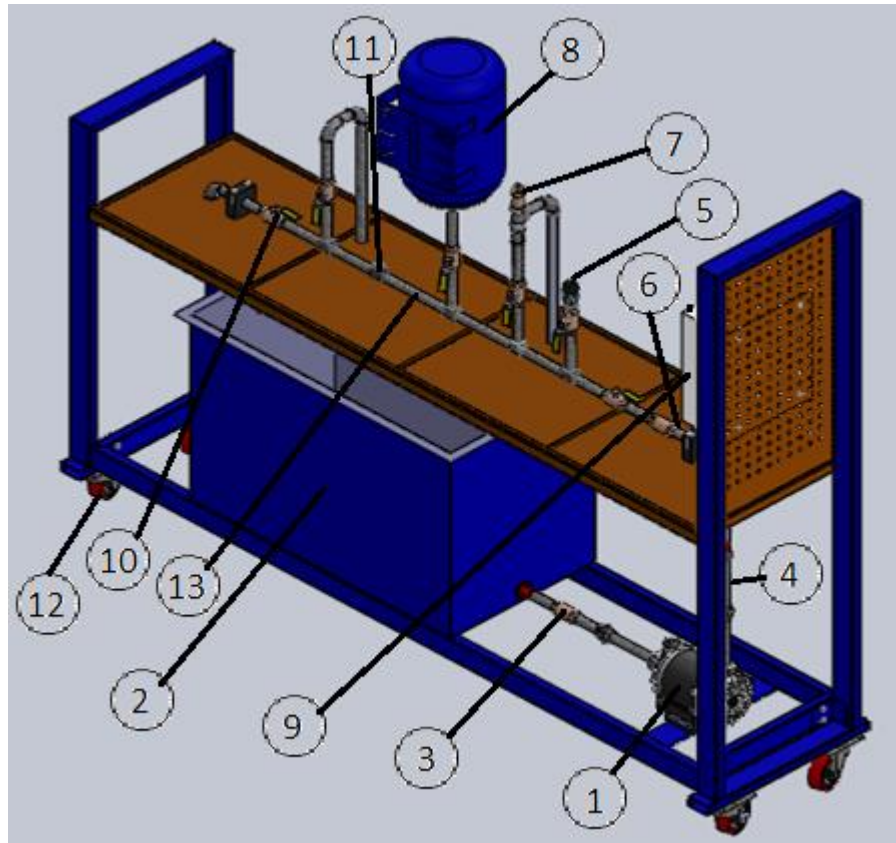
Por la formación académica de los estudiantes de la Facultad de Mecánica para el Laboratorio de Turbo maquinaria Hidráulica se requiere de instrumentos actualizados, razón por la cual se implementará el banco de pruebas para la adquisición de datos de los elementos de protección frente a los transitorios hidráulicos y tiene la finalidad validar la importancia que tiene la implementación de elementos de protección frente a la fluctuación de presión debido a la variación de caudal, estos ocurre cuando al encender o apagar los diferentes equipos hidráulicas o al momento de realizar las maniobras de cierre de elementos de bloqueo de fluido.

La diferencia por el cambio de presión rápido que generan los transitorios hidráulicos (golpe de ariete) y cambios de presión lentos por las oscilaciones de masa, para lo cual se requiere del uso de protecciones para el sistema. En el banco se visualiza el golpe de ariete producidos en las tuberías y se muestra el funcionamiento de la ventosa, calderín y la válvula de alivio.

El banco de pruebas está compuesto de dos tramos de tubo de acero galvanizado de 1 pulgada, el primer tramo está compuesto por una válvula check, dos universales, bomba hidráulica, flujómetro y un manómetro de presión. El segundo tramo de tubería tiene una válvula check, cuatro válvulas de paso, una ventosa, calderín, un sensor de presión y una válvula de alivio.

#### **3.2 Descripción de los elementos del sistema de bombeo**

Para un mejor conocimiento, a continuación se presenta la descripción de los distintos elementos que conforman el sistema de impulsión del fluido.



**Figura 1-3:** Elementos que compone el banco de pruebas

Realizado por: Autor

1. Bomba
2. Recipiente de almacenamiento del fluido
3. Válvula check
4. Flujoímetro
5. Ventosa
6. Manómetro
7. Válvula de alivio
8. Calderín
9. Tablero de control
10. Válvula de globo
11. Sensor de presión
12. Garruchas



**3.2.1 Bomba hidráulica.** Este elemento se encarga de transformar la energía mecánica en energía cinética y de esta manera ser transmitido al fluido para su respectivo análisis, siendo este uno de los elementos principales para el proceso de funcionamiento del respectivo banco.



**Figura2-3:** Bomba tipo Jet

Realizado por: Autor

**3.2.2 Recipiente de almacenamiento de fluido.** El recipiente se debe almacenar de líquido suficiente para realizar la pruebas de funcionamiento, en este caso debe estar libre de impurezas para evitar deterioro en el equipo. Para una adecuada aspiración de la bomba es necesario que el nivel del fluido se encuentre completamente por encima del punto de aspiración, para evitar el ingreso de aire al sistema.



**Figura 3-3:** Recipiente de almacenamiento de fluido

Realizado por: Autor

**3.2.3 Válvula check.** Las válvulas check o válvulas de retención son utilizadas para no dejar regresar un fluido dentro de una línea, impidiendo de esta manera el deterioro de la bomba a causa de las contra presiones generadas en el sistema.



**Figura 4-3: Válvula check**  
Realizado por: Autor

**3.2.4 Flujómetro.** Los rotámetros o flujómetros son instrumentos utilizados para medir caudales, tanto de líquidos como de gases que trabajan con un salto de presión constante. Se basan en la medición del desplazamiento vertical de un elemento sensible, cuya posición de equilibrio depende del caudal circulante que conduce simultáneamente, a un cambio en el área del orificio de pasaje del fluido, de tal modo que la diferencia de presiones que actúan sobre el elemento móvil permanece prácticamente constante.



**Figura 5-3: Flujómetro**  
Realizado por: Autor

**3.2.5 Ventosa.** Los purgadores son válvulas de aireación de pequeño orificio cuya función es expulsar pequeñas cantidades del aire desprendido que pueda circular por la tubería presurizada. Este aire disuelto aparece como consecuencia de los cambios de presión y temperatura que puede sufrir el agua en el interior de la instalación.



**Figura 6-3: Ventosa**  
Realizado por: Autor

**3.2.6 Manómetro.** Este tipo de instrumentos funcionan de la misma forma que un manómetro convencional, pero con la diferencia de que poseen glicerina. La función de la glicerina es proteger el mecanismo interno del manómetro; este relleno brinda estabilidad a la aguja indicadora, una vez que el instrumento ha sido instalado en zonas de vibraciones o variaciones de presiones extremas como es nuestro caso.



**Figura 7-3: Manómetro**  
Realizado por: Autor

**3.2.7 Válvula de alivio.** Las válvulas de alivio de presión protegen las líneas de conducción, los tanques de presión y otros equipos de fallo catastrófico, si la presión en el sistema excede los límites establecidos, o cuando los controles de operación fallan durante condiciones anormales del sistema.



**Figura 8-3:** Accesorios en las tuberías  
Realizado por: Autor

**3.2.8 Calderín.** Un acumulador es un tubo de acero con tapas toriesféricas, con un separador de fase capaz de almacenar una cierta cantidad de fluido a presión, para auxiliar al circuito hidráulico, normalmente se comprime un gas inerte como el nitrógeno, el mismo que transferirá la presión y el caudal acumulado al circuito hidráulico, cuando este lo requiera.



**Figura 9-3:** Calderín de aire  
Realizado por: Autor

**3.2.9 Tablero de control.** Los tableros de automatización y control eléctricos son paneles donde se encuentran instrumentos para la conexión, control, maniobra, protección, y distribución. Todos estos pequeños dispositivos que integran el tablero eléctrico permiten que una instalación eléctrica funcione correctamente.



**Figura 10-3:** Tablero de control  
Realizado por: Autor

**3.2.10 Válvula de globo.** Es un tipo de válvula que posee un tapón obturador en forma de cono sujeto y accionado por un vástago para abrir, cerrar o regular el flujo del líquido o gas que pasa por el orificio de paso que se encuentra en el cuerpo de la válvula. En nuestro caso, una de estas es la responsable de generar el golpe de ariete ya que esta presenta un mecanismo adecuado para generar dicho efecto.



**Figura 11-3:** Válvula de globo  
Realizado por: Autor

**3.2.11 Sensor de presión.** Los sensores de presión o transductores de presión, son muy habituales en cualquier proceso industrial o sistema de ensayo. Su objetivo es transformar una magnitud física en una eléctrica, en este caso transforman una fuerza por unidad de superficie en un voltaje equivalente a esa presión ejercida.

**3.2.12 Tuberías.** Las tuberías que se emplean para este tipo de proceso deben estar de acuerdo a los diámetros de succión y descarga de la bomba, en este caso se emplean de una pulgada, y estas a su vez sirve de recirculación de fluido tanto a la salida del recipiente como a la descarga del mismo.



**Figura 12-3: Tuberías**  
Realizado por: Autor

**3.2.13 Garruchas.** Son rodamientos utilizados para desplazar estructuras con menos esfuerzo y mayor facilidad.



**Figura 13-3: Garruchas**  
Realizado por: Autor

### 3.3 Puesta en marcha del banco de pruebas

Una vez descrito los elementos que compone el banco, se verifica la correcta instalación antes de poner en funcionamiento el equipo, el nivel de flujo en el recipiente debe ser lo suficiente para abastecer el depósito del calderín. Posteriormente se realiza pruebas de funcionamiento para determinar ciertas fugas y también comprobar la puesta en marcha del calderín, válvula ventosa y la válvula de alivio del cual está compuesto el banco.



**Figura 14-3:** Banco de pruebas para la adquisición de datos  
Realizado por: Autor

### 3.4 Cálculo de presión máxima

Para determinar la presión máxima en las tuberías se considera las fórmulas establecidas en MATAIX.

