



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**“REPOTENCIACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL BANCO DE  
PRUEBAS DE LA BOMBA CENTRÍFUGA DEL LABORATORIO  
DE TURBOMAQUINARIA HIDRÁULICA DE LA FACULTAD DE  
MECÁNICA DE LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**AUTOR:**

**JONATHAN DAVID VARGAS DAQUILEMA**

Riobamba – Ecuador

2023



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**“REPOTENCIACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL BANCO DE  
PRUEBAS DE LA BOMBA CENTRÍFUGA DEL LABORATORIO  
DE TURBOMAQUINARIA HIDRÁULICA DE LA FACULTAD DE  
MECÁNICA DE LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**AUTOR: JONATHAN DAVID VARGAS DAQUILEMA**

**DIRECTOR: ING. FÉLIX ANTONIO GARCÍA MORA**

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Jonathan David Vargas Daquilema

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Jonathan David Vargas Daquilema, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 08 de junio de 2023

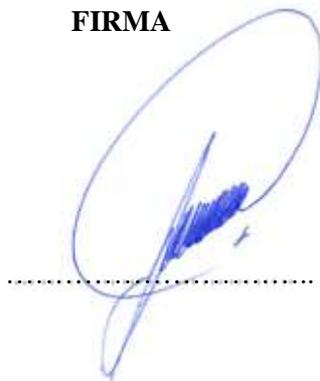


**Jonathan David Vargas Daquilema**

**060407661-2**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **REPOTENCIACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS DE LA BOMBA CENTRÍFUGA DEL LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA HIDRÁULICA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**, realizado por el señor: **JONATHAN DAVID VARGAS DAQUILEMA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Marco Antonio Ordóñez Viñan <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	 .....	2023/06/08
Ing. Félix Antonio García Mora <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	 .....	2023/06/08
Ing. Pablo Ernesto Montalvo Jaramillo <b>ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	 .....	2023/06/08

## **DEDICATORIA**

A mis padres por su apoyo en mi vida estudiantil acompañándome en cada paso que di, llenándome de consejos valiosos que me ayudaron en momentos de desesperación, por estar siempre apoyándome y exigiéndome que luche por mis metas, por mostrar interés en estos años de estudio, y la confianza que me tienen, ya que por esto logre culminar con mi carrera profesional.

Jonathan

## **AGRADECIMIENTO**

A mi carrera de Mantenimiento Industrial por acogerme estos años y brindarme los conocimientos en mi formación académica, también a mis maestros que, por su dedicación y motivación en mi vida estudiantil.

Jonathan

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
SUMMARY.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Justificación.....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. <i>Objetivo general</i> .....	3
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	3
1.4. Alcance.....	3

### CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	4
2.1. Bomba centrífuga.....	4
2.1.1. <i>Partes principales de la bomba centrífuga</i> .....	4
2.1.1.1. <i>La carcasa de la bomba</i> .....	4
2.1.1.2. <i>La voluta</i> .....	4
2.1.1.3. <i>Difusor</i> .....	5
2.1.1.4. <i>Impulsor</i> .....	5
2.1.1.5. <i>Las paletas del impulsor giratorio</i> .....	6
2.1.1.6. <i>Anillo de desgaste</i> .....	6
2.1.1.7. <i>Cierre Hidráulico</i> .....	7
2.2. Tipos de bombas centrífugas.....	8
2.2.1. <i>Bombas centrífugas de flujo radial</i> .....	8
2.2.2. <i>Bombas centrífugas de flujo axial</i> .....	9

2.2.3.	<i>Bombas centrífugas de flujo mixto</i> .....	9
2.3.	<b>Instrumentos de regulación y medición de flujo</b> .....	9
2.3.1.	<i>Venturímetro</i> .....	9
2.3.2.	<i>Manómetros</i> .....	10
2.3.3.	<i>Válvula de regulación y otras</i> .....	10
2.3.4.	<i>Transductor de presión</i> .....	11
2.4.	<b>Conceptos elementales de mecánica de fluidos</b> .....	11
2.4.1.	<i>Presión</i> .....	12
2.4.2.	<i>Compresibilidad</i> .....	12
2.5.	<b>Hidrodinámica</b> .....	13
2.5.1.	<i>Teorema de Torricelli</i> .....	13
2.5.2.	<i>Principio de Bernoulli</i> .....	14
2.6.	<b>Hidrostática</b> .....	15
2.6.1.	<i>Principio de Arquímedes</i> .....	15
2.6.2.	<i>Principio de Pascal</i> .....	16
2.7.	<b>Determinación de las curvas características de una bomba centrífuga</b> .....	17
2.7.1.	<i>Altura dinámica (HDT)</i> .....	17
2.7.2.	<i>Potencia Útil (PotH)</i> .....	19
2.7.3.	<i>Potencia Mecánica (PotM) y eficiencia (<math>\eta</math>)</i> .....	19
2.8.	<b>Pérdidas y rendimientos característicos</b> .....	20
2.8.1.	<i>Pérdidas volumétricas o de caudal.</i> .....	21
2.8.2.	<i>Pérdidas hidráulicas.</i> .....	21
2.8.3.	<i>Pérdidas mecánicas</i> .....	21
2.9.	<b>Transferencia de energía en una bomba</b> .....	22
2.10.	<b>Cavitación en bombas</b> .....	22
2.11.	<b>Tubería de succión y descarga</b> .....	22
2.11.1.	<i>Golpe de ariete</i> .....	23
2.12.	<b>Motor Shunt</b> .....	23
2.13.	<b>Software LabVIEW</b> .....	23
2.13.1.	<i>Adquisición de datos con software LabVIEW</i> .....	25
2.14.	<b>Repotenciación</b> .....	25
2.15.	<b>Recalibración</b> .....	25

2.16.	<b>Lubricación</b> .....	25
-------	--------------------------	----

### CAPÍTULO III

3.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	27
3.1.	<b>Banco de pruebas de la bomba centrífuga</b> .....	27
3.1.1.	<i>Datos técnicos del equipo</i> .....	28
3.2.	<b>Diagnostico técnico</b> .....	28
3.3.	<b>Estado de situación inicial</b> .....	28
3.3.1.	<i>Evaluación del sistema mecánico</i> .....	29
3.3.1.1.	Bomba centrífuga con purgador de aire y cebado .....	29
3.3.2.	<i>Evaluación del sistema hidráulico</i> .....	29
3.3.2.1.	Tanque de reservorio.....	30
3.3.2.2.	Múltiple .....	30
3.3.2.3.	Válvula de drenaje .....	31
3.3.2.4.	Tubería de descarga .....	31
3.3.2.5.	Tubería de succión de 2" de diámetro .....	32
3.3.2.6.	Válvula de descarga .....	32
3.3.3.	<i>Evaluación de conexiones eléctricas y electrónicas</i> .....	32
3.3.3.1.	Excitador de campo .....	33
3.3.3.2.	Cableado del motor al variador de frecuencia .....	33
3.3.4.	<i>Evaluación de instrumentos de medición</i> .....	34
3.4.	<b>Realización del mantenimiento del banco de pruebas de la bomba centrífuga.</b> ..	34
3.4.1.	<i>Localización de la maquina</i> .....	34
3.4.2.	<i>Identificación previa de la avería</i> .....	35
3.4.3.	<b>Consulta de catálogos y documentos</b> .....	35
3.4.4.	<i>Herramientas y materiales</i> .....	35
3.4.5.	<i>Sito de trabajo</i> .....	35
3.4.6.	<i>Desmontaje</i> .....	36
3.4.7.	<i>Herramientas y materiales para el desmontaje de las partes del banco de pruebas</i> .	37
3.4.8.	<i>Desarmado</i> .....	38
3.4.9.	<i>Lavado</i> .....	38
3.4.10.	<i>El órgano dañado</i> .....	38

<b>3.5.</b>	<b>Mantenimiento por componentes del sistema hidráulico .....</b>	<b>39</b>
<b>3.5.1.</b>	<b><i>Mantenimiento de la válvula de drenaje.....</i></b>	<b>39</b>
<b>3.5.1.1.</b>	<b><i>Mantenimiento correctivo y preventivo.....</i></b>	<b>39</b>
<b>3.5.2.</b>	<b><i>Mantenimiento de la tubería de descarga.....</i></b>	<b>40</b>
<b>3.5.2.1.</b>	<b><i>Mantenimiento correctivo .....</i></b>	<b>40</b>
<b>3.5.2.2.</b>	<b><i>Mantenimiento preventivo.....</i></b>	<b>41</b>
<b>3.5.3.</b>	<b><i>Mantenimiento general de la válvula de cierre rápido .....</i></b>	<b>41</b>
<b>3.5.4.</b>	<b><i>Mantenimiento de la tubería de succión de 2" de diámetro.....</i></b>	<b>42</b>
<b>3.5.4.1.</b>	<b>Mantenimiento correctivo .....</b>	<b>42</b>
<b>3.5.4.2.</b>	<b>Mantenimiento preventivo .....</b>	<b>43</b>
<b>3.5.5.</b>	<b><i>Mantenimiento de la válvula de descarga .....</i></b>	<b>43</b>
<b>3.5.6.</b>	<b><i>Mantenimiento del tanque reservorio .....</i></b>	<b>44</b>
<b>3.5.6.1.</b>	<b><i>Mantenimiento correctivo .....</i></b>	<b>45</b>
<b>3.5.6.2.</b>	<b><i>Mantenimiento preventivo.....</i></b>	<b>46</b>
<b>3.5.7.</b>	<b><i>Mantenimiento por componentes del sistema mecánico .....</i></b>	<b>46</b>
<b>3.5.8.</b>	<b><i>Mantenimiento general de la bomba centrífuga .....</i></b>	<b>46</b>
<b>3.5.8.1.</b>	<b><i>Localización de la maquina .....</i></b>	<b>47</b>
<b>3.5.8.2.</b>	<b><i>Identificación previa de la avería .....</i></b>	<b>47</b>
<b>3.5.8.3.</b>	<b><i>Desmontaje .....</i></b>	<b>47</b>
<b>3.5.8.4.</b>	<b><i>Herramientas y materiales usados .....</i></b>	<b>48</b>
<b>3.5.8.5.</b>	<b><i>Desarmado.....</i></b>	<b>48</b>
<b>3.5.8.6.</b>	<b><i>Mantenimiento correctivo .....</i></b>	<b>48</b>
<b>3.5.8.7.</b>	<b><i>El órgano dañado .....</i></b>	<b>49</b>
<b>3.5.8.8.</b>	<b><i>Armado del sello mecánico .....</i></b>	<b>49</b>
<b>3.5.8.9.</b>	<b><i>Armado de la bomba centrífuga.....</i></b>	<b>50</b>
<b>3.5.8.10.</b>	<b><i>Mantenimiento preventivo.....</i></b>	<b>50</b>
<b>3.5.9.</b>	<b><i>Montaje .....</i></b>	<b>50</b>
<b>3.6.</b>	<b>Actualización del tablero de control de la bomba centrífuga.....</b>	<b>51</b>
<b>3.7.</b>	<b>Calibración de instrumentos.....</b>	<b>52</b>
<b>3.7.1.</b>	<b><i>Calibración del Transductor de Presión de la serie PX 302 .....</i></b>	<b>53</b>
<b>3.7.2.</b>	<b><i>Calibración del Transductor de Presión de la serie PX 209 .....</i></b>	<b>53</b>
<b>3.8.</b>	<b>Cálculo tipo.....</b>	<b>54</b>
<b>3.8.1.</b>	<b><i>Cálculo de la potencia del motor y la eficiencia .....</i></b>	<b>54</b>
<b>3.9.</b>	<b>Elaboración del plan de mantenimiento y manual de funcionamiento.....</b>	<b>57</b>

## **CAPÍTULO IV**

<b>4.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>59</b>
<b>4.1.</b>	<b>Análisis de resultados las fallas del sistema hidráulicos .....</b>	<b>59</b>
<b>4.2.</b>	<b>Análisis de resultado de la parte mecánica .....</b>	<b>60</b>
<b>4.3.</b>	<b>Adquisiciones de datos de LabVIEW.....</b>	<b>60</b>
<b>4.4.</b>	<b>Pruebas de funcionamiento.....</b>	<b>62</b>
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>63</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>64</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2-1:</b>	Módulo volumétrica de algunos fluidos a 20 °C (68 °F).....	12
<b>Tabla 3-1:</b>	Partes del banco de pruebas de la bomba centrífuga .....	27
<b>Tabla 3-2:</b>	Datos técnicos de la bomba centrífuga.....	28
<b>Tabla 3-3:</b>	Datos técnicos del motor.....	28
<b>Tabla 3-4:</b>	Estado del sistema mecánico.....	29
<b>Tabla 3-5:</b>	Estado del sistema hidráulico.....	30
<b>Tabla 3-6:</b>	Estado de conexiones eléctricas y electrónica.....	33
<b>Tabla 3-7:</b>	Estado de instrumentos de medición .....	34
<b>Tabla 3-8:</b>	Herramientas y materiales para el desmontaje de las partes del banco de pruebas	38
<b>Tabla 3-9:</b>	Mantenimiento general del sistema hidráulico .....	39
<b>Tabla 3-10:</b>	Mantenimiento general de válvula de drenaje .....	39
<b>Tabla 3-11:</b>	Materiales para mantenimiento de válvula de drenaje.....	40
<b>Tabla 3-12:</b>	Mantenimiento general de la tubería de descarga .....	40
<b>Tabla 3-13:</b>	Materiales usados para mantenimiento de la tubería de descarga .....	41
<b>Tabla 3-14:</b>	Mantenimiento general de la válvula de cierre rápido.....	41
<b>Tabla 3-15:</b>	Mantenimiento general de tubería de succión de 2" de diámetro .....	42
<b>Tabla 3-16:</b>	Materiales utilizados para mantenimiento de la tubería de succión de 2" .....	43
<b>Tabla 3-17:</b>	Mantenimiento general de la válvula de descarga.....	44
<b>Tabla 3-18:</b>	Materiales utilizados para el mantenimiento válvula de descarga .....	44
<b>Tabla 3-19:</b>	Mantenimiento general de tanque reservorio .....	44
<b>Tabla 3-20:</b>	Materiales utilizados para el mantenimiento del tanque reservorio.....	45
<b>Tabla 3-21:</b>	Mantenimiento general del impulsor de la bomba .....	46
<b>Tabla 3-22:</b>	Materiales y herramientas para el mantenimiento de la bomba centrífuga .....	48
<b>Tabla 3-23:</b>	Calibración de transductor de presión PX 302 .....	53
<b>Tabla 3-24:</b>	Calibración del Transductor de Presión de la serie PX 209.....	53
<b>Tabla 3-25:</b>	Manual de funcionamiento .....	58
<b>Tabla 4-1:</b>	Toma de datos del software LabVIEW .....	62

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 2-1:</b>	Componentes internos de la bomba centrífuga .....	4
<b>Ilustración 2-2:</b>	Difusor .....	5
<b>Ilustración 2-3:</b>	Clasificación de impeler .....	5
<b>Ilustración 2-4:</b>	Tipo de succión de impeler.....	6
<b>Ilustración 2-5:</b>	Morfologías de los anillos de desgaste .....	7
<b>Ilustración 2-6:</b>	Esquema de cierre hidráulico .....	8
<b>Ilustración 2-7:</b>	Tipos de bombas centrífugas .....	8
<b>Ilustración 2-8:</b>	Flujo en Venturi .....	9
<b>Ilustración 2-9:</b>	Manómetros Bourdon, diferencial y electrónico.....	10
<b>Ilustración 2-10:</b>	Tipos de válvulas.....	11
<b>Ilustración 2-11:</b>	Teorema de Torricelli.....	13
<b>Ilustración 2-12:</b>	Validez de la ecuación de Bernoulli .....	14
<b>Ilustración 2-13:</b>	Flujo constante .....	15
<b>Ilustración 2-14:</b>	Diagrama de cuerpo libre de un cuerpo sumergido en un líquido.....	16
<b>Ilustración 2-15:</b>	Principio de Pascal .....	17
<b>Ilustración 2-16:</b>	Caudal - capacidad de la bomba (L/min).....	18
<b>Ilustración 2-17:</b>	Bomba centrífuga en un sistema de tuberías simple .....	18
<b>Ilustración 2-18:</b>	Q-H de las pérdidas en la bomba.....	21
<b>Ilustración 2-19:</b>	Diagrama de Bloques (Izquierda) y Panel Frontal (Derecha) de LabVIEW .	24
<b>Ilustración 2-20:</b>	Ejemplo de SubVI.....	24
<b>Ilustración 2-21:</b>	Tipos de lubricación a) Perfecta. b) Mixta. c) Seca. ....	26
<b>Ilustración 3-1:</b>	Partes del banco de pruebas.....	27
<b>Ilustración 3-2:</b>	Eje de bomba estado inicial.....	29
<b>Ilustración 3-3:</b>	Tanque reservorio estado inicial.....	30
<b>Ilustración 3-4:</b>	Múltiple estado inicial .....	31
<b>Ilustración 3-5:</b>	Válvula de drenaje estado inicial.....	31
<b>Ilustración 3-6:</b>	Tubería de descarga estado inicial.....	31
<b>Ilustración 3-7:</b>	Tubería de succión estado inicial.....	32
<b>Ilustración 3-8:</b>	Válvula de descarga estado inicial.....	32
<b>Ilustración 3-9:</b>	Excitador de campo.....	33
<b>Ilustración 3-10:</b>	Cable del motor al variador de frecuencia estado inicial .....	33
<b>Ilustración 3-11:</b>	Localización de partes del banco de pruebas .....	35
<b>Ilustración 3-12:</b>	Excitador de campo desmontado.....	36
<b>Ilustración 3-13:</b>	Bomba centrífuga desmontada .....	36

<b>Ilustración 3-14:</b> Múltiple y tubo de succión desmontado .....	37
<b>Ilustración 3-15:</b> Desmontaje de elementos del banco de pruebas .....	37
<b>Ilustración 3-16:</b> Tubería de descarga.....	41
<b>Ilustración 3-17:</b> Construcción de tapa de acrílico para la bomba .....	42
<b>Ilustración 3-18:</b> Válvula de descarga .....	44
<b>Ilustración 3-19:</b> Mantenimiento del tanque reservorio .....	45
<b>Ilustración 3-20:</b> Bomba centrífuga para el mantenimiento .....	47
<b>Ilustración 3-21:</b> Identificación del impulsor.....	47
<b>Ilustración 3-22:</b> Desmontaje de la bomba centrífuga del banco de pruebas .....	47
<b>Ilustración 3-23:</b> Desarmado de la bomba centrífuga del banco de pruebas .....	48
<b>Ilustración 3-24:</b> Impeler realizado el mantenimiento .....	49
<b>Ilustración 3-25:</b> Tuerca dañada .....	49
<b>Ilustración 3-26:</b> Armado de sello mecánico .....	50
<b>Ilustración 3-27:</b> Pintura de bomba centrífuga.....	50
<b>Ilustración 3-28:</b> Montaje de banco de pruebas finalizado.....	51
<b>Ilustración 3-29:</b> Tablero de control actualizado .....	51
<b>Ilustración 3-30:</b> Placa de adquisición de datos .....	52
<b>Ilustración 3-31:</b> Voltaje vs Presión de transductor de presión PX 302 .....	53
<b>Ilustración 3-32:</b> Voltaje vs Presión de Transductor de Presión de la serie PX 209.....	54
<b>Ilustración 3-33:</b> Plan de mantenimiento .....	57
<b>Ilustración 4-1:</b> Resultado de la línea de succión.....	59
<b>Ilustración 4-2:</b> Resultado del tanque reservorio .....	59
<b>Ilustración 4-3:</b> Resultado del impulsor de la bomba centrífuga.....	60
<b>Ilustración 4-4:</b> Interfaz de bomba centrífuga en LabVIEW .....	60
<b>Ilustración 4-5:</b> Inicialización de variables .....	61
<b>Ilustración 4-6:</b> Diagrama LabVIEW para guardar informe .....	61
<b>Ilustración 4-7:</b> Adquisición de datos del software LabVIEW .....	62

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** TRABAJO DE LIMPIEZA DEL TANQUE RESERVORIO

**ANEXO B:** REALIZACIÓN DE TAPA DE ACRÍLICO DE LA BOMBA CENTRÍFUGA

**ANEXO C:** TRABAJO EN TORNO DEL ACRÍLICO DE LA BOMBA CENTRÍFUGA

**ANEXO D:** ANTES Y DESPUÉS DE LA CAJA DE CONTROL DEL BANCO DE PRUEBA

**ANEXO E:** PLACA DE ADQUISICIÓN DE LA BOMBA CENTRÍFUGA

**ANEXO F:** CIRCUITO IMPRESO PCB

**ANEXO G:** ESQUEMA DEL SOFTWARE LABVIEW DE ADQUISICIÓN DE DATOS

## RESUMEN

En el Laboratorio de Turbomaquinaria Hidráulica de la Facultad de Mecánica se encuentra un banco de pruebas de la bomba centrífuga debido a las condiciones de funcionamiento está en estado no óptimo para el desarrollo de las prácticas, ya que se identifica que las condiciones de operación tienen deficiencias en la integridad del sistema. Por lo tanto, se planteó como objetivo la repotenciación y calibración del banco de pruebas de la bomba centrífuga del Laboratorio de Turbomaquinaria Hidráulica de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Se realizó un diagnóstico técnico por cada uno de los sistemas, como el sistema mecánico, sistema hidráulico, sistema de control, mediante guía del manual del usuario instalación operación y mantenimiento de la bomba centrífuga utilizando la ISO 2858, en este análisis se observó el deterioro de algunos elementos, ya por su mala condición de funcionamiento y paso de tiempo del equipo; lo cual hizo también que pierdan precisión en la adquisición de datos mediante el software LabVIEW y descalibración de los instrumentos de medición. Para disponer los sistemas en su totalidad con una gran disponibilidad, mediante la evaluación inicial se realizó el respectivo mantenimiento correctivo y preventivo a los elementos que requerían y se procedió a la actualización de la programación de la bomba centrífuga mediante el software LabVIEW en la versión 2017, lo cual facilitó la toma de datos en tiempo real que muestren los valores correctos y la operación del sistema, se realizó un plan de mantenimiento y de funcionamiento para evitar las fallas funcionales. Se concluye que, una vez realizada la repotenciación del banco de pruebas, ha logrado mejorar las condiciones de funcionamiento, para de esa manera poder realizar prácticas de laboratorio apropiadas que permitan una mejor formación del estudiante.

