



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

**“REPOTENCIACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS DE LA  
TURBINA PELTON DEL LABORATORIO DE  
TURBOMAQUINARIA HIDRÁULICA DE LA FACULTAD DE  
MECÁNICA”**

**Trabajo de Integración Curricular**

**Tipo: Proyecto Técnico**

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**AUTORES:**

**JUAN FERNANDO SAGÑAY YASACA**

**JOSÉ LUIS ZAVALA ZABALA**

Riobamba - Ecuador

2022



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

**“REPOTENCIACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS DE LA  
TURBINA PELTON DEL LABORATORIO DE  
TURBOMAQUINARIA HIDRÁULICA DE LA FACULTAD DE  
MECÁNICA”**

**Trabajo de Integración Curricular**

**Tipo: Proyecto Técnico**

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**AUTORES: JUAN FERNANDO SAGÑAY YASACA**

**JOSÉ LUIS ZAVALA ZABALA**

**DIRECTOR: Ing. EDISSON FERNANDO CALDERÓN FREIRE**

Riobamba - Ecuador

2022

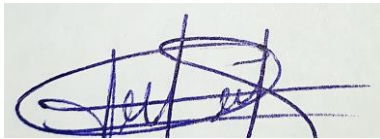
**© 2022, Juan Fernando Sagñay Yasaca & José Luis Zavala Zabala**

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.

Nosotros, JUAN FERNANDO SAGÑAY YASACA y JOSÉ LUIS ZAVALA ZABALA, declaramos que el presente trabajo de Integración curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos 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, 12 de julio del 2022



---

**Juan Fernando Sagñay Yasaca**  
**C.I: 060414306-5**



---

**José Luis Zavala Zabala**  
**CI: 060474559-6**

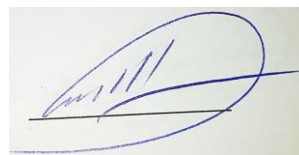
**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto Técnico, “**REPOTENCIACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS DE LA TURBINA PELTON DEL LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA HIDRÁULICA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA**”, realizado por las señores: **JUAN FERNANDO SAGÑAY YASACA** y **JOSÉ LUIS ZAVALA ZABALA**, 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.

**FIRMA**

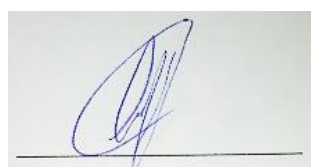
**FECHA**

Dr. Marco Antonio Haro Medina  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



2022-07-12

Ing. Edison Fernando Calderón Freire  
**DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**



2022-07-12

Ing. Marco Antonio Ordoñez Viñan  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



2022-07-12

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo dedico a mis padres José Zavala Buenaño y Carmita Zavala Guevara, por sus consejos que siempre me motivaron a no rendirme y por creer en mí. A mi hermano Diego Zavala por su apoyo y amistad y que siempre me motivo para no detenerme y seguir adelante, a toda mi familia por sus buenos consejos que me ayudaron siempre y a mi novia Solange que siempre me ayudado en los buenos y malos momentos superándolos juntos cada uno de ellos, por darme ánimos y apoyo para no rendirme en este camino que he elegido para llegar hacer un profesional.

José Luis Zavala Zabala

El presente trabajo dedico a mis padres Luis Leonardo y María Rebeca por su apoyo incondicional y por creer en mí. A mis hermanos Luis, Williams, y María que siempre me motivaron para no detenerme, a toda mi familia y amigos que de una u otra manera me apoyaron, me aconsejaron y estuvieron conmigo en los malos y buenos momentos.

Juan Fernando Sagñay Yasaca

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en particular a la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento industrial, por haberme permitido ser parte de aquellos estudiantes que ingresaron con el sueño de estudiar aquí y culminarla, a sus docentes que han sido parte fundamental de mi formación profesional. Agradezco de manera especial al Ing. Edison Calderón director del trabajo de integración curricular y al Ing. Marco Ordoñez, miembro del mismo, quienes me han acompañado durante esta meta que me he planteado, haciendo que se desarrolle de la mejor manera.

José Luis Zavala Zabala

El más sincero agradecimiento a la Escuela superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la carrera de mantenimiento Industrial, a los profesores y amigos por brindarme el apoyo y la oportunidad de obtener una profesión.

Juan Fernando Sagñay Yasaca

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

<b>1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>2</b>
1.1. Problema.....	2
1.2. Justificación y actualidad.....	2
1.3. Antecedentes.....	2
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. <i>Objetivo general</i> .....	3
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	3

### CAPÍTULO II

<b>2. Marco Teórico.....</b>	<b>4</b>
2.1. Turbinas hidráulicas.....	4
2.2. Turbinas de reacción.....	4
2.3. Turbinas de acción.....	4
2.4. Definición de las turbinas Pelton.....	5
2.4.1. <i>Parámetros fundamentales de la turbina Pelton</i> .....	5
2.4.1.1. <i>Parámetros Generales</i> .....	5
2.4.1.2. <i>Número de inyectores</i> .....	6
2.4.1.3. <i>Velocidad del rotor de la turbina</i> .....	6
2.4.1.4. <i>Diámetro del chorro</i> .....	6
2.4.1.5. <i>Parámetros geométricos</i> .....	6
2.4.2. <i>Elementos constructivos básicos de la turbina Pelton</i> .....	7



2.4.2.1.	<i>Rodete</i> .....	7
2.4.2.2.	<i>Álabes</i> .....	8
2.4.2.3.	<i>Distribuidor</i> .....	8
2.4.2.4.	<i>Inyector</i> .....	8
2.4.2.5.	<i>Cámara de distribución</i> .....	9
2.4.2.6.	<i>Carcasa</i> .....	9
<b>2.4.3.</b>	<b><i>Tintas Penetrantes</i></b> .....	9
2.4.3.1.	<i>Proceso para la inspección por tintas penetrantes</i> .....	9
<b>2.5.</b>	<b><i>Bomba centrífuga</i></b> .....	10
<b>2.5.1.</b>	<b><i>Funcionamiento de una bomba centrífuga</i></b> .....	10
<b>2.5.2.</b>	<b><i>Características principales de las bombas Centrífugas</i></b> .....	11
<b>2.5.3.</b>	<b><i>Parámetros fundamentales de la bomba Centrífuga</i></b> .....	11
2.5.3.1.	<i>Altura efectiva de bombeo</i> .....	11
2.5.3.2.	<i>Amplitud de velocidad</i> .....	12
2.5.3.3.	<i>Amplitud de presión</i> .....	12
2.5.3.4.	<i>Potencia de bombeo</i> .....	12
2.5.3.5.	<i>Volumen</i> .....	13
2.5.3.6.	<i>Eficiencia volumétrica</i> .....	13
2.5.3.7.	<i>Eficiencia mecánica</i> .....	13
2.5.3.8.	<i>Eficiencia total</i> .....	13
2.5.3.9.	<i>Altura neta de succión positiva</i> .....	13
<b>2.5.4.</b>	<b><i>Curva característica de la bomba centrífuga</i></b> .....	13
2.5.4.1.	<i>Curva característica de caudal variable</i> .....	14
2.5.4.2.	<i>Curva característica de caudal constante</i> .....	15
<b>2.5.5.</b>	<b><i>Órganos principales de la bomba Centrífuga</i></b> .....	15
2.5.5.1.	<i>Carcasa</i> .....	16
2.5.5.2.	<i>Impulsor</i> .....	16
2.5.5.3.	<i>Sello</i> .....	16
2.5.5.4.	<i>Eje</i> .....	16
2.5.5.5.	<i>Entrada del fluido y Descarga del fluido</i> .....	16
2.5.5.6.	<i>Rodamientos</i> .....	16
<b>2.6.</b>	<b><i>Instrumentos utilizados para medir fluidos</i></b> .....	17
<b>2.6.1.</b>	<b><i>Medidor de presión</i></b> .....	17
2.6.1.1.	<i>Sensores</i> .....	17
2.6.1.2.	<i>Manómetro</i> .....	17
2.6.1.3.	<i>Tacómetro</i> .....	17

<b>2.6.2.</b>	<b><i>Medidores de caudal</i></b> .....	18
<b>2.6.3.</b>	<b><i>Tipos de corrosión</i></b> .....	18
2.6.3.1.	<i>Corrosión por picaduras (pitting)</i> .....	18
2.6.3.2.	<i>Corrosión por erosión</i> .....	18
2.6.3.3.	<i>Control de la corrosión</i> .....	19
<b>2.6.4.</b>	<b><i>Ánodo de sacrificio</i></b> .....	19
2.6.4.1.	<i>Ánodo de Zinc</i> .....	20
2.6.4.2.	<i>Los ánodos de magnesio</i> .....	20
2.6.4.3.	<i>Los ánodos de aluminio</i> .....	20
<b>2.6.5.</b>	<b><i>Ventajas aplicando ánodo de sacrificio</i></b> .....	21
<b>2.6.6.</b>	<b><i>Desventajas del ánodo de sacrificio</i></b> .....	21
<b>2.6.7.</b>	<b><i>Cálculo del ánodo de sacrificio</i></b> .....	21
<b>2.6.8.</b>	<b><i>Tintas penetrantes</i></b> .....	23
<b>2.6.9.</b>	<b><i>Pasos a desarrollar</i></b> .....	24
<b>2.6.10.</b>	<b><i>Estrategias para no reincidir: un buen plan de mantenimiento</i></b> .....	25
<b>2.6.11.</b>	<b><i>Pinturas Anticorrosivas</i></b> .....	26
<b>2.7.</b>	<b><i>Plataforma Lab VIEW</i></b> .....	26
<b>2.7.1.</b>	<b><i>Ventana del panel frontal (front panel)</i></b> .....	26

### **CAPÍTULO III**

<b>3.</b>	<b>REPOTENCIACIÓN DEL PROYECTO</b> .....	28
<b>3.1.</b>	<b>Situación actual del módulo.</b> .....	28
<b>3.2.</b>	<b>Principio de funcionamiento</b> .....	28
<b>3.3.</b>	<b>Diagnóstico de los elementos</b> .....	29
3.3.1.	<i>Depósito de agua</i> .....	29
3.3.2.	<i>Válvulas de drenaje</i> .....	31
3.3.3.	<i>Sistema eléctrico</i> .....	32
3.3.4.	<i>Túnel de captación de agua</i> .....	32
3.3.5.	<i>Turbina Pelton</i> .....	33
3.3.6.	<i>Inyector</i> .....	35
3.3.7.	<i>Tacómetro</i> .....	37
<b>3.4.</b>	<b>Mantenimiento preventivo y correctivo del motor y bomba centrífuga</b> .....	37
<b>3.4.1.</b>	<b><i>Desarrollo del mantenimiento de la bomba centrífuga</i></b> .....	39
3.4.1.1.	<i>Proceso de desmontaje de las líneas de succión y descarga</i> .....	39
3.4.1.2.	<i>Desmontaje e inspección del impulsor y sello mecánico</i> .....	39

3.4.1.3.	<i>Inspección del rodamiento del motor</i> .....	40
3.4.1.4.	<i>Proceso de engrasado de los rodamientos</i> .....	40
3.4.1.5.	<i>Limpieza e inspección del circuito eléctrico del motor</i> .....	40
3.4.1.6.	<i>Limpieza y montaje del motor</i> .....	41
3.4.1.7.	<i>Limpieza y montaje de la bomba centrífuga</i> .....	41
<b>3.5.</b>	<b>Ánodo de Sacrificio</b> .....	<b>41</b>
<b>3.5.1.</b>	<b>Cálculo del ánodo de sacrificio</b> .....	<b>42</b>
<b>3.5.2.</b>	<b>Métodos de fijación</b> .....	<b>44</b>
<b>3.5.3.</b>	<b>Cálculo del ánodo de sacrificio</b> .....	<b>45</b>
<b>3.5.4.</b>	<b>Montaje del ánodo de sacrificio</b> .....	<b>48</b>
<b>3.6.</b>	<b>Recubrimiento superficial del depósito de agua con pinturas anticorrosivas</b> .....	<b>48</b>
<b>3.7.</b>	<b>Tintas penetrantes</b> .....	<b>49</b>
<b>3.7.1.</b>	<b>Proceso de elaboración de las tintas penetrantes en la turbina Pelton</b> .....	<b>50</b>
<b>3.8.</b>	<b>Especificaciones de los instrumentos utilizados para la automatización del banco de pruebas</b> .....	<b>51</b>
<b>3.8.1.</b>	<b>Elemento utilizado para medir la presión en el banco de pruebas</b> .....	<b>51</b>
<b>3.8.2.</b>	<b>Elemento utilizado para medir las revoluciones por minuto en el banco de prueba</b>	<b>51</b>
<b>3.8.3.</b>	<b>Sensor utilizado para medir el caudal en el banco de pruebas</b> .....	<b>52</b>
<b>3.8.4.</b>	<b>Sensor utilizado para medir las revoluciones por minuto en el banco de prueba</b> ....	<b>53</b>
<b>3.8.5.</b>	<b>Sensor de fuerza HX 711</b> .....	<b>53</b>
<b>3.9.</b>	<b>Actualización de la Interfaz de Lad VIEW para la recolección de datos del módulo de la Turbina Pelton</b> .....	<b>54</b>
<b>3.9.1.</b>	<b>Programación con diagrama de bloques</b> .....	<b>54</b>

## CAPÍTULO IV

<b>4.</b>	<b>Repotenciación de las distintas partes afectadas de la Turbina Pelton</b> .....	<b>57</b>
<b>4.1.</b>	<b>Estado final del depósito de agua</b> .....	<b>57</b>
<b>4.2.</b>	<b>Túnel de captación de agua</b> .....	<b>57</b>
<b>4.3.</b>	<b>Estado final del inyector</b> .....	<b>58</b>
<b>4.4.</b>	<b>Motor bomba</b> .....	<b>58</b>
<b>4.5.</b>	<b>Resultados de la repotenciación de la Turbina Pelton</b> .....	<b>59</b>
<b>4.6.</b>	<b>Válvulas de descarga</b> .....	<b>59</b>
<b>4.7.</b>	<b>Ubicación del ánodo de sacrificio</b> .....	<b>60</b>
<b>4.8.</b>	<b>Resultados del ensayo no destructivo de los álabes de la turbina pelton</b> .....	<b>60</b>
<b>4.9.</b>	<b>Diagrama de operaciones</b> .....	<b>62</b>

<b>4.10.</b>	<b>Cálculo del rendimiento de la bomba centrífuga.....</b>	<b>63</b>
<b>4.11.</b>	<b>Resultados de la práctica de la laboratorio .....</b>	<b>66</b>
<b>4.12.</b>	<b>Plan de mantenimiento para el módulo de la turbina pelton.....</b>	<b>68</b>
<b>4.13.</b>	<b>Modos de fallos del motor eléctrico.....</b>	<b>69</b>
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>70</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>71</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Tipos de materiales y formas.....	24
<b>Tabla 1-3:</b>	Partes del módulo de la turbina de la Turbina pelton .....	29
<b>Tabla 2-3:</b>	Materiales utilizados en el depósito de agua .....	30
<b>Tabla 3-3:</b>	Información general de la turbina Pelton .....	34
<b>Tabla 4-3:</b>	Materiales utilizados en la repotenciación de la Turbina Pelton .....	34
<b>Tabla 5-3:</b>	Materiales utilizados en la repotenciación del inyector.....	36
<b>Tabla 6-3:</b>	Datos técnicos de la Bomba-Motor .....	37
<b>Tabla 7-3:</b>	Materiales utilizados en la repotenciación del motor-bomba .....	38
<b>Tabla 8-3:</b>	De densidad de corriente de protección en distintos medios agresivos.....	43
<b>Tabla 9-3:</b>	Voltaje de protección.....	45
<b>Tabla 10-3:</b>	Voltaje de operación.....	46
<b>Tabla 11-3:</b>	Cálculo de la vida útil del ánodo .....	47
<b>Tabla 12-3:</b>	Materiales para la elaboración de las tintas penetrantes en la turbina Pelton....	49
<b>Tabla 13-3:</b>	Característica del sensor FP-5301 .....	52
<b>Tabla 1-4:</b>	Especificación de las zonas en los alabes.....	60
<b>Tabla 2-4:</b>	Resultado del ensayo de tintas penetrantes .....	61
<b>Tabla 3-4:</b>	Resultados de laboratorio de presión, velocidad y caudal .....	66
<b>Tabla 4-4:</b>	Modos de fallos del motor eléctrico .....	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2:</b>	Turbina Pelton .....	5
<b>Figura 2-2:</b>	Dimensiones de un álabe de la turbina Pelton.....	6
<b>Figura 3-2:</b>	Representación del rodete .....	7
<b>Figura 4-2:</b>	Representación de un álabe .....	8
<b>Figura 5-2:</b>	Función de un inyector .....	9
<b>Figura 6-2:</b>	Bomba centrífuga con Voluta.....	10
<b>Figura 7-2:</b>	Altura efectiva de bombas .....	12
<b>Figura 8-2:</b>	Curva característica de la bomba centrífuga .....	14
<b>Figura 9-2:</b>	Curva característica de la bomba centrífuga con caudal variable .....	14
<b>Figura 10-2:</b>	Curva característica de la bomba centrífuga con caudal constante .....	15
<b>Figura 11-2:</b>	Partes fundamentales de la bomba centrífuga .....	15
<b>Figura 12-2:</b>	Tacómetro de la turbina Pelton.....	17
<b>Figura 13-2:</b>	Corrosión por picadura.....	18
<b>Figura 14-2:</b>	Corrosión por erosión.....	19
<b>Figura 15-2:</b>	Proceso de análisis de tintas penetrantes .....	25
<b>Figura 16-2:</b>	Análisis de resultados.....	25
<b>Figura 17-2:</b>	Interfaz del LabVIEW .....	27
<b>Figura 1-3:</b>	Turbina en estado actual.....	28
<b>Figura 2-3:</b>	Depósito de agua .....	29
<b>Figura 3-3:</b>	Procedimiento de limpieza del depósito de agua .....	31
<b>Figura 4-3:</b>	Válvulas de Drenaje .....	32
<b>Figura 5-3:</b>	Sistema eléctrico.....	32
<b>Figura 6-3:</b>	Túnel de captación de agua .....	33
<b>Figura 7-3:</b>	Procedimiento del mejoramiento del túnel de captación de agua.....	33
<b>Figura 8-3:</b>	Turbina pelton .....	34
<b>Figura 9-3:</b>	Procedimiento para la repotenciación de la turbina.....	35
<b>Figura 10-3:</b>	Inyector.....	36
<b>Figura 11-3:</b>	Procedimiento para la repotenciación del inyector.....	36
<b>Figura 12-3:</b>	Tacómetro.....	37
<b>Figura 13-3:</b>	Bomba centrífuga .....	38
<b>Figura 14-3:</b>	Proceso de desmontaje de las líneas de succión y descarga .....	39
<b>Figura 15-3:</b>	Desmontaje e inspección del impulsor y sello mecánico .....	39
<b>Figura 16-3:</b>	Inspección del rodamiento del motor .....	40

<b>Figura 17-3:</b>	Proceso de engrasado de los rodamientos .....	40
<b>Figura 18-3:</b>	Limpieza e inspección del circuito eléctrico del motor .....	40
<b>Figura 19-3:</b>	Limpieza y montaje del motor.....	41
<b>Figura 20-3:</b>	Limpieza y montaje de la bomba centrífuga .....	41
<b>Figura 21-3:</b>	Resistividad .....	44
<b>Figura 22-3:</b>	Tanque de agua corroído .....	48
<b>Figura 23-3:</b>	Proceso de aplicación de tintas penetrantes en la turbina Pelton .....	50
<b>Figura 24-3:</b>	Manómetro .....	51
<b>Figura 24-3:</b>	Tacómetro.....	51
<b>Figura 26-3:</b>	Sensor de caudal FP 5301 .....	52
<b>Figura 27-3:</b>	Sensor óptico OSENP .....	53
<b>Figura 28-3:</b>	HX711 .....	53
<b>Figura 29-3:</b>	Actualización de la Interfaz de Lad VIEW para la recolección de datos del módulo de la Turbina Pelton .....	54
<b>Figura 30-3:</b>	Programación con diagrama de bloques 1 .....	54
<b>Figura 31-3:</b>	Programación con diagrama de bloques 2.....	55
<b>Figura 32-3:</b>	Programación con diagrama de bloques 3.....	55
<b>Figura 33-3:</b>	Programación con diagrama de bloques 4.....	56
<b>Figura 34-3:</b>	Programación con diagrama de bloques 5.....	56
<b>Figura 1-4:</b>	Comparación del estado del depósito de agua.....	57
<b>Figura 2-4:</b>	Comparación del estado del túnel de captación de agua .....	57
<b>Figura 3-4:</b>	Comparación del estado del túnel de inyector.....	58
<b>Figura 4-4:</b>	Comparación del estado del túnel de captación de agua .....	58
<b>Figura 5-4:</b>	Comparación del estado de la turbina Pelton .....	59
<b>Figura 6-4:</b>	Comparación del estado de las válvulas de descarga .....	59
<b>Figura 7-4:</b>	Comparación del estado de las válvulas de descarga .....	60
<b>Figura 8-4:</b>	Comparación del estado de las válvulas de descarga .....	62
<b>Figura 9-4:</b>	Plan de mantenimiento para el módulo de la turbina pelton .....	68

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-4:</b>	Relación Presión - Apertura .....	67
<b>Gráfico 2-4:</b>	Relación Velocidad - Apertura.....	67
<b>Gráfico 3-4:</b>	Relación Caudal - Apertura.....	67



## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO A:</b>	Balance de Costos Directos e Indirectos
<b>ANEXO B:</b>	Depósito de agua
<b>ANEXO C:</b>	Válvulas de descarga
<b>ANEXO D:</b>	Turbina
<b>ANEXO E:</b>	Panel de Control
<b>ANEXO F:</b>	Acrílico
<b>ANEXO G:</b>	Empaques
<b>ANEXO H:</b>	Tunel de descarga
<b>ANEXO I:</b>	Módulo resultado final

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>UNE:</b>	Asociación Española de Normalización
<b>ASTM:</b>	Asociación Americana para pruebas y Materiales
<b>API:</b>	Instituto Americano de Petróleo
<b>NDT:</b>	Pruebas no Destructivas
<b>TP:</b>	Tintas Penetrantes
<b>LabVIEW:</b>	Banco de trabajo de ingeniería de instrumentos virtuales de laboratorio

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo repotenciar el banco de pruebas de la turbina Pelton del laboratorio de turbo maquinaria hidráulica de la facultad de mecánica, para repotenciar se aplicara el siguiente procedimiento se ejecutará un proceso de diagnóstico técnico del banco de pruebas, se utilizará un recubrimiento superficial y se implementará un ánodo de sacrificio para reducir la corrosión en el depósito de agua, seguidamente se ejecutara un ensayo de tintas penetrantes en la turbina Pelton para conocer cuál es su estado actual, posteriormente se realizara el mantenimiento preventivo y correctivo a la bomba centrífuga, se seleccionará el sensor de fuerza y se recalibraran los instrumentos de medición logrando en este punto la transformación de las señales analógicas a digitales, respecto al rediseño del software para la adquisición de datos se empleará el programa LabVIEW. Una vez aplicado el recubrimiento superficial y el ánodo de sacrificio se reduce la corrosión un 90%, al aplicar el ensayo de tintas penetrantes todos sus alabes cumplen con los parámetros establecidos para su funcionamiento, una vez realizado el mantenimiento de la bomba se obtiene un rendimiento de 65%, respecto al rediseño del software para la adquisición de datos el software permitirá la deducción, almacenamiento y visualización de datos de la presión, caudal, velocidad y fuerza procedentes de las pruebas realizadas en el banco de pruebas. Una vez concluida su repotenciación se realizan las pruebas pertinentes teniendo valores de caudal de 8,01 lts, velocidad de 1460,1433 RPM, presión de 28,038 mca y una fuerza de 46 N. Se recomienda seguir el diagrama de procesos y el plan de mantenimiento para evitar daños a los equipos.