Los datos que se considera para este cálculo se detallan en la siguiente tabla.

**Tabla 1-3:** Parámetros para determinación de presión máxima

Parámetros	Dimensiones
Longitud de tubería	2 m
Diámetro interior en la tubería	1plg
Espesor de tubería	3,38 mm(Ver Anexo A)
Caudal	8,5 lt/mín

Realizado por: Autor

Cálculo de celeridad:

$$C = \frac{10000}{\sqrt{50 + 0,5 \frac{D_i}{\delta}}} \quad (16)$$

Donde:

$C$  = Celeridad (m/s)

$D_i$  = Diámetro interior de la tubería (m)

$\delta$  = Espesor de tubería (m)

$$C = \frac{10000}{\sqrt{50 + 0,5 \frac{0,0254m}{0,00338m}}}$$

$$C = 1364,26 \text{ m/s}$$

Mediante el cálculo de la celeridad se determina la sobrepresión, para lo cual se emplea la fórmula de cierre rápido de la válvula propuesta por Allievi.

$$\Delta H = \frac{c*v}{g} \quad (17)$$

Donde:

$\Delta H$  = Sobrepresión generada por el cierre de la válvula (mca)

$C$  = Celeridad (m/s)

$V$  = Velocidad de fluido en la tubería (m/s)

$g$  = Aceleración de la gravedad ( $\frac{m}{s^2}$ )

Cálculo de la velocidad de fluido:

$$Q = A * V \quad (18)$$

Donde:

$Q$  = Caudal ( $\frac{m^3}{s}$ )



$A$  = Área transversal en la tubería  $m^2$

$V$  = Velocidad del fluido (m/s)

Despejando de la ecuación 18 se tiene:

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

$$V = \frac{(1,42 \times 10^{-4}) \frac{m^3}{s}}{\frac{\pi}{4} (0,0254)^2}$$

$$V = 0,28 \text{ m/s}$$

$$\Delta H = \frac{(1364,26 \frac{m}{s})(0,28 \frac{m}{s})}{9,8 \frac{m}{s^2}}$$

$$\Delta H = 38,98 \text{ m} = 55,37 \text{ psi}$$

Este es el valor de incremento de presión generado por el cierre brusco de la válvula.

### 3.5 Selección de equipos, instrumentos, componentes electrónicos y accesorios

En la selección de equipos e instrumentos se consideran lo más importante para nuestro estudio como es la implementación y automatización de un banco de pruebas para la adquisición de datos de los elementos de protección frente a los transitorios hidráulicos, en el cual se conseguirá corregir la variación de presión que es generado por el golpe de ariete. Este fenómeno es producido al abrir o cerrar una válvula, al poner en marcha o parar una máquina hidráulica, como también cuando se disminuye bruscamente el caudal.

**3.5.1 Selección de equipos e instrumentos.** Para implementar este banco se han seleccionado los siguientes equipos e instrumentos como se detalla a continuación:

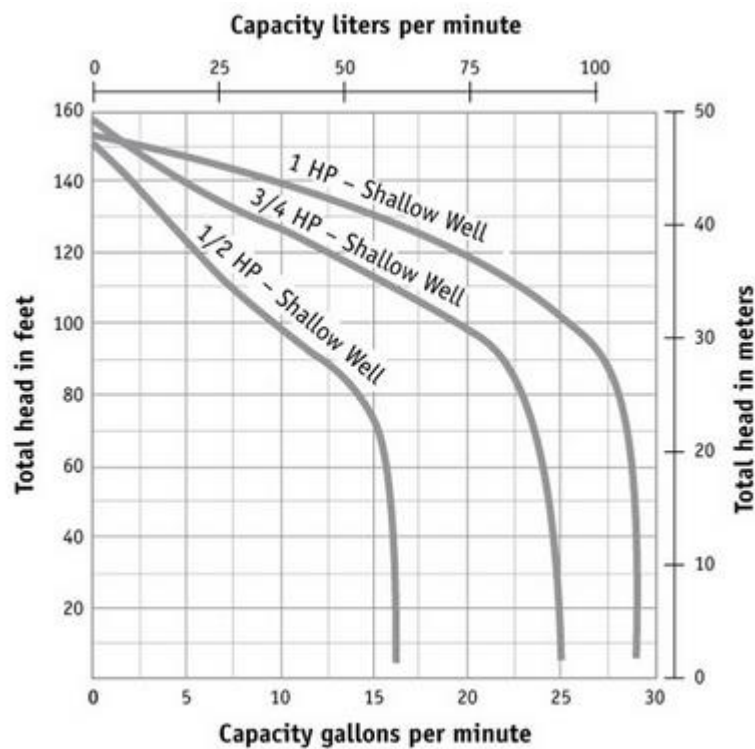
**3.5.1.1 Selección de la bomba.** El punto de partida para la implementación del banco de pruebas fue la elección directa de una bomba de 1 hp.

#### DATOS TÉCNICOS DE EQUIPOS

Bomba hidráulica:

- Tipo: Myers

- Potencia: 1 HP
- Revoluciones: 3450 rpm
- Serie: HB 100S 401 1030
- Marca: JET
- Frecuencia: 60 Hz
- Diámetro de succión: 1"
- Diámetro de descarga: 1"
- Voltaje: 127 VCA



**Gráfico 1-3:** Curva característica de la bomba  
Fuente: (MYERS, 2013)

**3.5.1.2 Selección del manómetro.** El usuario deberá tener en cuenta una serie de condicionantes a la hora de seleccionar el tipo de manómetro; entre las recomendaciones recogidas en la norma EN837-2 destacamos las siguientes:

- Compatibilidad de materiales
- Temperatura del fluido
- Condiciones ambientales
- Condiciones de trabajo

- Rango de trabajo
- Precisión requerida

Al considerar los parámetros mencionados para la selección, y tomando en cuenta los requerimientos en el banco de pruebas se seleccionó mediante el catalogo WINTERS (Ver Anexo B)

#### DATOS TÉCNICOS DEL MANÓMETRO

- Marca: Helbert
- Material: Latón
- Tipo: Presión
- Fluido interior: glicerina
- Rango de presión: 0-100 psi

**3.5.1.3 Selección del flujómetro.** Parámetros que se deben considerar para la selección de este instrumento.

- Caudal máximo y mínimo
- Temperatura del proceso
- Diámetro de la tubería en punto donde va a ser instalado
- Presión máxima del sistema
- Tipo de fluido

Considerando los parámetros mencionados y de acuerdo a los requerimientos en el banco se seleccionó el flujómetro con las siguientes características.

#### DATOS TÉCNICOS DEL FLUJOMETRO

- Diámetro de los acoples: 1"
- Material: Plástico
- Escala de lectura: 0 a 100 L/min
- Presión máxima : 100 Psi

**3.5.1.4 Selección del calderín.** Los criterios a tomar en cuenta para la selección es la presión máxima como también los siguientes parámetros.

- Presión máxima del sistema

- Caudal requerido
- Tipo de fluido
- Condiciones ambientales
- Aplicación

Con la presión encontrada de forma analíticamente y los parámetros mencionados se seleccionó el calderín, en este caso mediante el catálogo ULTRAVAREM LS (Ver Anexo C).

#### DATOS TÉCNICOS DEL CALDERIN

- Serie: S2019762BP
- Presión máxima: 8 bar
- Precarga: 1,5 bar
- Volumen: 19 L
- Temperatura: (-10 – 99) °C

**3.5.1.5 Selección de la válvula de alivio.** Las válvulas de alivio están diseñadas para liberar el fluido cuando la presión interna de un sistema que lo contiene supera el límite preestablecido, por lo cual constan de especificaciones precisas de selección según los catálogos de los fabricantes, es decir cada una de ellas cuenta con criterios específicos para cada aplicación, sin embargo, para este proyecto se ha tomado una válvula de alivio para líquidos de uso general, la misma que no requiere mayor cuidado en la selección técnica, ya que los fabricantes indican directamente la aplicación adecuada para la misma. En este caso la válvula se ha seleccionado de acuerdo a las recomendaciones del siguiente catalogo: “Apollo Valves”. (Anexo D)

#### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- Punto de alivio ajustable, de 0 a 250 psi
- Cuerpo de fundición de bronce, resortes de acero inoxidable
- Opción: asientos blandos de nitrilo (Buna) o PTFE
- La presión de ajuste se fija con una contratuerca moleteada
- Sello de vástago de Viton, junta del cuerpo de polipropileno
- Temperatura máxima recomendada de servicio: 200 °F

**3.5.1.6 Selección de la válvula ventosa.** Los fabricantes informan de la capacidad de purga de purgadores de diferente tamaño mediante gráficas caudal-presión como la siguiente.