**Palabras clave:** <REPOTENCIACIÓN> <CALIBRACIÓN> <BANCO DE PRUEBAS> <LABVIEW (SOFTWARE)> <PLAN DE MANTENIMIENTO>.

1343-DBRA-UPT-2023



## SUMMARY

The centrifugal pump test bench in the Hydraulic Turbomachinery Laboratory of Mechanical Engineering Faculty is currently in a suboptimal condition for conducting practical exercises due to operating conditions and system integrity deficiencies. Therefore, this project aimed to upgrade and calibrate the centrifugal pump test bench in the Hydraulic Turbomachinery Laboratory of the Mechanical Engineering Faculty at the Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. A technical diagnosis was performed for each system, including the mechanical, hydraulic, and control system, following the user manual and installation, operation, and maintenance guidelines of the centrifugal pump based on ISO 2858. This analysis revealed the deterioration of specific components due to their poor operating condition and the passage of time, leading to a loss of precision in data acquisition using LabVIEW software and the misalignment of measurement instruments. To ensure the complete functionality and availability of the systems, corrective and preventive maintenance was carried out on the components that required attention. The programming of the centrifugal pump was also updated using LabVIEW software 2017 version, which facilitated real-time data acquisition with accurate values and improved system operation. A maintenance and operation plan was implemented to prevent functional failures. In conclusion, the repowering of the test bench has significantly improved its operating conditions, allowing for appropriate laboratory practices and enhancing student learning.

**Keywords:** <REPOWERING>, <CALIBRATION>, <TEST BENCH>, <LABVIEW (SOFTWARE)>, <MAINTENANCE PLAN>.



Lic. Sandra Leticia Guijarro Paguay

C.I.: 0603366113

## **INTRODUCCIÓN**

Considerando la utilización de los sistemas hidráulicos en el uso industrial, agropecuario y doméstico, la operación de estos sistemas como es el de la bomba centrífuga la gran variación en el desempeño por su amplia gama de operación, por su factibilidad de revertir la dirección del fluido por esa acción su uso podría ser el de una turbina, el desempeño de la bomba centrífuga es debido a los elementos como el impeler o rodete debido a la fuerza de acción que es producida por el elemento ayuda a impulsar el fluido a altas velocidades, el eje que es el encargado de la transferencia de la energía mecánica del motor a él impeler, y la carcasa cual es la que confina el impeler para aprovechar las energía mecánica y que el fluido sea succionado hasta su descarga previa.

Debido que el principal objetivo de este trabajo es la repotenciación y calibración del banco de pruebas de la bomba centrífuga se va a hallar los problemas en el sistema mecánico, sistema hidráulico, sistema eléctrico, y sistema de mando, mediante la determinación de la operación de la bomba donde se determinara los niveles de vibración, ruidos y pérdidas de eficiencia etc.

# CAPÍTULO I

## 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

### 1.1. Planteamiento del problema

En el Laboratorio de Turbomaquinaria Hidráulica de la Facultad de Mecánica se encuentra un banco de pruebas de la bomba centrífuga debido a las condiciones de funcionamiento está en estado no óptimo para el desarrollo de las prácticas, ya que se identifica que las condiciones de operación tienen deficiencias en la integridad del sistema, por esto el desempeño que se requiere en el banco de pruebas como el caudal, la fuerza que trabaja el motor y los elementos que componen este sistema deben encontrarse con un nivel de fiabilidad y mantenibilidad, ya que a lo largo del ciclo de vida se necesitan realizar ajustes para que no ocurra deterioro por factores perjudiciales y potenciales, causados por la severidad de los fallos y ocurrencia de los mismo, ya que por la especificación en el diseño, la construcción o el mantenimiento que se ha dado debe revisarse que no exista una avería preexistente y corregirla para cumplir los requerimientos necesarios.

### 1.2. Justificación

Debido que es un banco de pruebas de la bomba centrífuga que se utiliza en el Laboratorio de Turbomaquinaria Hidráulica de la Facultad de Mecánica como modo para que los estudiantes se familiaricen con los funcionamientos y aplicaciones de estos equipos industriales se necesita que estén en óptimas condiciones por lo cual es necesario realizar un diagnóstico técnico de todo el banco de pruebas y repotenciación mediante un mantenimiento preventivo programado ya que el problema consistiría que si no están en condiciones óptimas de utilización los estudiantes en su parte formativa no aprendan correctamente la forma práctica de la utilización de estos equipos lo cual tienen que cumplir con los parámetros de cumplimiento para su utilización y alargar la su vida útil.

Con estas intervenciones se pretende asegurar el buen funcionamiento por un tiempo prolongado y que la máquina no tenga que ser detenida en momento que se la requiera. En las intervenciones se debe sustituir o reparar los elementos de baja fiabilidad. Para implantar este sistema de mantenimiento es necesario un estudio detallado de los equipos para poder fijar la frecuencia de las intervenciones. (Boero, 2020 pág. 29)

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. Objetivo general***

Repotenciar y calibrar el banco de pruebas de la bomba centrífuga del Laboratorio de Turbomaquinaria Hidráulica de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

#### ***1.3.2. Objetivos específicos***

Realizar un diagnóstico técnico del estado actual del banco de pruebas de la bomba centrífuga del laboratorio.

Efectuar el mantenimiento de la parte mecánica del banco de pruebas de la bomba centrífuga del laboratorio.

Actualizar el programa de mando y adquisición de datos mediante el software de LabVIEW.

Mostrar las pruebas de funcionamiento y ajustes del banco de pruebas de la bomba centrífuga del laboratorio.

Elaborar el plan de mantenimiento y manual de funcionamiento para el banco de pruebas de la bomba centrífuga del laboratorio.

### **1.4. Alcance**

Mediante este trabajo técnico se pretende:

La identificación y corrección de las condiciones de trabajo del sistema.

La corrección de la potencia y eficiencia del motor.

La identificación de errores de medición que se están dando en los elementos del banco de pruebas mediante la visualización de las variables medidas en el software LabVIEW.

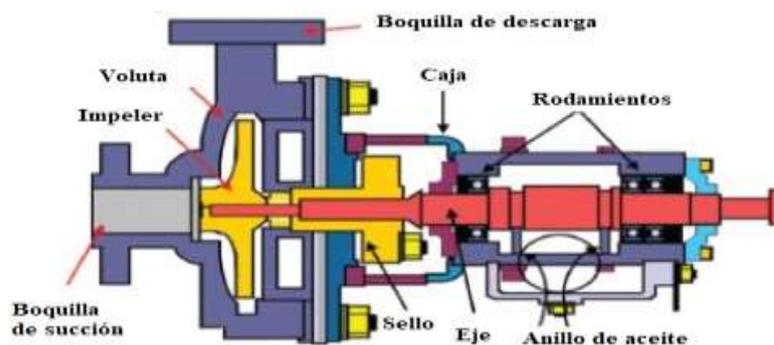
La elaboración del plan de mantenimiento y manual de funcionamiento del banco de pruebas de la bomba centrífuga.

## CAPÍTULO II

### 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS

#### 2.1. Bomba centrífuga

La función principal de una bomba centrífuga es agregar energía a un fluido para que pueda llegar a su próximo destino o cambiar el estado del fluido para un proceso en particular, como pasar por una caldera en un ciclo de vapor. Para cambiar el estado, es decir, la presión, los componentes de la bomba deben actuar y realizar sus respectivas tareas con éxito. En resumen, la bomba y los diversos componentes que componen el sistema de bombeo proporcionan una función que esencialmente describe una acción. (Perez, et al., 2016 p. 30)



**Ilustración 2-1:** Componentes internos de la bomba centrífuga

Fuente: (Perez, et al., 2016)

##### 2.1.1. Partes principales de la bomba centrífuga

A continuación, se especifica las partes principales de la bomba centrífuga, como son la carcasa, la voluta, el difusor, el impulsor, etc.

###### 2.1.1.1. La carcasa de la bomba

Es la que está encargada de guiar el fluido desde la succión al centro del impulsor.

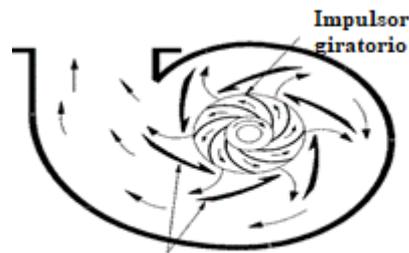
###### 2.1.1.2. La voluta

La cual tiene el área de sección transversal donde en esta región se expande a medida que envuelve la carcasa de la bomba, su propósito es recoger el líquido descargado de la periferia del impulsor

a una velocidad alta y causar de una forma gradual una reducción en la velocidad del fluido al aumentar el área de flujo, lo que convierte la altura de velocidad en presión estática para luego ser enviado por la conexión de descarga de la bomba.

#### 2.1.1.3. Difusor

El difusor es un conjunto de paletas estacionarias como se observa en la Ilustración 2-2, las cuales rodean el impulsor con el fin de aumentar su eficiencia para permitir una mayor expansión de manera gradual y con un área que sea menos turbulenta las cuales su diseño es para que el aumento del área de flujo provoque una reducción en su velocidad de flujo convirtiendo la energía cinética en presión de flujo.



Paletas difusoras estacionarias  
**Ilustración 2-2: Difusor**

Fuente: (Fundamentals Of Pumps, 1993)

#### 2.1.1.4. Impulsor

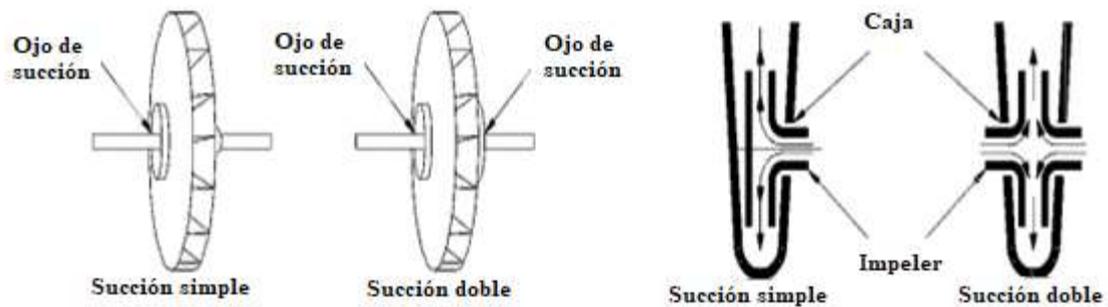
Los impulsores pueden estar clasificados en impulsores abiertos, semiabiertos y cerrados como se observa en la Ilustración 2-3. Los cuales los impulsores abiertos constan de palas o cuchillas unidas a un centro, los impulsores semiabiertos constan de una placa circular unida a un lado de las cuchillas y los impulsores cerrados tienen placas unidas a ambos lados de las cuchillas a estos también se denominan impulsores envueltos.



**Ilustración 2-3: Clasificación de impeler**

Fuente: (Fundamentals Of Pumps, 1993)

Puede haber impulsores de succión simple este es el que permite que el líquido que ingrese por el centro de las palas desde una sola dirección e impulsores de doble succión donde ingresan el líquido al centro de las palas por ambos lados de las palas, pero de manera simultánea como se muestra en la Ilustración 2-4.



**Ilustración 2-4:** Tipo de succión de impeler

Fuente: (Fundamentals Of Pumps, 1993)

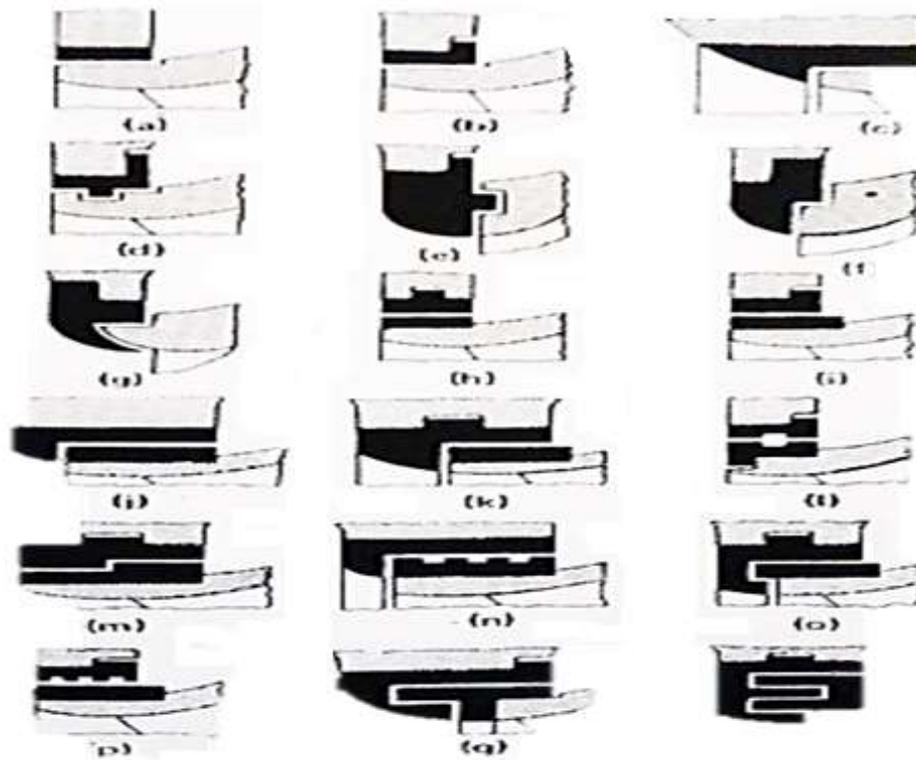
#### 2.1.1.5. Las paletas del impulsor giratorio

Estas son las que imparten el movimiento radial y giratorio del fluido que se genera en la bomba lo que le obliga a la periferia externa de la carcasa donde se recoge en la parte exterior de la carcasa de la bomba.

#### 2.1.1.6. Anillo de desgaste

El anillo de desgaste sirve de junta entre la carcasa y el rodete. Este es fácil de cambiar y debe ser económico. Estas partes son utilizadas para impedir las pérdidas volumétricas entre las partes fijas y móviles de la bomba. Aun incorporando estos tipos de anillos, el caudal de fugas no se puede reducir a cero, siempre se tendrá una pequeña cantidad de escapes, lo que origina un rendimiento volumétrico de la bomba. Por lo tanto, es conveniente que estas pérdidas se reduzcan al mínimo. Es por ello por lo que existen anillos de formas muy diversas, con laberintos que aumentan la resistencia del conducto. En el caso de estudio, el tipo de cierre es simple de forma recta. (Garrido, 2017 pág. 12)

A continuación, se observa en la Ilustración 2-5 los diferentes tipos de cierres que existen están representados por sus morfologías de los anillos de desgaste, los cuales se construyen de diferentes tipos de materiales para evitar que se gripe el impulsor, ya que las bombas centrífugas tienen o disponen de dos diferentes tipos de anillos de desgaste, uno fijo al disco anterior del rodete y otro a la voluta.



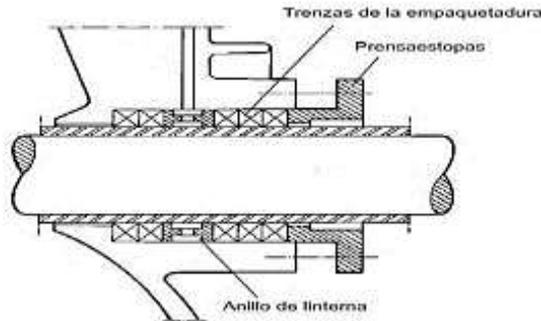
**Ilustración 2-5:** Morfologías de los anillos de desgaste

Fuente: (Garrido, 2017)

#### 2.1.1.7. Cierre Hidráulico

El cierre hidráulico como función principal es para que no existan fugas externas y proteger el eje de un rozamiento los cuales son los siguientes componentes:

- **Empaquetadura:** Esta es prensada para evitar las fugas de fluido. Normalmente, está compuesta por fibras animales, vegetales o sintéticas debidamente presionadas. Pero también existen empaquetaduras metálicas fabricadas de plomo o aluminio, donde el núcleo es elástico. La empaquetadura, cuando se fabrica, es introducida en algún lubricante para intentar reducir al máximo el rozamiento con el eje. (Garrido, 2017 pág. 13)
- **Prensaestopas:** Este presionada la empaquetadura mediante el apriete de tornillos, disminuyendo el juego entre el eje y la carcasa.
- **Anillo linterna:** Este componente tiene forma de H y está situado en medio de dos empaquetaduras. Es utilizado en bombas que trasiegan fluidos peligrosos. Dispone de un orificio el cual se conecta mediante una tubería a la carcasa, lo que sirve para introducir por el agujero un fluido de seguridad que disolvería una posible fuga de líquido. El mayor inconveniente de este componente es que necesita un alineamiento constante del agujero con una parte de la carcasa, con los costes de mantenimiento que esto ocasiona. (Garrido, 2017 pág. 14)

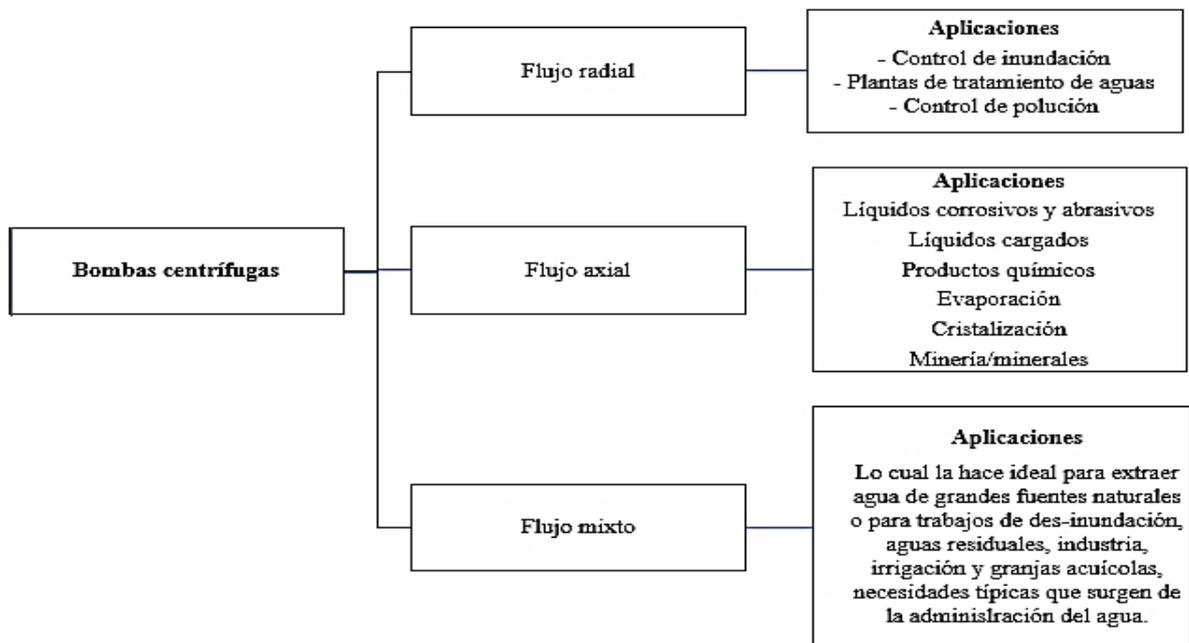


**Ilustración 2-6:** Esquema de cierre hidráulico

Fuente: (Garrido, 2017)

## 2.2. Tipos de bombas centrífugas

Mediante la ilustración 2-7, se puede observar una clasificación de los diferentes tipos de bombas centrífugas.



