



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

**“REPOTENCIACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS DE LA  
TURBINA FRANCIS DEL LABORATORIO DE  
TURBOMAQUINARIA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA  
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.”**

**Trabajo de Integración Curricular**

**Tipo: Proyecto Técnico**

Presentado para optar por al grado académico de:

**INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**AUTORES:**

**JHONNY MARCELO GUAYLLA USCA**

**CARLOS STALIN SINALUISA TOPA**

Riobamba – Ecuador

2022



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

**“REPOTENCIACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS DE LA  
TURBINA FRANCIS DEL LABORATORIO DE  
TURBOMAQUINARIA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA  
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.”**

**Trabajo de Integración Curricular**

**Tipo: Proyecto Técnico**

Presentado para optar por el grado académico de:

**INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**AUTORES: JHONNY MARCELO GUAYLLA USCA**

**CARLOS STALIN SINALUISA TOPA**

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

Riobamba – Ecuador

2022

**©2022, Sinaluisa Topa Carlos Stalin & Guaylla Usca Jhonny Marcelo**

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

Nosotros, Sinaluisa Topa Carlos Stalin y Guaylla Usca Jhonny Marcelo declaramos que el presente Trabajo de Titulación es de nuestra autoría y que 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 titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 8 de junio del 2022



---

Jhonny Marcelo Guaylla Usca  
C.I: 060437687-1



---

Carlos Stalin Sinaluisa Topa  
CI: 060479100-4

**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 FRANCIS DEL LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**”, realizado por los señores: **SINALUISA TOPA CARLOS STALIN Y GUAYLLA USCA JHONNY MARCELO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Marco Antonio Ordoñez Viñan <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2022-09-12
Ing. Édisson Fernando Calderón Freire Msc. <b>DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2022-09-12
Ing. Pablo Ernesto Montalvo Jaramillo <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>		2022-09-12

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de integración curricular quiero dedicarles especialmente a mis padres, por el apoyo incondicional en los momentos de flaqueza a lo largo de mi vida universitaria y personal. También a una de las personas más importantes en mi vida como lo es mi hermano Fabián ya que sin su apoyo y guía me resultaría imposible haber podido culminar mis estudios universitarios. A mis amigos y compañeros que han hecho que este trayecto resulte lleno de buenas experiencias y momentos extraordinarios compartidos que me llevo marcados en el corazón.

Marcelo

Este trabajo de integración curricular, le dedico primordialmente a Dios quien me da sabiduría y me brinda la vida cada día, a mis padres que me han apoyado económica y moralmente de una manera incondicional a mis hermanos, por apoyarme en las buenas y en las malas ya que nunca perdieron la confianza en mí, a mis demás familiares y amigos cercanos que han confiado y brindado su apoyo para alcanzar la meta que me propuse.

Carlos

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi madre Inés Usca por darme la vida y fortaleza para continuar cuando he estado a punto de caer, por estar siempre a mi lado apoyándome en aquellos momentos de debilidad y ayudándome a superar cualquier momento de adversidad para poder cumplir mi meta con toda humildad. A toda mi familia más cercana por estar siempre a mi lado en las buenas y en las malas y por hacer de mí una persona de bien. Finalmente agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por brindarme la oportunidad de fortalecer mis conocimientos prácticos y teóricos en la carrera de Mantenimiento Industrial, y a mis maestros por dotarme de conocimientos, valores y enseñanzas para ser un excelente profesional.

Marcelo

Mi agradecimiento eterno a la Carrera de Ingeniería de Mantenimiento y a sus docentes que, con sus enseñanzas, experiencias y su motivación han sido parte fundamental en mi culminación como estudiante, en especial a mi tutor por la paciencia y la guía brindada a lo largo de este trabajo de titulación. A mis padres, hermanos, abuelos y el resto de mi familia por acompañarme en cada paso de mi vida.

Carlos.