La cantidad de aire ( $Q_{aire}$ ) que se liberará en una conducción que transporta un caudal de agua  $Q$ (agua) a una temperatura  $T$  °C con una variación de presión  $\Delta p$  es:

$$Q_{aire} = CB * Q_{agua} * \Delta p \quad (19)$$

Donde:

$Q_{aire}$  = La cantidad de aire que se liberará en una conducción ( $m^3/min$ )

$CB$  = Coeficiente de Bunsen (Anexo E)

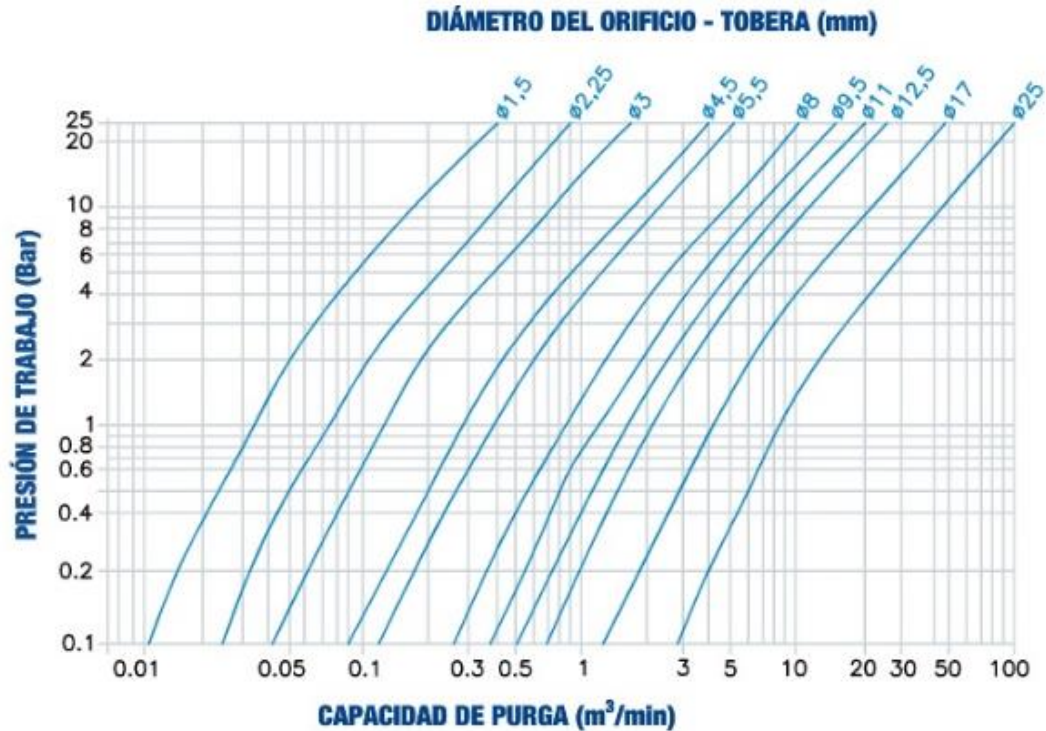
$Q_{agua}$  = Caudal del agua de la instalación ( $m^3/min$ )

$\Delta p$  = Presión del sistema (Bares)

$$Q = 0,0201 * 0,028 * 4,5$$

$$Q = 0,00253 \text{ m}^3/min$$

Si se observa al gráfico de purgadores de la parte de abajo y trazamos las líneas correspondientes a la capacidad de descarga y la presión de trabajo, vemos que se intersecarían las líneas en un punto correspondiente a la curva de un purgador con el diámetro de orificio correspondiente. En este caso, por tratarse de un sistema pequeño, el valor del caudal obtenido, se encuentra fuera del gráfico. Por esta razón se procede a seleccionar una ventosa con la capacidad de purga más cercana a la existente en el gráfico, para lo cual se aproxima la de 1,5 mm.



**Gráfico 2-3:** Diagrama para determinar el diámetro del orificio  
Fuente: (MONGE REDONDO, 2017)

#### DATOS TÉCNICOS DE LA VENTOSA

- Marca: PayPal
- Material: Plástico con base de latón
- Rango de Presión: 0-100 psi
- Diámetro de acople 1/2"
- Diámetro de la salida del aire 1,5mm

**3.5.2 Selección de componentes electrónicos.** Se considera los elementos principales que intervienen en la automatización del equipo.

**3.5.2.1 Selección del sensor.** Para la selección de un sensor de presión es necesario tomar en cuenta el máximo valor de presión que puede darse en el sistema, así como ciertos parámetros que mencionaremos a continuación.

- Temperatura ambiente
- Humedad
- Corrosión

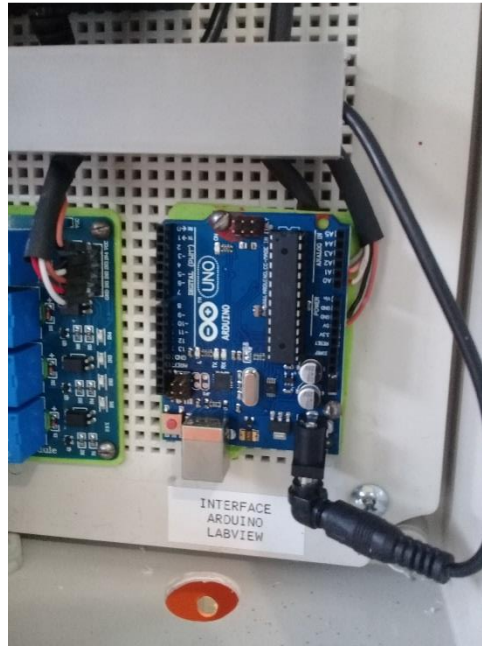
- Vibraciones
- Presión
- Tipo de Fluido
- Tiempo de respuesta

Tomando en cuenta lo descrito anterior se seleccionó un transmisor de presión DWYER PSIG-200-20FT, con las especificaciones principales que se detallan a continuación, las mismas que fueron obtenidas del catálogo de la serie mencionada. (Ver Anexo E)

#### DATOS TÉCNICOS

- Servicio: Gases y Líquidos
- Temperatura límite: 0-200 °C
- Tiempo de respuesta: 300 ms
- Límite de presión: 0-200 psia
- Requisitos de energía: 10 a 30 VDC

**3.5.2.2 Selección del sistema para la adquisición de datos.** La adquisición de datos permite obtener los resultados esperados de las pruebas de funcionamiento, para lo cual es necesario realizar el estudio de las variables a medir e identificar los tipos de señales que van a generar a la entrada, que a su vez pueden ser digitales o analógicas. Para el banco de pruebas de protección frente a los transitorios hidráulicos las variables que se consideran para la selección de adquisición de datos es la presión el cual generan señales analógicas, razón por la cual es necesario la selección de una tarjeta ARDUINO.



**Figura15-3: Tarjeta Arduino**  
Realizado por: Autor

La tarjeta ARDUINO permite una conexión entre el sensor de presión y computador para procesar los resultados mediante el software LabVIEW y de esta manera ver la variación de presión en la pantalla.

#### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE ARDUINO UNO

- Microcontrolador: ATmega328
- Voltaje: 5V
- Voltaje entrada (recomendado): 7-12V
- Voltaje entrada (limites): 6-20V
- Digital I/O Pins: 14 (de los cuales 6 son salida PWM)
- Entradas Analógicas: 6
- Corriente DC para I/O Pin: 40 mA
- Corriente DC para 3.3V Pin: 50 mA

**3.5.2.3 Selección de las fuentes de alimentación.** Para energizar el sensor de presión y la tarjeta Arduino, es necesario proporcionar voltajes de 24VDC y 5 VDC respectivamente, para lo cual se optó por seleccionar una fuente de alimentación de ordenador portátil y una fuente de alimentación telefónica, las cuales brindan parámetros de corriente y voltaje apropiados para este circuito.





**Figura 16-3:** Fuente de alimentación

Realizado por: Autor

**3.5.3 Selección de accesorios.** Se consideran ciertas válvulas adecuadas para este tipo de aplicación.

Válvula de paso:

- Material: Aleación de bronce
- Tipo: Esférica

Válvula check:

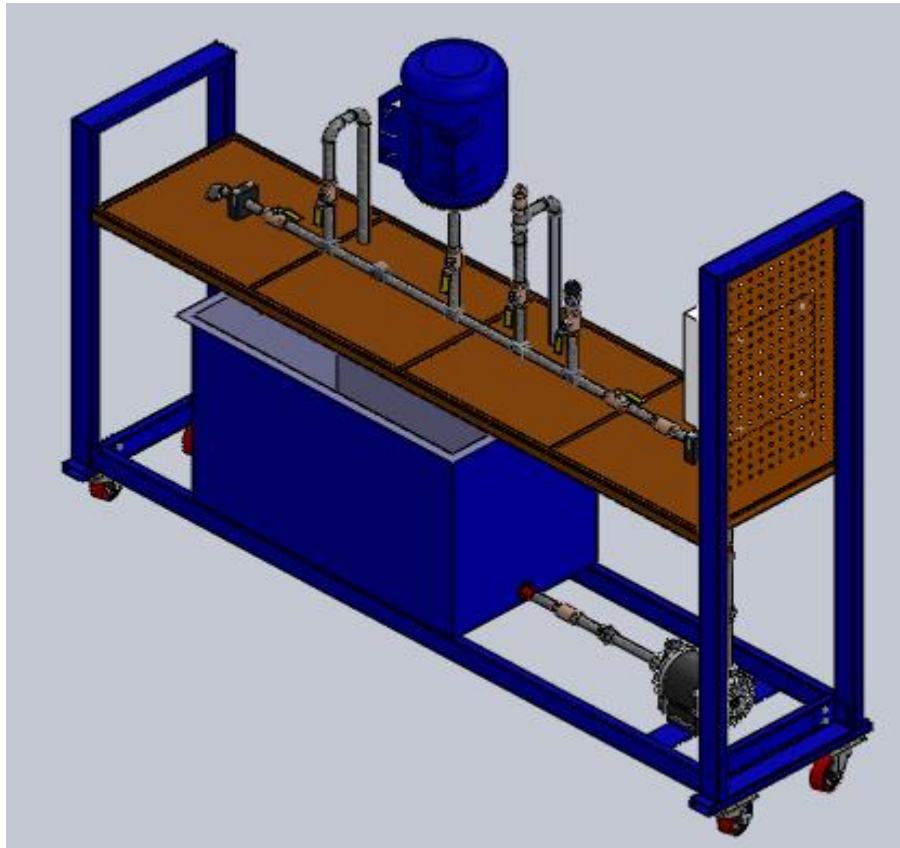
- Diámetro 1"
- Material: Aleación de bronce

Tuberías para la conducción del fluido:

- Diámetro: 1 "
- Material: Acero galvanizado

Tanque de almacenamiento:

- Volumen: 250 L
- Material: Fibra de vidrio



**Figura 17-3:** Diseño final del banco de pruebas

Realizado por: Autor

### **3.6 Montaje de equipos e instrumentos en el banco de pruebas**

**3.6.1 Tecnología de montaje.** El banco de pruebas para la adquisición de datos de los elementos de protección frente a los transitorios hidráulicos el mismo que se instalará en la Facultad de Mecánica, Laboratorio de turbo maquinaria, el cual consta de dos partes: hidráulica en donde se presentará fenómenos como es el golpe de ariete, cavitación y disminución de flujo y de la parte de adquisición de resultados donde se visualizará la variable de presión en sus distintos valores considerados a medir.