### Palabras claves:

<REPOTENCIACIÓN>, <BANCO DE PRUEBAS>, <DIAGNOSTICO TÉCNICO>, <PINTURAS ANTICORROSIVAS>, <PLAN DE MANTENIMIENTO>, <LADVIEW>, <MANUAL DE OPERACIÓN>



## SUMMARY

The objective of this work is to repower the Pelton turbine test bench of the turbo-hydraulic machinery laboratory of mechanics faculty. So, the following procedure was applied, where a technical diagnosis process was carried out on the test bench. A surface coating was applied and a sacrificial anode was implemented to reduce corrosion in the water tank. Then, a penetrating ink test was carried out on the Pelton turbine to find out its current state. After that, preventive and corrective maintenance was carried out on the centrifugal pump. The force sensor was selected and the measuring instruments were recalibrated, achieving at this point the transformation of analog signals to digital, regarding the redesign of the software for data acquisition the LabVIEW program was implemented. Once the surface coating and the sacrificial anode were applied, the corrosion reduction was achieved by 90%, by applying the non-destructive test of penetrating inks. Pelton turbine blades comply with the parameters established for its operation. Once executed maintenance of the pump, a yield of 65% is obtained. It is with either the software redesign to data acquisition. It allowed the deduction, storage and visualization of pressure, flow, speed and force data from the tests carried out. Once its repowering was completed, the pertinent tests were carried out, having flow values of 8,01 liters, speed of 1460,1433 RPM, pressure of 28,038 Mca and a force of 46 N. It is recommended to follow the process diagram and the maintenance plan to avoid equipment damage.

**Keywords:** <REPOWERING>, <TEST BENCH>, <TECHNICAL DIAGNOSIS>, <ANTI-CORROSIVE PAINTS>, <MAINTENANCE PLAN>, <LABVIEW>, <OPERATION MANUAL>



Lic. Sandra Paulina Porrás Pumalema Mgs  
C.I. 0603357062

## **INTRODUCCIÓN**

Al momento de hablar de máquinas hidráulicas o también conocidas como turbinas Pelton son muy importantes porque funcionan con pequeños caudales y grandes saltos de caída de agua razón por la cual son las más utilizadas en el área energética, esto se debe a que transforma energía mecánica con ayuda de un eje común en energía eléctrica por medio de los álabes mediante el impacto del chorro de agua. Estos álabes con el tiempo presentan ciertas fallas como desgastes generando deformación e incrustaciones por esta razón se realiza un ensayo no destructivo de tintas penetrantes para verificar su estado actual.

Las bombas de mayor trascendencia por su amplia aplicación y su eficiencia son las de efecto centrífugo. Su funcionamiento de alta velocidad permite un mayor accionamiento directo por motores eléctricos, tamaño y peso reducido, seguridad de marcha y servicio, teniendo un número mínimo de elementos de desgaste. Su gran difusión y empleo se consigue gracias a estos factores decisivos.

El banco de pruebas repotenciado debe cumplir con los requisitos suficientes y necesarios para un estudio óptimo del comportamiento de la turbina Pelton. Tomando datos de velocidad, presión, caudal y fuerza, con la actualización del software LabVIEW, permite visualizar los datos de manera digital.

Para llevar un orden adecuado del mantenimiento del módulo es necesario generar un manual de operación para disminuir el riesgo de daño o pérdidas al módulo y un plan de mantenimiento para mantener en condiciones óptimas de funcionamiento gracias a las tareas programadas.

# CAPÍTULO I

## 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

### 1.1. Problema

En la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, específicamente en la Facultad de Mecánica y en especial en la Carrera en Mantenimiento Industrial, los estudiantes tienen dificultad al momento de realizar las prácticas en el laboratorio, esto se debe a que el banco de pruebas se encuentra en malas condiciones, el sistemas eléctrico, electrónico y mecánico, por su tiempo sin uso, también existe presencia de corrosión en el depósito de agua del banco de pruebas.

### 1.2. Justificación y actualidad

La Carrera de Mantenimiento Industrial, con el objetivo de impartir el conocimiento y aprendizaje a los estudiantes propone la repotenciación del banco de pruebas de la Turbina Pelton del Laboratorio de Turbomaquinaria Hidráulica, para mejorar el proceso de enseñanza aprendizaje de los estudiantes que utilizan el laboratorio.

Con la repotenciación del banco de pruebas de la Turbina Pelton se pretende actualizar sus equipos e instrumentos para obtener resultados precisos y fiables, logrando así la aplicación teórica en la práctica.

### 1.3. Antecedentes

En la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en la Facultad de Mecánica en el Laboratorio de Turbomaquinaria Hidráulica se encuentra el banco de pruebas de la Turbina Pelton, desde su adquisición en el año 1980 que fue instalada por técnicos de la Armfield, permitiendo que los estudiantes desarrollen las prácticas aplicando el conocimiento teórico y mejorando sus habilidades.

Con el paso del tiempo el banco de pruebas se ha venido repotenciando y actualizando algunos de sus elementos y equipos, se implementó la automatización de adquisición de datos del Laboratorio de Turbomaquinaria, porque las lecturas como presión, caudal, velocidad y fuerza se tomaban en forma visual; razón por la cual se vio la necesidad de estar a la vanguardia con los

avances tecnológicos, se han repotenciado los equipos con el fin de facilitar la obtención de datos en forma digital.

En la actualidad se encuentra sin uso aproximadamente tres años esto hace que sus elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos se deterioren por esta razón se ha propuesto su repotenciación.

#### **1.4. Objetivos**

##### **1.4.1. *Objetivo general***

Repotenciar el banco de pruebas de la Turbina Pelton del Laboratorio de Turbomaquinaria Hidráulica de la Facultad de Mecánica.

##### **1.4.2. *Objetivos específicos***

Realizar el diagnóstico técnico del banco de pruebas, mediante ensayos no destructivos para mejorar las partes afectadas.

Hacer un mantenimiento preventivo y correctivo, para devolver las condiciones de funcionamiento adecuadas del banco de pruebas.

Realizar una inspección y pruebas de funcionamiento del sistema eléctrico, para restablecer su condición actual.

Elaborar el manual de operación y plan de mantenimiento, mediante recopilación de datos técnicos, para mejorar el desempeño del estudiante.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Turbinas hidráulicas

Una turbina hidráulica es un equipo que utiliza la energía cinética y potencial generado por la corriente de agua para producir un movimiento rotatorio que mueve un generador eléctrico o máquina mediante un eje común, convirtiendo la energía mecánica en energía eléctrica esto gracias a que las turbinas cuentan con álabes en los cuales impactan el agua haciéndolas girar. (Beltrán, y otros, 2016 pág. 30)

Una turbo máquina tiene básicamente una serie de álabes fijos, y otra de álabes móviles, (rueda, rodete, rotor)

#### 2.2. Turbinas de reacción

Turbina Fourneyron (1833) dicha turbina el rodete se mueve dentro del agua lo que supone un gran diámetro de rodete en la actualidad no se construyen.

Turbina Heuschel cuenta con un tubo de aspiración el rodete es prácticamente inaccesible, en la actualidad no se construyen.

Turbina Francis (1849), es radial centrípeta con un tubo de aspiración, es muy práctica, el rodete es de fácil acceso esta turbina es una de las más empleadas y se utilizan en saltos variables desde 0.5 m hasta 180 m pueden ser lentas, normales, rápidas y extra rápidas.

Turbina Kaplan (1912), las palas del rodete tienen forma de hélice se emplean en saltos de pequeña altura.

#### 2.3. Turbinas de acción

Turbina Zuppinger (1846), con rueda tangencial de cucharas.

Turbina Pelton, es tangencial y la más utilizada para grandes saltos.



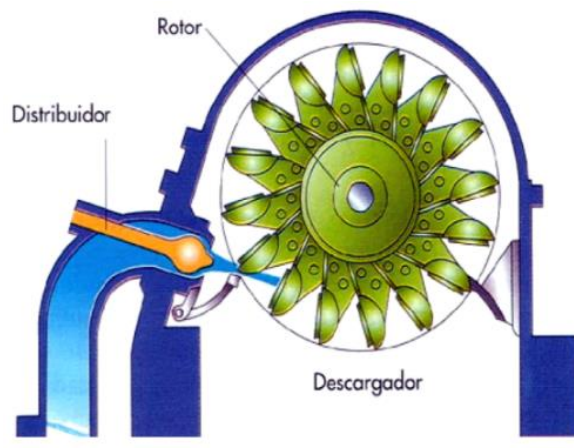
Turbina Schwamkrug (1850), radial y centrífuga.

Turbina Michel, en esta turbina el agua pasa dos veces por los alabes del rodete, construidos en forma de tambor, se utiliza para pequeños caudales y grandes saltos

## 2.4. Definición de las turbinas Pelton

La turbina Pelton es conocida como una turbo máquina motora de admisión parcial y de acción, está constituida por una rueda (rotor o rodete). Esta turbina es más eficiente dentro de las turbinas hidráulicas, es diseñada para explotar grandes saltos hidráulicos de bajo caudal. En el ámbito industrial las turbinas Pelton son utilizadas en las hidroeléctricas, cuenta con una larga tubería llamada galería de presión estas tuberías en ocasiones miden hasta más de doscientos metros. (Guillen, 2011 pág. 25)

Las turbinas Pelton crean un flujo tangencial, debido que el chorro proveniente de una tobera incide tangencialmente al rodete, cuyo elemento se encuentra constituido por un rotor acompañado en su estructura una serie de álabes que tiene la forma de una doble cuchara, es diseñada para recibir la fuerza directa del chorro de agua. (Guillen, 2011 pág. 25)



**Figura 1-2:** Turbina Pelton

Fuente: (PORRAS, 2011)

### 2.4.1. *Parámetros fundamentales de la turbina Pelton*

#### 2.4.1.1. *Parámetros Generales*

La correcta adquisición de parámetros de funcionamiento del banco de pruebas de la turbina pelton se puede constatar con los siguientes puntos:

#### 2.4.1.2. *Número de inyectores*

Dicho parámetro se determina basándose, en el caudal y espacio de instalación de la turbina, este valor normalmente se lo asume al inicio de la etapa de diseño.

#### 2.4.1.3. *Velocidad del rotor de la turbina*

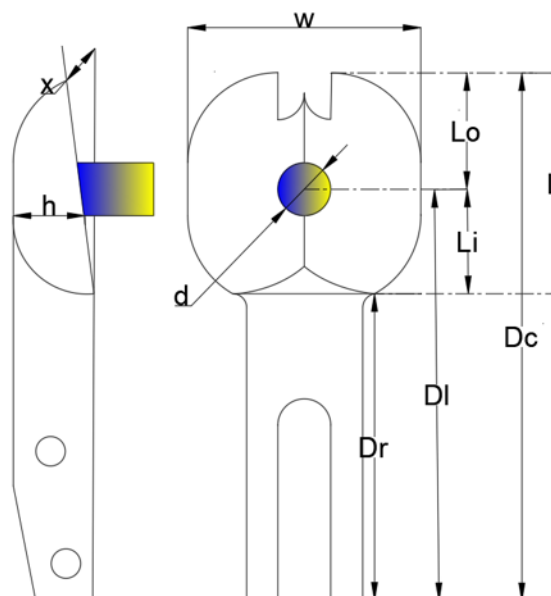
En este parámetro se basa fundamentalmente en la velocidad con la que el rodete de la turbina va a girar, también relaciona el caudal, el número de inyectores, la velocidad específica y la altura neta.

#### 2.4.1.4. *Diámetro del chorro*

Es un parámetro geométrico el cual define el diámetro que debe tener el chorro, este relaciona al caudal utilizado en el banco.

#### 2.4.1.5. *Parámetros geométricos*

Los alabes de la turbina Pelton es definida por varios parámetros geométricos, estos deben ser relativos a las dimensiones de la turbina. (Rojas, 2020 pág. 28)



**Figura 2-2:** Dimensiones de un álabe de la turbina Pelton

Fuente: (Rojas, 2020 pág. 28)

A continuación, se define cada uno de los parámetros geométricos del alabe de la turbina.

Parámetros:

**$D_C$** : Diámetro de punta

**$D_I$** : Diámetro de impacto del chorro de agua del jet

**$D_r$** : Diámetro de la raíz

**$d$** : Diámetro del jet.

**$W$** : Ancho toral del alabe

**$X$** : Ángulo de inclinación del cucharón

**$h$** : La profundidad del cubo en el diámetro del círculo de chorro

**$L$** : La longitud total de la superficie hidráulica del cucharón en la dirección radial

**$L_i$** : Longitud de la superficie hidráulica dentro del diámetro del círculo de chorro

**$L_o$** : Longitud de la superficie hidráulica fuera del diámetro del círculo de chorro. (Rojas, 2020)

#### **2.4.2. Elementos constructivos básicos de la turbina Pelton**

##### **2.4.2.1. Rodete**

Dentro de toda turbina hidráulica el elemento principal es el rodete (rueda o rotor), aquí se produce el intercambio de energía del fluido a la turbina, es muy importante dentro de la turbina debido a que se encarga de transformar la energía hidráulica del agua en energía mecánica y en energía cinética. (Leon, 2013 pág. 25)



**Figura 3-2:** Representación del rodete

**Fuente:** (Leon, 2013)

#### 2.4.2.2. *Álabes*

La forma particular de los álabes de una turbina Pelton tiene la forma de una doble cuchara, constan con una arista interior lo más afilada posible, de modo que divide al alabe en dos partes simétricas, en este elemento se produce el impacto directo del chorro de agua (Leon, 2013 pág. 25)



**Figura 4-2:** Representación de un álabe

**Fuente:** (Leon, 2013 pág. 25)

#### 2.4.2.3. *Distribuidor*

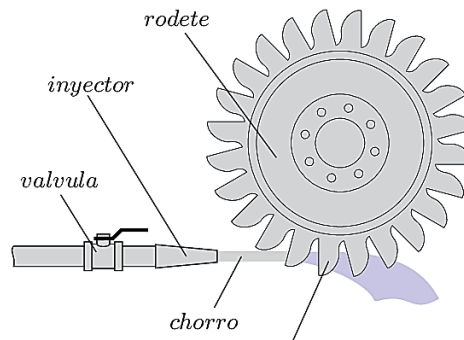
Este elemento se ubica entre la cámara espiral y el rodete de la turbina, su principal función es orientar adecuadamente el agua de forma cilíndrica hacia el rotor, también tiene como función cortar el paso del agua ya sea de una manera atenuante o por completo. (Leon, 2013 pág. 25)

El distribuidor consta con los siguientes elementos:

- Cámara de distribución.
- Inyector:
  - ✓ Tobera.
  - ✓ Aguja.
  - ✓ Deflector.
- Equipo regulador de velocidad

#### 2.4.2.4. *Inyector*

Dentro de la turbina Pelton el inyector se encuentra constituido por una paleta móvil que son los encargados de la regulación del caudal del chorro. El inyector se encuentra instalado al final de la cámara de distribución y su función es guiar el chorro hacia el rotor.



**Figura 5-2:** Función de un inyector

**Fuente:** (Leon, 2013)

#### 2.4.2.5. Cámara de distribución

Conocida también como cámara de inyectores, permite la conducción de agua hacia el inyector, también sirve como soporte con los demás mecanismos que integran el distribuidor, se encuentra acoplada con una brida de unión, cuyo elemento puede ser desmontado sin operaciones destructivas. (Leon, 2013)

#### 2.4.2.6. Carcasa

Elemento primordial que permite una envoltura a los inyectores, su estructura es metálica, como objetivo tiene evitar que el agua y distintas impurezas salpiquen o ingresen al interior de la misma. (Guillen, 2011 pág. 43)

### 2.4.3. Tintas Penetrantes

Se trata de una inspección, para detectar discontinuidades en la superficie tratada, el objetivo principal es detectar o descubrir grietas, porosidades y desgastes dentro de la superficie del material.

#### 2.4.3.1. Proceso para la inspección por tintas penetrantes

Dicho método se aplica sobre una superficie a tratar, primeramente, se realiza una limpieza de la superficie por consiguiente se aplica el líquido penetrante, luego de un tiempo determinado se realiza una limpieza para eliminar el exceso de penetrante, posteriormente se aplica el revelador con ayuda de este líquido nos permite observar como el penetrante se introduce en las discontinuidades produciendo una marca rojiza que permite identificar la discontinuidad (Vivero Condo, 2019 pág. 49).

## 2.5. Bomba centrífuga

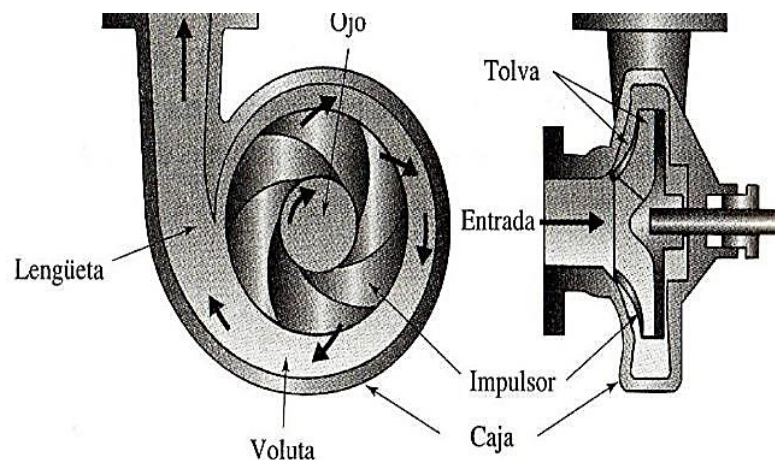
Una bomba centrífuga es conocida como una máquina roto dinámica, es decir permite transferir energía de un rotor en movimiento a un fluido. Esta situación se desarrolla debido a que el fluido entra axialmente dentro del rotor, al momento de circular por dentro del rotor genera energía a presión y velocidad, esto se debe a su configuración geométrica de los álabes que se encuentran en el rotor.