## TABLA DE CONTENIDO

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

### CAPÍTULO I

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

### CAPÍTULO II

<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>4</b>
2.1. Máquina.....	4
2.2. Máquinas Hidráulicas.....	4
2.2.1. <i>Clasificación de las máquinas hidráulicas</i> .....	4
2.2.2. <i>Turbomáquinas hidráulicas</i> .....	5
2.2.3. <i>Transferencia de energía en las turbomáquinas</i> .....	5
2.2.3.1. <i>La ecuación de Euler</i> .....	5
2.2.3.2. <i>Momento hidráulico</i> .....	6
2.2.3.3. <i>Potencia intercambiada</i> .....	7
2.2.4. <i>Clasificación de las turbomáquinas hidráulicas</i> .....	8
2.3. Turbina hidráulica.....	9
2.3.1. <i>Elementos constitutivos de las turbinas hidráulicas</i> .....	9
2.3.2. <i>Clasificación de las turbinas hidráulicas</i> .....	10
2.3.3. <i>Velocidad específica</i> .....	10
2.3.4. <i>Turbinas de acción</i> .....	12



<b>2.3.5.</b>	<b><i>Turbinas de reacción</i></b> .....	12
<b>2.4.</b>	<b>Turbina Francis</b> .....	13
<b>2.4.1.</b>	<b><i>Características principales de las Turbinas Francis</i></b> .....	13
<b>2.4.2.</b>	<b><i>Parámetros funcionales de los componentes de la Turbina Francis</i></b> .....	14
2.4.2.1.	<i>El distribuidor (o corona directriz)</i> .....	14
2.4.2.2.	<i>El rotor o rodete</i> .....	14
2.4.2.3.	<i>La carcasa o caracol</i> .....	15
<b>2.5.</b>	<b>Bomba centrífuga</b> .....	15
<b>2.5.1.</b>	<b><i>Elementos de una bomba centrífuga</i></b> .....	16
2.5.1.1.	<i>Carcasa</i> .....	16
2.5.1.2.	<i>Rodete o impulsor</i> .....	17
2.5.1.3.	<i>Difusor</i> .....	17
2.5.1.4.	<i>Anillos de desgaste</i> .....	17
2.5.1.5.	<i>Estoperas, empaques y sellos</i> .....	17
2.5.1.6.	<i>Flecha</i> .....	17
2.5.1.7.	<i>Cojinetes</i> .....	17
2.5.1.8.	<i>Bases</i> .....	17
<b>2.5.2.</b>	<b><i>Funcionamiento</i></b> .....	18
<b>2.5.3.</b>	<b><i>Ventajas de las bombas centrífugas</i></b> .....	18
<b>2.5.4.</b>	<b><i>Parámetros de las bombas centrífugas</i></b> .....	19
2.5.4.1.	<i>Altura efectiva de bombeo</i> .....	19
2.5.4.2.	<i>Amplitud de velocidad</i> .....	20
2.5.4.3.	<i>Amplitud de presión</i> .....	20
2.5.4.4.	<i>Potencia de bombeo</i> .....	20
2.5.4.5.	<i>Volumen</i> .....	20
2.5.4.6.	<i>Eficiencia volumétrica</i> .....	20
2.5.4.7.	<i>Eficiencia mecánica</i> .....	21
2.5.4.8.	<i>Eficiencia total</i> .....	21
2.5.4.9.	<i>Altura neta de succión positiva (N.P.S.H.)</i> .....	21
2.5.4.10.	<i>Cálculo de <math>NPSH_D</math></i> .....	21
2.5.4.11.	<i>Curva característica de la bomba centrífuga</i> .....	22
<b>2.5.5.</b>	<b><i>Punto de operación de la bomba centrífuga</i></b> .....	23
2.5.5.1.	<i>Caudal variable</i> .....	23
2.5.5.2.	<i>Caudal constante</i> .....	24
2.5.5.3.	<i>Cavitación</i> .....	24
2.5.5.4.	<i>Causas de cavitación</i> .....	25
<b>2.6.</b>	<b>Corrosión</b> .....	25