**3.6.1.1 Parte hidráulica.** El sistema hidráulico está constituido por una bomba JET con cabeza neta de succión positiva disponible (NPSHD), y es de fácil mantenimiento.

Las tuberías de succión, descarga y retorno al recipiente tienen diámetro de 1", están fijadas y alineadas correctamente para de esta manera evitar ciertas deformaciones, además se tienen un recipiente con capacidad de almacenamiento de fluido para 250 litros, suficiente para abastecer el funcionamiento del banco.

Las protecciones contra los transitorios hidráulicos en este caso la válvula ventosa, válvula de alivio y calderín de aire están instaladas cada una a sus entradas con una válvula de paso para su respectivo mantenimiento.

Dos válvulas checks instaladas una en la succión y otra en la descarga para permitir el flujo en una sola dirección, la más importante es en la descarga ya que una vez que esta haya sido bombeada previene el regreso cuando la bomba se detenga.

Un flujómetro colocado en el tramo de descarga para visualizar el nivel de flujo que circula en la tubería y un manómetro de presión instalada antes de las protecciones para determinar la presión máxima y esta a su vez es similar al sensor de presión instalado después de las protecciones.

**3.6.1.2 Adquisición de datos.** Para obtención de resultados, en el banco se instala un sensor de presión el cual está colocado entre el calderín y la válvula de paso para el retorno de flujo al recipiente.

### **3.7 Automatización del banco de pruebas para la adquisición de datos**

**3.7.1 Adquisición de datos y procesamiento de señales.** Para la adquisición de datos se debe configurar la tarjeta ARDUINO el cual se empleará para la obtención de resultados durante el proceso de funcionamiento.

La configuración de la tarjeta se realiza a las entradas o canales analógicas, para de esta manera digitalizar la señal analógica enviada por el transmisor de presión y mediante el cable USB llevar al computador. Para el proceso es necesario realizar el diagrama de control.

**3.7.1.1 Diagrama de control.** Indica el proceso de instalación del banco el cual se realizó mediante el software LabVIEW.

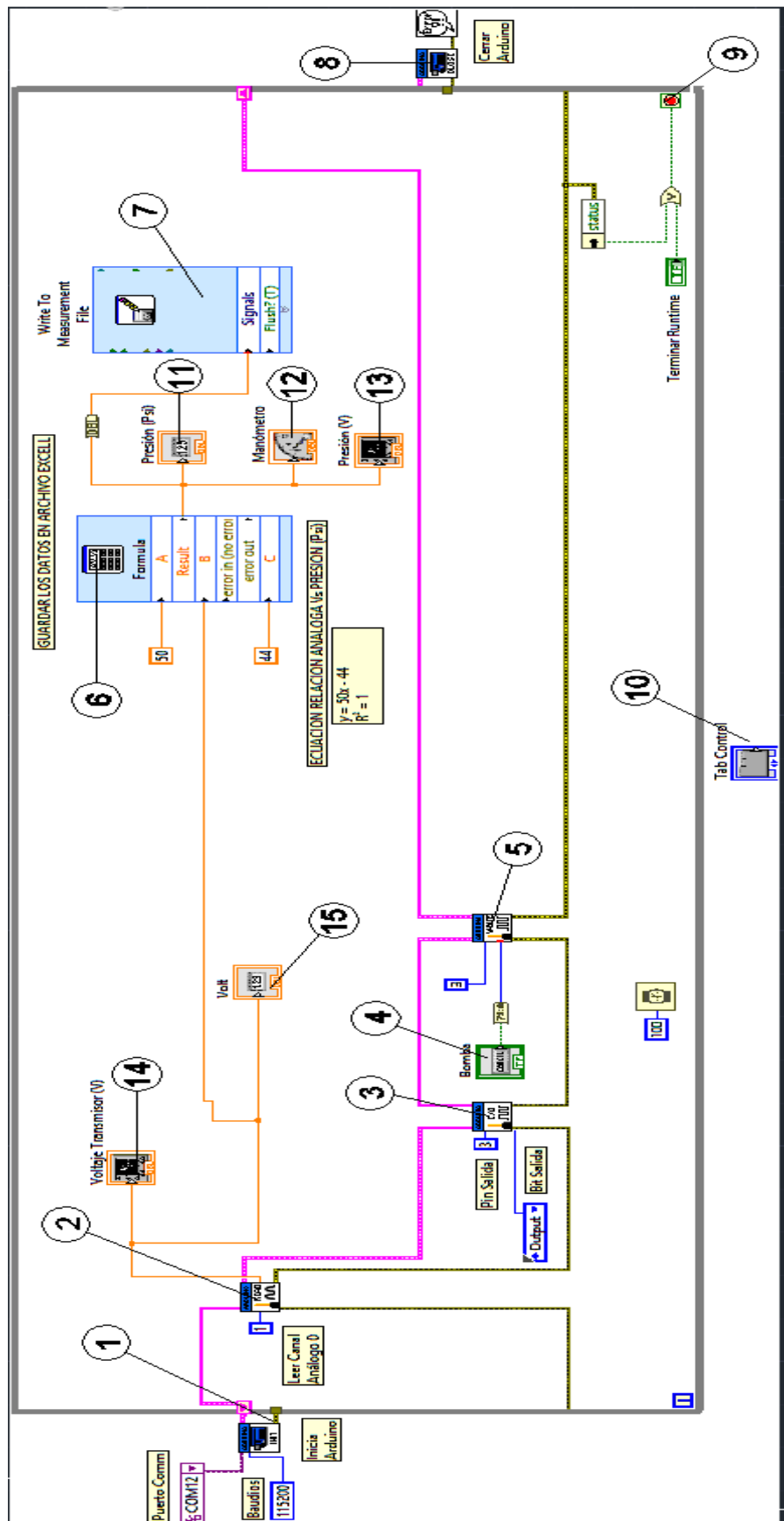


Figura 18-3: Diagrama de control del banco de pruebas

Realizado por: Autor

*Funciones de los elementos del diagrama de bloques.* Se detalla el funcionamiento cada uno de las partes principales que compone el diagrama para su respectivo funcionamiento.

1. Inicio de Arduino
2. Lector de canal analógico
3. Selecciona el pin de salida
4. Botón de encendido de la bomba
5. Lenguaje Boleano
6. Transforma el voltaje a presión
7. Direcciona el almacenamiento del archivo
8. Cierre de Arduino
9. Detiene el programa
10. Visualiza varias pestañas en el panel frontal de LabVIEW
11. Visualizador digital de presión
12. Visualizador analógico de presión
13. Visualizar gráfico de presión
14. Visualizador gráfico de voltaje
15. Visualizador digital de voltaje

**3.7.1.2** *Calibración del sensor de presión.* Durante el proceso de calibración del instrumento Dwyer 626 – 628, se tomaron datos de presión y voltaje, donde el dato de presión se obtuvo directamente del manómetro y el voltaje mediante el software LabVIEW. Con estos datos encontrados se realiza la gráfica de presión vs voltaje.

La intención de calibrar el transmisor de presión, es observar y verificar en la gráfica presión vs voltaje, la cual se obtiene con los puntos generados por el transmisor, la misma que al realizar la tabulación de datos, tenemos como resultado una ecuación de tipo lineal.

Es necesario también, indicar que la calibración, nos ayuda a ajustar los transmisores de presión para de esta manera obtener la coincidencia en los datos de las variables obtenidas en la salida proporcional del instrumento.

Para la calibración del transmisor de presión DWYER 626 - 628 (0-200psi), fue indispensable un banco de calibración, el cual se encuentre debidamente equipado, el mismo que está constituido por: un manómetro patrón, un compresor de aire (0- 240 psi) y el software LabView 2017. Antes de realizar la calibración en el banco se realizó la configuración de los diferentes parámetros en el software.



**Figura19-3:** Calibración del sensor

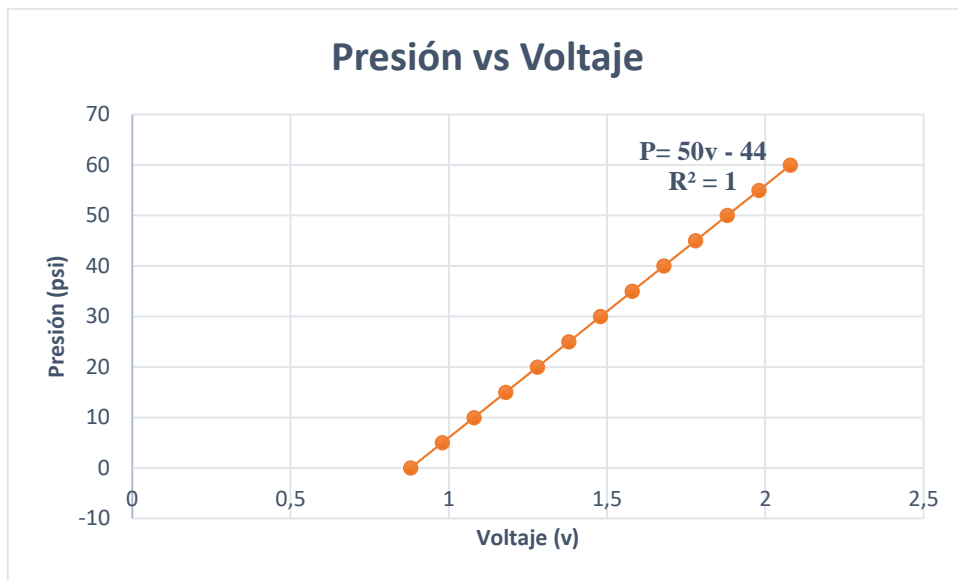
Realizado por: Autor

Para finalizar con la calibración del transmisor de presión, encendemos el compresor para de esta forma obtener los valores de presión los cuales están en intervalos de 5 psi, al mismo tiempo visualizamos en el software LabView el valor de voltaje, correspondiente a cada uno de los intervalos. Éste procedimiento se recomienda hacer varias repeticiones para de esta manera obtener un valor promedio con los cuales se procede a realizar el respectivo ajuste, mediante la ayuda de las herramientas de Excel.