**Ilustración 2-7:** Tipos de bombas centrífugas

Realizado por: Vargas Jonathan, 2021

### 2.2.1. Bombas centrífugas de flujo radial

Para este tipo de flujo la dirección del fluido puede ser para bombas horizontales o verticales ya que se inicia por un plano paralelo al eje de giro del impulsor de la bomba y termina en un plano perpendicular a éste, este tipo de bombas son utilizadas para usos industriales debido a su corto tiempo de respuesta y la eficiencia volumétrica.

### 2.2.2. Bombas centrífugas de flujo axial

El tipo de bombas axiales el movimiento del fluido en el impulsor va alrededor del eje de giro del impulsor de la bomba es en forma axial, y no habrá cambios de dirección. Para este tipo de flujo se utilizan las bombas verticales de un solo paso ya que estas bombas por la acción de un impulso o elevación de los alabes sobre el líquido desarrollan su carga. Estas bombas son usadas para trabajar grandes caudales

### 2.2.3. Bombas centrífugas de flujo mixto

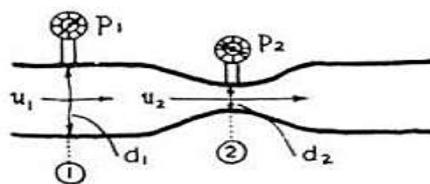
La bomba de flujo mixto ocupa una posición intermedia entre la centrífuga y la de flujo axial. La dirección del flujo de fluido a la salida del rotor no es ni radial ni axial, sino que su trayectoria dentro del rotor se aproxima a una hélice cónica. La altura que se consigue con este tipo de bombas puede ser de hasta 25 metros por rodete y su curva de potencia es prácticamente horizontal. La recuperación de la cota de presión se consigue también mediante difusores. (Heras, 2018 pág. 130)

## 2.3. Instrumentos de regulación y medición de flujo

Los instrumentos de regulación y medición de flujo ayudan a la toma de datos en una instalación de sistemas de bombeo para controlar el caudal que trabaja el sistema.

### 2.3.1. Venturímetro

Es un instrumento para medir el caudal de un fluido en un tubo. Consiste en una ligera contracción y expansión del canal de flujo, como se muestra a continuación en la Ilustración 2-8, donde ( $p_1 > p_2$ ). Las medidas de presión en la garganta y aguas arriba proporcionan el caudal del fluido. Para líquidos que circulan a través de un Venturi ideal, Para un Venturi bien diseñado, donde  $d_2 < d_1/4$ , esta expresión falla sólo en un 1-2% como máximo. Por tanto, en un Venturímetro real, el «1» de la expresión anterior deberá sustituirse por 0,98 - 0,99. (Levenspiel, 2018 pág. 31)



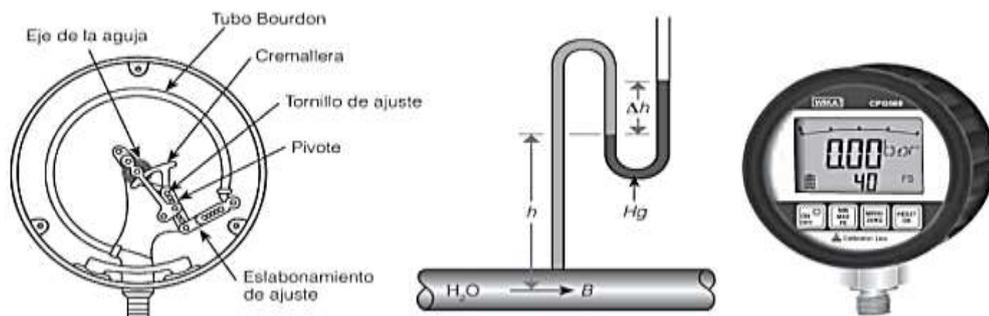
**Ilustración 2-8:** Flujo en Venturi

Fuente: (Levenspiel, 2018)

### 2.3.2. Manómetros

El manómetro es un instrumento empleado para medir la presión en los fluidos; en general, determina la diferencia de la presión entre el fluido y una presión de referencia o local. Los manómetros suelen ser genéricamente de tres tipos: diferenciales, de tipo tubo de Bourdon y de sensor electrónico. Los dos primeros se utilizan para grandes rangos de presión y economía, en tanto que los terceros se emplean cuando se requiere indicar fluctuaciones rápidas de presión; pueden ser sensores piezoeléctricos o electrostáticos, los cuales proporcionan una respuesta instantánea. (González, et al., 2017 p. 56)

Hay que tener en cuenta que la mayoría de los manómetros miden la diferencia entre la presión del fluido y la presión atmosférica local; por lo que para calcular la presión absoluta esta debe sumarse al valor indicado por el manómetro. Si se obtiene una medida negativa en el manómetro es debido a un vacío relativo. A continuación, se analizan los tipos principales de manómetros (Véase Ilustración 2-9) 0 Manómetro de Bourdon 0 Manómetro diferencial, columna de líquido 0 Manómetro digital o electrónico (González, et al., 2017 p. 57)



**Ilustración 2-9:** Manómetros Bourdon, diferencial y electrónico

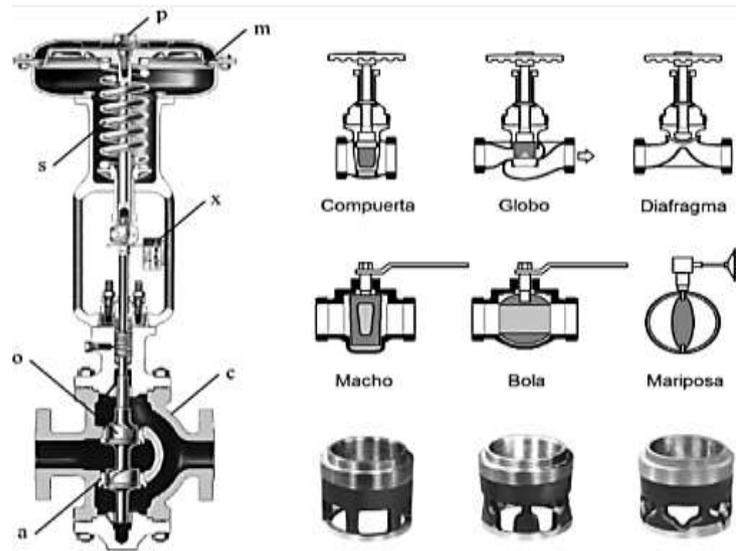
Fuente: (González, et al., 2017)

### 2.3.3. Válvula de regulación y otras

El buen gobierno de cualquier instalación hidráulica requiere el empleo de válvulas que pueden funcionar de forma autónoma o siguiendo las órdenes de un operador. Las válvulas pueden abrir y cerrar el paso de fluido, aislar, conectar y desconectar entre sí diferentes partes de una instalación, regular el caudal transportado y cumplir con determinados servicios de seguridad. Sus tamaños van desde una fracción de pulgada hasta más de un metro de diámetro, y pueden trabajar con presiones que van desde el vacío hasta más de 1.400 bar y temperaturas desde las criogénicas hasta los 800°C.

Las válvulas actuales están preparadas para conducir líquidos, vapores o gases en cualquier estado termodinámico, desde los más simples hasta los más corrosivos, abrasivos o tóxicos. (Heras, 2018 pág. 290)

Entre las válvulas más comunes las que se observan a continuación en la Ilustración 2-10.



**Ilustración 2-10:** Tipos de válvulas

Fuente: (Heras, 2018)

#### 2.3.4. *Transductor de presión*

Son los encargados de la conversión de la presión en una señal eléctrica analógica mediante la deformación física de los extensómetros, aunque hay varios tipos de traductores uno de los más comunes en la industria son los transductores extensométricos, el cual la presión aplicada al sensor produce una deflexión del diafragma, el cual introduce la deformación a los medidores la cual producirá una deformación la que producirá un cambio de resistencia eléctrica proporcional a la presión.

#### 2.4. **Conceptos elementales de mecánica de fluidos**

Un fluido puede ser líquido, como el agua, el aceite, la gasolina, etcétera, o puede ser un gas, como el aire, el vapor o los gases de combustión. Los fluidos son llamados fluidos newtonianos cuando el esfuerzo cortante que desarrollan éstos al deslizarse no es afectado por el gradiente de velocidad; pero, si el esfuerzo es afectado por este gradiente de velocidad, entonces los fluidos se conocen como fluidos no newtonianos. En esta obra, el tema en estudio son los fluidos newtonianos (González, et al., 2017 p. 15)

Es importante aclarar que el comportamiento de los fluidos se analiza considerando el tipo de flujo dentro o fuera de los conductos, los cuales pueden ser circulares o tener una diferente sección transversal. Por ello, para el estudio de la mecánica de fluidos es necesario entender con claridad la relación existente entre la fuerza en un área determinada y la presión. (González, et al., 2017 p. 15)

#### 2.4.1. Presión

La presión se define como la fuerza que actúa en una unidad de área y se calcula mediante la ecuación (1).

$$P = \frac{F}{A} \quad (1)$$

donde:

**F:** fuerza aplicada sobre una superficie, N, lb

**A:** área superficial, m<sup>2</sup>, pie<sup>2</sup>

#### 2.4.2. Compresibilidad

Se denomina compresibilidad al cambio de volumen que experimenta una sustancia cuando se le aplica un cambio de presión. Por lo general, el cambio de volumen que sufre un líquido suele ser menor a 1% cuando se le aplica un cambio de presión superior a 3000 lb / pulg<sup>2</sup>. Por ello, en este texto se consideran fluidos incompresibles todos aquellos fluidos a los que se les aplican presiones por debajo de este valor La compresibilidad se calcula con el módulo volumétrico definido por: (González, et al., 2017 p. 16)

**Tabla 2-1:** Módulo volumétrica de algunos fluidos a 20 °C (68 °F)

Líquido	Módulo volumétrico, <i>E</i>	
	psi	MPa
Alcohol etílico	130000	896
Benceno	154000	1062
Queroseno	188000	1296
Aceite para maquinaria	189000	1303
Agua	316000	2178
Glicerina	654000	4508
Mercurio	3590000	24745

Fuente: (González, et al., 2017)

Realizado por: Vargas Jonathan, 2021

Como se observa en la Tabla 2-1 los diferentes líquidos el módulo volumétrico como podemos observar el agua también tiende a soportar la compresibilidad la cual nos da 2178 MPa

$$E = \frac{-\Delta p}{\frac{\Delta V}{V}} \quad (2)$$

Donde:

$\frac{\Delta V}{V}$  es el cambio de volumen sufrido con un cambio de presión.

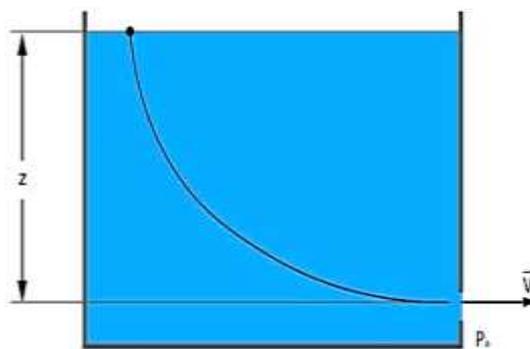
$\Delta p$ . Algunos valores del módulo volumétrico

## 2.5. Hidrodinámica

El concepto de la hidrodinámica es la que estudia los fluidos en movimiento fundamentalmente a los líquidos que son fluidos incompresibles, debido a que su densidad no varía cuando sobre ellos cambia la presión, para su estudio se debe considerar: la presión, el flujo, el gasto del líquido y la velocidad.

### 2.5.1. Teorema de Torricelli

Si a una masa líquida la aplicamos la ecuación de Bernoulli entre su superficie libre, y la salida por un orificio libre, tomando como plano de referencia el que pasa por el centro de dicho orificio, a continuación, se observa en la Ilustración 2-11 el principio del teorema de Torricelli.



**Ilustración 2-11:** Teorema de Torricelli

Fuente: (Terán, et al., 2018)

$$\frac{p_1}{\rho} + z_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = \frac{p_2}{\rho} + z_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \quad (3)$$

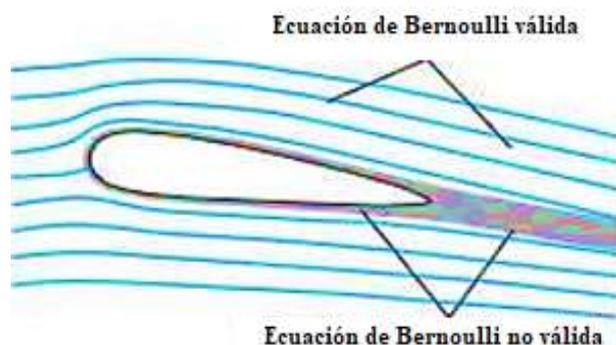
Si se asume los hechos que  $Z_1 = h$ ,  $Z_2 = 0$ , que el depósito es grande ( $v_1 = 0$ ) y que las presiones manométricas  $p_1$  y  $p_2$  valen cero (ya que en ambos puntos el fluido está en contacto con la atmósfera, se obtiene, la ecuación que Torricelli dedujo en 1643:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (4)$$

### 2.5.2. Principio de Bernoulli

La ecuación de Bernoulli también denominada principio de Bernoulli o trinomio de Bernoulli, fue estudiada por el matemático, estadístico, físico y médico neerlandés-suizo Daniel Bernoulli en la década de 1700. Bernoulli estudio el comportamiento y las fuerzas presentes en un fluido en movimiento, y estableció que en un flujo la presión estática más la presión dinámica es constante. (Antolínez, et al., 2016 p. 3)

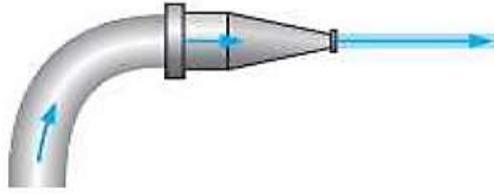
El principio de Bernoulli en términos de la segunda ley de Newton (del movimiento), la cual es un balance de energía mecánica, se define como el trabajo realizado por las fuerzas de presión y gravitación sobre una partícula cualesquiera del fluido, el cual es equivalente al incremento de la energía cinética de la partícula donde el de energía, la energía cinética y la energía potencial gravitatoria son las formas mecánicas de la energía, de este modo la ecuación de Bernoulli se puede entender como el principio de conservación de la energía mecánica, es decir, en un flujo constante incompresible y con fricción despreciable. Como no hay fricción, no habrá energía mecánica disponible en los flujos y no habrá conversión a energía térmica. (Antolínez, et al., 2016 p. 4)



**Ilustración 2-12:** Validez de la ecuación de Bernoulli

**Fuente:** (Antolínez, et al., 2016)

Como se observa en la Ilustración 2-13 el flujo constante del principio de Bernoulli donde un fluido no puede tener aceleración en un punto, pero si en el espacio.



**Ilustración 2-13:** Flujo constante

Fuente: (Antolínez, et al., 2016)

Dada entre dos puntos de la corriente se establece como:

$$z + \frac{p}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} = \text{Constante} \quad (5)$$

Donde:

Energía  $z$

Energía de presión  $\frac{p}{\rho g}$

Energía de velocidad  $\frac{V^2}{2g}$

El planteamiento de la ecuación de Bernoulli en términos de energía específica media permite su generalización al caso más general de flujo unidimensional en que no se pueda considerar que el fluido sea ideal y, por tanto, que em sea constante a lo largo del tubo de corriente en su línea media. Este es el caso en que se plantea un balance energético en un conducto de sección variable en que hay bombas, que incrementan la energía específica al comunicar potencia al fluido (o turbinas que la disminuyen), y accesorios (codos, válvulas, filtros y otras resistencias), que disipan potencia y disminuyen la energía específica de la corriente. (Heras, 2018 pág. 94)

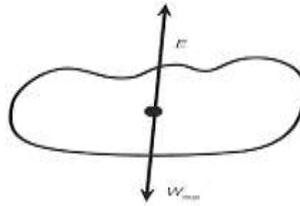
## 2.6. Hidrostática

La presión hidrostática es definida como la presión que ejerce un fluido en reposo sobre cada una de las paredes del recipiente que contiene al fluido.

### 2.6.1. Principio de Arquímedes

La fuerza que ejerce un fluido sobre un cuerpo sumergido en su seno es igual al peso del volumen de agua que éste desaloja y se manifiesta de manera ascendente, esta fuerza recibe el nombre de fuerza de empuje o flotación, el modelo matemático que describe tal principio es:

$$E = W_{fluido} \quad (6)$$



**Ilustración 2-14:** Diagrama de cuerpo libre de un cuerpo sumergido en un líquido

Fuente: (González, et al., 2017)

Es importante aclarar que el peso fuera del líquido se conoce como “peso real”, debido a que es el que se percibe sin efectos de otro cuerpo, y el peso en el interior del líquido como “peso aparente”, porque el fluido lo “empuja” hacia arriba. Considérese la Ilustración 2-14, un diagrama de cuerpo libre, con las fuerzas que existen sobre un cuerpo en el líquido. Entonces se tiene: (González, et al., 2017 p. 86)

$$W_{Real} = W_{aparente} + E \quad (7)$$

Donde

W real = peso real

W aparente = peso aparente

E = peso del fluido

### 2.6.2. Principio de Pascal

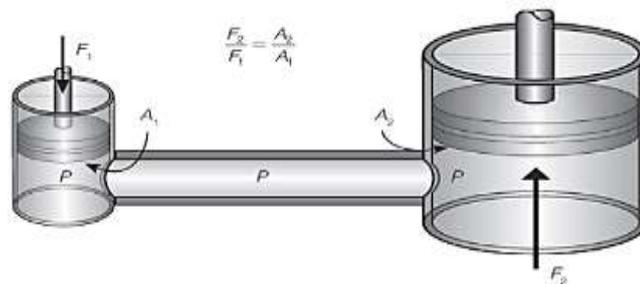
Como se puede deducir, el principio de Pascal explica el funcionamiento de las máquinas hidráulicas, como la prensa hidráulica (que prensa, levanta pesos o estampa metales ejerciendo fuerzas muy pequeñas), el gato hidráulico, el freno, el ascensor y la grúa, entre otras. El recipiente que se muestra en la Ilustración 2-15 está lleno de un fluido y consta de dos cilindros de diferente sección transversal cerrados con émbolos ajustados y capaces de desplazarse con libertad dentro de los tubos. Si se ejerce una fuerza ( $F_1$ ) sobre el pistón pequeño, la presión ejercida se transmite, tal como lo estableció Pascal, en todos los puntos del fluido dentro del sistema. Como la presión en 1 es igual que en 2, entonces: (González, et al., 2017 p. 48)

Por el motivo que  $P_1=P_2$  nos da como formula.

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \quad (8)$$

Por el motivo que el principio de pascal tiene una magnitud igual en todas las direcciones el fluido que los contienen los dos recipientes por ese motivo el fluido cuando se ejerce una presión en un lado se desplazara hacia el otro recipiente.

El volumen de líquido desplazado por el pistón pequeño se distribuye en el pistón grande, de modo que el producto de la fuerza por el desplazamiento (el trabajo) es igual en los dos cilindros



**Ilustración 2-15:** Principio de Pascal

Fuente: (González, et al., 2017)

## 2.7. Determinación de las curvas características de una bomba centrífuga

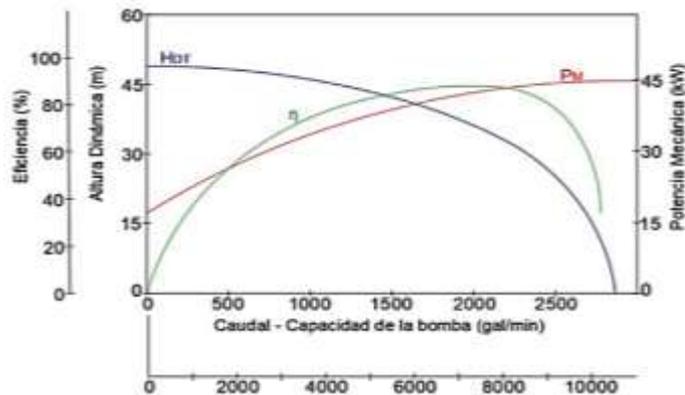
Las curvas características de una bomba centrífuga son una representación gráfica de los diferentes parámetros relacionados al funcionamiento de éstas, como son: caudal (Q), altura dinámica (HDT), potencia útil (PH), potencia mecánica (PM) y eficiencia ( $\eta$ ) (de Melo Porto, 2004). A continuación, se definen cada uno de estos parámetros. (Hatun, 2018 pág. 108)

### 2.7.1. *Altura dinámica (HDT)*

Como se observa en la Ilustración 2-17 de los diferentes elementos como la válvula de pie. Por medio de esos dos puntos, se encuentran instalados dos manómetros de Bourdon. En la tubería uno antes y otro después de la bomba.