Las bombas centrífugas se caracterizan por emplearse varios rotores en serie, y dentro de los difusores pueden contener aletas de guía de forma gradual, estas permiten reducir poco a poco la velocidad del líquido. Al momento de arrancar la bomba el rotor debe ser cebado, es decir debe estar rodeado de líquido. (Moyano, 2015 Pag 24)

### 2.5.1. Funcionamiento de una bomba centrífuga

Una bomba centrífuga se encuentra compuesta por un principal elemento móvil denominado impulsor, cuyo elemento se encuentra constituido por varios elementos llamados álabes, los mismos que dirigen el movimiento de las partículas. Dentro de la carcasa cumple su funcionamiento el impulsor girando, este movimiento se genera por la acción de un motor eléctrico.

Para poder realizar la conversión de velocidad en presión se emplea dos tipos de volutas, esto también depende precisamente del diseño de la bomba. Al utilizar un difusor este consta de varios canales internos de sección variable, su estructura permite rodear al impulsor, se encuentran fabricadas en una sola pieza como se muestra en la figura 6-2. (Moyano, 2015 Pag 24)



**Figura 6-2:** Bomba centrífuga con Voluta

Fuente: (Moyano, 2015 Pag 24)

### **2.5.2. Características principales de las bombas Centrífugas**

Una de sus características de las bombas centrífugas, es transformar la energía mecánica en hidráulica, existe varios tipos de bombas centrífugas, su característica principal es la transformación de energía, esto tiene que ver mucho con uno de sus elementos principales llamado impulsor.

Existen bombas centrífugas que funcionan para distintos caudales, estos varían entre  $1\frac{L}{\text{min}}$  hasta  $106\frac{L}{\text{min}}$ , y de altura hasta más de 100 metros, dentro del rendimiento de las bombas centrífugas esta un aproximado a 90% esto quiere decir que en la curva de la potencia aumenta con el caudal. (Ramirez, 2012 pág. 31)

#### **Las bombas centrífugas cuentan con las siguientes características:**

- El líquido es expulsado perpendicularmente al eje de rotación del álabe.
- Se genera un aumento de la energía del fluido por la acción de la fuerza centrífuga.
- Se encuentra conformado por una carcasa.
- Se adapta a velocidades altas y trabajos forzosos
- Está conformado por uno o más rodets y únicamente por un eje.
- Las bombas centrífugas requieren de cebado previo a su funcionamiento.
- Cuando los flujos son elevados y su presión de salida es menor, la dirección de flujo en el interior de la bomba es paralela al eje del rotor (Ramirez, 2012 pág. 31).

### **2.5.3. Parámetros fundamentales de la bomba Centrífuga**

#### **2.5.3.1. Altura efectiva de bombeo**

Conocida también como la resistencia al flujo del fluido, esto permite que el fluido pueda fluir por completo a través del sistema de bombeo. (Domínguez, 2020 pág. 25).

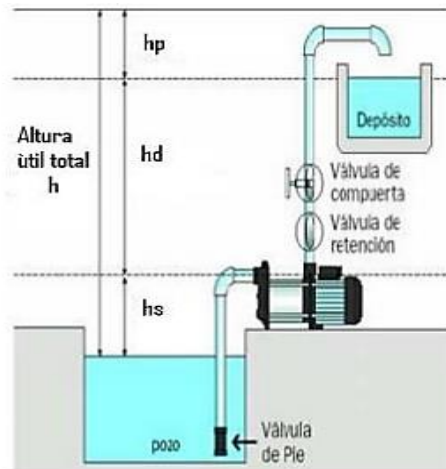
Datos:

**h:** Altura útil toda a vencer de una bomba.

**h<sub>p</sub>:** Altura de pérdidas.

**h<sub>d</sub>:** Altura estática de descarga.

$h_s$ : Altura estática de succión. (Domínguez, 2020 pág. 25)



**Figura 7-2:** Altura efectiva de bombas

Fuente: (Domínguez, 2020 pág. 25)

#### 2.5.3.2. *Amplitud de velocidad*

Están condicionados a la entrada y ayudan en el soporte de carga para permitir que la bomba trabaje de una manera eficiente y segura.

#### 2.5.3.3. *Amplitud de presión*

Es el máximo límite de presión, donde la bomba puede trabajar apropiadamente.

#### 2.5.3.4. *Potencia de bombeo*

Generalmente este parámetro depende de la altura efectiva de bombeo, que es suministrada por la bomba, la potencia suministrada en el eje de la bomba va a ser mayor a la potencia, esto se genera debido a las pérdidas que da la bomba, hay tres tipos. (Domínguez, 2020 pág. 25)

- a) **Pérdidas hidráulicas:** Se genera por estrangulamiento en la bomba, por cambios de dirección, fricción entre otros.
- b) **Pérdidas mecánicas:** Se debe al rozamiento que se genera entre elementos mecánicos.
- c) **Potencia volumétrica:** Se da por falta de hermeticidad y regreso de fluido dentro de la bomba.



#### 2.5.3.5. *Volumen*

Cantidad de volumen que la bomba genera a la presión de operación en este caso se mide en  $\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ .

#### 2.5.3.6. *Eficiencia volumétrica*

Esto se menciona gracias a la relación que existe entre el volumen teórico de salida y el volumen real.

#### 2.5.3.7. *Eficiencia mecánica*

Se denota mediante el cociente de la potencia transmitida, por la bomba de fluido esto se da por la potencia suministrada a la bomba. (Domínguez, 2020 pág. 25)

#### 2.5.3.8. *Eficiencia total*

Es la resultante de dividir la potencia hidráulica por la potencia suministrada al eje de la bomba, este valor representa el porcentaje de potencia que se transmite al fluido respecto del total suministrado al eje.

#### 2.5.3.9. *Altura neta de succión positiva*

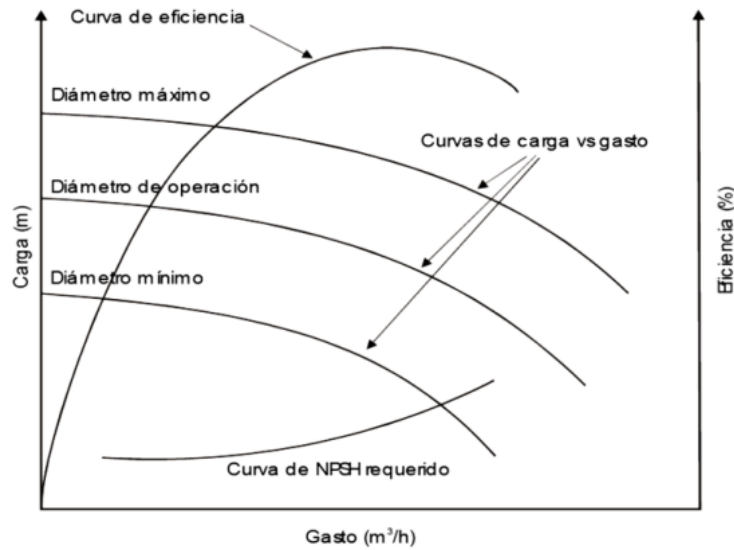
En general todas las bombas requieren una altura neta de succión positiva, se define como la presión necesaria sobre la presión de vapor fluido a bombearse, para que la bomba trabaje de una manera adecuada sin la presencia del fenómeno llamado cavitación, debido a que la cavitación es muy frecuente en el transporte de fluidos por bombas. (Domínguez, 2020 pág. 25)

### 2.5.4. *Curva característica de la bomba centrífuga*

Es necesario los datos de la placa de la bomba, los catálogos e información técnica de la bomba para obtener las curvas características, de no obtener la información indicada.

Se puede utilizar características similares de la bomba como son: velocidad, diámetro, tamaño, tipo de impulsor, entre otros. (Domínguez, 2020 pág. 27)

En la figura se puede observar la correlación que existe entre el caudal y la altura, NPSH, la potencia que se genera en el eje de la bomba, el rendimiento, entre otros.

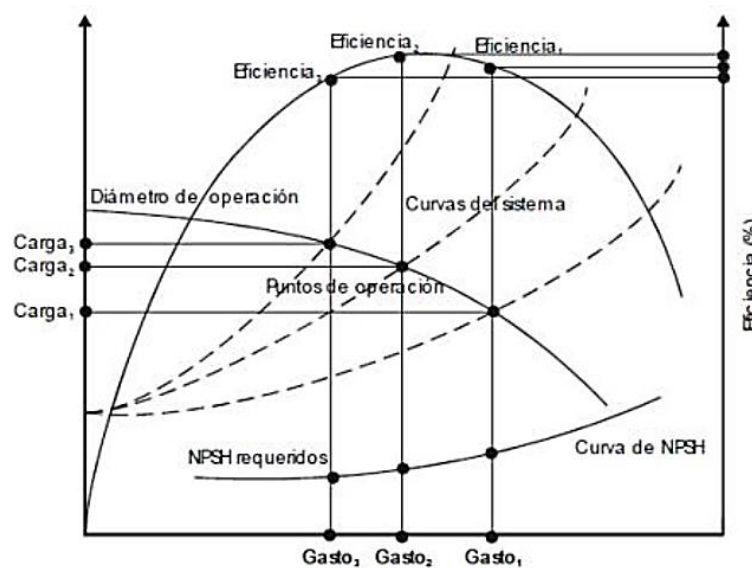


**Figura 8-2:** Curva característica de la bomba centrífuga

Fuente: (Domínguez, 2020 pág. 25)

#### 2.5.4.1. Curva característica de caudal variable

Los sistemas de bombeo necesitan caudal variable, esto significa que la bomba trabaja con distintos puntos de operación, lo cual hace referencia a carga y caudal. El NPSH requerido y la eficiencia de la bomba centrífuga, se puede determinar en cada punto. (Domínguez, 2020 pág. 27)

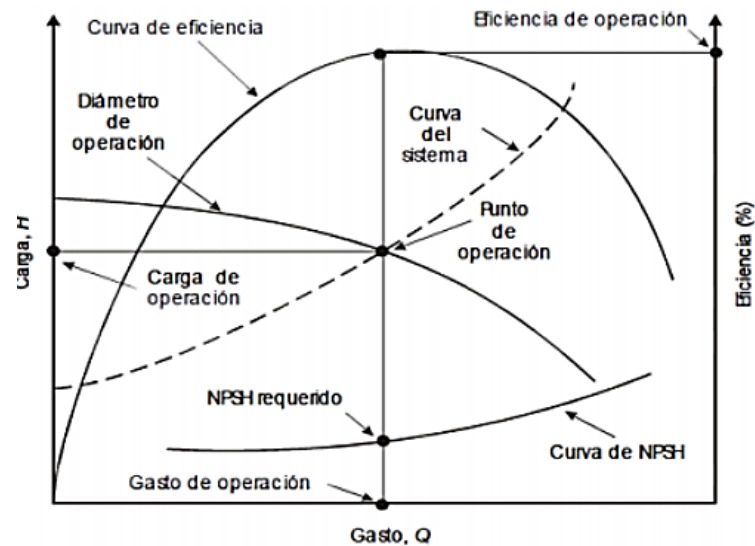


**Figura 9-2:** Curva característica de la bomba centrífuga con caudal variable

Fuente: (Domínguez, 2020 pág. 27)

### 2.5.4.2. Curva característica de caudal constante

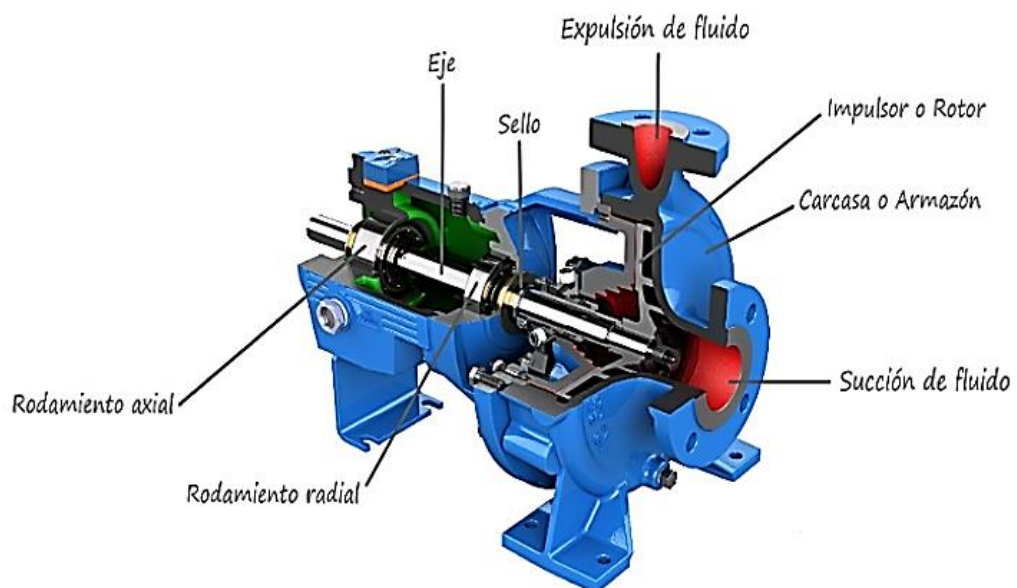
Esto se produce gracias a que coincide la carga precisa del sistema de bombeo, con la carga generada por la misma, con esto se obtiene el punto de operación. Al momento de trazar una línea horizontal y vertical por el punto de operación obtenemos valores de caudal, carga, NPSH y eficiencia.: (Domínguez, 2020 pág. 27)



**Figura 10-2:** Curva característica de la bomba centrífuga con caudal constante

Fuente: (Domínguez, 2020 pág. 27)

### 2.5.5. Órganos principales de la bomba Centrífuga



**Figura 11-2:** Partes fundamentales de la bomba centrífuga

Realizado por: Zavala, J.; Sagñay, F., 2022.

#### 2.5.5.1. *Carcasa*

Este elemento tiene como función transformar la energía de velocidad conjuntamente con el fluido en energía de presión. Su finalidad primordial es proteger a la bomba, porque su estructura se asemeja a un caracol, genera una separación que gradualmente va aumentando hasta encontrarse frente a la abertura donde se genera la impulsión. (Dominguez, 2020)

#### 2.5.5.2. *Impulsor*

Es el encargado de recibir el líquido y este genera una velocidad de la cual depende la carga provocada por la bomba. Es denominado como el corazón de la bomba centrífuga.

#### 2.5.5.3. *Sello*

Es el encargado de reducir la fricción, que es generada por su rozamiento entre los rodets con el eje de la bomba, una de sus funciones también es soportar el peso y generar una perfecta alineación de las partes rotatorias de la bomba. (Guato, 2016 pág. 24)

#### 2.5.5.4. *Eje*

Este elemento se encuentra rígidamente unido al rotor y se encuentra situado sobre cojinetes lubricados correctamente, genera el movimiento de rotación dentro de la bomba y sus distintas partes móviles. (Guato, 2016 pág. 24)

#### 2.5.5.5. *Entrada del fluido y Descarga del fluido*

Conductor por donde ingresa el fluido con ayuda del impulsor que cuenta con unos álabes para conducir el fluido, y por efector de la fuerza centrífuga es expulsado hacia la carcasa, para finalmente salir por la descarga.

#### 2.5.5.6. *Rodamientos*

Este componente permite una perfecta alineación de todas las partes rotatorias dentro de la bomba, constituye un soporte y guía para el eje. (Dominguez, 2020)

## 2.6. Instrumentos utilizados para medir fluidos

### 2.6.1. Medidor de presión

Con el fin de repotenciar el banco de pruebas se utiliza los instrumentos necesarios de medición y control, como medidores de presión, caudal y temperatura, estos instrumentos permiten el mantenimiento y la regulación de las variables a medir.

#### 2.6.1.1. Sensores

Conocidos como detector o elemento primario, ya que se encuentra en contacto directo con la variable a medir, estos instrumentos utilizan la energía del medio a controlar para dar al sistema de medición una indicación en respuesta a la variación de la variable. El efecto producido por el elemento primario puede ser un cambio de presión, fuerza, posición, medida eléctrica, etc. (Creus Solé, 2010 pág. 23)

#### 2.6.1.2. Manómetro

Usados para detectar e indicar la presión física de líquidos, en la mayoría de los casos se mide la presión relativa, que es relativa a la presión atmosférica. También miden la presión absoluta, la presión diferencial y la depresión, se usan otros manómetros, como, por ejemplo, los manómetros de Bourdon, placa flexible y de cápsula. (Creus Solé, 2010 pág. 23)

#### 2.6.1.3. Tacómetro

Es un elemento o dispositivo que generalmente permite medir la velocidad de rotación de un eje, la unidad de medida son las revoluciones por minuto RPM (Creus Solé, 2010 pág. 763).



**Figura 12-2:** Tacómetro de la turbina Pelton

Fuente: (Guillen, 2011 pág. 76).

### 2.6.2. Medidores de caudal

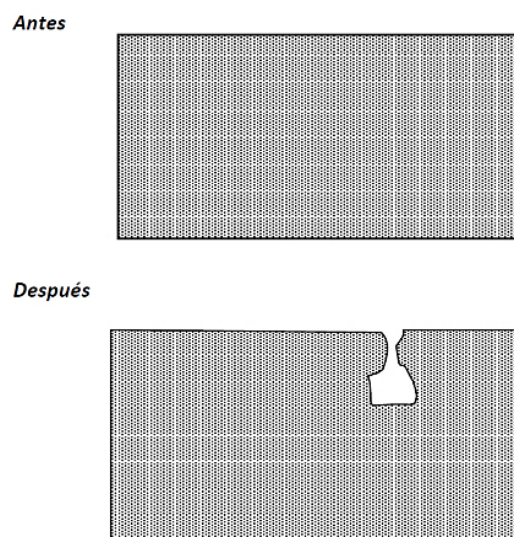
En la mayor parte de operaciones realizadas en los procesos industriales, plantas piloto y en laboratorios, este instrumento es muy utilizado en la medición de caudales líquidos y gases. (Creus Solé, 2010 pág. 105).

### 2.6.3. Tipos de corrosión

La corrosión es un proceso a través del cual un material metálico se deteriora como resultado de interactuar con el medio que lo rodea. (Vázquez, 2018)

#### 2.6.3.1. Corrosión por picaduras (pitting)

Se trata de un tipo de ataque que se caracteriza por estar localizado en un área bien delimitada y generalmente pequeña, las zonas adyacentes al punto de ataque suelen permanecer intactas, en algunas ocasiones las picaduras aparecen muy próximas unas de otras y dan la apariencia de una superficie rugosa. (Vázquez, 2018 pág. 51)



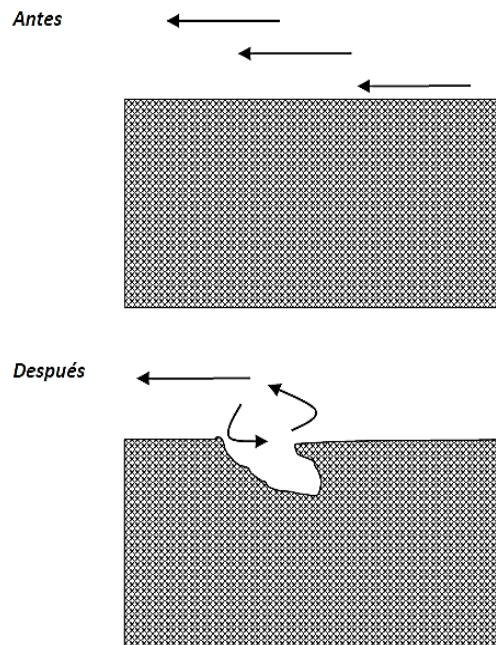
**Figura 13-2:** Corrosión por picadura

Fuente: Vázquez, M. 2018.

#### 2.6.3.2. Corrosión por erosión

Principalmente, este tipo de corrosión está acompañada por un proceso de desgaste mecánico (o abrasivo), normalmente debido a que existe un movimiento relativo entre el material metálico y el medio corrosivo.

En estos casos, la capa pasiva está continuamente sometida a efectos corrosivos y de desgaste en forma simultánea, de modo que la continua eliminación de esta capa protectora acelera la corrosión. (Vázquez, 2018 pág. 63)



**Figura 14-2:** Corrosión por erosión

Fuente: Vázquez, M. 2018

#### 2.6.3.3. *Control de la corrosión*

En la actualidad uno de los principales problemas que se presentan en los aceros es la corrosión, se puede presentar de maneras diferentes, por eso es importante conocerlas para poder detectar y controlar a tiempo.

En la actualidad existen varios métodos para controlar la corrosión, entre los cuales los más utilizados son los recubrimientos superficiales y también la instalación de métodos que ayuden a reducir la corrosión, en este caso el método del ánodo de sacrificio siendo muy utilizado para controlar la corrosión en tanques, carcasa de barcos, etc. aumentando la vida útil y reduciendo los costos totales (Vázquez, 2018 pág. 71)

#### 2.6.4. *Ánodo de sacrificio*

Entre los metales que pueden ser protegidos de la corrosión por este método se cuentan los aceros, el cobre, plomo y bronce, entre otros. Entre las principales aplicaciones están las embarcaciones, las tuberías, tanques de almacenamiento, pilotes de puentes, edificios, etc.