**Tabla 2-3:** Datos de presión y voltaje

Voltaje	Presión
0,88	0
0,98	5
1,08	10
1,18	15
1,28	20
1,38	25
1,48	30
1,58	35
1,68	40
1,78	45
1,88	50
1,98	55
2,08	60

Realizado por: Autor



**Gráfico 3-3:** Gráfica de presión vs voltaje

Realizado por: Autor

En la gráfica se observa de forma lineal creciente, la presión en función del voltaje resultado de la calibración del sensor de presión.

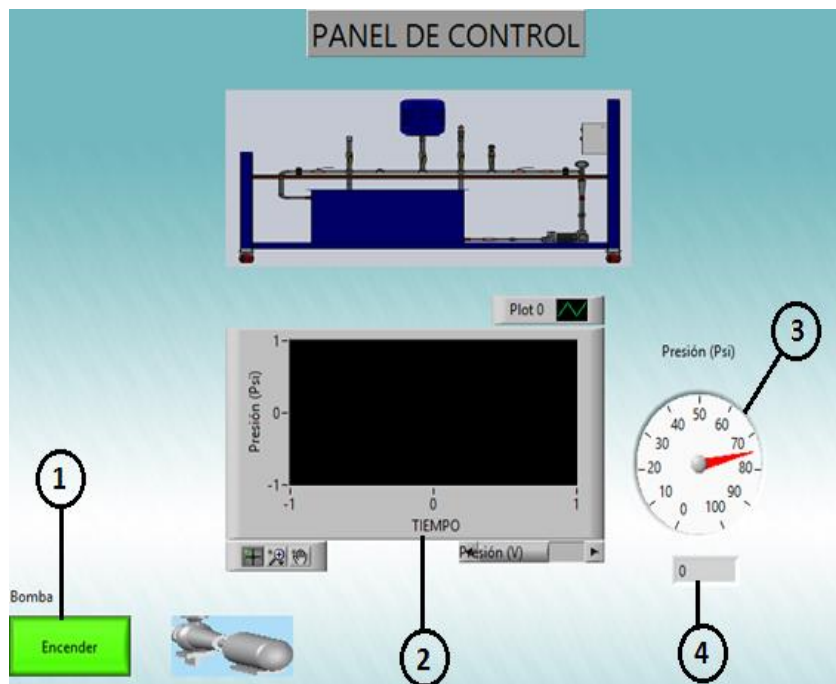
**3.7.2 Representación de variables medidas en el software LabVIEW.** El software permite obtener datos de las variables que se desea medir, para lo cual se ha diseñado en la pantalla principal ciertos controladores que permiten monitorear los procesos. Se realiza la programación para visualizar el comportamiento de la gráfica durante el proceso de funcionamiento.

**3.7.2.1 Descripción del panel frontal.** El panel para la programación mediante LabVIEW consta de ciertas características que facilitarán el proceso para la obtención de resultados esperados en la adquisición de datos de los elementos de protección frente a los transitorios hidráulicos.

Los parámetros a considerar son los siguientes:

1. Botón de encendido y apagado
2. Indicador de gráficas presión vs tiempo
3. Indicador analógico de presión de 0 a 100 psi
4. Indicador digital de presión máxima

En la figura se detalla el panel de programación mediante el software LabVIEW.



**Figura 20-3: Panel frontal**  
Realizado por: Autor



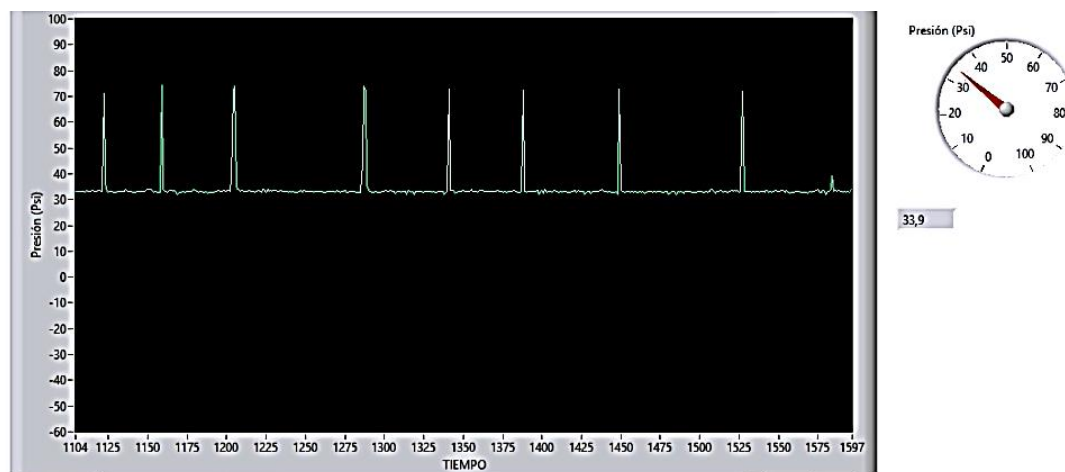
## CAPÍTULO IV

### 4. FASE EXPERIMENTAL MEDIANTE SOFTWARE LABVIEW Y ANÁLISIS DE COSTOS

#### 4.1 Pruebas de funcionamiento del banco para la adquisición de datos

Una vez realizado el montaje del banco de pruebas y la programación respectiva, mediante el software LabVIEW se procede a realizar las respectivas pruebas de funcionamiento ya sea en vacío y mediante la manipulación de accesorios de protección contra los transitorios hidráulicos. Es importante indicar que dichos ensayos se pueden realizar en todos los valores de presión que el usuario se imponga, siempre que sea ligeramente mayor a la presión de precarga marcada en el calderín.

**4.1.1 Pruebas del banco con una presión de 32 psi en la conducción.** Se realiza la respectiva prueba sin intervención de elementos de protección con una presión del sistema de 32 psi regulada mediante la válvula ubicada en el punto de retorno del fluido al tanque de almacenamiento de agua.



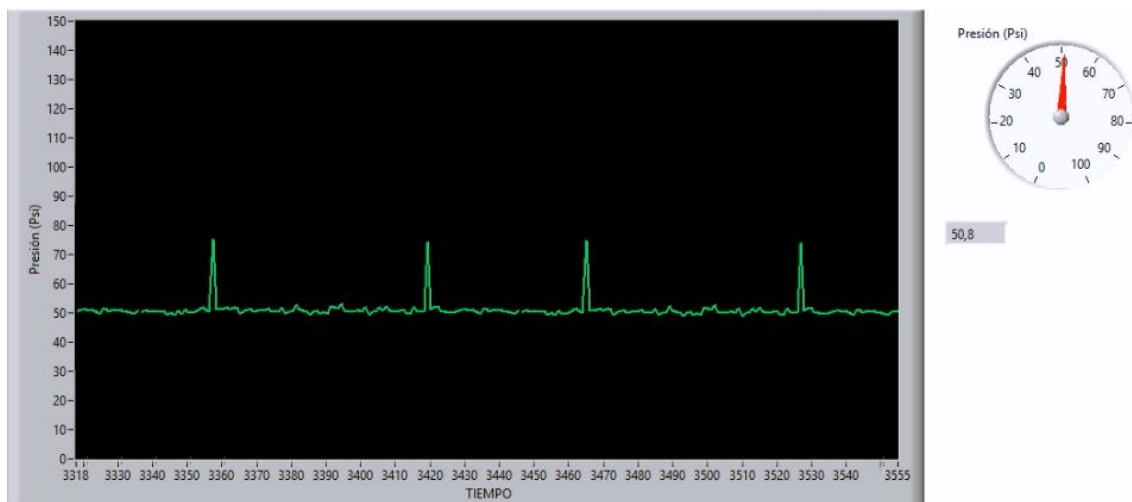
**Gráfico 1-4:** Resultados de las pruebas a 32psi  
Realizado por: Autor

En la gráfica se observa que la presión es de 32 psi, esta presión puede variar dependiendo el grado de apertura de la válvula. El resultado de la gráfica nos da una línea continua

recta, con picos de presión aproximada de 75 psi, esto se debe al cierre brusco de la válvula.

La presión se incrementa ya que no se encuentra funcionando ningún elemento de protección. Esta prueba se realiza con la finalidad de comparar la presión alcanzada cuando se efectúa el ensayo en vacío y cuando se emplea los elementos de protección antitransitorios como se visualizará más adelante ya sea en el calderín de aire o en la válvula de alivio.

**4.1.2 Pruebas del banco con una presión de 50 psi en la conducción.** Para el siguiente ensayo se realiza el mismo procedimiento anterior.

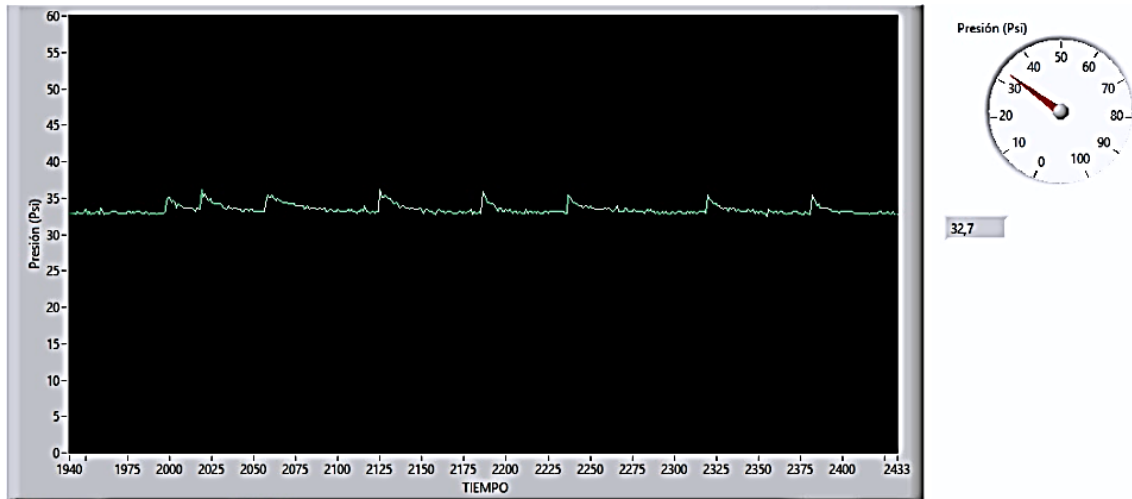


**Gráfico 2-4:** Resultado de las pruebas a 50 psi  
Realizado por: Autor

El resultado obtenido en comparación con la gráfica anterior alcanza el mismo pico de presión que es de 75 psi, debido a que si se aumenta la presión mediante el cierre de la válvula de retorno se disminuye el caudal y por ende la velocidad la cual influye directamente en el cálculo de la sobrepresión.