<b>2.6.1.</b>	<b><i>Corrosión uniforme, o ataque generalizado</i></b> .....	26
<b>2.7.</b>	<b>Protección catódica</b> .....	27
<b>2.8.</b>	<b>Ánodo de sacrificio</b> .....	27
<b>2.8.1.</b>	<b><i>Características electroquímicas del zinc, magnesio y aluminio</i></b> .....	28
2.8.1.1.	<i>Características de la densidad de corriente, (<math>i_c</math>)</i> .....	28
2.8.1.2.	<i>Resistividad del agua según el medio en el que se encuentre</i> .....	28
<b>2.8.2.</b>	<b><i>Características fundamentales de los ánodos de sacrificio</i></b> .....	29
<b>2.8.3.</b>	<b><i>Parámetros de diseño de ánodos de sacrificio</i></b> .....	29
2.8.3.1.	<i>El área para proteger</i> .....	30
2.8.3.2.	<i>Demanda de corriente</i> .....	30
2.8.3.3.	<i>Masa total del ánodo</i> .....	30
2.8.3.4.	<i>Resistencia del ánodo de sacrificio</i> .....	31
2.8.3.5.	<i>Número de ánodos</i> .....	31
2.8.3.6.	<i>Masa neta individual del ánodo</i> .....	32
2.8.3.7.	<i>Fijación de los ánodos</i> .....	33
<b>2.9.</b>	<b>DEFINICIONES ELECTRÓNICAS</b> .....	33
<b>2.9.1.</b>	<b><i>Software LabVIEW</i></b> .....	33
2.9.1.1.	<i>Adquisición de datos usando LabVIEW</i> .....	34
<b>2.9.2.</b>	<b><i>Sistema NI compactDAQ</i></b> .....	34
2.9.2.1.	<i>Características de NI cDAQ-9172</i> .....	35
<b>2.9.3.</b>	<b><i>Serie C módulos de E / S</i></b> .....	36
<b>2.9.4.</b>	<b><i>Modulo NI 9201</i></b> .....	37
2.9.4.1.	<i>Características del NI 9201</i> .....	37
<b>2.9.5.</b>	<b><i>Modulo NI 9401</i></b> .....	38
<b>2.10.</b>	<b>Instrumentos electrónicos</b> .....	38
<b>2.10.1.</b>	<b><i>Sensor</i></b> .....	38
<b>2.10.2.</b>	<b><i>Transductores</i></b> .....	39
2.10.2.1.	<i>Transductor de presión de la serie PX302</i> .....	39
2.10.2.2.	<i>Transductor de presión de la serie PX309</i> .....	39
<b>2.10.3.</b>	<b><i>Fuente de alimentación</i></b> .....	40
2.10.3.1.	<i>Fuente de alimentación RS-25-5</i> .....	40
2.10.3.2.	<i>Fuente de alimentación RS-35-12</i> .....	41
<b>2.11.</b>	<b>DEFINICIONES MECÁNICAS</b> .....	41
<b>2.11.1.</b>	<b><i>Estado técnico</i></b> .....	41
2.11.1.1.	<i>Clasificación de los equipos de acuerdo con su estado técnico</i> .....	42
2.11.1.2.	<i>Procedimiento para determinar el estado técnico de un equipo</i> .....	42
<b>2.11.2.</b>	<b><i>Análisis de criticidad</i></b> .....	43

<b>2.11.3. Mantenimiento de un sistema hidráulico</b> .....	45
2.11.3.1. <i>Mantenimiento preventivo</i> .....	45
2.11.3.2. <i>Mantenimiento correctivo</i> .....	45