Una variante de este método se fundamenta en incorporar al sistema un material metálico bastante activo, cuyo único propósito en el sistema sea entregar sus electrones. Esta opción constituye la base de un recurso muy ampliamente empleado que se denomina protección catódica por ánodos de sacrificio. En este caso, el metal que va a entregar los electrones se va a oxidar, es decir, se va a sacrificar, para así proteger al metal que nos interesa (Vázquez, 2018 pág. 78)

Los metales más usados para este fin son el magnesio, el zinc y ciertas aleaciones de aluminio.

#### 2.6.4.1. *Ánodo de Zinc*

Los ánodos de zinc tienen una propiedad importante que su capacidad no se ve afectada por la densidad de corriente de operación, estos ánodos se emplean generalmente para proteger estructuras metálicas en agua o en medios lodosos.

Por esta razón los ánodos de zinc están limitados y no pueden proteger estructuras donde la temperatura es alta, a continuación, se muestra varias propiedades:

- Los ánodos son muy pesados y la estructura gana una cantidad apreciable de peso.
- Se requiere zinc de alta pureza (99.99%) para un desempeño altamente confiable al momento de ser utilizado. (MIRIAM TERRAZAS, 2012 pág. 35)

#### 2.6.4.2. *Los ánodos de magnesio*

Contiene un alto potencial con respecto al hierro, estos ánodos no son recomendables para ser empleados en agua de mar, debido a que su elevada auto corrosión hace que los rendimientos bajen.

Contiene una gran tendencia a la auto corrosión, y bajo rendimiento de corriente, aproximadamente con el 50%.

#### 2.6.4.3. *Los ánodos de aluminio*

No puede ser usado en aguas de bajo contenido de cloruro, porque se cubre de una película pasiva y ya no es capaz de conducir la corriente eléctrica. En este tipo de aplicación, está previsto que el material del ánodo se consuma y es deseable que así sea para que cumpla con su función, por lo que debe reemplazarse periódicamente.



Dependiendo del caso particular de que se trate, las dimensiones y la forma de estos ánodos de sacrificio se calculan y la frecuencia de recambio se especifica dentro del programa de mantenimiento. Normalmente, son varillas o bloques. (Vázquez, 2018 pág. 78)

#### **2.6.5. Ventajas aplicando ánodo de sacrificio**

- Son de fácil instalación
- Se puede utilizar en estructuras nuevas, así como también en estructuras usadas
- No necesitan mantenimiento
- Se pueden colocar en estructuras móviles o alejadas de fuentes de suministro de energía eléctrica
- Son de bajo costo (MIRIAM TERRAZAS, 2012 pág. 35)

#### **2.6.6. Desventajas del ánodo de sacrificio**

- La vida del ánodo es limitada, es recomendable reemplazarlos periódicamente.
- Para tuberías muy largas y con un mal recubrimiento no son muy recomendables. (MIRIAM TERRAZAS, 2012 pág. 35)

#### **2.6.7. Cálculo del ánodo de sacrificio**

Con el fin de conocer el número de ánodos requeridos para llevar a cabo la protección catódica, es necesario inicialmente determinar la superficie a proteger y calcular la densidad de corriente de protección. El producto de la superficie a proteger ( $m^2$ ) por la densidad de corriente de protección (en  $\frac{mA}{m^2}$ ), permite calcular la intensidad total necesaria para la protección catódica ( $I_T$ ).

Por otra parte, como se conoce la intensidad que es capaz de suministrar un ánodo, resulta que el número de ánodos N está dado por la siguiente ecuación: (Giudice, y otros, 2016 pág. 233)

#### **Resistividad del ánodo (R)**

$$R = \frac{\rho}{2 \pi L} \left[ 2.3 * \log \left( \frac{2 L}{r} - 1 \right) \right] \quad (1)$$

**R:** resistencia del ánodo, en Ohm ( $\Omega$ )

**L:** longitud del ánodo, en centímetros (cm)

**$\rho$** : resistividad del medio, ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )

**r**: radio equivalente, (cm)

### Corriente total ( $I_t$ )

$$I_t = d_{\text{corriente}} * A_{\text{proteger}} \quad (2)$$

**$d_{\text{corriente}}$** : densidad de corriente, en Ohm ( $\Omega$ )

**$I_t$** : corriente total (A)

**$A_{\text{proteger}}$** : área a proteger ( $\text{m}^2$ )

### Cálculo de la corriente (I)

$$V = I * R \quad (3)$$

**V**: voltaje (V)

**I**: corriente (A)

**R**: resistencia ( $\Omega$ )

### Número de ánodos

$$N = \frac{I_t}{I} \quad (4)$$

**N**: número de ánodo

**$I_t$** : corriente total (A)

**I**: corriente (A)

### Radio equivalente

$$r = \sqrt{\frac{60\% * A}{\pi}} \quad (5)$$

**r**: radio equivalente

**A**: área

## Área

$$A=b*h \quad (6)$$

**b:**base

**h:** altura

**A:** área

## Cálculo del peso del ánodo

$$w=\frac{d_{\text{corriente}}*A*I}{C} \quad (7)$$

**d<sub>corriente</sub>:** Densidad de corriente ( $\frac{mA}{m^2}$ )

**A:** Área de la estructura a proteger

**I:** Vida del diseño en años (1 año 8760 h)

**C:** Capacidad del ánodo ( $\frac{Ah}{kg}$ )

**W:** Peso del ánodo

### 2.6.8. *Tintas penetrantes*

Existen métodos de ensayos no destructivos para detectar discontinuidades que se abren en las superficies como grietas, vetas, tumultos, cierres fríos, laminaciones, goteos directos o falta de fusión y son aplicables a lo largo del proceso, al final y en el examen de mantenimiento.

Se pueden usar efectivamente en la examinación de materiales no porosos, metálicos, ferrosos y no ferrosos, no metálicos como cerámicas barnizadas o plenamente densificadas, ciertos plásticos no porosos y vidrio. NORMA ASTM E 165-95.

El tiempo efectivo de emulsificación debe determinarse experimentalmente para cada aplicación específica. El acabado de la superficie (rugosidad) de la pieza es un factor importante en la selección y el tiempo de emulsificación de un emulsionante. El tiempo de contacto debe ser el menor posible consistente con un fondo aceptable y no debe exceder el tiempo máximo específico para la pieza o material. NORMA ASTM E 165-95.

**Tabla 1-2:** Tipos de materiales y formas

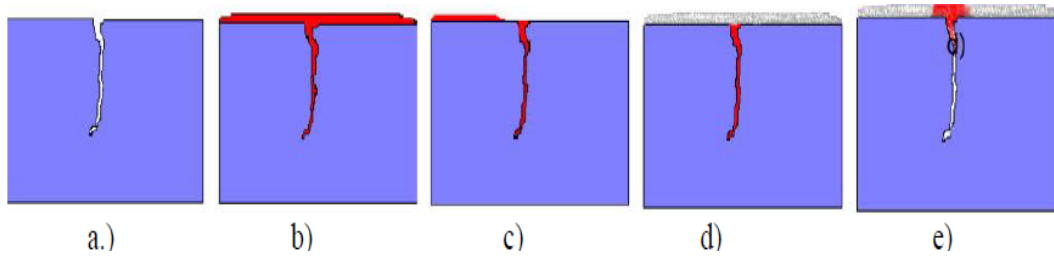
Material	Forma	Tipo de discontinuidad	Tiempo de acción (min)	
			Penetrante	Revelador
Aluminio, magnesio, acero, latón y bronce, titanio y aleaciones de alta temperatura	Fundiciones y soldaduras	Sellado en frío, porosidad, falta de fusión, grietas (todas las formas)	5	10
		Honduras grietas (todas las formas)	10	10
Herramientas de punta de carburo		Falta de fusión, porosidad, grietas	5	10
Plástico	Todas las formas	Grietas	5	10
Vidrio	Todas las formas	Grietas	5	10
Cerámica	Todas las formas	Grietas, porosidad	5	10

Fuente: NORMA ASTM 165-95

### 2.6.9. Pasos a desarrollar

Inspeccionar el lugar de trabajo para verificar si la presencia de luz y ventilación es adecuada para comenzar la práctica.

- Utilizar equipos de protección personal como: guantes de látex, casco, mandil.
- Limpie cuidadosamente la superficie sobre la cual se realiza la práctica.
- Aplicar el líquido limpiador teniendo en cuenta que se debe aplicar con un ángulo de 30 a 45 grados.
- Utilizar un limpiador de tela que no tenga pelusas para retirar el cleaner.
- Aplicar el líquido penetrante y esperar según la norma ASTM 165-95 es de 5 minutos.
- Usar un limpiador de tela que no tenga pelusas para retirar el líquido penetrante.
- Aplicar el revelador y esperar según la norma ASTM 165-95 es de 10 minutos para observar los resultados.
- Observar el tipo de discontinuidad presente.
- Usar un limpiador de tela que no tenga pelusas para retirar el líquido penetrante.



**Figura 15-2:** Proceso de análisis de tintas penetrantes

Fuente: (Vivero Condo, 2019 pág. 49).

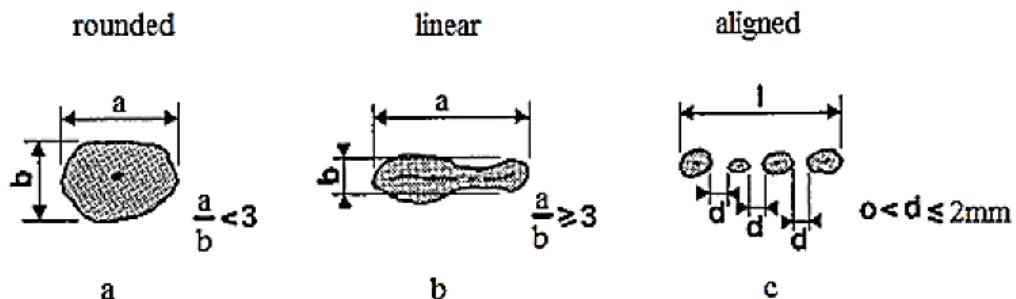
#### 2.4.1. Norma para el análisis de resultados

Según la Norma API 650 nos indica que existen tres tipos de indicaciones: lineal, redondeada y alineada.

a. Indicaciones lineales relevantes.

b. Indicaciones redondeadas relevantes mayores de  $\frac{3}{16}$  pulgadas (5 mm)

c. Indicaciones redondeadas relevantes alineadas y separadas  $\frac{1}{16}$  pulgada (1,5 mm) o menos.



**Figura 16-2:** Análisis de resultados

Fuente: (Vivero Condo, 2019 pág. 49).

#### 2.6.10. Estrategias para no reincidir: un buen plan de mantenimiento

Cualquiera que haya sido el método de prevención elegido, no habrá buenos resultados si no se cuenta con un plan de mantenimiento adecuado que permita seguir en el tiempo el grado de avance de la corrosión.

Mediante programas de inspección y diagnóstico adecuados será posible detectar la iniciación de corrosión con una actitud proactiva, que permita intervenir antes de que se inicie la aparición de patologías visibles.

De esta manera, será posible evaluar la eficiencia y durabilidad del esquema de reparación implementado. Por último, al poner en marcha un programa de control se debe llevar adelante un control de obra exhaustivo que permita que se verifiquen las distintas etapas del esquema de control seleccionado y que asegure que se han seguido las etapas y las pautas previstas en las especificaciones correspondientes. (Vázquez, 2018 págs. 89-90)

#### **2.6.11. Pinturas Anticorrosivas**

Estas composiciones tienen como función fundamental controlar el fenómeno de corrosión para prolongar la vida útil del sustrato. Una propiedad esencial es la adhesión al metal, la cual es función del material formador de película, su naturaleza depende de la pintura intermedia o de terminación seleccionada según las exigencias del medio ambiente.

Las principales características de las pinturas anticorrosivas son el bajo brillo para facilitar la adhesión de la capa posterior; la reducida permeabilidad para controlar el proceso de corrosión y evitar simultáneamente la formación de ampollas; óptima adhesión al sustrato de base y finalmente una elevada eficiencia del pigmento inhibidor de la corrosión. particularmente los solubles, ya que requieren el medio electrolítico para desarrollar su mecanismo de acción. (Giudice, y otros, 2016 pág. 25)

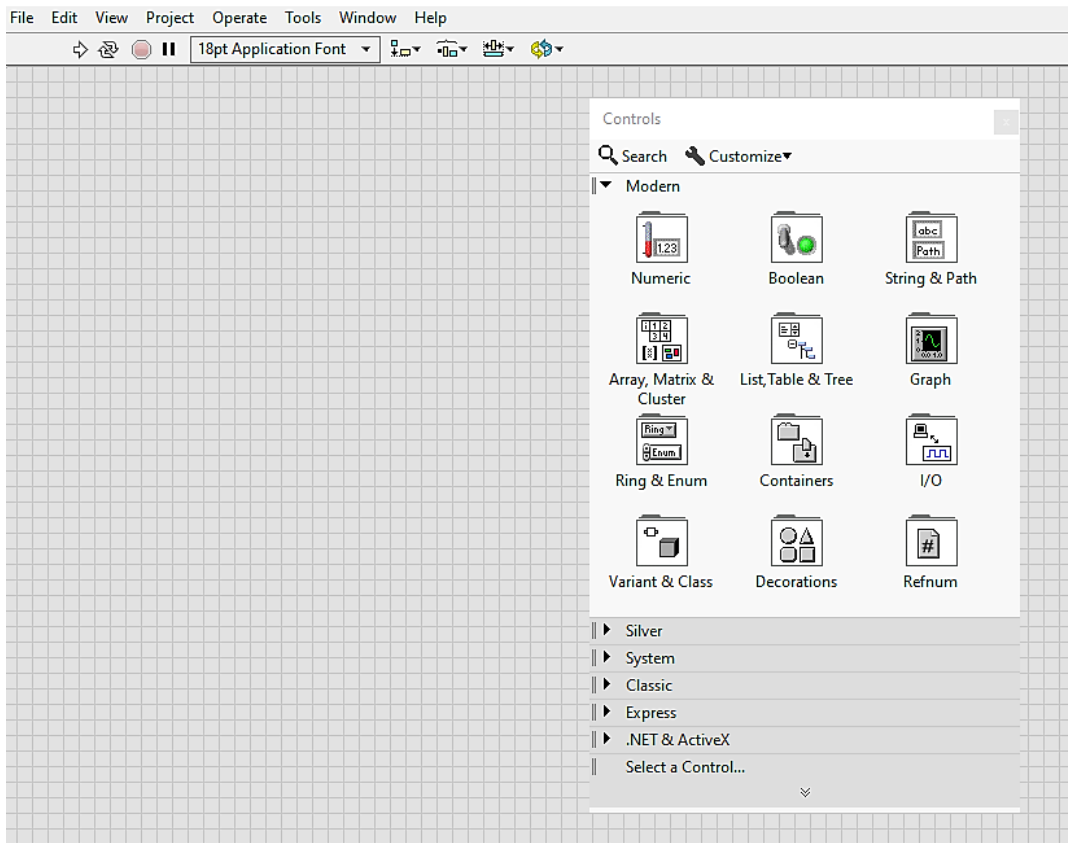
### **2.7. Plataforma Lab VIEW**

Lab VIEW versión 9.0 es un lenguaje de programación cuyo entorno de desarrollo es gráfico, flexible y modular en su totalidad, diferente a la programación mediante comandos tipo texto, sistemas empleados en los lenguajes de programación de alto nivel tradicionales como *Assembler*, *Pascal*, *Basic*, entre otros

#### **2.7.1. Ventana del panel frontal (front panel)**

Al abrir un instrumento virtual en blanco se crean automáticamente dos ventanas, una de ellas se conoce como el panel frontal del instrumento virtual en donde como ya se menciona vamos a crear la interfaz que entrara en contacto con el usuario final de la aplicación software, esta es una de las ventanas que se utilizan en LabVIEW para construir el Instrumento virtual.

La otra ventana se conoce como diagrama de bloques en donde se ha de programar la parte lógica o código del instrumento virtual.



**Figura 17-2:** Interfaz del LabVIEW

Realizado por: Zavala, J.; Sagnay, F., 2022.

## CAPÍTULO III

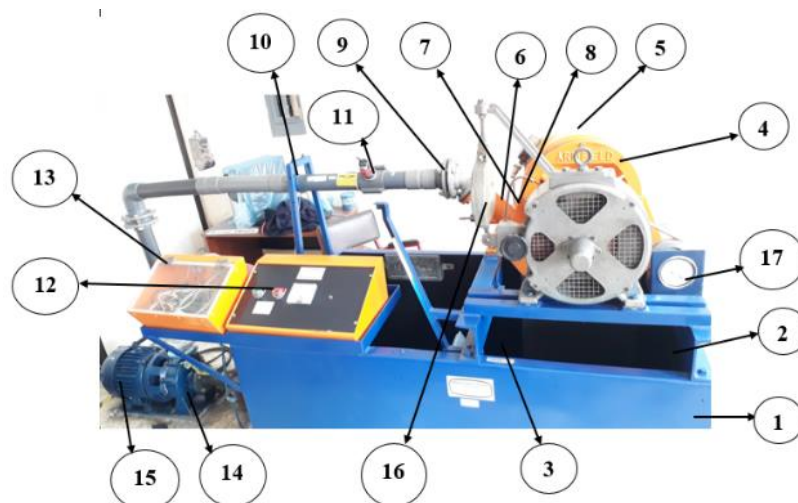
### 3. REPOTENCIACIÓN DEL PROYECTO

#### 3.1. Situación actual del módulo.

El banco de pruebas de la turbina Pelton, existente en el laboratorio de turbo maquinaria hidráulica de la facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Fue instalada en el año de 1980 en total funcionamiento, para realizar prácticas que permitan conocer el funcionamiento de dicha turbina. Tras 40 años de funcionamiento, el banco de pruebas no cumple con sus funciones de diseño. Por esta razón se realiza, un diagnóstico técnico de cada uno de los elementos, visualizando las fallas presentes permitiendo tomar decisiones, con el fin mejorarlo o sustituirlo.

#### 3.2. Principio de funcionamiento

Este tipo de turbinas funcionan con saltos agua relativamente grandes entre 40 y 270 m para simular esta caída de agua se utiliza un motor trifásico con una potencia de 7,5 Kw unido a la bomba centrífuga, una de las principales ventajas es que no necesita de grandes caudales para su funcionamiento, la dirección mediante la cual ingresa el chorro de agua desde el inyector hacia la turbina pelton es tangencial impactándose en los álabes de la turbina estos tiene una forma de cuchara, uno de los elementos más importantes es el inyector, ya que permite controlar el flujo del agua.



**Figura 1-3:** Turbina en estado actual

Realizado por: Zavala, J.; Sagnay, F., 2022.



**Tabla 1-3:** Partes del módulo de la turbina de la Turbina pelton

#	Nombre	Cant	Estado			#	Nombre	Cant	Estado		
			B	M	R				B	M	R
1	Válvula de drenaje	2		x		10	Soporte de entrada	1	x		
2	Tanque reservorio	1			x	11	Soporte de medidor de caudal	1	x		
3	Vertedero en "V"	1	x			12	Tablero de control	1		x	
4	Carcasa de Turbina	1			x	13	Válvula de diafragma	1			x
5	Plato divisor de la turbina Pelton	1	x			14	Bomba centrífuga	1		x	
6	Manómetro en el conducto de entrada	1	x			15	Motor eléctrico	1	x		
7	Inyector	1		x		16	Dinamómetro	1	x		
8	Aguja del inyector	1		x		17	Tacómetro	1	x		
9	Tubería de entrada	1	x								

Realizado por: Zavala, J.; Sagñay, F., 2022.

### 3.3. Diagnóstico de los elementos

A medida que se desarrolla el análisis correspondiente de la máquina, se observa que varios de sus elementos no se encuentran acoplados a la misma, tal es el caso del: sistema eléctrico, dinamómetro, tacómetro, manómetro del conducto de entrada.