**4.1.3 Pruebas con intervención de elementos de protección.** Mediante este ensayo se comprueba de la forma que actúan los elementos de protección frente a los transitorios hidráulicos.

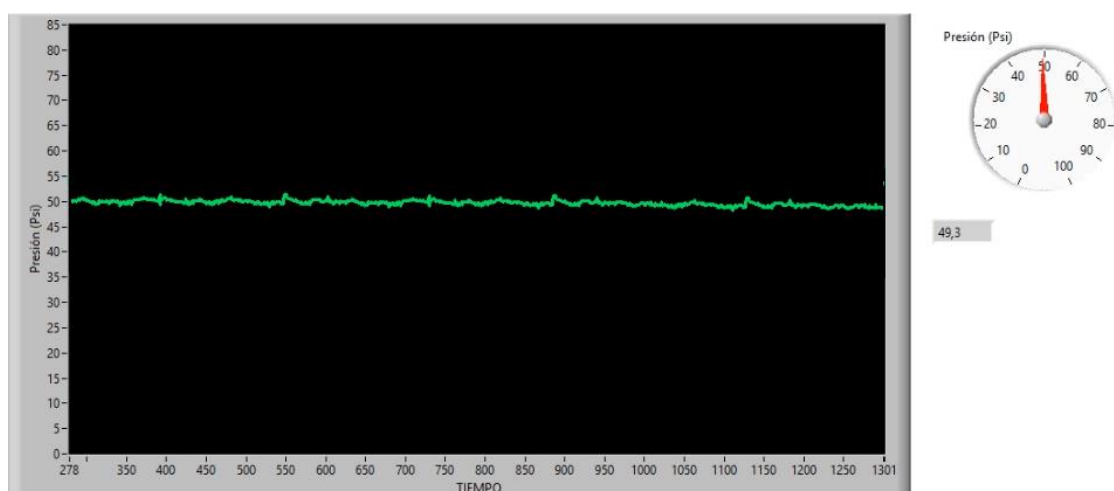
**4.1.3.1** *Ensayo con elementos de protección a 32 psi (calderín).* Este ensayo se realiza para verificar el funcionamiento del calderín y cómo actúa ante un fenómeno de sobrepresión generado en las tuberías.



**Gráfico 3-4:** Resultado mediante la prueba del calderín a 32 psi  
Realizado por: Autor

Mediante la apertura de la válvula que nos permite poner en funcionamiento el calderín se puede visualizar el comportamiento de la curva, que en comparación con la curva del resultado en vacío se puede notar que no hay un incremento de presión significativo, de esta manera sirviendo de protección contra la sobrepresión.

**4.1.3.2** *Ensayo con elementos de protección a 50 psi (calderín).* Para este ensayo se hace el mismo procedimiento que el anterior.



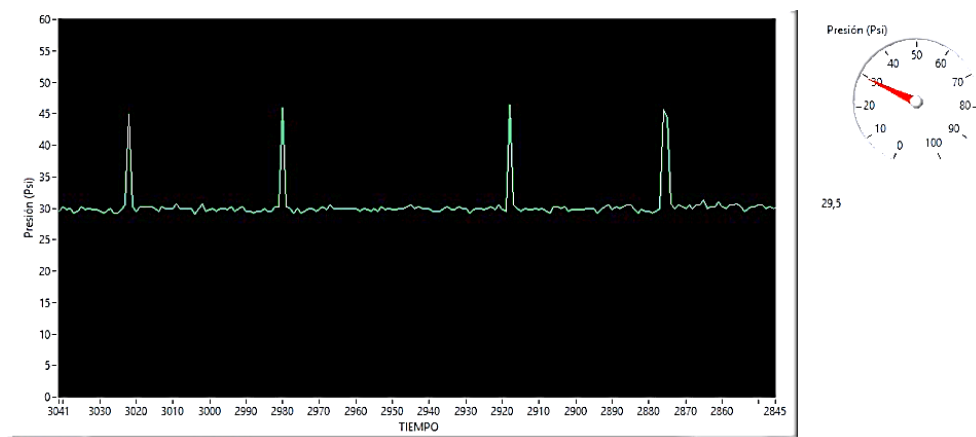
**Gráfico 4-4:** Resultado con el calderín de aire a 50 psi  
Realizado por: Autor

En la gráfica se puede visualizar que los picos de presión generados son similares al caso anterior, esto debido a la explicación detallada en las pruebas sin intervención de los elementos de protección.

**4.1.3.3** *Ensayo con elementos de protección a 32 psi (válvula de alivio).* Para este ensayo es necesario realizar el siguiente procedimiento.

Una vez que el equipo se encuentre encendido, se regula la presión requerida en el sistema.

- Se abre completamente la válvula de globo que permite que entre en funcionamiento la válvula de alivio y a la vez se abre completamente la misma y se verifica que la válvula del calderín se encuentre totalmente cerrada.
- Se cierra la válvula de globo designada para la generación del golpe de ariete para preceder con lo siguiente.
- Se cierra la válvula de alivio hasta alcanzar la presión de calibración requerida por el usuario.
- Posterior a esto se abre completamente la válvula de globo la que genera el golpe de ariete.
- Para visualizar la sobrepresión se manipula la válvula de globo destinada para dicho proceso.

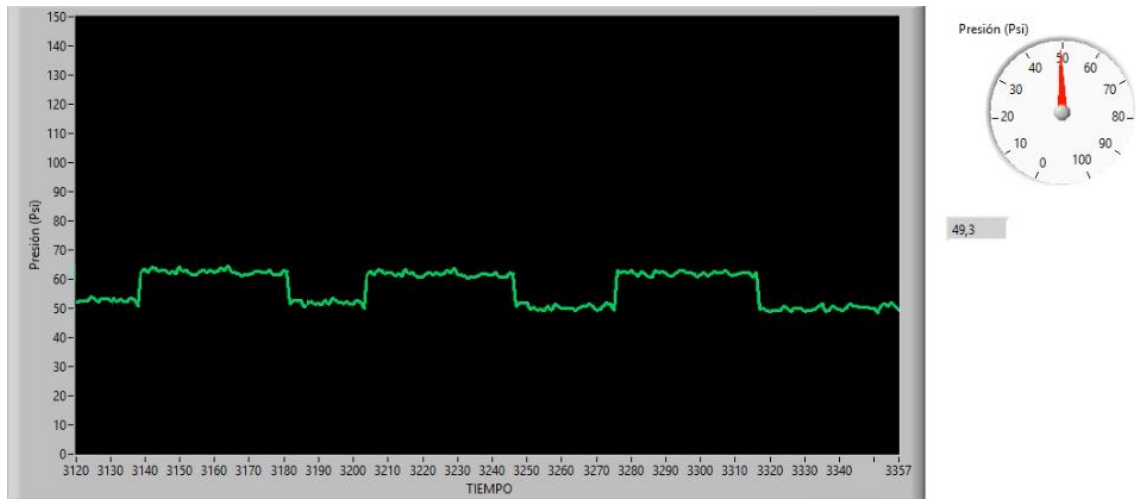


**Gráfico 5-4:** Resultado con la válvula de alivio a 32 psi  
Realizado por: Autor

Para este ensayo antes de proceder a la estrangulación primero se regula la válvula garantizando que no sobrepase el límite de presión para el cual se impone que está diseñado el sistema, en este caso se calibró a 45 psi.

Al momento del cierre brusco de la válvula se incrementa la presión pero no sobrepasa el nivel de presión que fue regulada inicialmente, asegurando de esta manera el funcionamiento correcto del sistema de protección.

**4.1.3.4** *Ensayo con elementos de protección a 50 psi (válvula de alivio).* Aplicamos el mismo procedimiento que en el caso anterior.








**Gráfico 6-4:** Resultado de la válvula de alivio a 50 psi  
Realizado por : Autor

El resultado obtenido a la presión de trabajo en 50 psi es similar a la gráfica anterior con la diferencia que en esta en el cierre de la válvula permaneció cerrada un intervalo de tiempo.

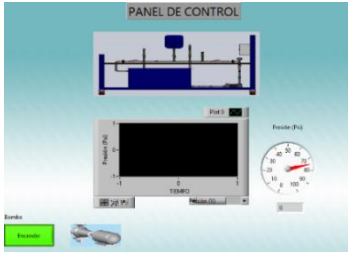



## 4.2 Manual de operación

Mediante el manual de operación se da a conocer el proceso de funcionamiento del banco de pruebas, para que la persona que va a utilizar no tenga inconvenientes al momento de encender el equipo.