Representa la carga por unidad de peso que es adicionada al fluido al momento de pasar por la bomba. La unidad de la HDT en el SI es el metro (m). Esta puede ser determinada experimentalmente con el auxilio de manómetros instalados en dos puntos, justamente, antes y

después de la bomba (Ilustración 2-17) y con la aplicación de la ecuación de Bernoulli en estos puntos [Ecuación (9)]. Si a través de una válvula en la tubería de descarga se regula el caudal impulsado por la bomba, se puede construir una de las curvas que representan el funcionamiento de este equipo, es decir, Q vs HDT (Ilustración 2-17). (Hatun, 2018 pág. 109)



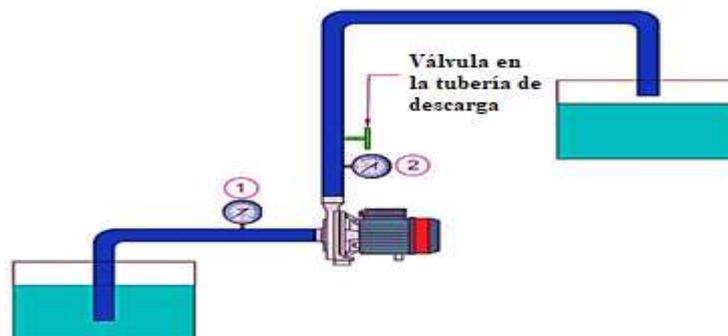
**Ilustración 2-16:** Caudal - capacidad de la bomba (L/min)

Fuente: (Hatun, 2018)

Para determinar la altura dinámica denominada (HDT) en diferentes valores de caudal (Q), se debe aplicar la ecuación de Bernoulli entre los puntos 1 y 2:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + H_{DT} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} \therefore H_{DT} = z_2 - z_1 + \frac{P_2}{\gamma} - \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \quad (9)$$

Como se muestra para las tuberías de descarga y las tuberías de succión de los equipos que poseen los mismos diámetros ( $D_1 = D_2$ ) respectivamente, entonces  $V_1 = V_2$ , con lo cual:



**Ilustración 2-17:** Bomba centrífuga en un sistema de tuberías simple

Fuente: (Hatun, 2018)

$$H_{DT} = z_2 - z_1 + \frac{1}{\gamma}(P_2 - P_1) \quad (10)$$

Donde:

$z_i$  = Carga de posición en el punto  $i$  (m)

$P_i$  = Presión en el punto  $i$  (m)

$\gamma$  = Peso específico del agua (N / m<sup>3</sup>)

$V_i$  = Velocidad en el punto  $i$  (m / s)

$D_i$  = Diámetro en el punto  $i$  (m)

### 2.7.2. **Potencia Útil ( $Pot_H$ )**

También llamada potencia hidráulica, es la energía por unidad de tiempo que la bomba le transmite al líquido, es decir, es la rapidez con la que ésta se transfiere. La unidad de la potencia en el SI es el watt (W), pero es común encontrar la potencia con unidades del sistema internacional de los Estados Unidos, es decir, en caballos de fuerza (hp). Esta variable puede ser determinada de la siguiente manera. (Hatun, 2018 pág. 111)

$$Pot_H = \gamma Q H_{DT} \quad (11)$$

Donde:

$Pot_H$  = Potencia hidráulica

$\gamma$  = Peso específico

$Q$  = Caudal

$H_{DT}$  = Altura dinámica

### 2.7.3. **Potencia Mecánica ( $Pot_M$ ) y eficiencia ( $\eta$ )**

Internamente en las bombas se generan pérdidas de energía, debido a que existe fricción entre los diferentes componentes mecánicos, como también, entre esos componentes y el fluido. Por tal motivo, la potencia que entra en una bomba ( $Pot_M$ ), llamada potencia mecánica o al freno, debe ser mayor que a la transmitida al fluido ( $Pot_H$ ), con el fin de poder transferir a éste la energía requerida. La relación entre  $Pot_H$  y  $Pot_M$  se define como la eficiencia de la bomba. (Hatun, 2018 pág. 111)

Utilizando la expresión anterior, la potencia mecánica puede ser expresada como:

$$\eta = \frac{\text{Pot}_H}{\text{Pot}_M} \quad (12)$$

$$\text{Pot}_M = \frac{\gamma Q H_{DT}}{\eta} \quad (13)$$

Determinar el valor de la PotM es importante, ya que esta es la que se utiliza para seleccionar el motor del sistema. Cabe resaltar que el ingeniero hidráulico busca que la diferencia entre PotM y PotH no sea muy elevada, es decir, que la bomba trabaje con la máxima eficiencia posible. Esto se realiza con el fin de que no se escoja una bomba sobredimensionada que conlleve un alto costo inicial y de operación durante su vida útil. (Hatun, 2018 pág. 111)

Para la construcción de las curvas Q vs. PotM y Q vs.  $\eta$  (Ilustración 2-16), primero deben ser determinadas las potencias mecánicas (PotM) correspondientes a los caudales regulados por una válvula en la tubería de descarga y después realizar un gráfico de los puntos (Qi, PotMi). Las potencias mecánicas pueden ser determinadas en laboratorio con la siguiente expresión. (Hatun, 2018 pág. 112)

$$\text{Pot}_M = T\omega \quad (14)$$

Donde:

T = torque del eje que mueve el rotor de la bomba (N\*m), el cual es medido por un sistema de brazo-dinamómetro instalado en las Bombas 1 y 2.

$\omega$  = la velocidad angular (radianes/s). La cual es medida a través de un cuenta-revoluciones del motor de cada una de las bombas.

Los diferentes valores de la eficiencia son determinados a través de la Ecuación (12), para posteriormente realizar un gráfico con los puntos (Qi,  $\eta$ ).

## 2.8. Pérdidas y rendimientos característicos

Para estas pérdidas que tienen lugar en una bomba hay tres tipologías distintas:

Pérdidas volumétricas o de caudal.

Pérdidas hidráulicas.

Pérdidas mecánicas.

### 2.8.1. Pérdidas volumétricas o de caudal.

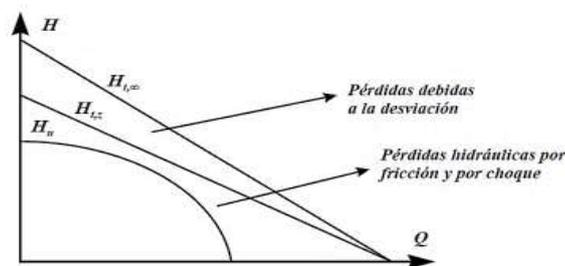
Las pérdidas de caudal,  $Gf$ , se pueden agrupar en dos clases: las exteriores,  $Gf, e$ , debidas a la salpicadura de fluido hacia el exterior a través del juego entre la carcasa y el eje de la bomba, o a través de las bridas de conexión, y las interiores,  $Gf, i$ , debidas al aumento de presión en el interior de la bomba, lo que origina todo tipo de recirculaciones internas. Por norma general, las fugas internas son más cuantiosas que las externas y su reducción resulta más complicada. Las fugas de fluido en las bombas se describen normalmente en términos del caudal en volumen, es decir,  $Qf, e$  y  $Qf, i$ . (Heras, 2018 pág. 127)

### 2.8.2. Pérdidas hidráulicas.

Perdidas de superficie son las que se producen cuando el fluido causa rozamiento con las paredes de la bomba en la caja espiral.

Pérdidas de forma son la que se producen en los cambios de dirección el desprendimiento de la capa limite en la entidad y salida del rodete.

Las pérdidas hidráulicas son aquellas que disminuyen la energía útil que la bomba comunica al flujo de fluido. Dicha energía útil, que expresada en términos de energía por unidad de peso es la altura manométrica de la bomba,  $H_B$ , se obtiene aplicando Bernoulli entre las secciones de entrada y salida de la bomba, y está relacionada con la altura teórica de la bomba y las pérdidas en el interior. (Heras, 2018 pág. 127)



**Ilustración 2-18:** Q-H de las pérdidas en la bomba.

Fuente: (Garrido, 2017)

### 2.8.3. Pérdidas mecánicas.

Las pérdidas de tipo mecánico son el resultado de la existencia de pérdidas por fricción, ya sean debidas al rozamiento entre las partes sólidas del interior de la máquina que participan del movimiento relativo o absoluto (cojinetes, juntas, etc.), o de tipo hidráulico, denominadas en las

bombas rotodinámicas pérdidas por fricción en el disco y que existen incluso en ausencia de flujo útil, siempre que gire el rotor mojado). (Heras, 2018 pág. 127)

## **2.9. Transferencia de energía en una bomba**

Se ha comentado repetidas veces que el incremento de energía total que el fluido experimenta en el rotor de una bomba rotodinámica resulta de la aplicación del principio de la cantidad de movimiento. En una turbomáquina hidráulica generadora, la energía se transfiere del motor al fluido aumentando su momento cinético sin un cambio apreciable de densidad, y se manifiesta en un incremento de sus energías cinética y estática o de presión. En este apartado, se deduce la magnitud teórica de cada uno de estos incrementos en el supuesto unidireccional y su relación con la geometría básica y las revoluciones del rodete. (Heras, 2018 pág. 206)

## **2.10. Cavitación en bombas**

Se produce cavitación cuando la presión estática en algún punto del seno fluido líquido, en reposo o en movimiento, cae hasta un nivel próximo a la presión de saturación a la temperatura de trabajo. Puede producirse cavitación en estructuras hidráulicas estáticas, como ranuras, tubos de Venturi, válvulas, etc., y en máquinas hidráulicas, como bombas, hélices y turbinas. Es necesario distinguir entre la aparición de la cavitación, es decir, la formación de burbujas de vapor o de gas en una ubicación determinada, y los efectos que produce, que también se denominan cavitación, y que pueden aparecer en zonas donde la presión media es elevada y, normalmente, aguas abajo de la región donde se formaron las burbujas. (Heras, 2018 pág. 175)

Por norma general, la cavitación progresa en dos etapas que pueden coexistir e interactuar: la fase gaseosa y la vaporosa, la cavitación gaseosa es más lenta que la vaporosa, pues conduce a la formación de cavidades en forma de burbuja (de gas) en puntos de fractura del medio líquido, ya sean microburbujas preexistentes, impurezas o pequeñas fisuras del material en contacto. (Heras, 2018 pág. 175)

## **2.11. Tubería de succión y descarga**

La tubería o sección de succión es una de las más importantes del circuito hidráulico y tiene una gran influencia en el funcionamiento de una bomba centrífuga. Este tramo es también conocido como tubería de aspiración y comprende la tubería y accesorios instalados entre el reservorio y la conexión de succión de la bomba. Un mal diseño de éste podría hacer que el sistema tenga un rendimiento deficiente o en cavitación.

### **2.11.1. Golpe de ariete**

Entre los fenómenos de flujo no estacionario en tuberías, hay que distinguir entre el golpe de ariete y las oscilaciones en masa. El golpe de ariete es el término común utilizado para describir los transitorios de la presión. Este fenómeno debe su nombre al ruido que genera su aparición (semejante al del impacto de un martillo sobre la tubería) como consecuencia del paso de una onda de presión a la velocidad del sonido. El golpe de ariete está asociado a los transitorios de presión de gran intensidad para los que el fluido ha de considerarse compresible y la tubería, elástica. Las oscilaciones en masa son transitorias de presión de baja intensidad para los que el fluido puede suponerse incompresible y la tubería, rígida. La velocidad de propagación de este tipo de onda es del orden de un metro por segundo, mucho menor que en el golpe de ariete, lo cual da lugar a la aparición de una oscilación de caudal visible que puede hacerse inestable. (Heras, 2018 pág. 315)

### **2.12. Motor Shunt**

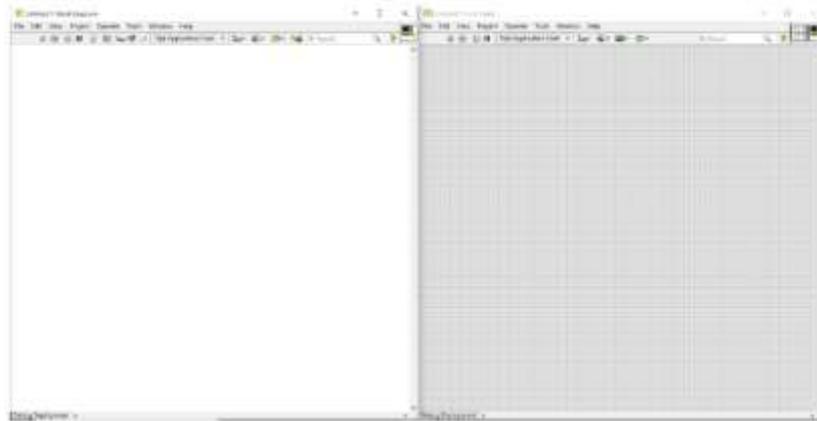
El motor shunt o motor de excitación en paralelo es un motor eléctrico de corriente continua cuyo bobinado inductor principal está conectado en paralelo con el circuito formado por los bobinados inducido e inductor auxiliar, la corriente total en la línea es la suma de las corrientes, la velocidad del motor está regulada por un regulador de derivación, al disminuir la intensidad absorbida, el régimen de giro apenas sufre variación, y cómo configurar el bucle o invertir el giro también el motor de derivación tiene velocidad casi constante, y, por lo tanto, es adecuado para uso comercial con baja carga inicial, como máquinas herramientas.

De acuerdo con las características, el motor de derivación es bueno para el trabajo que requiere una velocidad de rotación casi constante, como transportadores, ascensores, ventiladores, sopladores, bombas centrífugas, elevadores, mezcladores, prensas de impresión y también para trabajos en madera y metal.

### **2.13. Software LabVIEW**

LabVIEW es un software de realización de programación el cual utiliza un lenguaje gráfico o por bloques para crear aplicaciones dinámicas e interactivas por el usuario. Los programas desarrollados por este software reciben el nombre de Instrumentos Virtuales (VI) y nos permiten enviar y recibir señales desde otros equipos exteriores de adquisición de datos como dataloggers para poder realizar mediciones de instrumentos o controlar ciertos equipos conectados a dichos equipos. (Martínez, 2020 p. 21)

En LabVIEW el desarrollo de los VI de se realiza en dos ventanas distintas, que son las del Panel Frontal y el otro el Diagrama de Bloques.

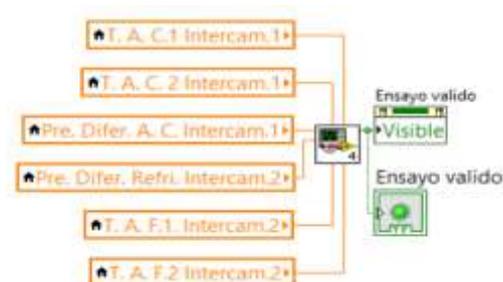


**Ilustración 2-19:** Diagrama de Bloques (Izquierda) y Panel Frontal (Derecha) de LabVIEW

Fuente: (Martínez, 2020)

Panel Frontal: Este es la ventana la cual es interactiva por el usuario. Se pueden crear diseños con botones/interruptores, leds, graficas e indicadores para simular un panel de control de algún sistema o proceso. Este panel nos permite introducir datos y visualizar resultados de los procesos realizados. Diagrama de Bloques: En esta ventana se realiza el código fuente de la aplicación, por medio de una programación en bloques se producen procesos, se ingresan valores desde los equipos de adquisición de datos y se realizan cálculos que podrían o no ser dependiente de los controles ubicados en el panel frontal. (Martínez, 2020 p. 22)

LabVIEW también hace uso de los SubVIs, que son programas (VIs) que fueron comprimidos para ser utilizados dentro de un VI principal o proyecto ubicándolos dentro del diagrama de bloque del VI principal, interactuando con este gracias a sus puntos de entradas y de salida. En la Ilustración 2-20 se muestra un ejemplo de cómo las variables de entrada (de color naranja) y de salida interactúan con un SubVI. (Martínez, 2020 p. 22)



**Ilustración 2-20:** Ejemplo de SubVI

Fuente: (Martínez, 2020)

### **2.13.1. Adquisición de datos con software LabVIEW**

La adquisición de datos o señales consta de la toma de muestras de fenómenos físicos del mundo real, posteriormente convertirlas en señales eléctricas y para luego digitalizarlas con la ayuda de diferentes tipos existentes de módulos procesadores de señales, para que de esta manera posteriormente puedan ser manipuladas fácilmente por ordenadores.

### **2.14. Repotenciación**

La repotenciación mecánica o electrónica de maquinaria persigue restablecer e incluso mejorar las prestaciones originales de un equipo, con el propósito de impulsar la productividad y competitividad de las industrias, exigiendo al mundo actual más rapidez y calidad, además de ahorro en el presupuesto, se debe considerar la modificación y adaptación del diseño existente teniendo como finalidad la satisfacción de los nuevos requerimientos, minimizando los cambios en el diseño original y maximizando la utilización de los equipos y dispositivos existentes.

### **2.15. Recalibración**

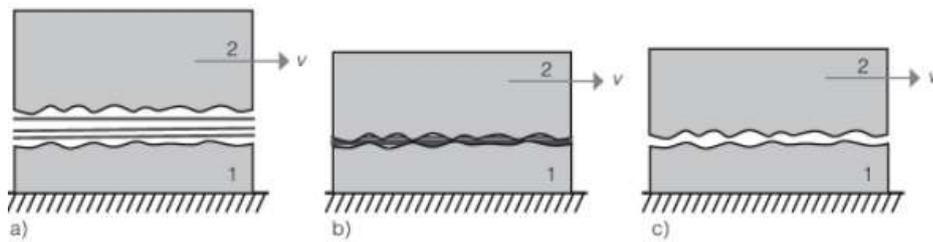
Es fundamental indicar que, si se quiere realizar una recalibración el nuevo equipo o instrumento a utilizar para realizar esta tarea, debe tener mejores características y condiciones que el utilizado anteriormente, para que de esta manera la toma de datos sea más exacta, por ende, el instrumento recalibrado ofrezca condiciones de precisión y funcionamiento mejoradas.

### **2.16. Lubricación**

La lubricación tiene como objetivo disminuir la fricción y, con ello, controlar el desgaste de los mecanismos mediante la introducción de un material fácilmente cizallable o fácil de cortar (mejor conocido como lubricante) entre aquellos elementos con movimiento relativo. La película de lubricante formada por este fluido se adhiere con firmeza a las superficies inferior y superior, de tal manera que al ocurrir un deslizamiento entre ambas superficies las capas externas del lubricante permanecen estáticas y las capas internas son obligadas a deslizarse entre sí. Lo anterior permite que la resistencia al movimiento se determine únicamente por la fuerza necesaria para deslizar las capas de lubricante y no por las superficies de los elementos. Es importante resaltar aquí que hay tres distintos tipos de lubricación, los cuales se determinan en función del espesor mínimo de la película de lubricante y la rugosidad superficial de las superficies en contacto; el tipo de lubricación se determina mediante la ecuación siguiente. (González, et al., 2017 p. 32)

$$\lambda = \frac{\text{Espesor mínimo de la película}}{\text{Rugosidad superficial}} \quad (15)$$

Lubricación perfecta: Ocurre cuando  $\lambda > 3.5$ . En este caso, las superficies permanecen separadas en forma permanente por una película de lubricante, de tal modo que no ocurre contacto en ningún punto de los cuerpos en movimiento. Lubricación mixta: Ocurre cuando  $3.5 > \lambda > 1$ . Aquí, las superficies en movimiento tienen contacto en algún punto. A pesar de contar con una capa de lubricante, hay zonas donde se efectúa contacto sólido entre las superficies de los elementos y en otras con el lubricante. Lubricación seca: Ocurre cuando  $\lambda < 1$ . En este caso, las superficies entran en contacto sólido directo, debido a que ha desaparecido por completo la capa del lubricante o se ha quedado entre las rugosidades de la superficie del elemento. (González, et al., 2017 p. 32)



**Ilustración 2-21:** Tipos de lubricación a) Perfecta. b) Mixta. c) Seca.

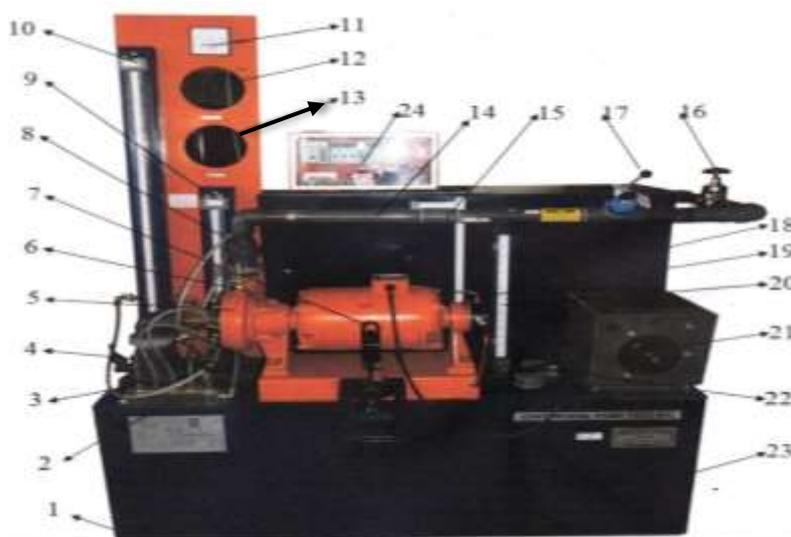
**Fuente:** (González, et al., 2017)

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Banco de pruebas de la bomba centrífuga

La Ilustración 3-1 muestra los diferentes elementos que conforma el banco de pruebas de la bomba centrífuga las cuales están enumeradas respectivamente en la Tabla 2-3.