### CAPÍTULO III

<b>3. REPOTENCIACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS DE LA TURBINA FRANCIS</b> .....	46
<b>3.1. Análisis de criticidad método de criticidad total por riesgo (CTR)</b> .....	46
<b>3.1.1. Procedimientos para la determinación del estado de criticidad de los elementos del banco de pruebas de la turbina Francis</b> .....	46
<b>3.1.2. Determinación del estado de criticidad en los sistemas pertenecientes al banco de pruebas de la turbina Francis</b> .....	48
<b>3.1.3. Resultados del CTR</b> .....	51
3.1.3.1. <i>Zona con muy alta criticidad (MA)</i> .....	51
3.1.3.2. <i>Zona con alta criticidad (A)</i> .....	51
3.1.3.3. <i>Zona de con media criticidad</i> .....	51
3.1.3.4. <i>Zona con baja criticidad</i> .....	51
<b>3.2. Evaluación del estado de los elementos mecánicos y eléctricos pertenecientes al banco de pruebas de la turbina Francis</b> .....	52
<b>3.2.1. Datos técnicos del módulo de la turbina Francis</b> .....	52
<b>3.2.2. Estado técnico de los equipos del banco de pruebas de la turbina Francis</b> .....	53
3.2.2.1. <i>Estado inicial de la turbina Francis</i> .....	53
3.2.2.2. <i>Estado inicial del tanque de reserva</i> .....	54
3.2.2.3. <i>Estado inicial de la motobomba centrífuga</i> .....	55
3.2.2.4. <i>Estado inicial del dinamómetro</i> .....	55
3.2.2.5. <i>Estado inicial de las tuberías de succión y de descarga</i> .....	56
3.2.2.6. <i>Estado inicial del panel de control del banco de pruebas de la turbina Francis</i> .....	57
<b>3.3. Repotenciación del banco de pruebas de la turbina Francis</b> .....	58
<b>3.3.1. Procedimientos para la restauración de la turbina Francis</b> .....	58
<b>3.3.2. Procedimientos para la restauración del tanque de reserva</b> .....	60
<b>3.3.3. Procedimientos para la restauración de la motobomba centrífuga</b> .....	61
<b>3.3.4. Procedimientos para el mantenimiento del dinamómetro</b> .....	62
<b>3.3.5. Procedimientos para el mantenimiento de las tuberías de succión y de descarga</b> ...	62
<b>3.4. Mantenimiento, calibración de los sensores y reprogramación del sistema de control del banco de pruebas de la turbina Francis</b> .....	63
<b>3.4.1. Inspección visual</b> .....	63

<b>3.4.2.</b>	<b><i>Calibración de los sensores de presión</i></b> .....	64
3.4.2.1.	<i>Obtención de datos de la presión de entrada en el transductor Px 309</i> .....	64
3.4.2.2.	<i>Obtención de datos de la presión de salida en el transductor Px 302</i> .....	66
<b>3.4.3.</b>	<b><i>Instalación de una celda de carga</i></b> .....	67
<b>3.4.4.</b>	<b><i>Instalación del sensor de proximidad</i></b> .....	67
<b>3.4.5.</b>	<b><i>Reparación del del circuito de puesta en marcha-paro y del circuito de mando</i></b> .....	68
3.4.5.1.	<i>Circuito de puesta en marcha-paro</i> .....	68
3.4.5.2.	<i>Circuito de mando</i> .....	69
<b>3.4.6.</b>	<b><i>Reprogramación del software LabVIEW con las nuevas variables</i></b> .....	69
3.4.6.1.	<i>Rediseño de la nueva instrumentación virtual</i> .....	70
3.4.6.2.	<i>Virtual instruments.VIs</i> .....	70
3.4.6.3.	<i>Panel frontal del Vis</i> .....	70
3.4.6.4.	<i>Programación por bloques para la medición de las presiones de entrada y de salida</i> 71	
3.4.6.5.	<i>Programación por bloques para la medición de la velocidad</i> .....	72
3.4.6.6.	<i>Programación por bloques para la medición de la fuerza y escritura serial de botones</i> .....	72
3.4.6.7.	<i>Programación por bloques para la fecha, hora y la adquisición de datos</i> .....	73