**Tabla1-4:** Puesta en marcha del banco de pruebas

<p>1. Verificar el nivel de fluido en el recipiente necesario para el proceso.</p>	
<p>2. Conectar la fuente eléctrica de la bomba, módulo de adquisición de datos y el computador.</p>	
<p>3. Asegurar que los instrumentos de medición y protección estén en el orden adecuado para el trabajo.</p>	
<p>4. Verificar en la parte de automatización que el cable USB esté conectado al computador</p>	
<p>5. Verificar que las válvulas de paso estén cerradas</p>	

**Tabla 1-4:** (Continua) Puesta en marcha del banco de pruebas

<p>6. Encender el computador y abrir el programa LabVIEW</p>	 The image shows a screenshot of a LabVIEW control panel titled "PANEL DE CONTROL". It features a schematic diagram of a pump system at the top, a central black display area, and a pressure gauge on the right labeled "Presión (Psi)". A green "Encendido" button is visible at the bottom left.
<p>7. Activar la bomba mediante pulsador</p>	 The photograph shows the physical control panel, which is orange and blue. The front door is open, revealing internal electronic components. A green push-button is mounted on the panel, used for activating the pump.
<p>8. Se observa los resultados en el computador generados por la impulsión de la bomba</p>	 The photograph shows a laptop computer with its screen displaying a graphical representation of the pump's operation, likely the LabVIEW software interface.
<p>9. Después de la operación desconectar de la fuente de alimentación.</p>	 The photograph shows a person's hand unplugging a power cord from a standard wall electrical outlet, indicating the end of the test procedure.

Realizado por: Autor

### 4.3 Manual de mantenimiento

Consiste en prevenir los daños en el banco de pruebas que pueden ocasionar en el transcurso del proceso de funcionamiento, para lo cual se realiza una tabla del mantenimiento que se le va aplicar a cada uno de los elementos críticos que compone el equipo.

En cada uno de los elementos críticos se especificarán los trabajos a realizar, para de esta manera dar posibles soluciones si se presenta ciertas averías en los elementos que compone el equipo.

**Tabla 2-4: Manual de mantenimiento**

Elementos principales	Trabajos a realizar
Bomba	<p>Si la bomba presenta vibración verificar que los tornillos de sujeción se encuentren ajustados correctamente.</p> <p>En caso de presentar fugas verificar los sellos mecánicos en condiciones adecuadas de funcionamiento.</p> <p>Si la bomba no levanta presión, la falla podría ser por ingreso de aire en la tubería de succión a través de juntas o uniones. Para corregir hay que verificar cuidadosamente cada una de las juntas de la tubería y de ser posible comprobar su hermeticidad de cada unión.</p>
Recipiente	Limpiar los sedimentos presentes en el depósito.
Tuberías	Revisar y corregir fugas en la tubería en caso de que estas existan.
Calderín de aire	<p>Verificar que la presión de precarga de aire se encuentre en valor recomendado por el fabricante.</p> <p>En el caso de que no exista presión en el sistema, verificar que la membrana se encuentre libre de averías.</p>
Válvula de alivio	En caso de que la válvula no cumpla con la función requerida, verificar que el resorte que se encuentra ubicado en el interior de la misma no haya sufrido imperfecciones.
Válvula ventosa	Verificar que en los orificios de salida de aire se encuentren libre de pequeñas incrustaciones.

Realizado por: Autor

## 4.4 Análisis de costos

**4.4.1 Descripción del análisis de costos.** Dentro del capítulo de Costos se detalla los gastos directos e indirectos que se realizaron para la ejecución del Proyecto de Titulación denominado, Implementación y automatización de un banco de pruebas para la verificación de los elementos de protección frente a los transitorios hidráulicos.



**4.4.2 Costos directos.** Dentro de los costos directos se enlista los gastos de los materiales, mano de obra, equipos y maquinaria utilizada dentro del trabajo de titulación.

**4.4.2.1 Costos de accesorios y materiales.** Aquí se enlistan los materiales y accesorios que se emplearon para el desarrollo del equipo.

En la posterior tabla se dan a conocer la cantidad según el tipo de material a emplearse como también con las especificaciones de las dimensiones para obtener un costo total por cada unidad utilizada.

**Tabla 3-4:** Costo de accesorios y materiales

Costos de accesorios y materiales estructurales					
Elemento	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
Tubo Rectangular	Hierro gris, 70x30x2 mm	Unidad	2	14,40	28,80
Tubo Rectangular	Hierro Galvanizado, 40x20x2 mm	Unidad	1	11,50	11,50
Electrodos	6011 -1/8	Kilogramos	1	4,80	4,80
Garruchas	Giratorias – 180 libras	Unidad	2	8,50	17,00
Garruchas	Estáticas – 180 libras	Unidad	2	8,00	16,00
Plancha de acero	Acero negro 1,1mm	Unidad	1	25,40	25,40
Pernos	Acero Galvanizado M6x4	Unidad	14	0,14	1,96
Pintura	P. Sintética, color Azul	Litros	2	3,00	6,00
Pintura	P. Sintética, color Anaranjada	Litros	1	3,00	3,00
Thinner	-	Litros	3	1,50	4,50

**Tabla 3-4** (Continua) Costos de accesorios y materiales

Costos de accesorios y materiales Hidráulicos					
Bomba Myers	Cisterna de 1.0HP HJ100S	Unidad	1	390,00	390,00
Reservorio	R. de fibra de vidrio, 50x90x60 cm.	Unidad	1	140	140
Válvula Check	1" Helberth	Unidad	2	35,00	70,00
Manómetro	0-100 Glicerina	Unidad	1	40,00	40,00
Flujómetro	Área variable, ZS, 1".	Unidad	1	175,00	175,00
Válvula Esférica	1" FIV Amarilla	Unidad	6	18,75	112,50
Válvula	Alivio de presión 0-200PSI	Unidad	1	75,00	75,00
V. Ventosa	½"	Unidad	1	8,00	8,00
T	1" T.G.	Unidad	6	4,50	27,00
Codos	1" T.G.	Unidad	4	3,00	12,00
Neplo	1x10 T. G.	Unidad	17	1,75	29,75
Neplo	1x15 T. G.	Unidad	5	2,60	13,00
Neplo	1x20 T. G.	Unidad	2	3,50	7,00
Bushing	1" IPS	Unidad	4	1,00	4,00
Adaptadores	1" IPS	Unidad	2	5,35	10,70
Universales	1" T. G.	Unidad	3	8,75	26,25
Tanque Presurizado azul	19 Litros	Unidad	1	85,00	85,00
Bushing	1/2 x 3/8	Unidad	2	1,00	2,00
Uniones	1" T. G.	Unidad	2	2,25	4,50
Codo	1/2 T. G.	Unidad	1	1,25	1,25
Neplo	1/2 x70 T. G.	Unidad	1	4,00	4,00
Neplo	1" x60 T. G.	Unidad	1	8,00	8,00
Abrazaderas Hidráulicas	1"	Unidas	2	3,00	6,00
Poliméx Grande	-	Unidad	1	18,25	18,25
Teflón	-	Unidad	6	1,25	7,50

**Tabla 3-4** (Continua) Costos de accesorios y materiales

Costos de accesorios y materiales Electrónicos					
Tarjeta Arduino 1	-	Unidad	1	12	12
Transmisor de Presión	PSING- 200-20FT Rango: 0-200 PSIG	Unidad	1	375	375
Tablero de control	-	Unidad	1	390	390
				<b>TOTAL</b>	2172,66

Realizado por: Autor

**4.4.2.2** *Costos de maquinaria y equipos utilizados.* Se detallan los equipos y máquinas que se emplearon para la construcción del banco de pruebas.

**Tabla 4-4:** Costos de maquinaria y equipos utilizados

Maquinas / Herramientas	Costo /Hora	Horas Equipo	Costo (USD)
Soldadora	2,50	16	40,00
Taladro	1,00	8	8,00
Amoladora	1,00	8	8,00
Compresor	1,50	2	3,00
Otros equipos	-	-	25,00
		<b>TOTAL</b>	84,00

Realizado por: Autor

**4.4.2.3** *Costos de mano de obra.* En la tabla siguiente se especifica de los trabajadores que intervienen en el trabajo para su posterior construcción.

**Tabla 5-4:** Costos de mano de obra

Trabajador	Salario/Hora	Horas de trabajo	Costo (USD)
Soldador	5,00	16	80,00
Pintor	3,00	3	9,00
Plomero	2,50	24	60,00
Ing. Electrónico	15,00	32	480,00
		<b>TOTAL</b>	629,00

Realizado por: Autor

**4.4.2.4 Total de costos directos.** En la posterior tabla se detalla el total de costos directos empleados.

**Tabla 6-4:** Costos directos

<b>COSTO POR</b>	<b>VALOR (UDS)</b>
Material y accesorios	2172,66
Maquinaria y equipos	84,00
Mano de obra	629,00
<b>TOTAL</b>	<b>2885,66</b>

Realizado por: Autor

**4.4.3 Costos indirectos.** Se incluyen los costos ingenieriles como también imprevistos y utilidad.

**Tabla 7-4:** Costos indirectos

<b>Detalle</b>	<b>Cantidad (%CD)</b>	<b>Valor (UDS)</b>
Ingenieriles (Diseño y supervisión)	15%	432,85
Imprevistos	10%	288,57
Utilidad	0	-
<b>TOTAL</b>		<b>721,42</b>

Realizado por: Autor

**4.4.4 Costos totales.** Es el resultado de los costos directos más los costos indirectos.

**Tabla 8-4:** Costos totales

<b>Detalle</b>	<b>Valor (USD)</b>
Costos Directos	2885,66
Costos Indirectos	721,42
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>3607,08</b>