**Ilustración 3-1:** Partes del banco de pruebas

Realizado por: Vargas, Jonathan 2021

**Tabla 3-1:** Partes del banco de pruebas de la bomba centrífuga

Componentes principales			
1.	Válvula de drenaje	13.	Vacuómetro
2.	Múltiple	14.	Tubería de descarga
3.	Válvula de cierre rápido en la succión	15.	Venturi
4.	Tubería de succión de 2" de diámetro	16.	Válvula de descarga
5.	Bomba centrífuga con purgador de aire y cebado	17.	Palanca para desviar el flujo
6.	Motor de velocidad variable	18.	Tanque de medición volumétrica
7.	Brazo o balanza de estabilidad del estator	19.	Venturímetro
8.	Bulbo de succión manual para el cebado	20.	Sensor de revoluciones electromagnético
9.	Manómetro de mercurio (succión)	21.	Excitador de campo
10.	Manómetro de mercurio (descarga)	22.	Válvula de drenaje del tanque reservorio
11.	Tacómetro	23.	Tanque reservorio
12.	Manómetro de mercurio (descarga)	24.	Caja de control

Realizado por: Vargas Jonathan, 2021

### 3.1.1. Datos técnicos del equipo

Mediante la Tabla 3-2 y la Tabla 3-3 las cuales muestran los datos técnicos donde se detallan las características o funciones de la bomba centrífuga y del motor eléctrico del banco de pruebas.

**Tabla 3-2:** Datos técnicos de la bomba centrífuga

<b>BOMBA</b>	
<b>Nombre</b>	<b>Características</b>
Marca	ARMFIELD
Modelo	R2 CENTRÍFUGAL PUMP TEST SET
Tipo de bomba	Impulsor centrífugo abierto
Diámetro exterior del impulsor	127mm standard
Número de alabes	6
Tipo de alabes	curvados hacia atrás
Capacidad del tanque sumidero	420 litros
Capacidad del tanque volumétrico	140 litros

Realizado por: Vargas Jonathan, 2021

**Tabla 3-3:** Datos técnicos del motor

<b>MOTOR</b>	
<b>Nombre</b>	<b>Características</b>
Marca	BROOCK CROMPTON PARKINSON
Tipo de motor	Shunt
Potencia	2,1 HP
Amperaje	9.3 A
Corriente	Directa
Velocidad del eje variable de	0 a 3000 rpm
Capacidad	1,6 kW a 2900 rpm
Fuente eléctrica	110 V /monofásico / 50 - 60 Hz

Realizado por: Vargas Jonathan, 2021

### 3.2. Diagnostico técnico

Se realizó el diagnóstico técnico del sistema mediante el cual se determinó las necesidades de mantenimiento o reparación que tienen los equipos y elementos, comparando sus parámetros de funcionamiento con los establecidos por el fabricante.

### 3.3. Estado de situación inicial

En esta parte se efectuó una evaluación inicial del banco de pruebas de la bomba centrífuga la cual ayudó a encontrar los elementos en mal estado con algún fallo o una avería preexistente por un mal funcionamiento del equipo, para lo cual se efectuó un (check list) de cada uno de los sistemas del banco de pruebas para verificar el estado inicial de cada uno de los componentes.

### 3.3.1. Evaluación del sistema mecánico

Se realiza una evaluación del sistema mecánico del banco de pruebas de la bomba centrífuga que nos detalla en la Tabla 3-4 mediante cada uno de sus elementos y las observaciones que se hacen para la ejecución mantenimiento.

**Tabla 3-4:** Estado del sistema mecánico

Estado mecánico			
Elemento	Bien	Revisión	Observaciones
Bomba centrífuga con purgador de aire y cebado		X	Impulsor con oxidación, tapa de bomba rota (acrílico)
Palanca para desviar el flujo	X		
Tanque de medición volumétrica	X		
Brazo o balanza de estabilidad del estator	X		

**Realizado por:** Vargas Jonathan, 2021

#### 3.3.1.1. Bomba centrífuga con purgador de aire y cebado

El impulsor de la bomba se encuentra con presencia de oxidación, así mismo el eje del impulsor, trabado por oxidación, y deterioro del tornillo del eje como se observa en la Ilustración 3-2, todo debido al tiempo de uso del equipo y también la pintura de la bomba centrífuga se encuentra en mal estado, así como los pernos de anclaje de la bomba trabados por oxidación y la tapa de acrílico totalmente rota.



**Ilustración 3-2:** Eje de bomba estado inicial

**Realizado por:** Vargas Jonathan, 2021

### 3.3.2. Evaluación del sistema hidráulico

Se realiza una evaluación del sistema hidráulico del banco de pruebas de la bomba centrífuga que nos detalla en la Tabla 3-5 mediante cada uno de sus elementos y las observaciones que se hacen para la ejecución mantenimiento.

**Tabla 3-5:** Estado del sistema hidráulico

Elemento	Estado hidráulico		
	Bien	Revisión	Observaciones
Válvula de drenaje		X	Corrosión
Tubería de descarga		X	Fuga por mal unión
Válvula de cierre rápido en la succión	X		
Tubería de succión de 2" de diámetro		X	Fuga por deterioro
Válvula de descarga		X	Corrosión
Venturi	X		
Múltiple		X	Moho en mangueras del múltiple
Tanque reservorio		X	Cal en paredes del tanque

Realizado por: Vargas Jonathan, 2021

### 3.3.2.1. *Tanque de reservorio*

En el tanque reservorio se determinó mediante una inspección visual que necesita una limpieza para la eliminación de la cal que es un mineral, pero no está en el agua sino pegada en las paredes del tanque reservorio, esto es debido a el contacto en el toda su superficie interna. Ya que debido que el agua común cuenta con minerales que están diluidos ya que son aguas que están estancas en posos de almacenamiento lo cual están minerales como el calcio y magnesio que hace que se forme una capa blanquecina en la superficie del agua. La determinación de dureza de este material se debería hacer pruebas previas por litro de agua existente para realización de un tratamiento oportuno y no siga afectando al tanque de reservorios ya que debido que todo esto entra en contacto agente de corrosión que en este caso es el agua que utiliza el banco de pruebas provoca la reacción que hace que se forme una pared blanquecina en el tanque reservorio.



**Ilustración 3-3:** Tanque reservorio estado inicial

Realizado por: Vargas Jonathan, 2021

### 3.3.2.2. *Múltiple*

El estado inicial del múltiple se encuentra con las mangueras que van a los medidores del flujo del sistema con suciedad por la utilización del agua con impurezas, las cuales se encuentran con un color verdoso debido a las algas que se han formado en su interior y exterior.



**Ilustración 3-4:** Múltiple estado inicial

**Realizado por:** Vargas Jonathan, 2021

### 3.3.2.3. *Válvula de drenaje*

La válvula de drenaje se encuentra con presencia de oxidación del material, lo cual al momento de abrir la válvula para drenar el agua del tanque reservorio no se pudo abrir, se ha tomado una foto de cómo se encontró ahí se observa en la Ilustración 3-5, que muestra el estado inicial de esta válvula.



**Ilustración 3-5:** Válvula de drenaje estado inicial

**Realizado por:** Vargas Jonathan, 2021

### 3.3.2.4. *Tubería de descarga*

En la unión descarga de la bomba y la universal que se encuentra unida a la tubería de descarga se encuentran fugas del líquido por la mala unión y utilización de un pegamento que se deterioró por el ciclo de vida de este que hizo que existieran fugas en el sistema de descarga de la bomba como se observa en la Ilustración 3-6 que lo muestra.



**Ilustración 3-6:** Tubería de descarga estado inicial

**Realizado por:** Vargas Jonathan, 2021

### 3.3.2.5. *Tubería de succión de 2" de diámetro*

Debido a la alta utilización del banco de pruebas de la bomba centrífuga, la unión de la tubería de succión y la tapa de acrílico de la bomba solo trabajaba con una pega de silicona la cual cubría la zona unida entre las dos debido a esto y el mal pegado había fugas del fluido al momento de poner en funcionamiento el equipo, y retirando esta silicona esta parte se encontraba rota como se observa en la Ilustración 3-7.



**Ilustración 3-7:** Tubería de succión estado inicial

Realizado por: Vargas Jonathan, 2021

### 3.3.2.6. *Válvula de descarga*

La válvula de descarga del sumidero del banco de pruebas se encuentra con presencia de corrosión por estar en contacto del agua en su parte exterior, debido a que el fluido del tanque reservorio ha sabido sobrepasar su llenado y por ende cubrir por completo llegando la válvula, y su estado es como se observa en la Ilustración 3-8.



**Ilustración 3-8:** Válvula de descarga estado inicial

Realizado por: Vargas Jonathan, 2021

### 3.3.3. *Evaluación de conexiones eléctricas y electrónicas*

Se realiza una evaluación de conexiones eléctricas y electrónicas del banco de pruebas de la bomba centrífuga que nos detalla en la Tabla 3-6 mediante cada uno de sus elementos y las observaciones de su estado.

**Tabla 3-6:** Estado de conexiones eléctricas y electrónica

Estado de conexiones eléctricas y electrónicas			
Elemento	Bien	Revisión	Observaciones
Motor de velocidad variable	X		
Excitador de campo		X	Contacto dañado
Caja de control		X	Conexiones sueltas
Cableado del motor al excitador		X	Deteriorado
Cableado de los instrumentos de medición	X		
Cableado de la fuente	X		

**Realizado por:** Vargas Jonathan, 2021

### 3.3.3.1. Excitador de campo

El estado del bobinado del excitador de campo depende del contacto del regulador ya que podría estar causando cortocircuito ya que el bobinado este perdiendo propiedades de conductividad eléctrica y este elemento es el más importante porque depende la medida de la corriente que genera este campo al motor controle la velocidad.



**Ilustración 3-9:** Excitador de campo

**Realizado por:** Vargas Jonathan, 2021

### 3.3.3.2. Cableado del motor al variador de frecuencia

El estado del cableado se encuentra con un deterioro de la cubierta de la superficie debido a su uso o a la humedad que recibe el sistema lo cual se encontraba cubierto con cinta aislante color negra la cual se estaba despegando y se observaba el cable en mal estado.



**Ilustración 3-10:** Cable del motor al variador de frecuencia estado inicial

**Realizado por:** Vargas Jonathan, 2021

### 3.3.4. Evaluación de instrumentos de medición

Se realiza una evaluación de conexiones eléctricas y electrónicas del banco de pruebas de la bomba centrífuga que nos detalla en la Tabla 3-7 mediante cada uno de sus elementos y las observaciones que se hacen para la ejecución del mantenimiento.

**Tabla 3-7:** Estado de instrumentos de medición

Estado instrumentos de medición			
Elemento	Bien	Revisión	Observaciones
Vacuómetro	X		
Manómetro de mercurio (succión)		X	
Manómetro de mercurio (descarga)		X	
Tacómetro		X	No funciona
Venturímetro		X	

**Realizado por:** Vargas Jonathan, 2021

Los sistemas de instrumentación se encuentran en buen estado físico en conclusión al tacómetro el cual no nos marca ningún valor en las pruebas de funcionamiento se observa que no nos marcan los rpm de la bomba centrífuga es debido a que la vida útil del instrumento llego a su fin, para lo cual el software de medición se tiene que actualizar mediante la programación en LabVIEW, lo cual mediante las pruebas de funcionamiento encontraremos los errores en mediciones.

Así se encontrarán los errores reales en el sistema del banco de pruebas de la bomba centrífuga, para lo cual las pruebas en tiempo real muestras errores de los valores que nos marcan en el software y en cada uno de los instrumentos de medición.

### 3.4. Realización del mantenimiento del banco de pruebas de la bomba centrífuga.

Se identifico las partes que se deben desmontar del banco de pruebas los cuales son los siguientes mencionados por cada sistema que lo constituye para cada uno de los elementos lo cual se empieza por los siguientes pasos a continuación.

#### 3.4.1. Localización de la maquina

- Bomba centrífuga y sensores del motor y cableado
- Tubería de succión
- Múltiple y mangueras del sistema
- Variador de frecuencia
- Contrapeso del motor



**Ilustración 3-11:** Localización de partes del banco de pruebas

**Realizado por:** Vargas Jonathan, 2022

#### **3.4.2. Identificación previa de la avería**

En la identificación de las averías se encontraron según la revisión del estado inicial del sistema de banco de pruebas de la bomba centrífuga fueron divididos según los sistemas los cuales son:

Averías en el sistema mecánico

Averías en el sistema hidráulico

Averías en el sistema eléctricas y electrónicas

Averías en el sistema de instrumentos de medición

#### **3.4.3. Consulta de catálogos y documentos**

Para sus respectivos mantenimientos en todos los sistemas nos guiamos en las siguientes guías como el manual de usuario y mantenimiento de una bomba centrífuga ISO 2858, lo cual se puede realizar los trabajos de mantenimiento de una forma más ordenada.

#### **3.4.4. Herramientas y materiales**

Las herramientas utilizadas para la realización de cada mantenimiento se observarán en una tabla en cada una de las acciones que se han realizado las cuales se pondrán con una imagen de cada herramienta y materiales utilizados en ese instante.

#### **3.4.5. Sitio de trabajo**

En el sitio de trabajo ocupado, se le retiro las partes se va a desmontar se deben designar un lugar donde podamos trabajar de manera que nos facilite para la realización del mantenimiento de las diferentes partes que requieran para el motor se designó una mesa de trabajo para la realización de su desmontaje de piezas internas y para las otra partes como el variador de frecuencia, múltiple

y tubería de succión se procederá a guardarlos en bodega hasta la realización de sus respectivos mantenimientos.

### **3.4.6. Desmontaje**

Para el desmontaje de cualquier equipo se debe percatar de que o estén desconectados a la alimentación o fuente de poder y se procede al desmontaje del variador de frecuencia es el comienzo que se debe realizar por motivo que es el más sencillo de desmontar por lo cual se desconectaron las conexiones eléctricas en esto se debe tener en cuenta que las conexiones eléctricas a la hora del montaje deben ir de la misma manera por lo cual se recomienda tomar fotos de las conexiones y la utilización de un multímetro para ver la continuidad de las conexiones del mismo y luego a retirar los pernos de sujeción al banco de pruebas para proceder con el desmontaje.



**Ilustración 3-12:** Exitador de campo desmontado

**Realizado por:** Vargas Jonathan, 2022

El desmontaje de la bomba centrífuga se realizó mediante la retirada de los dos sensores que se encuentran en el motor la retirada fue mediante desconectar el cableado de los sensores por lo cual se dirigió a la caja de control y con un desarmador pequeño a retirarlos de manera cuidadosa, la retirada del cable que va del motor hacia el variador de frecuencia, se procedió a retirar el múltiple los cual tenían de los cuatro pernos de anclaje de los cuales se encontraban es estado de oxidación y al no haber forma de retirarlos se procedió a córtalos para la procedencia de desmontar la bomba centrífuga con el motor shunt.



**Ilustración 3-13:** Bomba centrífuga desmontada

**Realizado por:** Vargas Jonathan, 2022

Para el desmontaje del múltiple se retiró las válvulas de los sensores que se encontraba conectado en la tapa de acrílico de la bomba centrífuga para lo cual se retiraron las dos tuercas del múltiple que estaba sujeto al banco de pruebas y se procedió a guardarlos en la bodega.



**Ilustración 3-14:** Múltiple y tubo de succión desmontado

Realizado por: Vargas Jonathan, 2022

Una vez retirado el múltiple se procede a retirar los pernos de sujeción de la tubería de succión y la conexión del tubo de succión a la bomba lo cual estaba roto y se procedió a desmontar y retirar.



**Ilustración 3-15:** Desmontaje de elementos del banco de pruebas

Realizado por: Vargas Jonathan, 2022

El banco de pruebas de la bomba centrífuga desmontada se puede observar en la Ilustración 3-15 ya retirado todos los elementos que eran necesarios para proceder con los mantenimientos respectivos por cada uno de los sistemas.

#### **3.4.7. Herramientas y materiales para el desmontaje de las partes del banco de pruebas**

Se representa mediante las tablas los materiales utilizados en los diferentes mantenimientos realizados como: los cuales kit de juego de dados fueron utilizados para el desmontaje del motor retirando los pernos de anclaje, la llave inglesa se ocupó debido a la obstrucción de espacio para la sujeción de las tuercas en el múltiple y en el variador de frecuencia, el aflojador de tornillos un spray muy importante por lo que las tuercas estaban oxidadas y se encontraban trabadas, la llave

número 8 se ocupó para retirar parte metálica que cubría el sensor de peso del motor.

**Tabla 3-8:** Herramientas y materiales para el desmontaje de las partes del banco de pruebas

Kit de juego de dados y desarmador estrella y plano	
Llave inglesa	
Aflojador de tornillo	
Llaves numero 8	

Realizado por: Vargas Jonathan, 2022

#### 3.4.8. *Desarmado*

El proceso de desarmado se mostrará en los mantenimientos de acuerdo a cada sistema del banco de pruebas de la bomba centrífuga lo cual se observa que la bomba centrífuga es el equipo debido a que se debe corregir los problemas del estado de situación inicial que es de revisar el impulsor de la bomba y la revisión de los elementos del motor y luego proceder a la revisión de los otros elementos como el variador de frecuencia, el múltiple y las conexiones hidráulicas así como las conexiones de la caja de control.

#### 3.4.9. *Lavado*

El procedimiento de limpieza de cada una de las partes es de mucha importancia para realizarlo un trabajo con pulcritud y de manera adecuado, cada componente tiene que estar limpio para proceder con el mantenimiento respectivo.

#### 3.4.10. *El órgano dañado*

- La pieza para reparar (la identificación de la pieza a realizar un mantenimiento que vuelva a poner al elemento a recuperar su vida útil).
- Cambio total (cuando el elemento culmino su vida útil se procederá a realizarlo este paso de remplazarlo por uno nuevo).

### 3.5. Mantenimiento por componentes del sistema hidráulico

Se realiza cada uno de los mantenimientos de los elementos del sistema hidráulico como se observa en la Tabla 3-9 a continuación, según su estado y el motivo por el cual cada elemento requiere una revisión.

**Tabla 3-9:** Mantenimiento general del sistema hidráulico

<b>Mantenimiento banco de pruebas de la bomba centrífuga</b>			
<b>Sistema hidráulico</b>			
<b>Elemento</b>	<b>Estado</b>	<b>Motivo</b>	<b>Mantenimiento</b>
Válvula de drenaje	Revisión	Corrosión	Correctivo y preventivo
Tubería de descarga	Revisión	Fuga por mal unión	Correctivo
Válvula de cierre rápido en la succión	Bien		Preventivo
Tubería de succión de 2" de diámetro	Revisión	Fuga por deterioro	Correctivo y preventivo
Válvula de descarga	Revisión	Corrosión	Correctivo y preventivo
Venturi	Bien		Preventivo
Múltiple	Bien		Preventivo
Tanque reservorio	Revisión	Cal en paredes del tanque	Correctivo y preventivo

**Realizado por:** Vargas Jonathan, 2022

#### 3.5.1. Mantenimiento de la válvula de drenaje

La válvula de drenaje presenta un estado de corrosión debido al contacto con el agente oxidante que en este caso es el agua para lo cual se necesita un mantenimiento para corregir la corrosión de esta válvula, al utilizar la válvula de drenaje que se encontraba trabada debió a que permaneció mucho tiempo si ser abierta y por ese motivo no se podía abrir de manera fácil.

**Tabla 3-10:** Mantenimiento general de válvula de drenaje

<b>Mantenimiento del banco de pruebas de la bomba centrífuga</b>	
<b>Proceso para el mantenimiento</b>	
<b>Conjunto</b>	Sistema Hidráulico
<b>Componente</b>	Válvula de drenaje
<b>Trabajo por realizar</b>	
Habilitar la válvula de drenaje retirada del oxido	
Lubricación de válvula con un 3 en 1	

**Realizado por:** Vargas Jonathan, 2022

##### 3.5.1.1. Mantenimiento correctivo y preventivo

Limpeza con un desoxidante para la oxidación y mediante la realización de movimientos con una llave inglesa para poder abrir la válvula.