#### 3.3.1. Depósito de agua

Es una de las partes que se encuentra más afectada porque presenta una capa de corrosión que debe ser tratada, así mismo la implantación de un método que permite que se alargue su tiempo de vida útil, su capacidad es de 1200lt



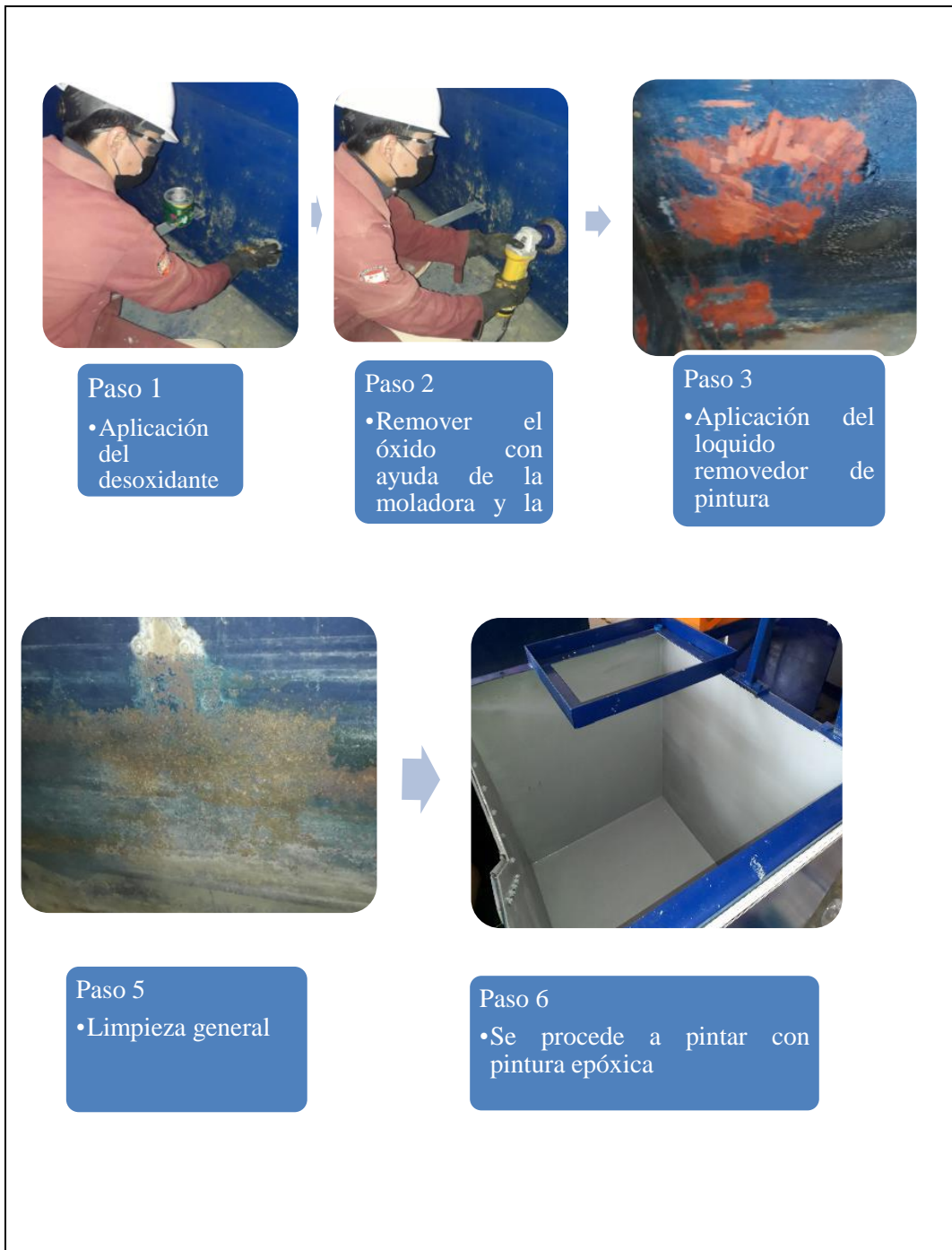
**Figura 2-3:** Depósito de agua

Realizado por: Zavala, J.; Sagñay, F., 2022.

**Tabla 2-3:** Materiales utilizados en el depósito de agua

Materiales		
Cant	Materiales	Gráfico
1	Cepillo de acero	
1	Grata	
1	Amoladora	
1	Desoxidante	
1	Removedor de pintura	
1	Espátula	
1	Brocha	

Realizado por: Zavala, J.; Sagñay, F., 2022.



**Figura 3-3:** Procedimiento de limpieza del depósito de agua

Realizado por: Zavala, J.; Sagñay, F., 2022.

### 3.3.2. Válvulas de drenaje

Con el paso del tiempo estas válvulas se encuentran totalmente corroídas, en una de ellas se encuentran restos de tubería. Estas válvulas van a ser sustituidas.



**Figura 4-3:** Válvulas de Drenaje

Realizado por: Zavala, J.; Sagñay, F., 2022.

### 3.3.3. *Sistema eléctrico*

Se observa que varios de sus elementos están desconectados, se procede a inspeccionar de manera minuciosa cada elemento y si es necesario deben ser sustituidos, para finalmente realizar la prueba de funcionamiento, este banco permite controlar el encendido y apagado de la bomba.



**Figura 5-3:** Sistema eléctrico

Realizado por: Zavala, J.; Sagñay, F., 2022.

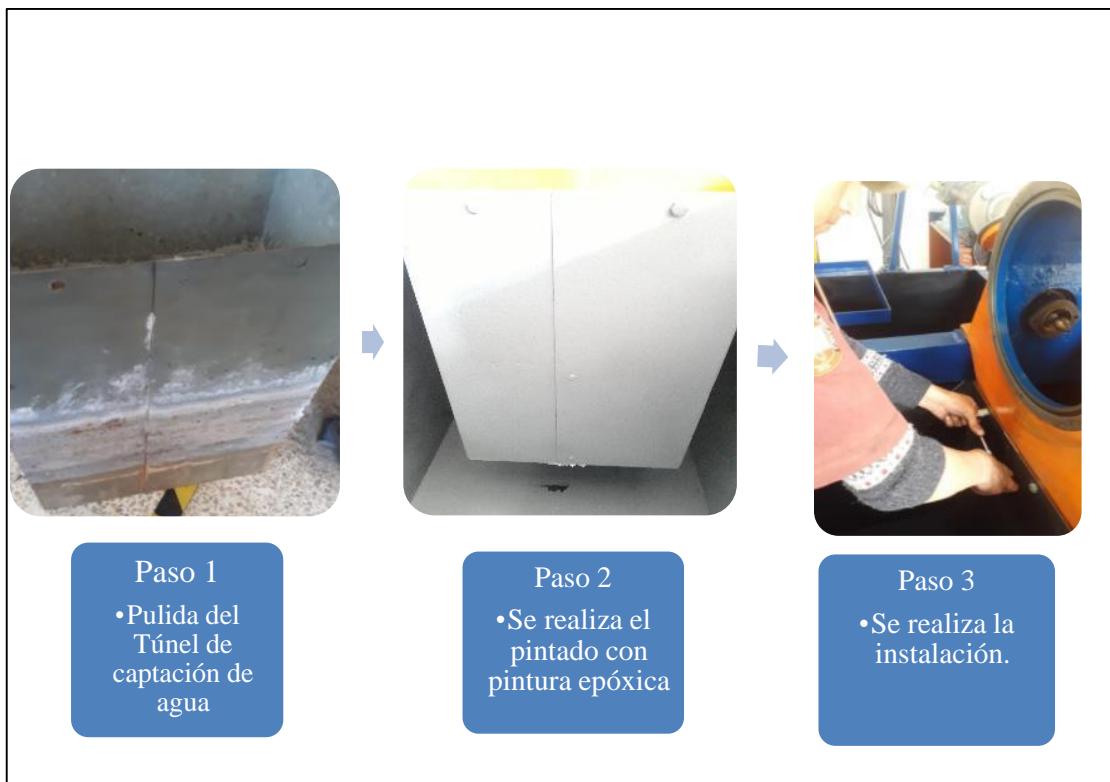
### 3.3.4. *Túnel de captación de agua*

Es una de las partes que se encuentra más afectada porque presenta una capa de corrosión que debe ser tratada para alargar su tiempo de vida.



**Figura 6-3:** Túnel de captación de agua

Realizado por: Zavala, J.; Sagñay, F., 2022.



**Figura 7-3:** Procedimiento del mejoramiento del túnel de captación de agua

Realizado por: Zavala, J.; Sagñay, F., 2022.

### 3.3.5. *Turbina Pelton*

Uno de los principales problemas que presenta la turbina Pelton se debe a los años de funcionamiento y sin un plan de mantenimiento adecuado, la turbina se encuentra atascada dificultando su extracción para poder realizar el ensayo no destructivo de tintas penetrantes, de la misma manera se observa que se encuentra sin su acrílico de protección.

**Tabla 3-3:** Información general de la turbina Pelton

<b>EQUIPO:</b>		<b>TURBINA PELTON</b>	
Marca: ARMFIELD	N.- Inventario: 09953	Comprado a: ARMFIELD LTDA	
Modelo: R15 10 INCH LABORATORY PELTON TURBINE	Año de compra: 1980	Peso: 293.2 kg	
Número de Serie:	Dimensiones: 2300x1615x1100mm	Año de Avalúo: 2003	
<b>DATOS TÉCNICOS</b>			
Tipo de Turbina: RODETE	Diámetro máximo del chorro: 1.88cm	N.- de cucharas 21	
Cabeza neta de diseño: 30.5m	Diámetro de ataque del rodete: 24.4cm	Velocidad óptima del eje 8000 rpm	
Cabeza de trabajo máximo: 76.2m	Capacidad del tanque de reservorio: 1200 Litros.	Diámetro de la tubería de admisión: 6.35cm	

Realizado por: Zavala, J.; Sagñay, F., 2022.



**Figura 8-3:** Turbina pelton

Realizado por: Zavala, J.; Sagñay, F., 2022.

**Tabla 4-3:** Materiales utilizados en la repotenciación de la Turbina Pelton

<b>MATERIALES</b>		
<b>Cant</b>	<b>Materiales</b>	<b>Gráfico</b>
1	Cepillo de acero	
1	Llaves alfen	
1	Juego de llaves y copas	
1	Brocha	

Realizado por: Zavala, J.; Sagñay, F., 2022.



**Figura 9-3:** Procedimiento para la repotenciación de la turbina

Realizado por: Zavala, J.; Sagnay, F., 2022.

### 3.3.6. *Inyector*

El inyector se encuentra en buenas condiciones, pero los tornillos de sujeción y su empaque se encuentra totalmente deteriorados debido a la corrosión razón por la cual deben ser sustituidos.



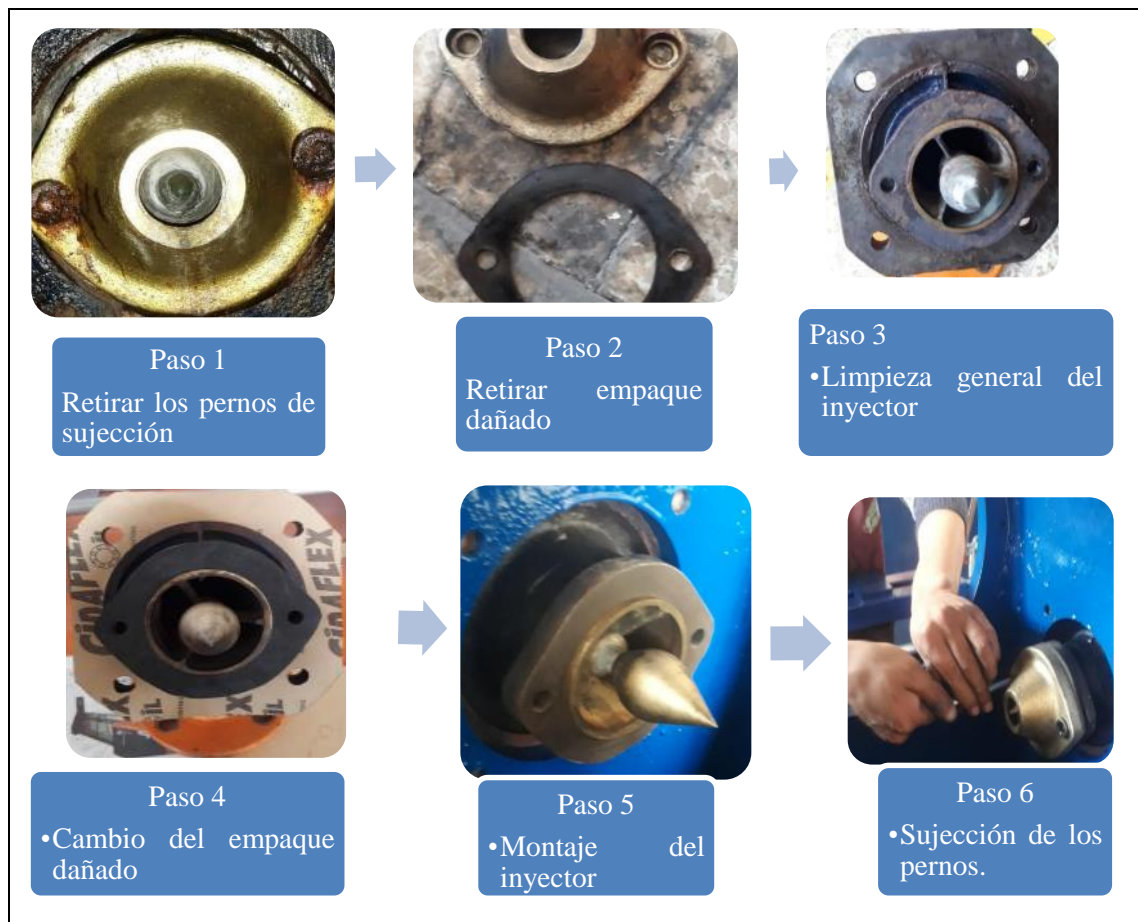
**Figura 10-3:** Inyector

Realizado por: Zavala, J.; Sagñay, F., 2022.

**Tabla 5-3:** Materiales utilizados en la repotenciación del inyector

Materiales		
Cant	Materiales	Gráfico
1	Juego de llaves	
1	Cepillo de acero	

Realizado por: Zavala, J.; Sagñay, F., 2022.



**Figura 11-3:** Procedimiento para la repotenciación del inyector

Realizado por: Zavala, J.; Sagñay, F., 2022.



### 3.3.7. Tacómetro

El tacómetro al momento está acoplado en el extremo opuesto del eje secundario de la turbina deteniéndose al momento en que la turbina para, este dispositivo electrónico desde su instalación no ha sido calibrado, por consiguiente los resultados de los ensayos no son confiables.



**Figura 12-3:** Tacómetro

Realizado por: Zavala, J.; Sagñay, F., 2022.

### 3.4. Mantenimiento preventivo y correctivo del motor y bomba centrífuga

El mantenimiento en la bomba centrífuga de modelo (Parkinson), se realiza para poder identificar sus posibles modos de falla y solucionarlos para un mejor rendimiento del equipo, al iniciar la prueba de funcionamiento como primera observación la bomba era incapaz de succionar el agua del depósito, y también se escucha un ruido anormal dentro de la bomba razón por la cual se la apagó para evitar daños posteriores.

La bomba permite transmitir energía al fluido, uno de los principales problemas que se puede observar es que se encuentra con corrosión en el impulsor, también se encuentra obstruida la succión de entrada con basura, y el sello mecánico se encuentra en pésimas condiciones debido a la presencia de corrosión, el motor se encuentra en buenas condiciones razón por la cual se opta por ejecutar un mantenimiento preventivo engrasando los rodamientos.

**Tabla 6-3:** Datos técnicos de la Bomba-Motor

Datos Técnicos			
Tipo de conexión	Delta	Voltaje	220 V
Marca	BROOCK CROMPTON PARKINSON	Tipo de corriente	Alterna
No serie	160 L	Velocidad del eje	3480 RPM
Potencia	7,5 KW	Frecuencia	60 Hz
Amperaje	27 A	Tipo de bomba	Centrífuga

Realizado por: Zavala, J.; Sagñay, F., 2022.



**Figura 13-3:** Bomba centrífuga

Realizado por: Zavala, J.; Sagñay, F., 2022.

**Tabla 7-3:** Materiales utilizados en la repotenciación del motor-bomba

Materiales		
Cant	Materiales	Gráfico
1	Juego de llaves	
1	Juego de llaves alén	
1	Destornilladores	
1	Martillo	
1	Grasa para rodamientos	
1	Grata	
1	Amoladora	
1	Cepillo de acero	
1	Brocha	

Realizado por: Zavala, J.; Sagñay, F., 2022.

### 3.4.1. *Desarrollo del mantenimiento de la bomba centrífuga*

#### 3.4.1.1. Proceso de desmontaje de las líneas de succión y descarga

Se procede a desmontar la bomba para realizar un mantenimiento preventivo, debido a que se escucha un fuerte sonido que proviene de la misma.



**Figura 14-3:** Proceso de desmontaje de las líneas de succión y descarga

Realizado por: Zavala, J.; Sagñay, F., 2022.

#### 3.4.1.2. *Desmontaje e inspección del impulsor y sello mecánico*

Al desmontar la bomba centrífuga se puede observar un objeto extraño dentro del impulsor, esto puede suceder porque en el depósito de agua se arroja basura, misma que fue succionada impidiendo el movimiento del impulsor.

También se observa cuando se desmonta la bomba en cada uno de sus elementos una excesiva presencia de corrosión específicamente en el sello mecánico, en este caso fue sustituido.



**Figura 15-3:** Desmontaje e inspección del impulsor y sello mecánico

Realizado por: Zavala, J.; Sagñay, F., 2022.

#### 3.4.1.3. *Inspección del rodamiento del motor*



**Figura 16-3:** Inspección del rodamiento del motor

Realizado por: Zavala, J.; Sagñay, F., 2022.

#### 3.4.1.4. *Proceso de engrasado de los rodamientos*

Al momento de inspeccionar el rodamiento se encuentra en buenas condiciones, por esta razón se realizó un mantenimiento preventivo únicamente engrasándolo.



**Figura 17-3:** Proceso de engrasado de los rodamientos

Realizado por: Zavala, J.; Sagñay, F., 2022.

#### 3.4.1.5. *Limpieza e inspección del circuito eléctrico del motor*



**Figura 18-3:** Limpieza e inspección del circuito eléctrico del motor

Realizado por: Zavala, J.; Sagñay, F., 2022.

#### 3.4.1.6. Limpieza y montaje del motor



**Figura 19-3:** Limpieza y montaje del motor

**Realizado por:** Zavala, J.; Sagñay, F., 2022.

#### 3.4.1.7. Limpieza y montaje de la bomba centrífuga

Para culminar este mantenimiento se procede a realizar una limpieza de todos los elementos que se encuentran con corrosión, esto con ayuda de un cepillo de acero, para finalmente armar todo en buenas condiciones.



**Figura 20-3:** Limpieza y montaje de la bomba centrífuga

**Realizado por:** Zavala, J.; Sagñay, F., 2022.

### 3.5. Ánodo de Sacrificio

Es un componente que se utiliza para proteger contra la corrosión, dentro de estructuras sumergidas o enterradas, su estructura se encuentra compuesta de una aleación metálica con mayor tendencia a la corrosión, de cuyo metal de la estructura que va a proteger.

### 3.5.1. Cálculo del ánodo de sacrificio

Con el fin de conocer el número de ánodos requeridos para llevar a cabo la protección catódica, es necesario inicialmente determinar la superficie a proteger y calcular la densidad de corriente de protección.

El producto de la superficie a proteger ( $m^2$ ) por la densidad de corriente de protección (en  $\frac{mA}{m^2}$ ) permite calcular la intensidad total necesaria para la protección catódica. (Giudice, y otros, 2016 pág. 233)

#### Resistividad del ánodo (R)

$$R = \frac{\rho}{2 \pi L} \left[ 2.3 * \log \left( \frac{2L}{r} - 1 \right) \right] \quad (1)$$

**R:** resistencia del ánodo, en Ohm ( $\Omega$ )

**L:** longitud del ánodo, en centímetros (cm)

**$\rho$ :** resistividad del medio, ( $\Omega \cdot cm$ )

**r:** radio equivalente, (cm)

#### Corriente total ( $I_t$ )

$$I_t = d_{\text{corriente}} * A_{\text{proteger}} \quad (2)$$

**$d_{\text{corriente}}$ :** densidad de corriente, en Ohm ( $\Omega$ )

**$I_t$ :** corriente total (A)

**$A_{\text{proteger}}$ :** área a proteger ( $m^2$ )

#### Cálculo de la corriente (I)

$$V = I * R \quad (3)$$

**V:** voltaje (V)

**I:** corriente (A)

**R:** resistencia ( $\Omega$ )

### Número de ánodos

$$N = \frac{I_t}{I} \quad (4)$$

**N:** número de ánodo

**I<sub>t</sub>:** corriente total (A)

**I:** corriente (A)

### Radio equivalente

$$r = \sqrt{\frac{60\% * A}{\pi}} \quad (5)$$

**r:** radio equivalente

**A:** área

### Área

$$A = b * h \quad (6)$$

**b:** base

**h:** altura

**A:** área

### Cálculo del peso del ánodo

$$W = \frac{d_{\text{corriente}} * A * I}{C} \quad (7)$$

**d<sub>corriente</sub>:** Densidad de corriente ( $\frac{mA}{m^2}$ )

**A:** Área de la estructura a proteger

**I:** Vida del diseño en años (1 año 8760 h)

**C:** Capacidad del ánodo ( $\frac{Ah}{kg}$ )

**W:** Peso

**Tabla 8-3:** De densidad de corriente de protección en distintos medios agresivos

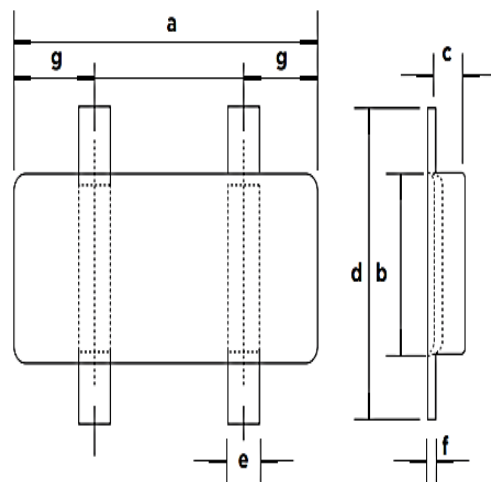
Estado superficial	Medio agresivo	Densidad de corriente	
		mA / m <sup>2</sup>	mA / ft <sup>2</sup>
Acero desnudo	Agua de mar velocidad 0,5 m / s	86-130	8,0-12,0
Acero desnudo	Agua de mar velocidad 1 - 15 m/s	150-600	14-56
Acero pintado (aluminio bituminoso)	Agua de mar	35-50	3,25-5,0
Tanque carga lastre petróleo	Agua de mar	100	9,0
Tanque carga lastre ligero	Agua de mar	170	16
Tanque carga lastre limpio	Agua de mar	190	18
<b>Acero desnudo</b>	<b>Agua dulce estancada</b>	<b>56</b>	<b>5,2</b>
Acero desnudo	Agua dulce en movimiento	56-66	5,2-6,0
Acero desnudo	Agua dulce turbulenta/caliente	56-170	5,2-16

Fuente: (Giudice, y otros, 2016 pág. 233)

### 3.5.2. Métodos de fijación

Para la fijación de los ánodos de sacrificio lo más importante es la fijación del alma del ánodo, esta puede fijarse por varios métodos entre los cuales se encuentran la soldadura, grapas, tornillos.