Realizado por: Autor

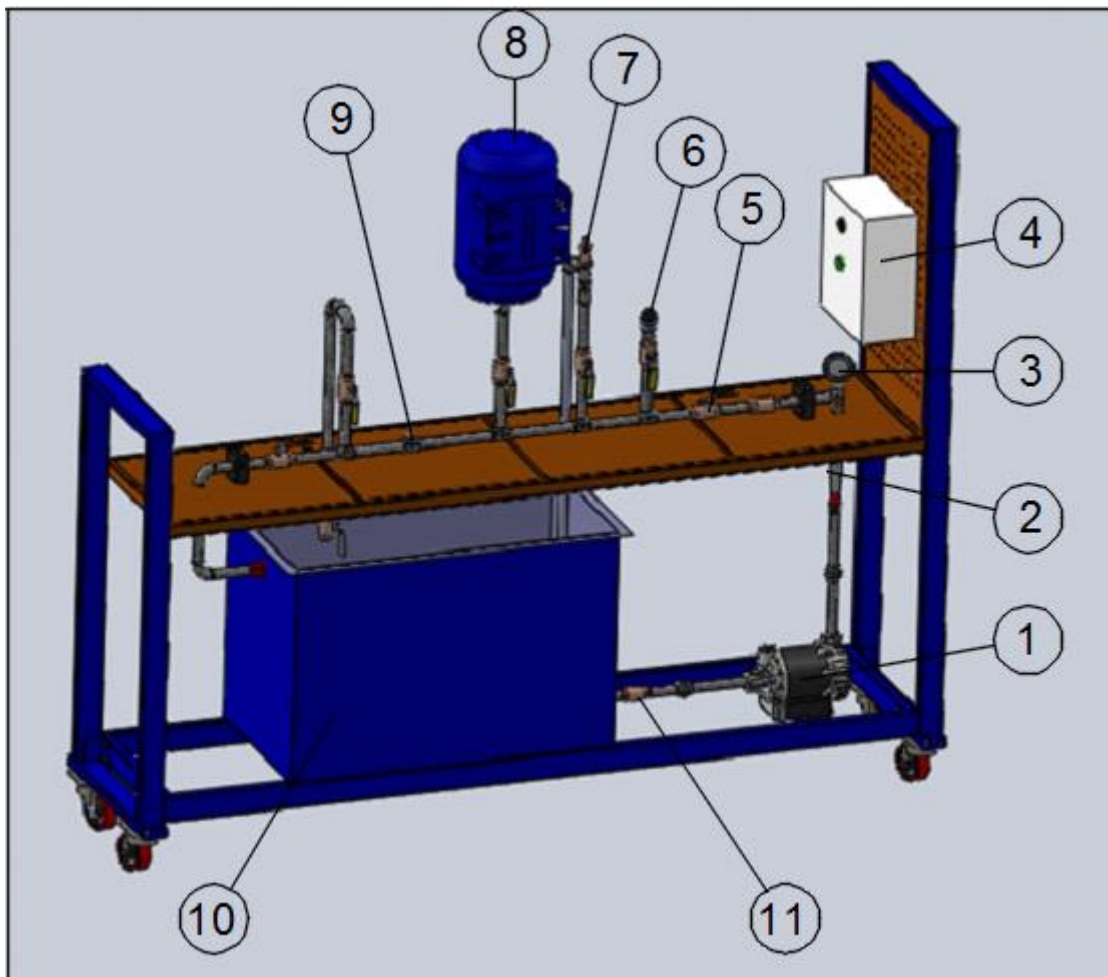
## **4.5 Ficha técnica del equipo**

En la siguiente tabla posterior se detalla los elementos que compone el equipo con sus respectivas características.

**Tabla 9-4:** Ficha técnica del equipo

 	<p><b>ELEMENTOS DE PROTECCIÓN FRENTE A LOS TRANSITORIOS HIDRÁULICOS</b></p>	<b>Ficha: 1</b>
		<b>Código:</b>
	<p><b>DATOS TÉCNICOS – PARTES PRINCIPALES</b></p>	<b>Inventario:</b>
<b>Cuenta:</b>		
<b>Versión: 2018</b>	<b>LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA</b>	<b>Fuente:</b>

**COMPONENTES PRINCIPALES**



**Tabla 9-4:** (Continua) Ficha técnica del equipo

<b>PARTES PRINCIPALES</b>			
<b>N.</b>	<b>Nombre</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Características</b>
1	Bomba	1	Tipo: Jet
			Potencia: 1HP
			Caudal: 46 lt/mín
			Voltaje: 110 V
2	Flujómetro	1	Material: Plástico
			Escala: 10-100 lt/mín
			Presión: 100 psi
			Acople: 1 plg
3	Manómetro de presión	1	Presión: 0-100 psi
			Fluido interno: Glicerina
4	Tablero de control		Control: Automático
			Material: Plástico
5	Válvula de globo	7	Material: Bronce
			Diámetro: 1 plg
6	Válvula ventosa	1	Material: Plástico, acero
			Presión: 10 bar
7	Válvula de alivio	1	Material: Bronce
			Presión: 0-250 psi
8	Calderín de aire	1	Marca: VAREN
			Material: Latón
			Capacidad: 19 lt
			Presión máxima: 8 bar
9	Sensor de presión	1	Marca: DWYER
			Código: PSIG-200-20FP
			Presión: 0-200 psia
			Tiempo de respuesta: 300 ms
10	Recipiente	1	Material: Fibra de vidrio
			Volumen: 250 lt
11	Válvula check	1	Material: Bronce
			Diámetro: 1 plg

Realizado por: Autor

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

Mediante la implementación y automatización del banco de pruebas para la adquisición de datos de los elementos de protección frente a los transitorios hidráulicos, a través del software LabVIEW se visualizó el comportamiento de la variación de presión por medio de la manipulación de accesorios que actúan en el banco.

A través del estudio bibliográfico realizado se determinó la existencia e importancia de los elementos de protección para reducir los fenómenos ocasionados por la sobrepresión, y la metodología para la obtención y visualización de resultados, como también la importancia de la automatización en el desarrollo del proceso.

Por medio del cálculo de la presión máxima ocasionada mediante la manipulación de los elementos de protección se seleccionó los equipos e instrumentos para la implementación del banco.

El laboratorio de Turbo maquinaria Hidráulica de La Escuela de Ingeniería Mecánica Facultad de Mecánica contará con el respectivo banco de pruebas, el cual será de mucha ayuda para los estudiantes que requieran del uso del mismo.

El sistema de automatización implementado en el banco permitió realizar un monitoreo continuo durante pequeños intervalos de tiempo obteniendo así todos los puntos críticos de presión generados en el interior de las tuberías.

Mediante la automatización del sistema de adquisición de datos se pudo generar un registro, y a la vez un historial de datos los mismos que son almacenados en una hoja de Excel durante el proceso realizado, de esta manera los resultados pueden ser analizados cuando el usuario lo requiera.

Una vez realizado el enlace entre el transmisor de presión, la tarjeta de adquisición de datos y el software LabVIEW se realizaron las pruebas con cada uno de los elementos de protección, donde se pudo visualizar claramente el comportamiento de la variación de presión.

## **5.2 Recomendaciones**

Verificar el abastecimiento de fluido en el recipiente antes de poner en marcha el banco de pruebas.

Asegurar que el fluido del recipiente esté libre de sedimentos para evitar el deterioro de los elementos que conforman el equipo.

Verificar que la válvula ubicada en el retorno al recipiente se encuentre completamente abierta para proceder con el encendido de la bomba.

Evitar que la bomba permanezca encendido cuando no haya circulación de fluido ya que esto podría ocasionar deterioro en el equipo.

Una vez concluido el ensayo con cada uno de los elementos de protección verificar que se encuentre completamente desconectado el equipo.



## BIBLIOGRAFÍA

**CALONGE HERVÁS, Cynthia.** Diseño, construcción y puesta a punto de un banco de pruebas para el estudio del golpe de ariete en instalaciones hidráulicas. [En línea] (Tesis) (Ingeniería) Universidad de Valladolid Escuela de Ingeniería Industrial, Valladolid, España. 2016. [Consultado el: 25 de noviembre de 2017]. Disponible en: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/22523/6/TFG-I-566.pdf>.

**CORRALES.** *Interfaces de comunicación industrial.* [En línea] 2007. [Consultado el: 15 de 6 de 2017]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10020/2/PARTE%202.pdf>.

**GILES, Randal V.** *Mecánica de los fluidos e hidráulica.* Colombia : mcgraw-hill, 1994. pp. 1.

**MATAIX, Claudio.** *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas.* Madrid : Ediciones del Castillo, 2007. pp. 312-318.

**PÉREZ LÓPEZ, Esteban.** *Los sistemas SCADA en la automatización industrial.* [En línea] 2015. [Consultado el: 15 de 6 de 2017]. Disponible en: [file:///D:/Respaldos/Downloads/Dialnet-LosSistemasSCADAEnLaAutomatizaciónIndustrial-5280242%20\(2\).pdf](file:///D:/Respaldos/Downloads/Dialnet-LosSistemasSCADAEnLaAutomatizaciónIndustrial-5280242%20(2).pdf).

**RODRIGUEZ, A.** *Sistemas SCADA.* 2ª. ed. Barcelona : Marcombo. 2008. pp. 3. 2.

**SALAS.** *Régimen variable en tuberías Golpe de ariete.* [En línea] 2008. [Consultado el: 14 de JUNIO de 2017]. Disponible en: [http://ocw.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%203.Golpe%20ariete/tutorial\\_17.htm](http://ocw.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%203.Golpe%20ariete/tutorial_17.htm).

**SERRANO RODRÍGUES, Juan Angel.** *Uralita sistemas de tuberías.* [En línea] 1995. [Consultado el: 14 de 6 de 2017]. Disponible en: [http://www.construmtica.com/archivos/28051/documentacion\\_tecnica/04\\_valvulas\\_y\\_control/05\\_ventosas.pdf](http://www.construmtica.com/archivos/28051/documentacion_tecnica/04_valvulas_y_control/05_ventosas.pdf).

**STREETER, Victor L.** *Mecánica de los fluidos.* México : McGRAW-HILL, 2001. pp. 14.

**TIPLER.** *Dinámica de fluidos.* [En línea] 1999. [Consultado el: 25 de noviembre de 2017]. Disponible en: [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/13741/1/08\\_DINAMICA\\_FLUIDOS\\_BIB.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/13741/1/08_DINAMICA_FLUIDOS_BIB.pdf).

**TRAVIS, Jeffrey & KRING, Jim.** *LabVIEW for everyone.* 3ª ed: Prentice-Hall, 2006. pp. 31.

**TWYMAN, John A. & TWYMAN, Cedric J.** *Golpe de Ariete.* [En línea] 2009. [Consultado el: 10 de septiembre de 2017]. Disponible en: [www.twyman.cl](http://www.twyman.cl).