Engrase de la válvula con un 3 en uno (lubricante, desoxidante y limpiador) utilizando este paso se mantendrá la válvula por un periodo más largo con una adecuada lubricación para facilitar la abertura de esta, a la hora de drenar el agua del tanque.

**Tabla 3-11:** Materiales para mantenimiento de válvula de drenaje

Desoxidante	
Engrase 3 en 1 lubricante de tuercas	
Llave inglesa	

Realizado por: Vargas Jonathan, 2022

### 3.5.2. *Mantenimiento de la tubería de descarga*

Los mantenimientos de la tubería de descarga según la Tabla 3-12 se ejecutaron mediante los trabajos a realizar los cuales se procede con un mantenimiento correctivo y preventivo para cada uno de estos se detalla los materiales utilizados.

**Tabla 3-12:** Mantenimiento general de la tubería de descarga

Mantenimiento del banco de pruebas de la bomba centrífuga	
Proceso para el mantenimiento	
Conjunto	Sistema Hidráulico
Componente	Tubería de descarga
Trabajo por realizar	
Limpieza de la tubería	
Reparar fugas en la tubería	

Realizado por: Vargas Jonathan, 2022

#### 3.5.2.1. *Mantenimiento correctivo*

Limpieza de la tubería de descarga con una franela, con el equipo en funcionamiento marcar donde existan las fugas se verificar toda la línea que conforma la descarga, se quitan todos los residuos anteriores de pegante de tubería en donde se marcaron que existan fugas debido a que las uniones de las tuberías es en donde más pueden encontrarse, se deben fijarse en cada una de ellas en toda la tubería de descarga, una vez concluido esto se procederá a la aplicación de pegamento en la fuga de la línea de descarga, lo cual se utilizó pega tubo debido a que la tubería es de PVC.



**Ilustración 3-16:** Tubería de descarga

Realizado por: Vargas Jonathan, 2022

**Tabla 3-13:** Materiales usados para mantenimiento de la tubería de descarga

Franela	
Pega tubo	

Realizado por: Vargas Jonathan, 2022

### 3.5.2.2. *Mantenimiento preventivo*

Revisión periódica del equipo chequear que no exista fugas en la línea de descarga una vez puesto en marcha el banco de pruebas se puede verificar que en las uniones no exista salida del fluido debido a que el pegamento puede salirse debido al ambiente de trabajo.

### 3.5.3. *Mantenimiento general de la válvula de cierre rápido*

Para los trabajos a realizar según la Tabla 3-14 a chequear que no exista fugas en la válvula de cierre rápido en la succión, lo cual, con el equipo en funcionamiento, se observó que existían fugas en lo cual se procedió a poner teflón en las uniones del roscado de la válvula con la tubería de succión hasta asegurarse que ya no existan fugas, para mantener bien sellada la unión se verifico mediante una revisión periódica cada que se utilizó el equipo para hacer las pruebas.

**Tabla 3-14:** Mantenimiento general de la válvula de cierre rápido

Mantenimiento del banco de pruebas de la bomba centrífuga	
Proceso para el mantenimiento	
Conjunto	Sistema Hidráulico
Componente	Válvula de cierre rápido en la succión
Trabajo por realizar	
Corregir fugas	

Realizado por: Vargas Jonathan, 2022

### 3.5.4. *Mantenimiento de la tubería de succión de 2" de diámetro*

Los trabajos para realizar según la Tabla 3-15 se ejecutaron según cada una de las acciones de mantenimiento, debido a que se debe realizar el diseño y construcción de la tapa acrílica de la bomba se detalla a continuación en el mantenimiento correctivo.

**Tabla 3-15:** Mantenimiento general de tubería de succión de 2" de diámetro

Mantenimiento del banco de pruebas de la bomba centrífuga	
Proceso para el mantenimiento	
Conjunto	Sistema Hidráulico
Componente	Tubería de succión de 2" de diámetro
Trabajos por realizar	
Limpieza de tubería	
Diseño y construcción de tapa de bomba de acrílico	

Realizado por: Vargas Jonathan, 2022

#### 3.5.4.1. *Mantenimiento correctivo*

Limpieza de tubería y retirada de residuos de pegante de tubería, retirada de la tapa de acrílico, para lo cual se encontraron muchos inconvenientes ya que la anterior tapa al no poderse retirar se procedió a romperla para realizar el mantenimiento del impulsor de la bomba, ya que el material no se podía calentar con una pistola de calor para retirarlo, con un taladro se procedió a romperlo con cuidado debido a que si no tenemos la más debida precaución se podría causar danos a la parte del impulsor, construcción de otra tapa de acrílico de la bomba centrífuga lo cual se procedió a tomar las medidas adecuadas para el corte en una máquina de corte de planchas de acrílico.



**Ilustración 3-17:** Construcción de tapa de acrílico para la bomba

Realizado por: Vargas Jonathan, 2022

Medición de tubería de acrílico para corte y aplicación de pegamento con una unión PVC de 2" de diámetro con la tapa de acrílico y la colocación de la tapa de acrílico en la bomba y unión de la tubería de acrílico con pegamento especial para que no exista fugas.

Lo cual se realiza cuatro roscados interiores en la tapa del acrílico para la bomba lo cuales se utilizarán para las diferentes válvulas del múltiple lo que se utilizó la fórmula para escoger los

machuelos y la broca adecuada.

$$D_b = d_n - 0.96P \quad (16)$$

Donde:

$D_b$ = Diámetro de broca,  $d_n$ = Diámetro nominal

P= Paso

$$10mm = 11mm - 0.96P$$

$$P = 0.583 mm$$

**Tabla 3-16:** Materiales utilizados para mantenimiento de la tubería de succión de 2" de diámetro

Plancha de acrílico	
Pega tanque	
Unión PVC 2"	
Machuelos	
Calibrador	
Taladro y brocas	

Realizado por: Vargas Jonathan, 2022

#### 3.5.4.2. *Mantenimiento preventivo*

Revisión periódica cada que se utilice el equipo chequear que no exista fugas en la línea de succión.

#### 3.5.5. *Mantenimiento de la válvula de descarga*

Se observa los trabajos a realizar según la Tabla 3-17 para el mantenimiento. Los cuales se empezó con la limpieza de la válvula de descarga con una lija fina para retirar la corrosión y después la aplicación de un desoxidante anticorrosivo.

**Tabla 3-17:** Mantenimiento general de la válvula de descarga

Mantenimiento del banco de pruebas de la bomba centrífuga	
Proceso para el mantenimiento	
Conjunto	Sistema Hidráulico
Componente	Válvula de descarga
Trabajo por realizar	
Retirada de la corrosión de la válvula	
Pintar la válvula	

Realizado por: Vargas Jonathan, 2022

Para la pintura se esperó unos 30 minutos después de la aplicación del desoxidante y se procedió a pintar con una pintura negra para metales al alrededor de la válvula.



**Ilustración 3-18:** Válvula de descarga

Realizado por: Vargas Jonathan, 2022

**Tabla 3-18:** Materiales utilizados para el mantenimiento válvula de descarga

Lija	
Desoxidante	
Pintura negra	

Realizado por: Vargas Jonathan, 2022

### 3.5.6. *Mantenimiento del tanque reservorio*

Antes de los trabajos a realizar según la Tabla 3-19 se debe limpiar la superficie con una solución de jabón suave o alcohol mineral, y luego quitar los residuos con agua limpia.

**Tabla 3-19:** Mantenimiento general de tanque reservorio

Mantenimiento del banco de pruebas de la bomba centrífuga	
Proceso para el mantenimiento	
Conjunto	Sistema Hidráulico
Componente	Tanque reservorio
Trabajos para realizar	
Retirar cal de paredes y pintar la fibra de vidrio	

Realizado por: Vargas Jonathan, 2022

### 3.5.6.1. Mantenimiento correctivo

Con la amoladora y la grata se utilizará para sacar la cal del agua que se encuentra impregnada como una capa gruesa en las paredes del tanque reservorio, se lija muy bien la fibra de vidrio, luego se lija muy bien la superficie, se puede utilizar granos de lija cada vez más finos, toca lijar la superficie hasta que sea agradable al tacto, y algo muy importante que debes recordar siempre es que cuanto más lijes la superficie más suave quedará, claro está ya es decisión de cada persona qué tan gruesa o delgada quiere la lámina, se realiza la mezcla de la pintura epóxica y el sellante, cuando vamos a pintar sobre fibra de vidrio se debe buscar la pintura correcta, una que trabaje bien con este tipo de material.

**Tabla 3-20:** Materiales utilizados para el mantenimiento del tanque reservorio

Amoladora con grata fina	
Lija 120	
Una solución de jabón suave o alcohol mineral	
Compresor	
Brocha o pistola rociadora	
Pintura específica	

**Realizado por:** Vargas Jonathan, 2022

Al realizar la pintura del tanque reservorio se procede a pintar con pistola de pintar y un compresor, ya que la superficie no es plana y no se puede utilizar rodillo, con una mano de pintura es suficiente, pero se procedió colocar dos manos de pintura sobre la superficie para lograr un buen acabado.



**Ilustración 3-19:** Mantenimiento del tanque reservorio

**Realizado por:** Vargas Jonathan, 2022

Para todo este proceso el material al cual se le va a aplicar la pintura debe ser preparado debidamente, al igual que cualquier otra superficie que deseemos pintar, para lograr el mejor resultado cuando se ocupa la pintura epóxica se deben seguir las indicaciones del fabricante de la pintura ya que se debe mezclar la pintura con un resina especial, esto en este tipo de material, la cual forma un recubrimiento de color, brillo y de alta resistencia al agua, esta es una pintura de alto poder de recubrimiento para la fibra de vidrio ya que no se despinta o se trisa en este material.

### 3.5.6.2. *Mantenimiento preventivo*

Utilización de un filtro de agua para el llenado del tanque reservorio para prevenir la calcificación en el tanque reservorio, realizar la pintura del tanque reservorio dependiendo el estado de la pintura del tanque.

### 3.5.7. *Mantenimiento por componentes del sistema mecánico*

Se realiza el mantenimiento por cada uno de los sistemas mecánicos del banco de pruebas, como la bomba centrífuga es la que se debe desarmar por completo para corregir las fallas del equipo y verificar su correcto funcionamiento, esto se detalló en los trabajos a realizar de cada una de las partes como el impulsor, el sello mecánico, la carcasa de la bomba centrífuga y la revisión de los rodamientos.

### 3.5.8. *Mantenimiento general de la bomba centrífuga*

Ubicamos un sitio de trabajo para la realización del mantenimiento de la bomba para su desmontaje lo cual se le ubico en una mesa que soporte la bomba para utilizarla todo esto se debe hacer para mejorar la utilización de las herramientas de trabajo para que tener el espacio suficiente para la realización de las acciones de mantenimiento.

**Tabla 3-21:** Mantenimiento general del impulsor de la bomba

<b>Mantenimiento del banco de pruebas de la bomba centrífuga</b>	
<b>Proceso para el mantenimiento</b>	
<b>Conjunto</b>	Sistema mecánico
<b>Componente</b>	Bomba centrífuga con purgador de aire y cebado (impulsor)
<b>Trabajo por realizar</b>	
Revisión de rodamientos del motor	
Revisión del sello mecánico	
Retirada de oxido del impulsor	
Retirada del oxido de la carcasa	
Pintura de la bomba centrífuga	

Realizado por: Vargas Jonathan, 2022

### 3.5.8.1. Localización de la maquina

Se identifico la ubicación de la bomba centrífuga para que se le realice su respectivo mantenimiento de acuerdo con el estado de situación inicial del equipo.



**Ilustración 3-20:** Bomba centrífuga para el mantenimiento

**Realizado por:** Vargas Jonathan, 2022

### 3.5.8.2. Identificación previa de la avería

Mediante el estado de situación inicial se identificó que tiene una oxidación el impulsor de la bomba también la carcasa de la bomba, por no haberle dado un previo mantenimiento y por la dureza del agua que pasa por el sistema del banco de pruebas.



**Ilustración 3-21:** Identificación del impulsor

**Realizado por:** Vargas Jonathan, 2022

### 3.5.8.3. Desmontaje

Una vez que se desmonto la bomba del banco de pruebas se realiza con la siguiente intervención que es el desarmado de la bomba y el mantenimiento.



**Ilustración 3-22:** Desmontaje de la bomba centrífuga del banco de pruebas

**Realizado por:** Vargas Jonathan, 2022

#### 3.5.8.4. Herramientas y materiales usados

Todos los materiales y herramientas se detallan en cada una de las acciones que se van ejecutando en el desarmado de la bomba centrífuga, así como en el armado de esta una vez concluido las acciones correctivas en el equipo.

**Tabla 3-22:** Materiales y herramientas para el mantenimiento de la bomba centrífuga

Extractor de rodamiento		Pistola de pintar	
Wd-40		Pintura para la bomba	
Aceite multiuso		Grasa de litio	
Lija		Llaves de dados (Dado de 3/4)	

Realizado por: Vargas Jonathan, 2022

#### 3.5.8.5. Desarmado

Retirada de rodamiento del eje del motor con un extractor de rodamiento

Sujeción del eje del motor con una llave de tubo

Aplicación de WD-40 en el tornillo del eje

Retirar el tornillo del eje del impulsor de la bomba con un dado de 3/4

Retirada de la bomba de la bomba retirando los 4 tornillos posteriores con una llave hexagonal

Retirada del impulsor



**Ilustración 3-23:** Desarmado de la bomba centrífuga del banco de pruebas

Realizado por: Vargas Jonathan, 2022

#### 3.5.8.6. Mantenimiento correctivo

Lijar el impulsor para quitar la oxidación.

Utilización de líquido desoxidante sobre el impulsor del eje

Procedemos a quitar el óxido con una grata fina para la remoción más adecuada

Procedemos a sustituir la tuerca del eje del impulsor por su deterioro

#### 3.5.8.7. *El órgano dañado*

La pieza para reparar era el impulsor de la bomba centrífuga debido a la corrosión en el sistema ya que al momento de retirar la tapa acrílica de la bomba centrífuga se observó un estado invasivo de oxidación.



**Ilustración 3-24:** Impeler realizado el mantenimiento

**Realizado por:** Vargas Jonathan, 2022

El cambio total la tuerca del eje de la bomba que sujeta el impulsor, debido a que estaba trabado con el eje del impulsor que al momento de utilizar la llave de dado número 22 no se pudo retirar y se sujetó con un playo el cual deterioro por completo la tuerca.



**Ilustración 3-25:** Tuerca dañada

**Realizado por:** Vargas Jonathan, 2022

#### 3.5.8.8. *Armado del sello mecánico*

Para el armado se procedió a la utilización de las herramientas adecuadas que se utilizaron en el desmontaje y con sus piezas respectivamente realizadas su mantenimiento e inspección de daños y una limpieza y lubricación. Procedemos a montar el impulsor en la bomba y la bomba en con el motor (antes de realizar este paso revisión del motor de la bomba centrífuga), Revisión y sustitución del sello mecánico del motor con la bomba centrífuga.



**Ilustración 3-26:** Armado de sello mecánico

**Realizado por:** Vargas Jonathan, 2022

#### 3.5.8.9. *Armado de la bomba centrífuga*

El armado de cada parte constitutiva que se desarmó en el caso de la bomba centrífuga fue realizado como la tapa de acrílico y retirada de impulsor el sello mecánico.

Después del armado de la bomba centrífuga se procede a pintar con una pintura anaranjada para la bomba tenga un aspecto más estético y su aumentar su vida útil.



**Ilustración 3-27:** Pintura de bomba centrífuga

**Realizado por:** Vargas Jonathan, 2022

#### 3.5.8.10. *Mantenimiento preventivo*

Lubricación del rodamiento del motor

Una vez realizado el montaje de la bomba procedemos a lijar y pintar la bomba para dejarle con un mejor acabado y protegiéndole de la oxidación en pequeñas partes que no estaban pintadas.

#### 3.5.9. *Montaje*

Una vez realizado todos los mantenimientos en el banco de pruebas el montaje de todos los elementos se procede de manera inversa a la que desmontamos la última pieza desmontada, va a ser la primera así sucesivamente hasta tener todo el banco de pruebas totalmente montado por completo.



**Ilustración 3-28:** Montaje de banco de pruebas finalizado

Realizado por: Vargas Jonathan, 2022

### 3.6. Actualización del tablero de control de la bomba centrífuga

El gabinete de la DAG se encuentra el NI 9201 el cual nos mide señales analógicas puras la cual tiene la entrada desde el 0 hasta el 9 y una última entrada para el común lo cual van conectadas de la siguiente forma:

Entrada 0 la presión de succión lo cual mide en señales de voltaje

Entrada 1 presión de descarga lo cual mide en señales de voltaje

Entrada 2 sensor de peso lo cual mide en señal de corriente

La última entrada es el común o que va puentado a toda la DAQ de ese gabinete



**Ilustración 3-29:** Tablero de control actualizado

Realizado por: Vargas Jonathan, 2022

NI 9401 nos mide las señales digitales como es el sensor de caudal que va de señales de 0V a 5V cada pulso que me da la paleta del Venturi me manda 5V, y también está conectado el sensor del rpm cada 2 de medidas o cada vuelta que mida el sensor me manda 10V a la placa que se observa en la Ilustración 3-29, que mediante el optoacoplador 4N25 el cual recibe los 10V y nos envía a la salida los 5V a la DAQ NI9401 y todas las fuentes a GND.



**Ilustración 3-30:** Placa de adquisición de datos

Realizado por: Vargas Jonathan, 2022

En la placa encontramos la entrada de 24V lo cual entra al DC-DC MP1584 para que nos entregue los 10V y 5V respectivamente que se regula mediante el potenciómetro que tiene el integrado, el integrado CI 74LS14 es para rectificar la señal que nos envía 0V y 5V esto para rectificar la señal que nos envía el sensor de caudal, el led verde nos indica si el equipo está encendido y el led azul nos ayuda ver si está detectando los rpm.

De ahí se cuenta con un potenciómetro de precisión (POT) lo cual el diagrama de la DAQ nos dice el que el sensor de peso tenemos que ponerle una resistencia de 120 ohmios lo cual conectamos directamente a las entradas M- y M+.

### 3.7. Calibración de instrumentos

Para la calibración de los instrumentos se procede a la toma de datos de la presión y los voltajes que nos darán una línea de tendencia de los valores tomados.

La calibración de estos sensores se da mediante el cálculo de la ecuación característica para determinar su comportamiento, a la ecuación que determina la razón de cambio en la variable de salida, esto generalmente de índole físico o inversamente, el cálculo de la razón de cambio de la variable de entrada. Lo cual para la calibración se procede a instalar los transductores de presión con los manómetros a través de la bomba damos valores de presión, como se va observando en un patrón mientras el valor del voltaje correspondiente se va registrando a la salida del transductor en la interfaz del LabVIEW en el computador que tiene la programación. Una vez obtenidos los valores se va a realizar las gráficas de voltaje vs presión para la comprobación.

Con los valores determinados se encuentra la ecuación característica que representa el valor de las presiones a cierto valor de voltaje.

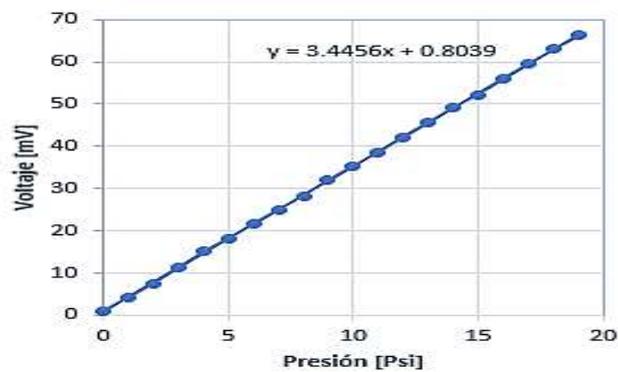
**3.7.1. Calibración del Transductor de Presión de la serie PX 302**

**Tabla 3-23:** Calibración de transductor de presión PX 302

Presión [Psi]	Voltaje [mV]	Presión [Psi]	Voltaje [mV]
0	0.89	10	38,4
1	4.1	11	42,15
2	7.3	12	45,60
3	11.22	13	49,15
4	15.11	14	52,15
5	18.15	15	55,10
6	21.66	16	58,50
7	24.77	17	62,95
8	28.2	18	65,20
9	31.9	19	69,20

Realizado por: Vargas Jonathan, 2022

La Ilustración 3-31 indica la línea de tendencia de los valores tomados del transductor de presión PX 302.