ÁNODOS	ZNLK36/TIPO I		ZNLK38/TIPO I	
	ZNLK36/TIPO II		ZNLK38/TIPO II	
DIMENSIONES	MM	IN	MM	IN
A	300	11,81	610	24,02
B	150	5,91	150	5,91
C	32	1,26	32	1,26
D	254	10,00	254	10,00
E	32	1,26	32	1,26
F	4,8	0,19	4,8	0,19
G	76	2,99	135	5,31
PESOS	KG.	LBS.	KG.	LBS.
PESO NETO	9,5	20,94	18,4	40,56



**Figura 21-3:** Resistividad

Fuente: (Giudice, y otros, 2016 pág. 233)



**Tabla 9-3:** Voltaje de protección

Propiedades	Mg	Zn	Al
Peso atómico	24,32	65,38	26,97
Punto fusión (°C)	651	419,4	660,1
Equivalente - gramo	12,16	32,69	9
Equivalente electroquímico (mg/C)	0,12601	0,338	0,0931
Capacidad eléctrica teórica (A - h/kg)	2204	820	2982
Capacidad eléctrica teórica (A - h/dm³)	3836	5855	8051
Capacidad eléctrica práctica (A - h/kg)	1322	738	1491
Rendimiento corriente (%)	60	90	50
Consumo teórico (kg/A-año)	3,98	10,69	2,94
Consumo teórico (dm³/A-año)	2,3	1,5	1,1
<b>Potencial normal a 25 °C</b>	<b>-2,63</b>	<b>-1,05</b>	<b>-1,93</b>
Potencial disolución en agua de mar	-1,55	-1,05	-1,85

Fuente: (Giudice, y otros, 2016 pág. 233)

### 3.5.3. Cálculo del ánodo de sacrificio

#### Cálculo del peso del ánodo

$d_{\text{corriente}}$ : densidad de corriente ( $\frac{\text{m A}}{\text{m}^2}$ )

A: área de la estructura proteger

I: vida del diseño en años (1 año 8760 h)

C: capacidad del ánodo ( $\frac{\text{A h}}{\text{kg}}$ )

$$W = \frac{d_{\text{corriente}} * A * I}{C}$$

$$w = \frac{\left(56 \frac{\text{m A}}{\text{m}^2}\right) * 5,14 \text{m}^2 * (3 \text{ años} * 8760 \text{ h})}{820 \frac{\text{A h}}{\text{kg}}}$$

$$w = 9,22 \text{kg} \approx 10 \text{ kg}$$

#### Resistividad del ánodo (R)

$$R = \frac{\rho}{2 \pi L} \left[ 2.3 * \log \left( \frac{2 L}{r} \right) - 1 \right]$$

$$R = \frac{500 \Omega \text{ cm}}{2 * \pi * 35 \text{ cm}} \left[ 2.3 * \log \left( \frac{2 * 35 \text{ cm}}{9,27 \text{ cm}} \right) - 1 \right]$$

$$R = 0,47 [\Omega]$$

### Área del piso

$$A_{\text{piso}} = b \cdot h$$
$$A_{\text{piso}} = 70 \text{ cm} \cdot 180 \text{ cm}$$
$$A_{\text{piso}} = 12600 \text{ cm}^2$$

### Área de la pared

$$A_{\text{pared}} = b \cdot h$$
$$A_{\text{pared}} = 500 \text{ cm} \cdot 65 \text{ cm}$$
$$A_{\text{pared}} = 32500 \text{ cm}^2$$

### Área total

$$A_{\text{total}} = A_{\text{piso}} + A_{\text{división}} + A_{\text{pared}}$$
$$A_{\text{total}} = 12600 \text{ cm}^2 + 6300 \text{ cm}^2 + 32500 \text{ cm}^2$$
$$A_{\text{total}} = 51400 \text{ cm}^2$$
$$A_{\text{total}} = 5,14 \text{ m}^2$$

### Corriente total

$$I_t = d_{\text{corriente}} \cdot A_{\text{proteger}}$$
$$I_t = 56 \left[ \frac{\text{mA}}{\text{m}^2} \right] \cdot 5,14 \text{ m}^2$$
$$I_t = 0,28784 \text{ A}$$

### Cálculo de la corriente (I)

**Tabla 10-3:** Voltaje de operación

HEMIPILA O ELECTRODO	POTENCIAL
Cobre/Sulfato de cobre	-0,85
Plata/Cloruro de plata	-0,84
Plata/Cloruro de plata	-0,8
Calomel saturado	-0,77
Calomel 1,0 normal	-0,81
Calomel 0,1 normal	-0,87
<b>Zinc puro</b>	<b>0,25</b>

Fuente: (Giudice, y otros, 2016 pág. 233)

$$\Delta V = I \cdot R$$

$$I = \frac{E_1 - E_2}{R}$$

$$I = \frac{-0.8 \text{ V} - (-1.05 \text{ V})}{0.47 \text{ } [\Omega]}$$

$$I = 0.53 \text{ A}$$

### Número de ánodos

$$N = \frac{I_t}{I}$$

$$N = \frac{0.2878 \text{ A}}{0.3156 \text{ A}}$$

$$N = 0.54 \approx 1$$

### Área del ánodo

$$A_{\text{ánodo}} = b \cdot h$$

$$A_{\text{ánodo}} = 30 \text{ cm} \cdot 15 \text{ cm}$$

$$A_{\text{ánodo}} = 450 \text{ cm}^2$$

### Radio equivalente

$$r = \sqrt{\frac{60\% \cdot A_{\text{ánodo}}}{\pi}}$$

$$r = \sqrt{\frac{60\% \cdot 450 \text{ cm}^2}{\pi}}$$

$$r = 9,27 \text{ cm}$$

**Tabla 11-3:** Cálculo de la vida útil del ánodo

Metal anódico	Capacidad de corriente teórica (A-año/kg)	Rendimiento %	Factor de utilización %
Zinc	0,094	95	85
Aluminio	0,34	90	85
Magnesio	0,251	50	85

Fuente: (Giudice, y otros, 2016 pág. 233)

$$V = c * p * R * \frac{U}{I}$$

$$V = 0,094 \left[ \frac{A \cdot \text{Año}}{\text{kg}} \right] * 10 \text{ kg} * 0,9 * \frac{0,85}{0,53 \text{ A}}$$

$$V = 1,36 \text{ Años}$$

**V** = Tiempo de vida del ánodo en años

**C** = Capacidad de corriente en A – año/kg

**w** = Peso del ánodo en kilogramos

**R** = Rendimiento en % (tablas)

**U** = Factor de Utilización 0.85

**I** = Entrega de corriente del ánodo en amperios (A)

### 3.5.4. *Montaje del ánodo de sacrificio*

Para la implantación del ánodo de sacrificio, se utiliza el método de fijación por tornillos, mediante los cálculos es necesario la implantación de un ánodo de 10 kg, para evitar que el tanque sufra corrosión.

### 3.6. **Recubrimiento superficial del depósito de agua con pinturas anticorrosivas**

El recubrimiento superficial se genera por una protección de varias capas sucesivas de pintura epóxica de color gris, estas capas permiten aislar la base anticorrosiva que se puede generar con el acero.

Para realizar esta actividad se necesita (Compresor, guaipe y pintura)





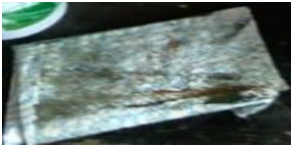



**Figura 22-3:** Tanque de agua corroído

Realizado por: Zavala, J.; Sagñay, F., 2022.

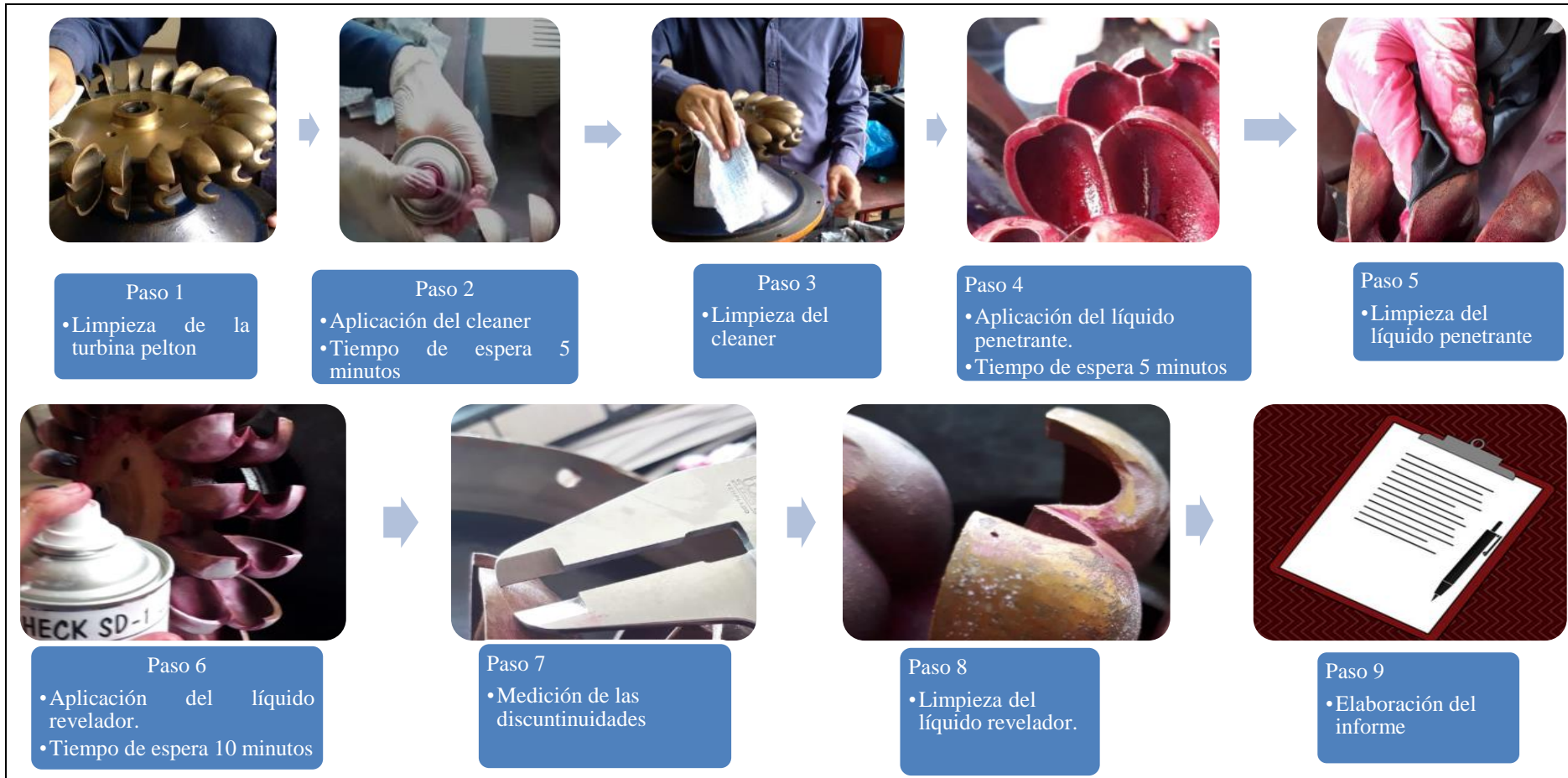
### 3.7. Tintas penetrantes

**Tabla 12-3:** Materiales para la elaboración de las tintas penetrantes en la turbina Pelton

Elaboración de las tintas penetrantes	
Materiales	Imágenes
Cepillo de acero	
Cleaner	
Penetrante	
Revelador	
Trozo de tela (sin pelusa)	
Calibrador	

Realizado por: Zavala, J.; Sagnay, F., 2022.

### 3.7.1. Proceso de elaboración de las tintas penetrantes en la turbina Pelton



**Figura 23-3:** Proceso de aplicación de tintas penetrantes en la turbina Pelton

Realizado por: Zavala, J.; Sagnay, F., 2022.

### 3.8. Especificaciones de los instrumentos utilizados para la automatización del banco de pruebas

#### 3.8.1. Elemento utilizado para medir la presión en el banco de pruebas

Manómetro: Sirven para obtener una medida directa de la presión.

Estos elementos tienen un rango de medida de 60 metros de columnas de agua.



**Figura 24-3:** Manómetro

Realizado por: Zavala, J.; Sagñay, F., 2022.

#### 3.8.2. Elemento utilizado para medir las revoluciones por minuto en el banco de pruebas

Tacómetro: Este elemento permite medir la velocidad de giro de un eje, normalmente ayuda a medir la velocidad de la turbina. Se mide en revoluciones por minuto (RPM). Cuenta con un rango de medida de hasta 2000 rpm.



**Figura 25-3:** Tacómetro

Realizado por: Zavala, J.; Sagñay, F., 2022.

### 3.8.3. Sensor utilizado para medir el caudal en el banco de pruebas

Sensor de caudal FP 5301: Este sensor permite la medición del caudal con mucha exactitud, la precisión de este sensor fluctúa en el rango de  $\pm 0.2$  fps, una repetitividad a  $\pm 0.1$  fps.

El sensor funciona basándose en un principio electromecánico, a partir de una medición de la velocidad y el volumen del caudal en el tubo, cuatro imanes incrustados en las hojas del rotor, giran una bobina en el cuerpo del sensor. A medida que el caudal del fluido hace que se mueva el rotor, se genera una señal de onda sinusoidal, directamente proporcional a la velocidad del caudal.



**Figura 26-3:** Sensor de caudal FP 5301

Realizado por: Zavala, J.; Sagñay, F., 2022.

**Tabla 13-3:** Característica del sensor FP-5301

Características	Rango
Precisión	$\pm 1\%$ escala completa
Señal de salida	1 V p-p/fps
Rango de caudal	6 Hz/fps nominal
Impedancia de origen	8K $\Omega$
Impedancia de origen	Serie FP – 5300: 180psig Max. 20 °C
Temperatura mínima	0 °C (32 °F)
Temperatura máxima	20 °C
Caída de presión	Igual a 2.5m (8") de tubo plano
Material	Carcasa del transductor: polipropileno con relleno de vidrio. Juntas tóricas: FKM Eje: Titanio (PVDF)
Máximo % Sólidos	1% de volumen de fluido no magnético, diámetro de <100 micrones y longitud estándar.
Longitud	1 centipoise (agua) hasta 5 cp por encima de una velocidad de 5 fps

Realizado por: Zavala, J.; Sagñay, F., 2022.



### 3.8.4. *Sensor utilizado para medir las revoluciones por minuto en el banco de pruebas*

Sensor óptico OSENP: Este tipo de sensor permite observar las revoluciones por minuto, y será reflejada dentro del Software Lad VIEW, cuenta con una frecuencia de conexión hasta 4.2 kHz, este sensor opera con una banda reflejante en su parte frontal, alcanza una distancia de medición de hasta 90 cm, y alcanza una temperatura operativa de -23 °C.+ 121 °C.



**Figura 27-3:** Sensor óptico OSENP

Realizado por: Zavala, J.; Sagñay, F., 2022.

### 3.8.5. *Sensor de fuerza HX 711*

Este módulo usa el convertidor A/D de 24 bits de alta precisión HX711. Es especialmente diseñado para el diseño de balanzas electrónicas de alta precisión con dos canales de entrada analógica.

#### **Características HX711**

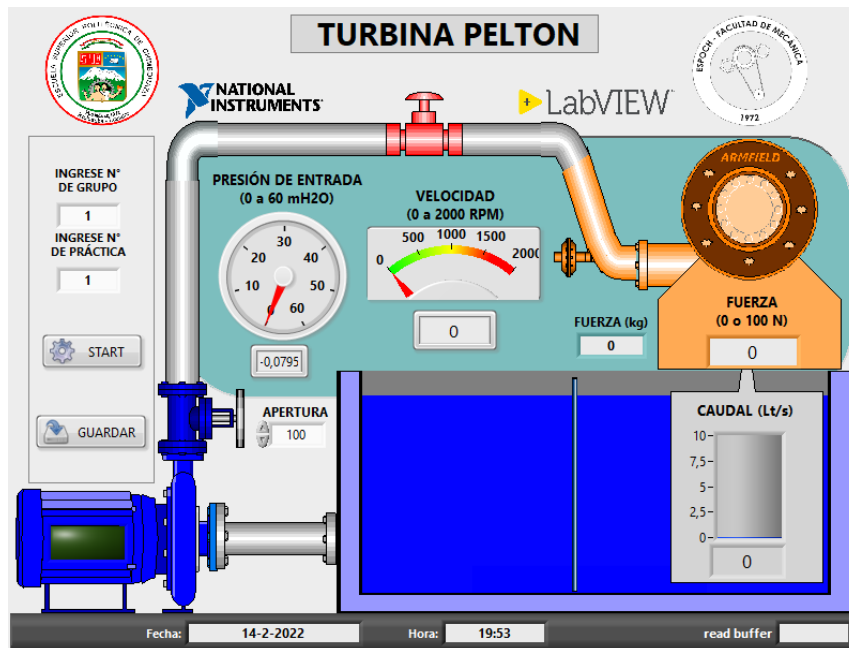
- Voltaje de la operación: 5V
- Corriente de la operación: <1,5 mA
- Suministro de 60 Hz



**Figura 28-3:** HX711

Realizado por: Zavala, J.; Sagñay, F., 2022.

### 3.9. Actualización de la Interfaz de Lad VIEW para la recolección de datos del módulo de la Turbina Pelton

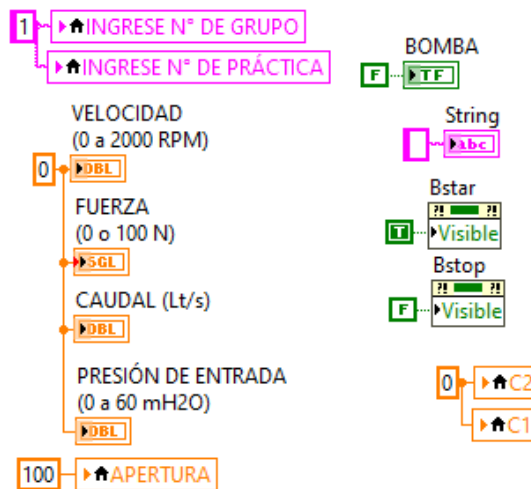


**Figura 29-3:** Actualización de la Interfaz de Lad VIEW para la recolección de datos del módulo de la Turbina Pelton

Realizado por: Zavala, J.; Sagnay, F., 2022.

#### 3.9.1. Programación con diagrama de bloques

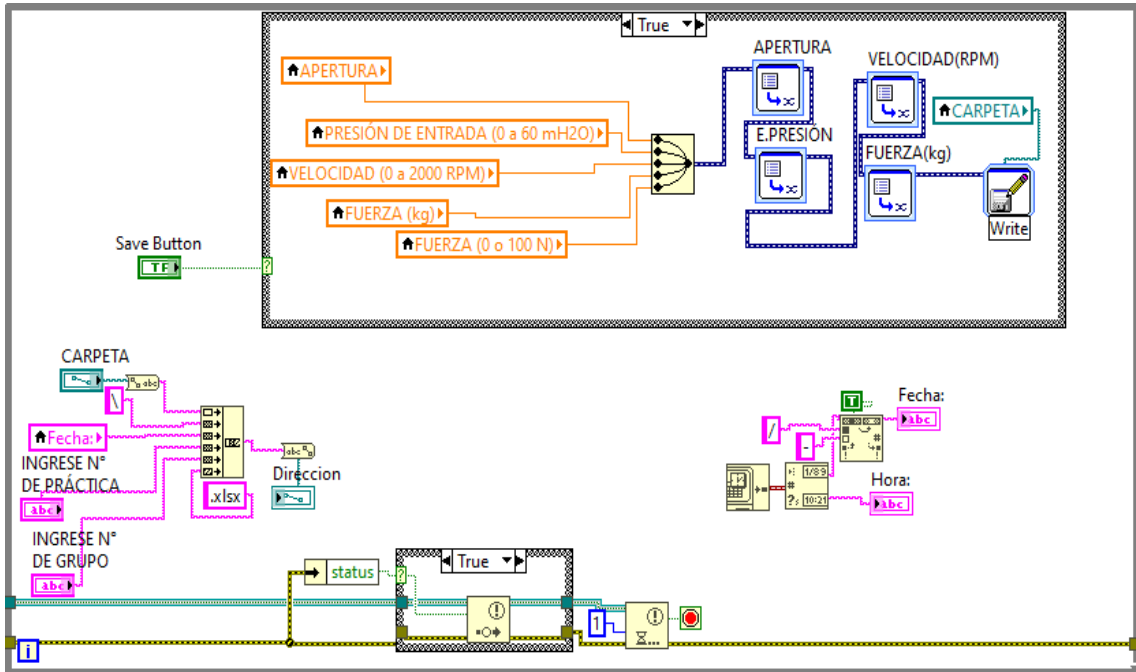
Inspección de los controles o constantes establecidas dentro del programa, como datos principales tenemos la: velocidad, fuerza, caudal, presión de entrada.



**Figura 30-3:** Programación con diagrama de bloques 1

Realizado por: Zavala, J.; Sagnay, F., 2022.

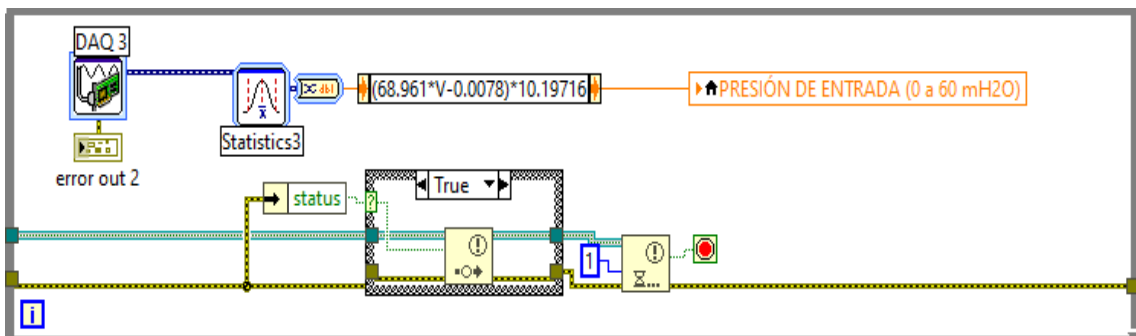
En el diagrama de bloques los datos de almacenamiento que se encuentra direccionada por: apertura, presión de entrada, velocidad y fuerza. También muestra el número de práctica, el número de grupo, la fecha y hora.



**Figura 31-3:** Programación con diagrama de bloques 2

Realizado por: Zavala, J.; Sagnay, F., 2022.

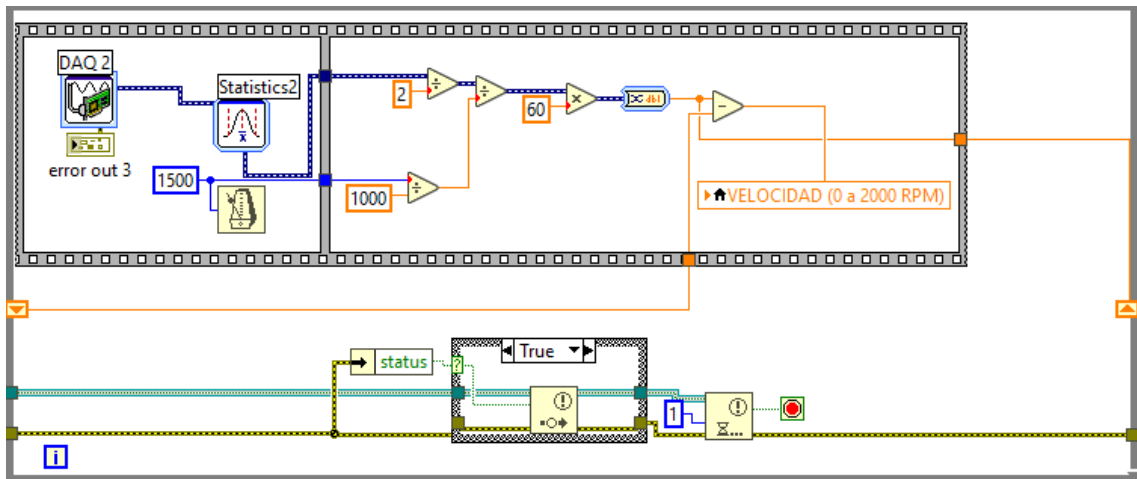
Se inspecciona el diagrama de bloques respecto a la programación de la presión, cuenta con un sensor que tiene una fuente de alimentación de 0 a 10 V, pero nos interesa saber la presión razón por la cual se utiliza esta ecuación que nos permite obtener el valor de la presión en mH2O.



**Figura 32-3:** Programación con diagrama de bloques 3

Realizado por: Zavala, J.; Sagnay, F., 2022.

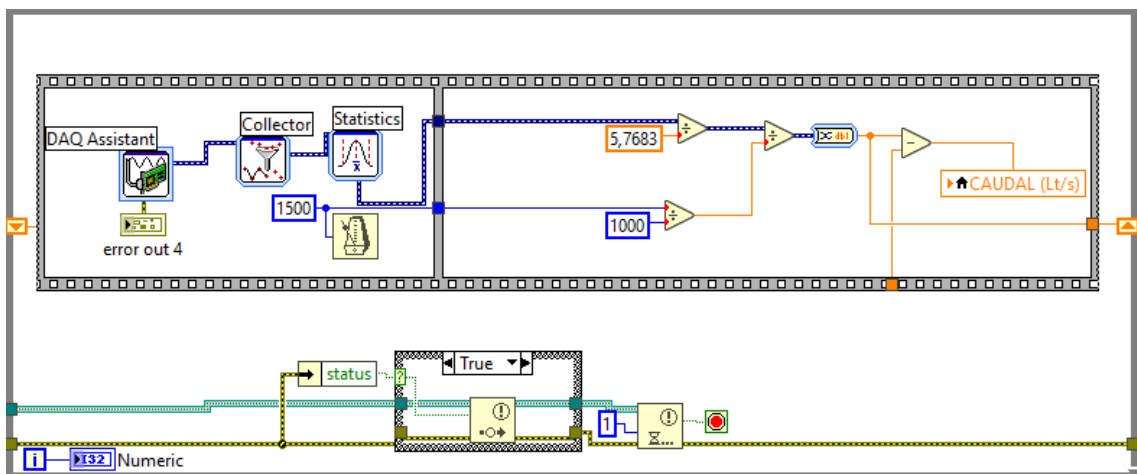
En este diagrama de bloque para la velocidad se añade un sensor que permite visualizar el valor de las revoluciones por minuto en el programa.



**Figura 33-3:** Programación con diagrama de bloques 4

Realizado por: Zavala, J.; Sagnay, F., 2022.

Se inspecciona el diagrama de bloque del caudal, dentro de él se va a generar una onda sinusoidal que su valor va a ser reflejada en  $\frac{lt}{s}$ .



**Figura 34-3:** Programación con diagrama de bloques 5

Realizado por: Zavala, J.; Sagnay, F., 2022.

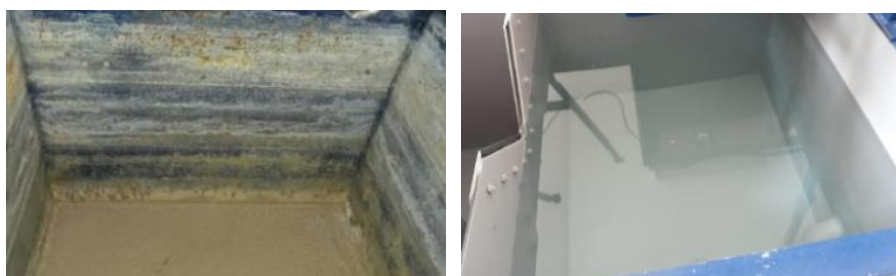
## CAPÍTULO IV

### 4. REPOTENCIACIÓN DE LAS DISTINTAS PARTES AFECTADAS DE LA TURBINA PELTON

Después de realizarse varias inspecciones de las partes del módulo de la Turbina Pelton se logra repotenciar las partes afectadas para dar un mejor rendimiento, con el fin de realizar las practicas, a continuación, se evidencia el resultado actual.

#### 4.1. Estado final del depósito de agua

Posterior a la ejecución de las actividades de mantenimiento preventivo, se logra cambiar su aspecto original, aplicando un recubrimiento superficial con pintura epóxica para reducir la corrosión y alargar la vida útil.



**Figura 1-4:** Comparación del estado del depósito de agua

Realizado por: Zavala, J.; Sagñay, F., 2022.

#### 4.2. Túnel de captación de agua

Se realiza las actividades preventivas del túnel de captación de agua, mediante la aplicación de un recubrimiento superficial con pintura epóxica, posteriormente se realiza su instalación



**Figura 2-4:** Comparación del estado del túnel de captación de agua

Realizado por: Zavala, J.; Sagñay, F., 2022.

#### 4.3. Estado final del inyector

Posterior a su revisión el inyector se encuentra en perfectas condiciones, pero sus pernos de sujeción presentan excesiva corrosión, razón por la cual se procede a sustituirlos, de igual manera el empaque, se encuentra en malas condiciones y es necesaria su sustitución.



**Figura 3-4:** Comparación del estado del túnel de inyector

Realizado por: Zavala, J.; Sagñay, F., 2022.

#### 4.4. Motor bomba

Se realiza la inspección del motor bomba y se encuentran anomalías en el impulsor, una de sus causas es por la presencia de corrosión y también por la falta de funcionamiento durante el tiempo sin uso, la zona de succión se encuentra tapada con presencia de basura, posteriormente se realiza el mantenimiento preventivo del motor engrasando el rodamiento y finalmente una limpieza minuciosa de cada elemento para su instalación.



**Figura 4-4:** Comparación del estado del túnel de captación de agua

Realizado por: Zavala, J.; Sagñay, F., 2022.

#### 4.5. Resultados de la repotenciación de la Turbina Pelton

Para la ejecución del ensayo de tintas penetrantes se realiza el desmontaje de la turbina y se la traslada a un lugar con suficiente iluminación, al realizar el ensayo de tintas penetrantes se llega a la conclusión que todos los álabes están dentro de un rango establecido por la norma, luego se realiza la instalación de la turbina y por último la carcasa es pintada debido a que se encuentra muy deteriorada.



**Figura 5-4:** Comparación del estado de la turbina Pelton

Realizado por: Zavala, J.; Sagñay, F., 2022.

#### 4.6. Válvulas de descarga

Se realiza un mantenimiento correctivo por la excesiva presencia de corrosión, y deterioro de las mismas, por esta razón son sustituidas por unas nuevas. Estas nuevas válvulas permiten la salida del fluido para garantizar su total descarga.



**Figura 6-4:** Comparación del estado de las válvulas de descarga

Realizado por: Zavala, J.; Sagñay, F., 2022.

#### 4.7. Ubicación del ánodo de sacrificio

Esta actividad se ejecuta utilizando pernos de sujeción estos nos permiten unir el alma con la superficie a proteger, la superficie no debe estar pintada y debe estar libre de corrosión.



**Figura 7-4:** Comparación del estado de las válvulas de descarga

Realizado por: Zavala, J.; Sagñay, F., 2022.

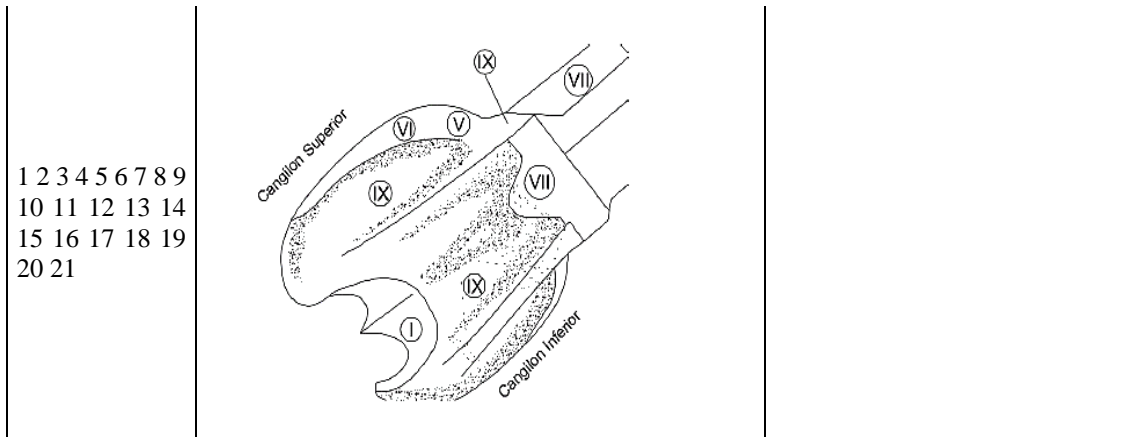
#### 4.8. Resultados del ensayo no destructivo de los álabes de la turbina pelton

Al efectuar el ensayo no destructivo de las tintas penetrantes se puede concluir que todos los álabes cumplen con los valores establecidos en la norma, se procede a la aceptación de todos los álabes, se concluye que se encuentran en buen estado para seguir cumpliendo su función.

**Tabla 1-4:** Especificación de las zonas en los alabes

Fecha	Responsables:	Norma	ASTM 165-95
16/1/2022	José Zavala, Juan Sagñay	Turbina Pelton 21 alabes	
Inspección por líquidos penetrantes			
Álabes	Cara frontal	Indicación	
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21		Alineada: (menores a 1,5)mm Redondeada: (0,5-2)mm Lineal:(2-8)mm	





Realizado por: Zavala, J.; Sagnay, F., 2022.

**IA:** Indicación Alineada.

**IR:** Indicación Redondeada.

**IL:** Indicación Lineal.

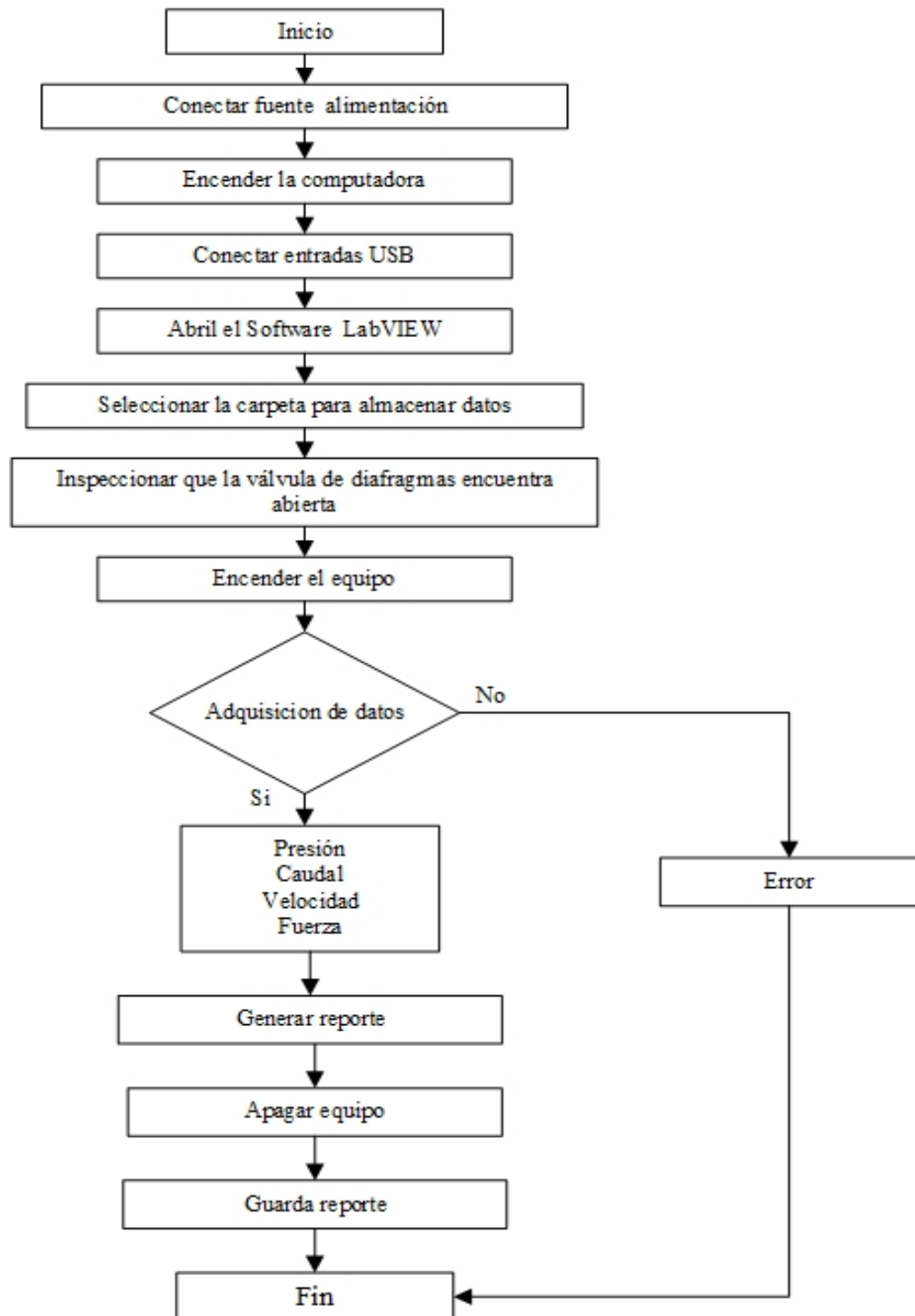
**Tabla 2-4:** Resultado del ensayo de tintas penetrantes

<b>Resultados de álabes analizados</b>														
Álabes	Defecto			Condición por zona										Condición final
	Ir	II	Ia	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
1	X		X		A				A					Acceptado
2	X	X				A	A							Acceptado
3	X	X									A	A		Acceptado
4	X		X		A			A		A				Acceptado
5	X		X			A						A		Acceptado
6	X	X							A					Acceptado
7	X		X	A		A	A		A			A		Acceptado
8		X	X	A				A			A		A	Acceptado
9	X	X	X		A			A			A		A	Acceptado
10	X	X	X	A	A		A		A		A			Acceptado
11	X	X	X		A	A		A		A		A	A	Acceptado
12		X	X					A			A		A	Acceptado
13	X		X	A	A	A				A		A	A	Acceptado
14	X			A		A	A	A		A	A			Acceptado
15		X			A		A		A	A				Acceptado
16	X	X		A			A				A	A	A	Acceptado
17		X			A	A	A	A	A		A		A	Acceptado
18	X		X	A			A					A	A	Acceptado
19	X		X		A	A		A				A		Acceptado
20	X		X	A	A	A	A		A				A	Acceptado
21	X	X		A	A		A				A			Acceptado

Realizado por: Zavala, J.; Sagnay, F., 2022.

#### 4.9. Diagrama de operaciones

El siguiente diagrama de procesos permite a los estudiantes, llevar un orden establecido al utilizar el módulo para evitar accidentes en la práctica.



**Figura 8-4:** Comparación del estado de las válvulas de descarga

Realizado por: Zavala, J.; Sagiñay, F., 2022.