**Ilustración 3-31:** Voltaje vs Presión de transductor de presión PX 302

Realizado por: Vargas Jonathan, 2022

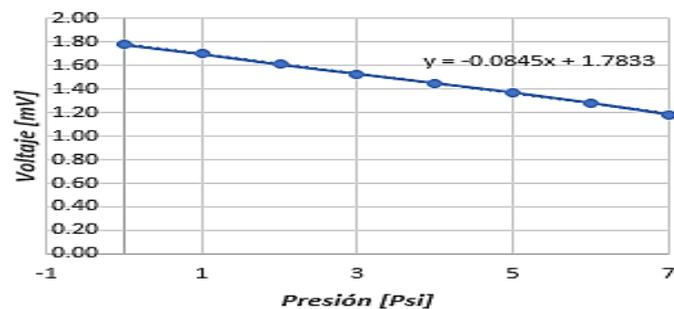
**3.7.2. Calibración del Transductor de Presión de la serie PX 209**

**Tabla 3-24:** Calibración del Transductor de Presión de la serie PX 209

Presión [Psi]	Voltaje [mV]
0	1.78
1	1.70
2	1.61
3	1.53
4	1.45
5	1.37
6	1.28
7	1.18

Realizado por: Vargas Jonathan, 2022

La Ilustración 3-32 indica la línea de tendencia de los valores tomados del Transductor de Presión de la serie PX.



**Ilustración 3-32:** Voltaje vs Presión de Transductor de Presión de la serie PX 209

Realizado por: Vargas Jonathan, 2022

### 3.8. Cálculo tipo

Para los cálculos los datos fueron tomados del banco de pruebas de la bomba centrífuga en funcionamiento para ver el trabajo realizado según sus revoluciones del motor y los datos técnicos del equipo.

#### 3.8.1. Cálculo de la potencia del motor y la eficiencia

Se procede a realizar los cálculos mediante los siguientes datos técnicos del banco de pruebas y variables medidas, con 1700 rpm que trabaja la bomba centrífuga.

#### Datos para realización del cálculo:

Diámetro de succión  $D_s = 2'' = 0,0508\text{m}$

Diámetro de descarga  $D_d = 1,5'' = 0,0381\text{m}$

Brazo del motor  $d = 0,25\text{ m}$

#### Variables medidas

Presión de Descarga  $PD = 9,28\text{ m.c.a}$

Presión de Succión  $PS = 3,61\text{ m.c.a}$

Caudal  $Q = 4,27\text{ Lt/s} = 0,00427\text{ m}^3/\text{s}$

Velocidad del motor de la bomba  $N = 1710\text{ RPM (1700 rpm)}$

Fuerza ejercida por el brazo del motor  $F = 0,51\text{ kg}$

### **Cabeza diferencial de la bomba ( $H_m$ )**

Mediante las siguientes formulas a continuación se procede a calcular:

$$\frac{P_S}{\gamma} + \frac{V_S^2}{2g} + Z_S + H_m = \frac{P_D}{\gamma} + \frac{V_D^2}{2g} + Z_D$$

$$H_D = \frac{P_D}{\gamma}$$

$$H_S = \frac{P_S}{\gamma} Z_D - Z_S \approx 0$$

La variación de altura se calcula mediante la ecuación:

$$\Delta H = 9,28 - (-3,61)$$

$$\Delta H = 12,89m$$

$$B = \frac{8 * (D_S^4 - D_D^4)}{\pi^2 * g * D_S^4 * D_D^4}$$

$$B = \frac{8 * (0,0508^4 - 0,0381^4)}{\pi^2 * 9,8 * 0,0508^4 * 0,0381^4}$$

$$B = 26834,57467s^2/m^5$$

Donde remplazamos:

$$H_m = \Delta H + (B * Q^2)$$

$$H_m = 12,89 + (26834,57467 * 0,00427^2)$$

$$H_m = 12,89 + (0,489)$$

$$H_m = 13,379m$$

Dónde:

H m = Altura generada o cabeza manométrica de la bomba

B = Constante que relaciona los diámetros de succión y descarga

**Potencia útil o hidráulica ( $P_u$ )**

$$P_u = \frac{\gamma * Q_R * H_m}{75} (CV)$$

Dónde:

$P_u$  = Potencia Útil

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

$\gamma$  = Peso específico (1000kg/m<sup>3</sup>)

$H_m$  = Cabeza manométrica [m.c.a]

$$P_u = \frac{1000 * 0,00427 * 13,379}{75} (CV)$$

$$P_u = 0.762(CV)$$

**Potencia de accionamiento ( $P_a$ ):**

Se calcula la potencia de accionamiento mediante 1700 rpm

$$P_a = 0,00427 * F * d * N_m$$

Donde:

F = Fuerza [kg]

d = Diámetro del brazo del motor

N m = Velocidad del motor de la bomba [rpm]

$$P_a = 0,00427 * 0,51 * 0,25 * 1700$$

$$P_a = 0,926CV$$

### Eficiencia total ( $\eta_T$ ):

Se calcula la eficiencia total mediante la ecuación:

$$\eta_T = \frac{P_u}{P_a} * 100$$

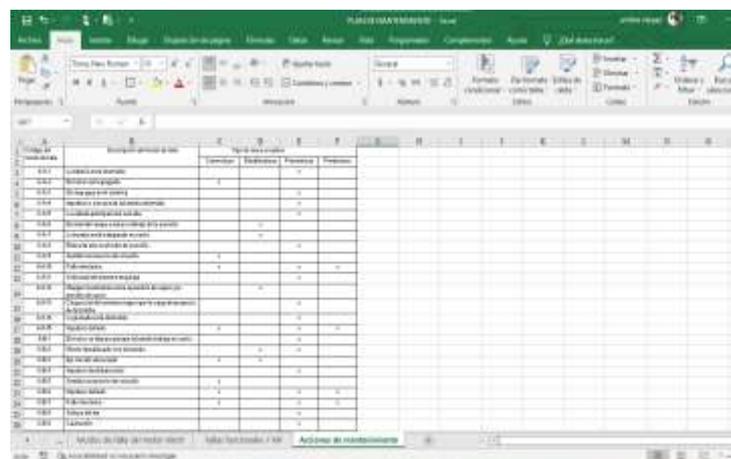
$$\eta_T = \frac{0,762}{0,926} * 100$$

$$\eta_T = 82,22\%$$

### 3.9. Elaboración del plan de mantenimiento y manual de funcionamiento

El plan de mantenimiento se realizó mediante un documento Excel para el banco de pruebas de la bomba centrífuga donde se detalla las acciones a realizar, así como los modos de falla de los elementos que los compone la bomba centrífuga.

Para este plan nos guiamos en la función que cumple cada una de las partes constitutivas del banco de pruebas así como una codificación de las fallas funcionales que pueden generarse así como la codificación del modo de fallas y la descripción del modo de fallas así con el código de los modos de fallas se ve que acciones a tomar según cada caso, para lo cual se va a incluir las actividades de mantenimiento según lo programado ya que esto ayudara a los equipos a alargar su vida útil mediante la planificación de estas acciones y así reducir las averías y que el equipo este operativo en los momentos de realizar las prácticas en el laboratorio.



Modo de falla	Descripción de la falla	Acciones de mantenimiento	Frecuencia
1.01.1	Falta de energía eléctrica	Verificar el cableado y la conexión a la red eléctrica.	Antes de cada uso
1.01.2	Falta de agua en el sistema	Verificar el nivel de agua en el tanque y reponer si es necesario.	Antes de cada uso
1.01.3	Falta de aceite en el motor	Verificar el nivel de aceite y reponer si es necesario.	Antes de cada uso
1.01.4	Falta de presión de agua	Verificar el flujo de agua y la configuración de la bomba.	Antes de cada uso
1.01.5	Falta de temperatura de agua	Verificar el flujo de agua y la configuración de la bomba.	Antes de cada uso
1.01.6	Falta de velocidad de rotación	Verificar el nivel de aceite y la configuración del motor.	Antes de cada uso
1.01.7	Falta de vibración en el eje	Verificar el nivel de aceite y la configuración del motor.	Antes de cada uso
1.01.8	Falta de ruido en el motor	Verificar el nivel de aceite y la configuración del motor.	Antes de cada uso
1.01.9	Falta de temperatura del motor	Verificar el nivel de aceite y la configuración del motor.	Antes de cada uso
1.01.10	Falta de presión de aceite	Verificar el nivel de aceite y la configuración del motor.	Antes de cada uso
1.01.11	Falta de temperatura de aceite	Verificar el nivel de aceite y la configuración del motor.	Antes de cada uso
1.01.12	Falta de velocidad de rotación del eje	Verificar el nivel de aceite y la configuración del motor.	Antes de cada uso
1.01.13	Falta de vibración en el eje	Verificar el nivel de aceite y la configuración del motor.	Antes de cada uso
1.01.14	Falta de ruido en el motor	Verificar el nivel de aceite y la configuración del motor.	Antes de cada uso
1.01.15	Falta de temperatura del motor	Verificar el nivel de aceite y la configuración del motor.	Antes de cada uso
1.01.16	Falta de presión de aceite	Verificar el nivel de aceite y la configuración del motor.	Antes de cada uso
1.01.17	Falta de temperatura de aceite	Verificar el nivel de aceite y la configuración del motor.	Antes de cada uso
1.01.18	Falta de velocidad de rotación del eje	Verificar el nivel de aceite y la configuración del motor.	Antes de cada uso
1.01.19	Falta de vibración en el eje	Verificar el nivel de aceite y la configuración del motor.	Antes de cada uso
1.01.20	Falta de ruido en el motor	Verificar el nivel de aceite y la configuración del motor.	Antes de cada uso
1.01.21	Falta de temperatura del motor	Verificar el nivel de aceite y la configuración del motor.	Antes de cada uso
1.01.22	Falta de presión de aceite	Verificar el nivel de aceite y la configuración del motor.	Antes de cada uso
1.01.23	Falta de temperatura de aceite	Verificar el nivel de aceite y la configuración del motor.	Antes de cada uso
1.01.24	Falta de velocidad de rotación del eje	Verificar el nivel de aceite y la configuración del motor.	Antes de cada uso
1.01.25	Falta de vibración en el eje	Verificar el nivel de aceite y la configuración del motor.	Antes de cada uso
1.01.26	Falta de ruido en el motor	Verificar el nivel de aceite y la configuración del motor.	Antes de cada uso
1.01.27	Falta de temperatura del motor	Verificar el nivel de aceite y la configuración del motor.	Antes de cada uso
1.01.28	Falta de presión de aceite	Verificar el nivel de aceite y la configuración del motor.	Antes de cada uso
1.01.29	Falta de temperatura de aceite	Verificar el nivel de aceite y la configuración del motor.	Antes de cada uso
1.01.30	Falta de velocidad de rotación del eje	Verificar el nivel de aceite y la configuración del motor.	Antes de cada uso

**Ilustración 3-33:** Plan de mantenimiento

Realizado por: Vargas Jonathan, 2022

Se detalla el manual de funcionamiento en la siguiente Tabla 3-25, también el proceso de encendido del equipo para una correcta operación.

**Tabla 3-25: Manual de funcionamiento**

<b>BANCO DE PRUEBAS DE LA BOMBA CENTRÍFUGA</b>	
<b>Funcionamiento</b>	<b>Proceso de encendido</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Este tipo de bombas aceleran el líquido por las paletas del impulsor, la caja está diseñada para retardar gradualmente el líquido y esto aumenta la presión en el orificio de descarga.</li> <li>• Esta bomba es de simple etapa, con un impulsor simple abierto el cual, rota en una carcasa de espiral, el fluido entra axialmente a través del ojo y pasa hacia el espiral, se descarga alrededor de la circunferencia del impulsor en la carcasa.</li> <li>• Como el líquido pasa a través del impulsor, la energía es impartida a este por los alabes que forman parte del impulsor, como resultado el fluido deja el impulsor con un incremento de presión y velocidad.</li> </ul> <p>Si el aire entra a las líneas o accesorios reducirá la presión y detendrá el bombeo.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Conectar motor a la fuente de alimentación trifásica, así como los instrumentos para su práctica correspondiente</li> <li>2. Cerrar completamente la válvula de descarga para asegurar que se posibilite el cebado de la bomba.</li> <li>3. Insertar el bulbo succionador y cebar la bomba.</li> <li>4. Realizar balance estático del motor</li> <li>5. Encender la bomba y calibrar a la velocidad deseada pero dentro del rango admisible (0-3000 rpm numeral).</li> <li>6. Abrir la válvula de descarga totalmente</li> <li>7. Realizar el balance dinámico (poner pesas).</li> <li>8. Tomar los datos correspondientes a presión, velocidad angular</li> <li>9. Pulsar el switch de apagado</li> <li>10. Ubicar las herramientas utilizadas en el lugar asignado (Bodega del laboratorio)</li> <li>11. Secar las piezas de la Bomba Centrífuga</li> <li>12. Desconectar la fuente de suministro eléctrico Realizar los cálculos de acuerdo con la Guía de laboratorio</li> </ol>
<b>Seguridad</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Antes de conectar el equipo al suministro eléctrico, verificar que sea el voltaje correspondiente.</li> <li>2. Desconectar el equipo antes de los trabajos de mantenimiento.</li> <li>3. Los estudiantes deben manejar el equipo en presencia del ayudante o jefe de laboratorio.</li> <li>4. No dejar caer líquidos en partes eléctricas.</li> <li>5. En partes pintadas, de acrílico o PVC no usar solventes fuertes.</li> <li>6. Engrasar los rodamientos para evitar sobrecalentamientos.</li> <li>7. Tener mucho cuidado con las partes en movimiento para evitar accidentes.</li> </ol>	

**Realizado por:** Vargas Jonathan, 2022

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS

#### 4.1. Análisis de resultados las fallas del sistema hidráulicos

En la línea de succión la tapa de la bomba se encontraba solo pegada con un pegamento no adecuado lo cual provoco que se partiera en el momento del desmontaje de la bomba del banco de pruebas y esto ocasionaba que existieran fugas por lo cual se realizó otra tapa de bomba ya que el momento de retirarla se trizo y por ende tocó romperla, lo cual se realizó una nueva tapa de acrílico que se le incorporo un tubo PVC de 2 pulgadas lo cual nos ayuda a unir el tubo de acrílico con la tapa de la bomba y así no existieran fugas.



**Ilustración 4-1:** Resultado de la línea de succión

Realizado por: Vargas Jonathan, 2022

El tanque reservorio se encontraba calcificado por la dureza del agua se encuentra contaminada y tiene mucha cal que hizo que se pegue a las paredes del tanque lo cual se procedió a pintar con pintura episol que es una pintura especial para fibra de vidrio ya que de ese material esta hecho el tanque reservorio una vez pintado con esta pintura el tanque reservorio quedo en óptimas condiciones para usarlo lo cual alargamos la vida útil de la fibra de vidrio del banco de prueba.



**Ilustración 4-2:** Resultado del tanque reservorio

Realizado por: Vargas Jonathan, 2022

## 4.2. Análisis de resultado de la parte mecánica

Para el análisis de la parte mecánica del motor se observó que se encontraba en un estado de oxidación como se observa en la Ilustración 4-3, lo cual se realizó todo el mantenimiento correctivo necesario para que el impulsor y la carcasa de la bomba se encuentren en óptimas condiciones y así prevenir un atascamiento de las partes móviles y que por medio de la oxidación puede ocasionar que estas piezas se traben y nos perjudiquen a la bomba en su funcionamiento.



**Ilustración 4-3:** Resultado del impulsor de la bomba centrífuga

Realizado por: Vargas Jonathan, 2022

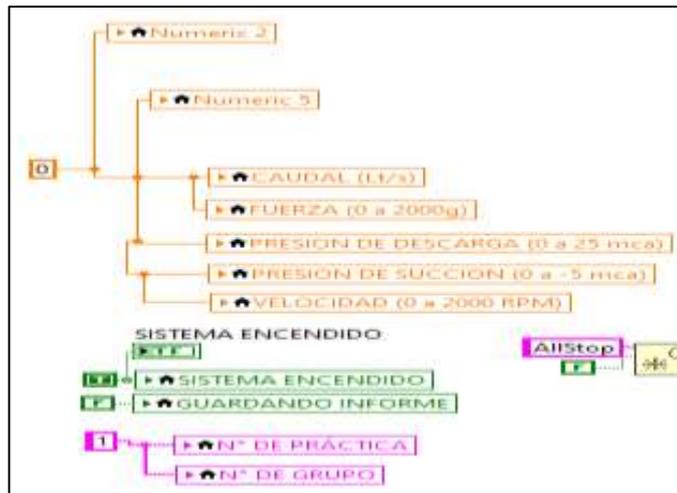
## 4.3. Adquisiciones de datos de LabVIEW

En base al software LabVIEW mediante indicadores numéricos se actualizo la interfaz de la bomba centrífuga según nosotros queramos elaborar nuestra interfaz.



**Ilustración 4-4:** Interfaz de bomba centrífuga en LabVIEW

Realizado por: Vargas Jonathan, 2022



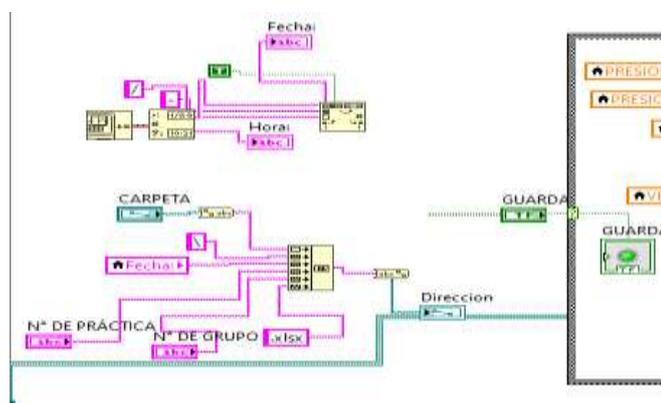
**Ilustración 4-5:** Inicialización de variables

Realizado por: Vargas Jonathan, 2022

Debido a que todos sensores nos muestran como bugs repetitivos como se observa en la Ilustración 4-5, se creó esta inicialización de variables inicien en cero.

Lo cual en el sistema de encendido como se muestra en la interfaz de la Ilustración 4-6 se prende el foco verde cuando corremos el programa y ponemos en falso el foco color marrón para guardar el informe y para el numero de práctica y numero de grupo se pone como inicialización 1 y así podemos ir cambiando.

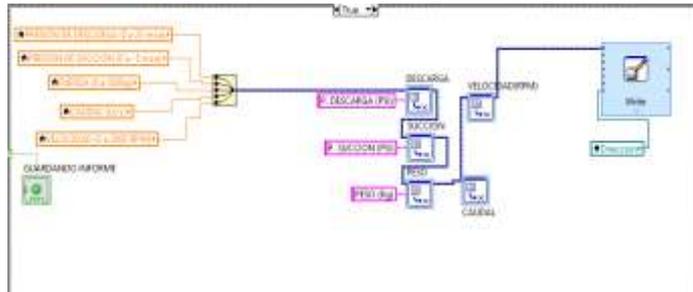
Para leer las señales se realizó como procesos que ocurren al mismo tiempo que en si bloques en paralelo.



**Ilustración 4-6:** Diagrama LabVIEW para guardar informe

Realizado por: Vargas Jonathan, 2022

Para guardar los datos del informe lo cual ponemos un texto, la fecha, la hora y los separamos para tener una ruta lo cual consigo en base a la carpeta lo cual vamos a concatenar el nombre del archivo que le vamos a poner al final y ponemos la extensión del archivo que es .xlsx.



**Ilustración 4-7:** Adquisición de datos del software LabVIEW

Realizado por: Vargas Jonathan, 2022

#### 4.4. Pruebas de funcionamiento

En la realización de las pruebas de funcionamiento se observó que la bomba quedó habilitada correctamente al variar la frecuencia lo cual se produjo a la toma de datos del software LabVIEW que mediante variador de frecuencia el caudal se reduce y que la parte mecánica y eléctrica están en perfecto estado para la realización de las prácticas en el laboratorio de Turbomaquinaria de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

**Tabla 4-1:** Toma de datos del software LabVIEW

P. DESCARGA (m.c.a)	P. SUCCIÓN (m.c.a)	PESO (Kg)	CAUDAL Lt/s	VELOCIDAD (RPM)1
9.288499	-3.617545	0.51291	4.271446	1710
9.309946	-3.616858	0.51291	4.624723	1740
9.588612	-3.915352	0.51291	4.753188	1830
9.743353	-4.126794	0.51291	4.753188	1860
9.745018	-4.073418	0.51291	5.267046	1890
9.933305	-4.423913	0.51291	5.363394	1920
10.154726	-4.512339	0.51291	5.363394	2010
10.386104	-4.523564	0.51291	5.652439	2040
10.401445	-4.520128	0.51291	5.909368	2070
11.387923	-5.143002	0.51291	6.198413	2220
12.30257	-5.561992	0.51291	6.712272	2340
13.546191	-5.870337	0.51291	7.161897	2490
14.072809	-5.928982	0.51291	7.418826	2520

Realizado por: Vargas Jonathan, 2022

## **CONCLUSIONES**

Se realizó el diagnóstico técnico del equipo mediante el cual se pudo identificar el estado actual del banco de pruebas de la bomba centrífuga por cada uno de los sistemas y elementos que contiene el mismo el cual se pudo identificar las fallas y averías que tenía el banco de pruebas.