#### 4.10. Cálculo del rendimiento de la bomba centrífuga

##### Cálculo del NPSH<sub>d</sub>

$$\text{NPSH}_d = \frac{10^5 \left( \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right) * (P_1 - P_v) \text{ bar}}{\rho * g} - H_a + h_a \quad (8)$$

##### Donde:

P<sub>1</sub>: Presión de líquido

P<sub>v</sub>: Presión de vapor

H<sub>a</sub>: Altura por la posición de la bomba = 0 m

h<sub>a</sub>: Perdidas por fricción

##### Datos:

T=25°C

ε=0.0015 mm materia PVC

v=0.893x10<sup>-3</sup>  $\frac{\text{m}^2}{\text{s}}$  Tablas

∅=63.5 mm = 0.0635m

Q=0.0082  $\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

##### Cálculo de la velocidad

$$V = \frac{Q}{A} \quad (9)$$
$$A = \frac{\pi * \emptyset^2}{4} = \frac{\pi * (0.063\text{m})^2}{4} = 3.12 \times 10^{-3} \text{m}^2$$
$$V = \frac{0.0082 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{3.12 \times 10^{-3} \text{m}^2} = 2.59 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

##### Cálculo del número de Reynolds

$$\text{Re} = \frac{v * \phi}{\nu} \quad (10)$$

$$Re = \frac{2.59 \frac{m}{s} * 0.0635 m}{0.893 \times 10^{-3} \frac{m^2}{s}} = 1.8417 \times 10^5$$

### Cálculo de la rugosidad relativa

$$\text{Rugosidad relativa} = \frac{\varepsilon}{\phi} \quad (11)$$

$$\frac{\varepsilon}{\phi} = \frac{0.0015 \text{ mm}}{63.5 \text{ mm}} = 0.000024$$

Diagrama de Moody se encuentra el factor de fricción  $\lambda = 0.017$

### Cálculo de las pérdidas por longitud

$$h_l = \frac{l * \lambda * V^2}{2 * \phi * g} \quad (12)$$

$$h_l = \frac{2.4 \text{ m} * 0.0017 * \left(2.59 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 0.0635 \text{ m} * 9.81 \frac{m}{s^2}} = 0.022 \text{ m}$$

### Cálculo de pérdidas por accesorios codo

$$h_c = \frac{k * V^2}{2 * g} \quad (13)$$

Codo de 90°  $k = 30 * \lambda = 30 * 0.0017 = 0.051$

$$h_c = \frac{0.051 * \left(2.59 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} = 0.017 \text{ m}$$

### Cálculo de pérdidas por accesorios escuadra falsa

$$h_e = \frac{k * V^2}{2 * g} \quad (14)$$

Angulo de 60°  $k = 25 * \lambda = 25 * 0.0017 = 0.0425$

$$h_e = \frac{0.0425 * \left(2.59 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} = 0.014 \text{ m}$$

### Cálculo de pérdidas por accesorios diafragma.

$$h_v = \frac{k \cdot V^2}{2 \cdot g} \quad (15)$$

$$k = 340 \cdot \lambda = 340 \cdot 0.0017 = 0.578$$

$$h_v = \frac{0.578 \cdot \left(2.59 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0.19 \text{ m}$$

### Perdidas por accesorios

$$h_a = h_l + h_c + h_e + h_v \quad (16)$$

$$h_a = 0.022 \text{ m} + 0.017 \text{ m} + 0.014 \text{ m} + 0.19 \text{ m} = 0.243 \text{ m}$$

### Cálculo del NPSH<sub>d</sub>

$$\text{NPSH}_d = \frac{10^5 \left(\frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right) \cdot (P_1 - P_v) \text{ bar}}{\rho \cdot g} - h_a \quad (17)$$

$$\text{NPSH}_d = \frac{10^5 \left(\frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right) \cdot (1 - 0.058) \text{ bar}}{997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} - 0.243 \text{ m}$$

$$\text{NPSH}_d = 9.39 \text{ m}$$

### Cálculo de la Altura neta

Datos:

$$\gamma = 9780 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

$$P = 23.2 \text{ mca} \cdot \frac{9806.38}{1 \text{ mca}} = 227.50 \text{ k} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$H_n = \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (18)$$

$$H_n = \frac{227.50 \text{ k} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{9780 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}} + \frac{\left(2.59 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 23.60 \text{ m}$$

### Potencia salida

$$P_{\text{util}}=W*d*N \quad (19)$$

$$P_{\text{util}}=3.24 \text{ N} * 0.25 \text{ m} * 1500 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} * \frac{1 \text{ min}}{60\text{s}} = 1.24 \text{ kw}$$

### Potencia entrada

$$P_E = \rho * g * Q * H_n \quad (20)$$

$$P_E = 997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0.0082 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 23.60 \text{ m} = 1.89 \text{ kw}$$

### Cálculo del rendimiento de la bomba

$$\eta = \frac{P_{\text{util}}}{P_E} \quad (21)$$

$$\eta = \frac{1.24 \text{ kw}}{1.89 \text{ kw}}$$

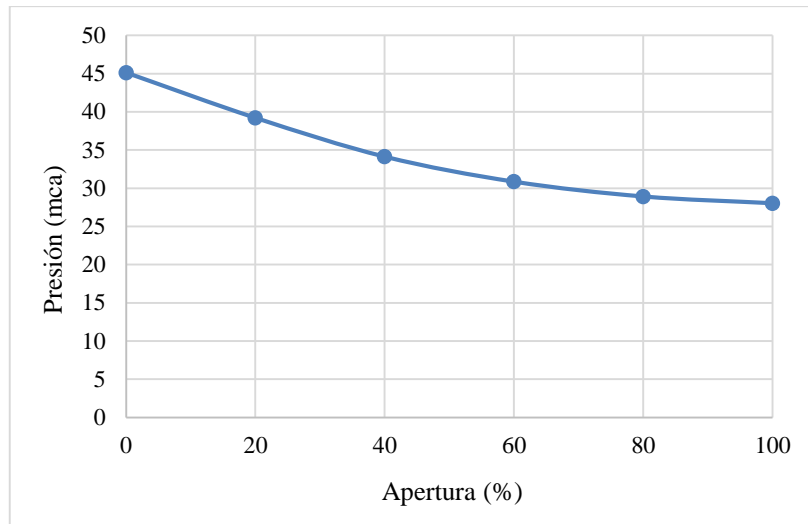
$$\eta = 65.6\%$$

#### 4.11. Resultados de la práctica del laboratorio

**Tabla 3-4:** Resultados de laboratorio de presión, velocidad y caudal

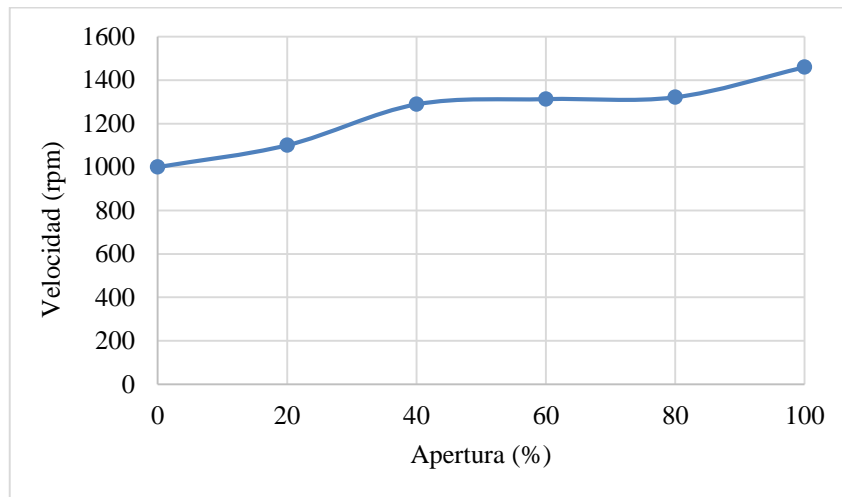
Válvulas		Presión	Velocidad	Caudal
Apertura del inyector		Pe	N	Q
Vueltas	%	mca	RPM	Lt/s
0	100	28,0384	1460,1433	8,01
2	80	28,9214	1321,7231	7,87
4	60	30,8594	1313,1824	7,23
6	40	34,1312	1289,1245	6,89
8	20	39,2123	1100,7843	6,32
10	0	45,1267	1000,0124	5,28

Realizado por: Zavala, J.; Sagnay, F., 2022.



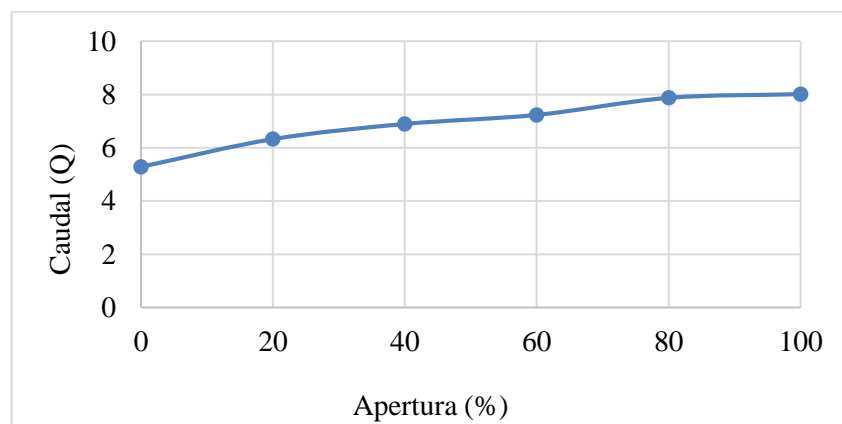
**Gráfico 1-4: Relación Presión - Apertura**

Realizado por: Zavala, J.; Sagñay, F., 2022.



**Gráfico 2-4: Relación Velocidad - Apertura**

Realizado por: Zavala, J.; Sagñay, F., 2022.



**Gráfico 3-4: Relación Caudal - Apertura**

Realizado por: Zavala, J.; Sagñay, F., 2022.

#### 4.12. Plan de mantenimiento para el módulo de la turbina pelton.

Actividades	Encargado	T (min)	FRECUENCIA																																																			
			Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre							
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4								
Cambio de rodamiento	Mecánico	30																																																				
Engrase de los rodamientos	Mecánico	20																																																				
Inspección de la bomba	Mecánico	10																																																				
Inspección del motor	Eléctrico	10																																																				
Inspección de la turbina	Mecánico	10																																																				
Inspección de fugas en la tuberías	Mecánico	5																																																				
Inspección de los instrumentos de medición	Eléctrico	10																																																				
Inspección de los sensores	Eléctrico	10																																																				
Limpieza del depósito de agua	Mecánico	15			X				X				X				X				X				X				X				X				X				X				X				X					
Limpieza mecánica y pintura oxidada	Mecánico	40																																																				
Inspección de válvulas	Mecánico	10																																																				
Inspección de los instrumentos electrónicos	Eléctrico	10																																																				
Remarcar identificación de Tablero	Eléctrico	10																																																				

**Figura 9-4:** Plan de mantenimiento para el módulo de la turbina pelton

Realizado por: Zavala, J.; Sagnay, F., 2022.



#### 4.13. Modos de fallos del motor eléctrico

**Tabla 4-4:** Modos de fallos del motor eléctrico

Equipos	Elementos	Modos de fallo	Descripción
MOTOR ELÉCTRICO	Ventilador	Excesivo polvo genera rozamiento del ventilador Tuercas flojas	Revisar el estado del ventilador del motor
			Análisis de vibración
			Limpieza de ventilador
	Carcasa	Fisura en la carcasa. Aflojamiento de pernos de sujeción. Oxidación de la carcasa	Comprobar el estado de la carcasa del motor
			Inspección de temperatura
			Ajustar la base del motor
			Limpieza exterior
	Bobinado	Bobinas con partículas de grasa. Corto entre el bobinado. Error de fases de conexión	Comprobar la existencia de la grasa, aceite.
			Medición de corriente
			Limpieza del devanado
	Rodamientos	Montaje incorrecto del rodamiento. Lubricación exagerada de los rodamientos. Falta de lubricación	Lavado de rodamientos y engrase
			Comprobar el estado del rodamiento
			Cambio de rodamiento
	Rotor	Instalaciones inadecuadas. Campo magnético desbalanceado	Escuchar ruidos anormales en el motor
			Medición del entre hierro
			Comprobación y balanceo del motor
Análisis de vibración			
Ajuste de pernos			

Realizado por: Zavala, J.; Sagnay, F., 2022.

## CONCLUSIONES

Una vez realizado el procedimiento de inspección visual mediante la norma ISO 14224, se opta por desarrollar su repotenciación en tres etapas, la primera fue la parte mecánica, luego su parte eléctrica y al final su parte electrónica.

Se realiza el mantenimiento correctivo y preventivo en el motor y la bomba centrífuga para dejar en un óptimo funcionamiento bajo la norma API 580, ya que sus elementos se encontraban atascados debido a la corrosión presente en el rodete y la obstrucción por basura en la línea de succión de la bomba, en el motor se ejecuta un mantenimiento preventivo engrasando sus rodamientos para evitar el ruido.

Se encuentran discontinuidades lineales, redondeadas y alineadas cuando se efectúa el ensayo de tintas penetrantes en (la cara frontal, cara posterior y la base) los álabes de la turbina pelton, de acuerdo con la norma ASTM E-165-95, estas discontinuidades son muy importantes y fueron evaluadas mediante criterios de aceptación con la norma ASME sección VIII división.1 AP. 8, de acuerdo a esta norma todos los alabes fueron aceptados.

Se implementa un método anticorrosivo mediante la instalación de un ánodo de sacrificio y la aplicación de recubrimiento superficial con pintura epóxica, para minimizar la corrosión, y su correcto funcionamiento, el ánodo debe cumplir todas las características establecidas ayudando a prolongar la vida útil del depósito de agua del banco de pruebas

Se implementa un diagrama de procesos para el correcto funcionamiento del banco de pruebas, para evitar accidentes cuando se realice la práctica.

Se realiza la actualización del software Lab VIEW, con el fin de mejorar la precisión de los datos obtenidos a medida que la práctica avance.

## **RECOMENDACIONES**

Cuando no se vaya realizar la práctica en el banco de pruebas con mucha frecuencia, se recomienda vaciar el depósito de agua.

Se recomienda al finalizar la práctica desconectar la fuente de energía para evitar accidentes.

Es recomendable a los estudiantes que desempeñen la práctica utilizar los equipos de protección personal (Mandil, guantes, casco, gafas de protección, protección auditiva) para evitar daños a su integridad.

Antes de iniciar el encendido se recomienda verificar que los elementos de rotación se encuentren libres de cualquier objeto que los interponga, así evitaremos accidentes.

Manipular los instrumentos y equipos con sumo cuidado para garantizar su durabilidad.

## BIBLIOGRAFÍA

**BELTRÁN, et al.** Selección de una planta generadora mini-hidroeléctrica para el abastecimiento de energía eléctrica, al poblado de santo domingo tehuantepec en el estado de Oaxaca [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Instituto Politécnico Nacional, Tlalnepantla de Baz, México. 2016. p. 30. [Consulta: 10 diciembre 2021]. Disponible en: <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/22856>

**CREUS SOLÉ, Antonio.** *Instrumentación industrial* [En línea]. 8ª. Barcelona-España: Marcombo, S.A, 2010. [Consulta: 18 diciembre 2021]. Disponible en: [https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2017-02-11\\_11-19-12139942.pdf](https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2017-02-11_11-19-12139942.pdf)

**DOMÍNGUEZ VALENCIA, Diego Francisco.** Diseño y simulación de un sistema de succión y filtración de 8000 m<sup>3</sup>/día, para purificar el agua en la comunidad de Tunshi en la provincia de Chimborazo. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. 2020. pp. 25-27. [Consulta: 15 diciembre 2021]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18544>

**GIUDICE, Carlos A & PEREYRA, Andrea M.** “Protección Catódica con Ánodos Galvánicos”. *UTN La Plata* [En línea], 2016, (Argentina) 12 (14), p. 233. [Consulta: 14 enero 2020]. ISSN 2618-4931. Disponible en: <http://www.frlp.utn.edu.ar/materias/protecmat/proteccioncatodica.pdf>

**GUATO PILLAPA, Ana Geoconda & MAYORGA PARDO, Alex Santiago.** Adquisición de datos de parámetros hidráulicos y su efecto en el ajuste de las curvas de funcionamiento teóricas en el banco de bombas centrífugas del Laboratorio de Energía de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. 2016. p. 24. [Consulta: 7 diciembre 2021]. Disponible en: <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/20279>

**GUILLÉN SALAZAR, Anita Cecilia & MARCALLA IZA, ALEX MANUEL.** Automatización de las Turbomáquinas del Laboratorio de Fluidos de la Facultad de Mecánica. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2011. pp. 25-76. [Consulta: 10 enero 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/825>

**ROJAS SARMIENTO, Javier Alexander.** Metodología de diseño para turbinas tipo Pelton, mediante un estudio paramétrico. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2020. p. 28. [Consulta: 3 enero 2022]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20949>

**LEÓN RIBERO, Javier Hernán & RIVEROS SANTOS, Víctor Andrés.** Diseño, construcción, montaje y operación de una turbina PELTON para generar electricidad. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramango, Colombia. 2020. p. 25. [Consulta: 11 diciembre 2021]. Disponible en: <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/431>

**MIRIAM TERRAZAS, Guzmán.** Protección Catódica con Ánodos de sacrificio en un Prototipo de Intercambiador de Calor [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Centro de Investigación en Materiales Avanzados, Chihuahua, México. 2012. pp. 20- 23. [Consulta: 2021-12-21]. Disponible en: <http://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1004/670>

**MOYANO ARÉVALO, Javier Renato & NARANJO VARGAS, Eugenia Mercedes.** Automatización de la adquisición de datos en un banco de pruebas de bombas centrífugas instaladas en serie y paralelo. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2015. pp. 24. [Consulta: 15 enero 2022]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/4500>

**RAMÍREZ POZO, Edison Alejandro & MAYORGA PARDO, Alex Santiago.** Estudio de bombas centrífugas y su factibilidad de aplicación en la Facultad de Ingeniería Mecánica con la finalidad de obtener parámetros técnicos con variación de caudal. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. 2012. p. 31. [Consulta: 19 diciembre 2021]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/2155>

**VIVERO CONDO, Christian Daniel & MERCHÁN SAQUIPAY, Hugo Armando.** Análisis de la microestructura en los rodetes Pelton de la Central Hidroeléctrica Paute-Molino mediante réplicas metalográficas in-situ [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador. 2019. p. 49. [Consulta: 8 diciembre 2021]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16623>

**VÁZQUEZ, Marcela.** *La corrosión: el peor villano cuando dominan los metales.* [En línea]. Mar de Plata-Argentina: EUDEM, 2018. [Consulta: 6 diciembre 2021]. Disponible en:

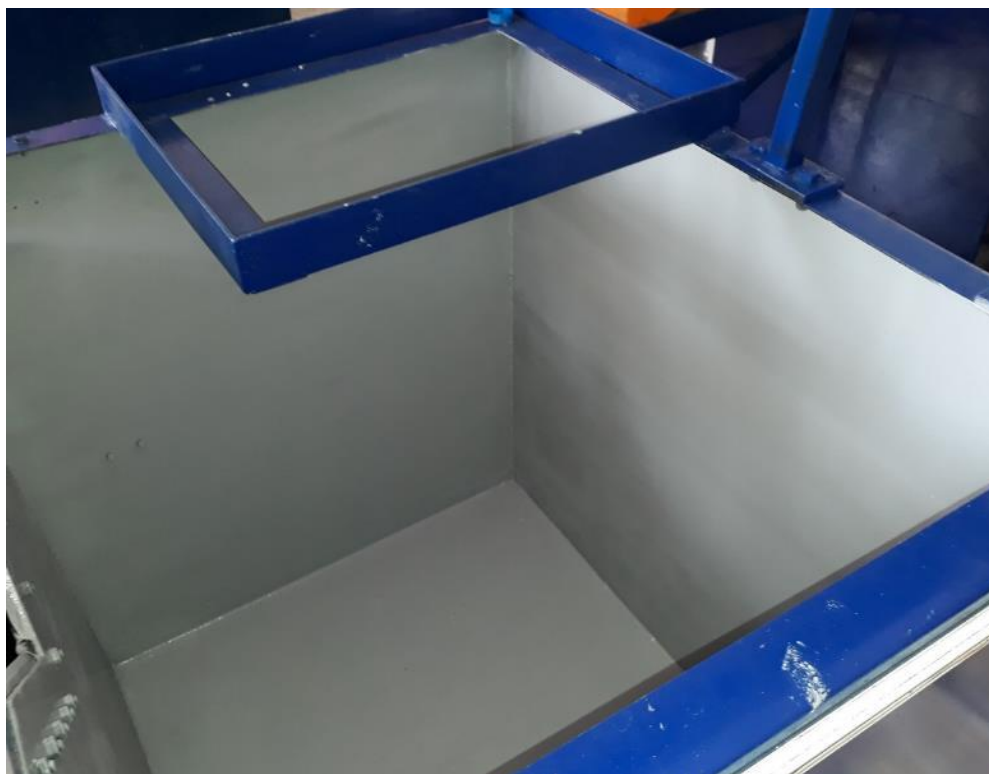
[https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/117969/CONICET\\_Digital\\_Nro.0ddf6b76-bf06-47e5-837a-4add6b2418c8\\_d.pdf?sequence=5&isAllowed=y](https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/117969/CONICET_Digital_Nro.0ddf6b76-bf06-47e5-837a-4add6b2418c8_d.pdf?sequence=5&isAllowed=y)

## ANEXOS

### ANEXO A: Balance de Costos Directos e Indirectos

Costo indirecto (USD)	Impresiones y copias	45,00
	Anillados	30,00
	Pasajes	20,00
	Empastados	35,00
<b>Costo total (USD)</b>		<b>105,00</b>
Costos directos (USD)	Ánodo de sacrificio	80,00
	Pintura anticorrosiva	40,00
	Pintura epóxica	50,00
	Tiñer	6,00
	Desoxidante	5,00
	Removedor de pintura	8,00
	Sensor	60,00
	Contactador	25,00
	Arduino	30,00
	Templadores	1,00
	Canaletas	5,00
	Grata	5,00
	Guantes	0,15
	Grasa	5,00
	Empaques	20,00
	Acrílico	10,00
	Sello mecánico	45,00
Válvulas de descarga	10,00	
Guaípe	1,50	
<b>Costos Total (USD)</b>		<b>406,65</b>

**ANEXO B:** Depósito de agua





**ANEXO C: Válvulas de descarga**



**ANEXO D: Turbina**



**ANEXO E:** Panel de Control



**ANEXO F: Acrílico**



**ANEXO G: Empaques**



**ANEXO H:** Túnel de descarga



**ANEXO I: Módulo resultado final**