El mantenimiento correctivo efectuado en el ámbito mecánico y eléctrico del banco de pruebas ayudó a corregir los fallos en los en cada uno de los elementos que tenían fallos o averías, así corregirlos para poner a punto todas y cada una de las partes constitutivas de los equipos.

Mediante la actualización del programa de mando se pudo realizar la recalibración de los transductores de presión lo cual mejoró la precisión al momento de la adquisición de datos en tiempo real, debido a que se utilizó un método más actual y confiable que el utilizado para la calibración de estos instrumentos anteriormente.

Al realizar la repotenciación del banco de pruebas de la bomba centrífuga ha logrado mejorar las condiciones de funcionamiento, para de esa manera poder realizar prácticas de laboratorio apropiadas que permitan una mejor formación del estudiante.

Mediante la elaboración del plan de mantenimiento y funcionamiento se pudo identificar las actividades preventivas que se deben realizar para mantener en óptimas condiciones el banco de pruebas, así como para realizar un correcto encendido y apagado del banco de pruebas y alargar su vida útil.

## **RECOMENDACIONES**

Realizar un mantenimiento mínimo necesario que pasa por realizar determinadas operaciones periódicas, estas operaciones han de ser llevadas de forma regular para ser efectivas.

Seguir el manual de funcionamiento para el encendido de banco de pruebas de la bomba centrífuga. Una vez terminada la práctica se tiene que apagar el sistema y si es necesario desconectar la alimentación eléctrica, para de esta manera alargar la vida útil del banco de pruebas de la bomba centrífuga.

La utilización del banco de pruebas se debe verificar que el variador de frecuencia no sea muy exigido a no más de 3000 rpm ya que se podría causar fallas en el mismo.

Mantener la pulcritud externa del sistema y una buena apariencia. Esto ayuda a reconocer las fugas que se produzcan y su ubicación.

## BIBLIOGRAFÍA

**ANTOLÍNEZ, Mónica; et al.** *Principios de la ecuación de Bernoulli, aplicaciones y esquema del montaje experimental*. [En línea]. Bogotá-Colombia: Academia Accelerating the world's research, 2016. [Consulta: 01 de noviembre de 2021.]. Disponible en: [https://www.academia.edu/34673817/Principios\\_de\\_la\\_ecuaci%C3%B3n\\_de\\_Bernoulli\\_aplicaciones\\_y\\_esquema\\_del\\_montaje\\_experimental](https://www.academia.edu/34673817/Principios_de_la_ecuaci%C3%B3n_de_Bernoulli_aplicaciones_y_esquema_del_montaje_experimental)

**BOERO, C.** *Mantenimiento industrial*. [En línea]. Córdoba-Argentina: Universitas, 2020. [Consulta: 04 de noviembre de 2021.]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/172523>

*Fundamentals Of Pumps*. [En línea]. Washington-USA: Departamento de Comercio, 1993. [Consulta: 25 de octubre de 2021.]. Disponible en: <https://d6s74no67skb0.cloudfront.net/course-material/ME910-Fundamentals-of-pumps.pdf>

**GARRIDO MARTÍNEZ, Sergio.** Diseño y estudio de una bomba hidráulica centrífuga mediante la generación de su prototipo virtual (Trabajo de titulación) (Máster). [En línea]. Universitat Politècnica de València, Ingeniería industrial. (Valencia-España). 2017. pp 12-14 [Consulta: 05 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/78744>

**GRANADOS, Andrés; et al.** *Mecánica de fluidos teoría con aplicaciones y modelado*. [En línea]. D.F, México-México: Grupo Editorial Patria, 2017. [Consulta: 04 de noviembre de 2021.]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/40497>

**HATUM, A.** *Guía de laboratorio de mecánica de fluidos*. [En línea]. Santa Marta-Colombia: Editorial Unimagdalena, 2018. [Consulta: 02 de noviembre de 2021.]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/105717>

**HERAS, S.** *Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas*. [En línea]. Segunda Edición. Barcelona-España: Universidad Politécnica de Catalunya, 2018. [Consulta: 15 de noviembre de 2021.]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/127266.978-84-9880-728-8>

**LEVENSPIEL, O.** *Flujo de fluidos e intercambio de calor*. [En línea]. Barcelona-España: Reverté, 2018. [Consulta: 20 de noviembre de 2021.]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/106541>

**MARTINEZ JAQUEZ, Huascar.** Desarrollo de un programa de LabVIEW. (Trabajo de titulación) (Máster). [En línea]. Universidad Politécnica de Cartagena, Ingeniería Industrial. (Cartagena-Colombia). 2020. pp. 21-22 [Consulta: 05 de noviembre de 2021.]. Disponible en: <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/8469/tfm-martes.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**PEREZ, Robert X.; & CONKEY, Andrew P.** *Troubleshooting Rotating Machinery*. [En línea]. New Jersey-USA: WILEY, 2016. [Consulta: 24 de noviembre de 2021.]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/177267>

**TERÁN, Héctor; et al.** *Mecánica de fluidos*. [En línea]. Sangolquí-Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 2018. [Consulta: 04 de diciembre de 2021.]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/15410/Mecanica%20de%20Fluidos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

## ANEXOS

### ANEXO A: TRABAJO DE LIMPIEZA DEL TANQUE RESERVORIO



Realizado por: Vargas Jonathan, 2022

**ANEXO B: REALIZACIÓN DE TAPA DE ACRÍLICO DE LA BOMBA CENTRÍFUGA**



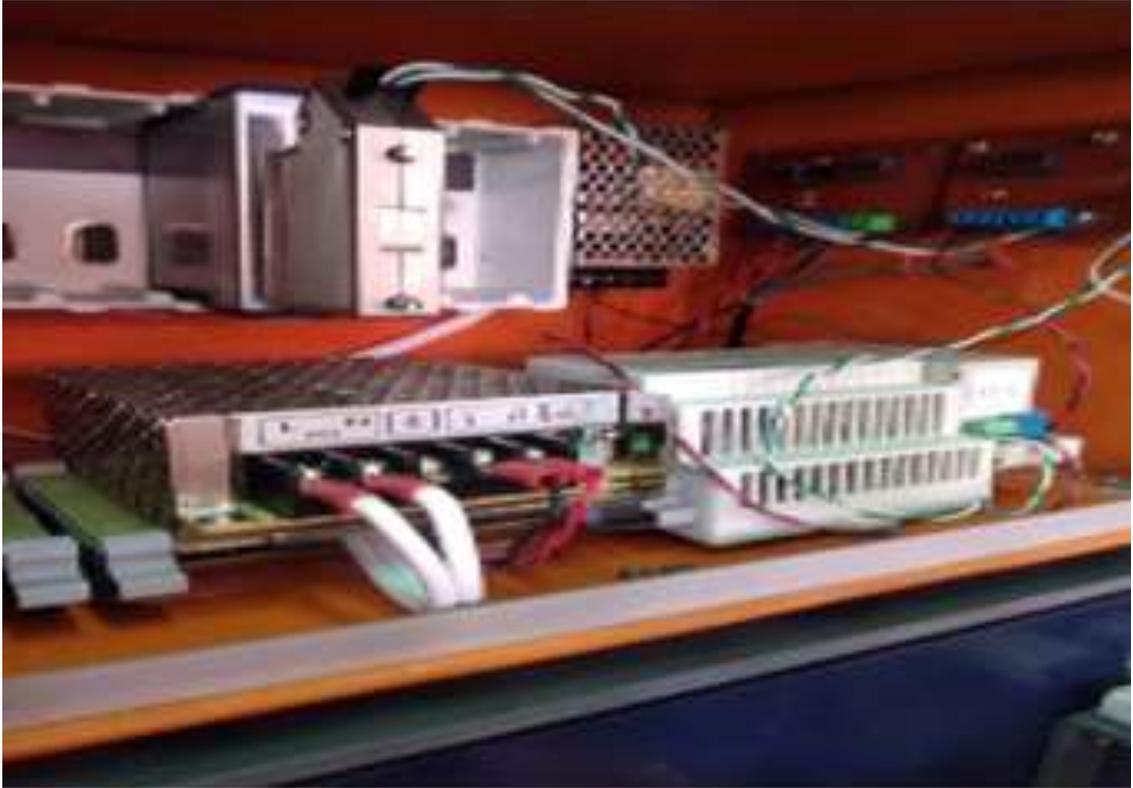
**Realizado por:** Vargas Jonathan, 2022

**ANEXO C: TRABAJO EN TORNO DEL ACRÍLICO DE LA BOMBA CENTRÍFUGA**



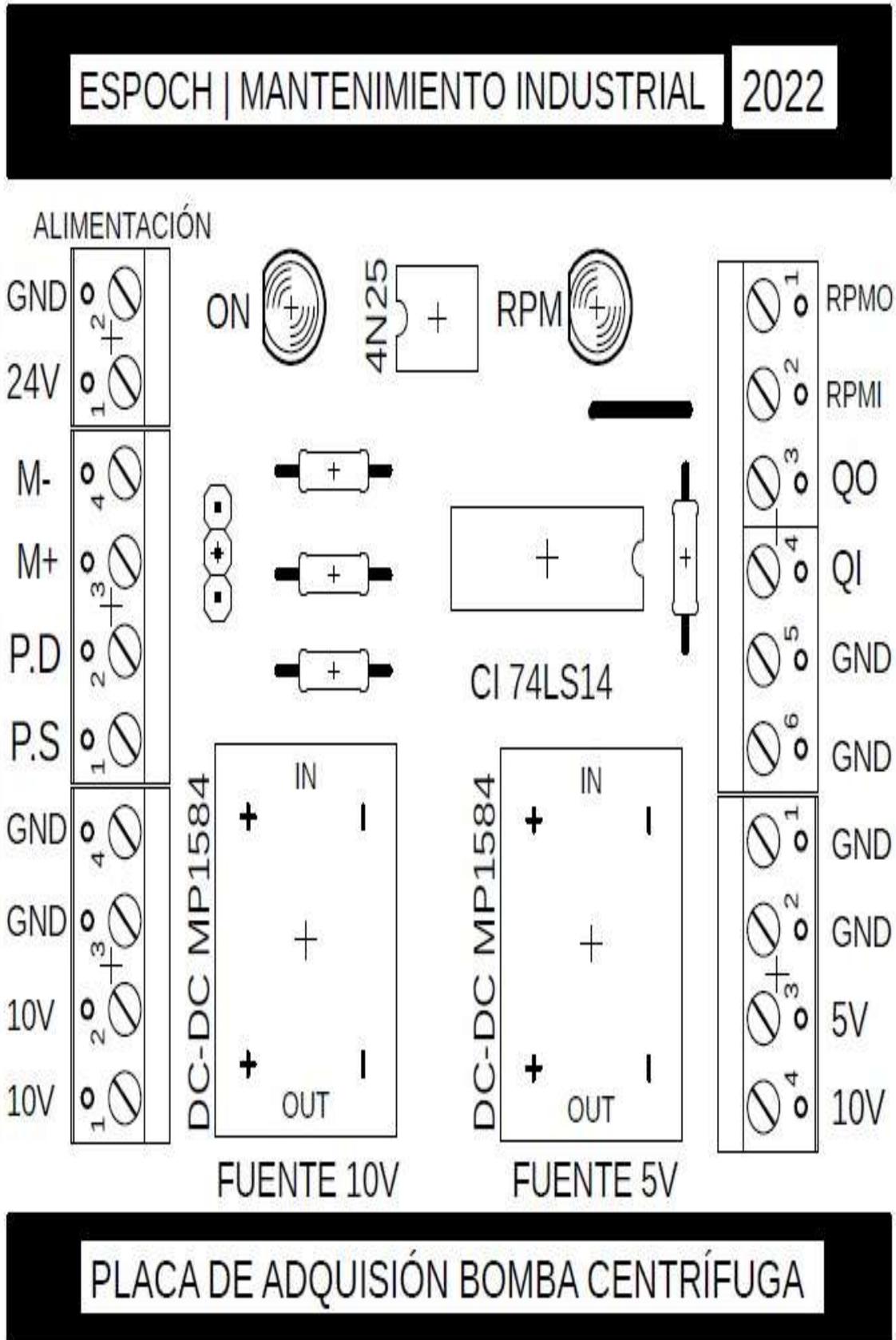
Realizado por: Vargas Jonathan, 2022

**ANEXO D: ANTES Y DESPUÉS DE LA CAJA DE CONTROL DEL BANCO DE PRUEBA**

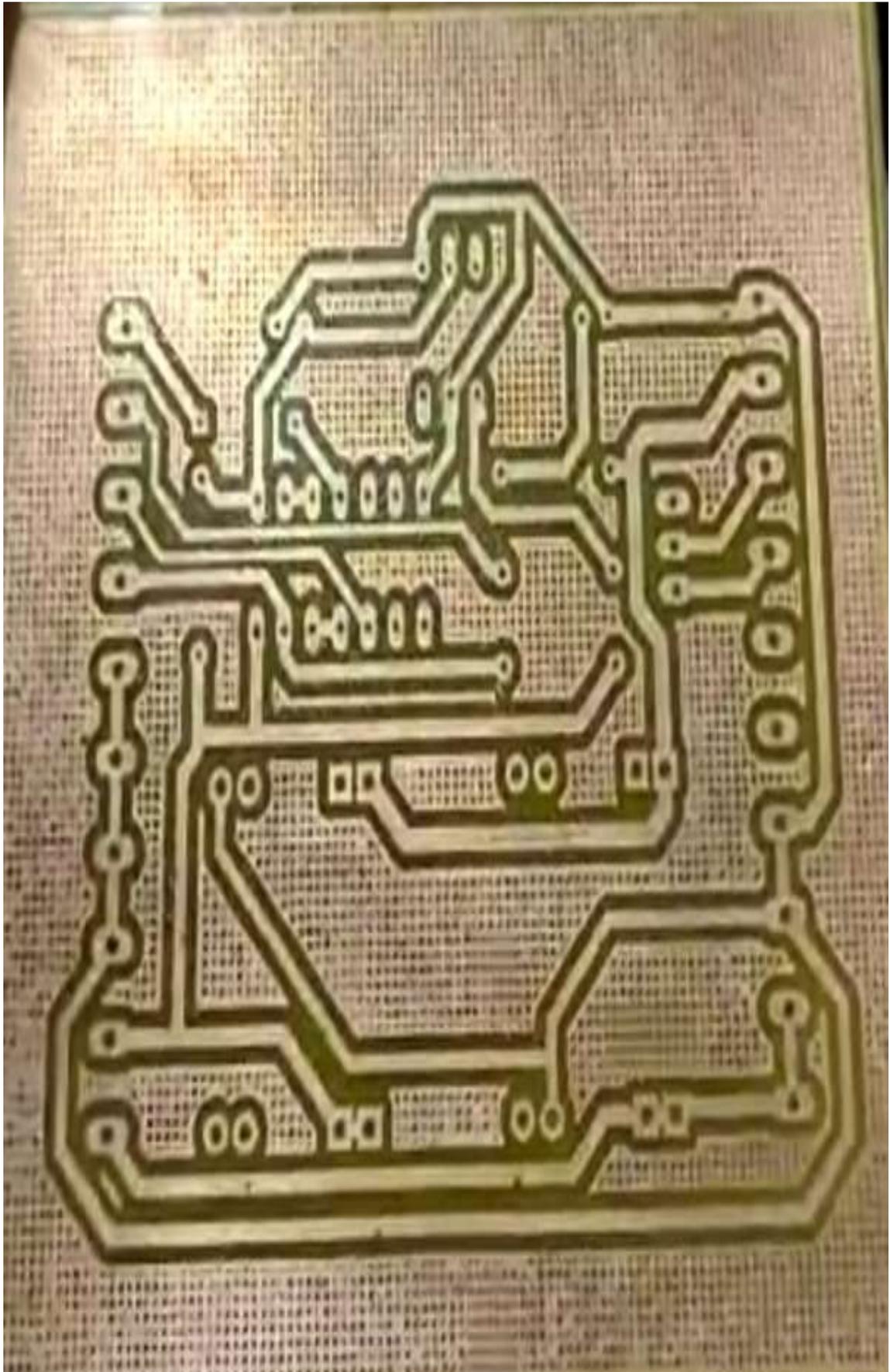


Realizado por: Vargas Jonathan, 2022

ANEXO E: PLACA DE ADQUISICIÓN DE LA BOMBA CENTRÍFUGA

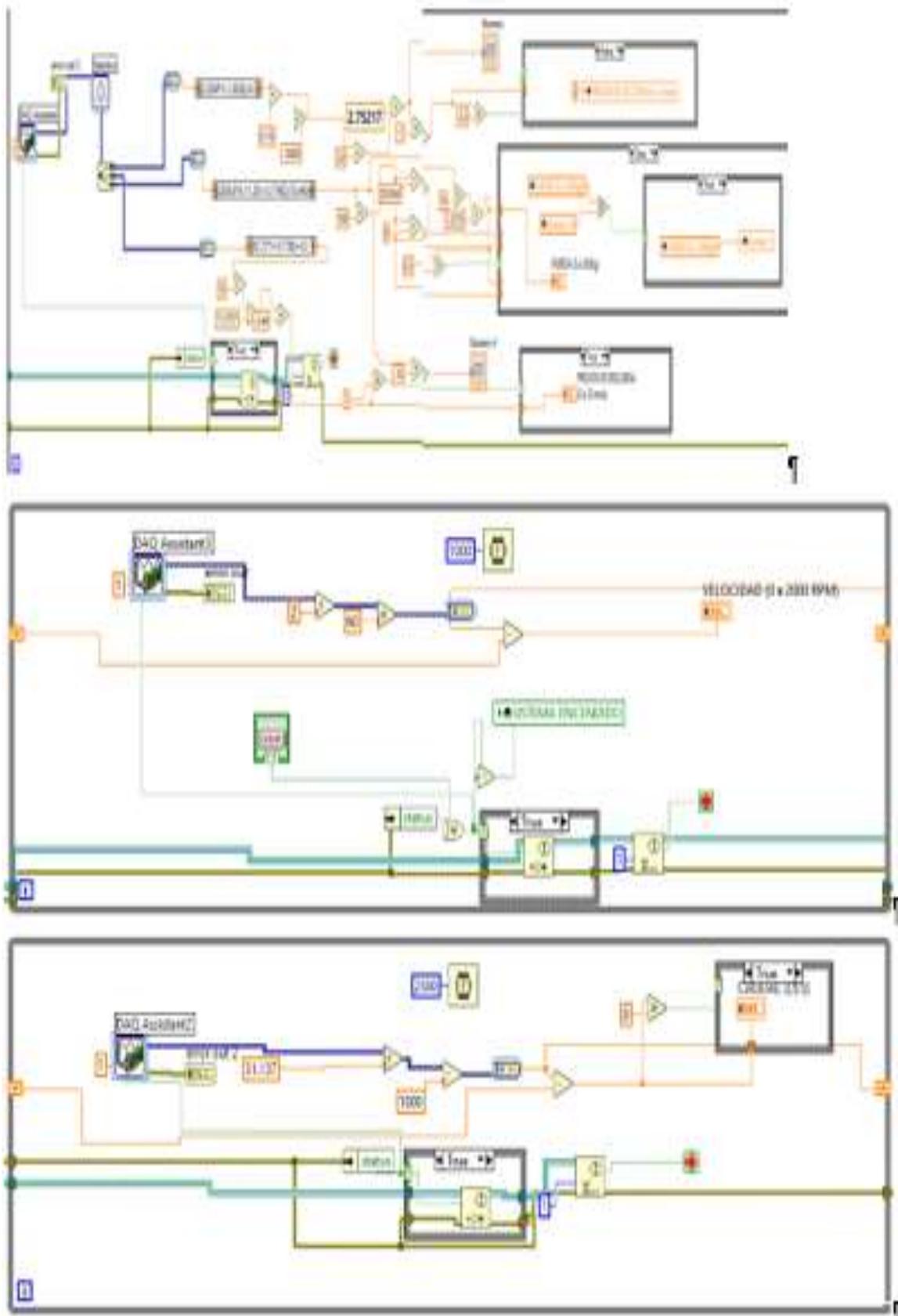


**ANEXO F: CIRCUITO IMPRESO PCB**



Realizado por: Vargas Jonathan, 2022

## ANEXO G: ESQUEMA DEL SOFTWARE LABVIEW DE ADQUISICIÓN DE DATOS



Realizado por: Vargas Jonathan, 2022