## CAPÍTULO IV

<b>4.</b>	<b>FASE EXPERIMENTAL</b> .....	74
<b>4.1.</b>	<b>Procedimientos para la selección del ánodo de sacrificio</b> .....	74
4.1.1.	<i>El área para proteger</i> .....	74
4.1.2.	<i>Demanda de corriente</i> .....	74
4.1.3.	<i>Masa total del ánodo</i> .....	75
4.1.4.	<i>Resistencia del ánodo de sacrificio</i> .....	75
4.1.5.	<i>Número de ánodos</i> .....	75
<b>4.2.</b>	<b>Recolección de datos de las variables medidas con los instrumentos utilizados en automatización</b> .....	75
4.2.1.	<i>Datos técnicos del equipo</i> .....	75
4.2.2.	<i>Variables medidas por los sensores</i> .....	76
4.2.3.	<i>Altura neta o salto (<math>H_n</math>)</i> .....	76
4.2.4.	<i>Caudal de entrada</i> .....	77
4.2.5.	<i>Potencia útil</i> .....	77
4.2.6.	<i>Potencia hidráulica absorbida (<math>P_a</math>)</i> .....	78
4.2.7.	<i>Rendimiento total</i> .....	78

<b>CONCLUSIONES</b> .....	79
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	81
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Propiedades físicas y electroquímicas del Mg, Zn y Al .....	28
<b>Tabla 2-2:</b>	Densidades de corriente de protección de superficies metálicas en medios agresivos.....	28
<b>Tabla 3-2:</b>	Resistividad de las aguas según el medio en que se encuentre .....	29
<b>Tabla 4-2:</b>	Ecuaciones para determinar la resistencia de ánodos de sacrificio .....	31
<b>Tabla 5-2:</b>	Catalogo de anodos de aluminio.....	32
<b>Tabla 6-2:</b>	Valoración del estado técnico de un equipo .....	42
<b>Tabla 7-2:</b>	Criterios para la cuantificación de la criticidad.....	43
<b>Tabla 1-3:</b>	Pasos para la aplicación del del CTR. ....	46
<b>Tabla 2-3:</b>	Análisis de criticidad total por riesgo (CTR) .....	48
<b>Tabla 3-3:</b>	Elementos con muy alta criticidad .....	51
<b>Tabla 4-3:</b>	Elementos con alta criticidad .....	51
<b>Tabla 5-3:</b>	Elementos con media criticidad.....	51
<b>Tabla 6-3:</b>	Elementos con baja criticidad.....	51
<b>Tabla 7-3:</b>	Datos técnicos del módulo de la turbina Francis.....	52
<b>Tabla 8-3:</b>	Estado inicial de la turbina Francis .....	53
<b>Tabla 9-3:</b>	Estado inicial del tanque de reserva .....	54
<b>Tabla 10-3:</b>	Estado inicial de la motobomba centrífuga .....	55
<b>Tabla 11-3:</b>	Estado inicial del dinamómetro .....	55
<b>Tabla 12-3:</b>	Estado inicial de las tuberías de succión y de descarga.....	56
<b>Tabla 13-3:</b>	Estado inicial del panel de control.....	57
<b>Tabla 14-3:</b>	Restauración de la turbina Francis .....	58
<b>Tabla 15-3:</b>	Restauración del tanque de reserva .....	60
<b>Tabla 16-3:</b>	Restauración de la motobomba centrífuga .....	61
<b>Tabla 17-3:</b>	Mantenimiento del dinamómetro de la turbina .....	62
<b>Tabla 18-3:</b>	Mantenimiento de las tuberías de succión y de descarga .....	62
<b>Tabla 19-3:</b>	Datos de la presión de entrada en el transductor Px 309.....	65
<b>Tabla 20-3:</b>	Datos de la presión de salida en el transductor Px 302 .....	66

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2:</b>	Clasificación de las máquinas hidráulicas.....	4
<b>Figura 2-2:</b>	Rodete de una bomba centrífuga con triángulos de velocidades en la entrada y salida de los álabes. Por simplicidad solo se muestra la mitad del rodete.....	5
<b>Figura 3-2:</b>	Clasificación de las turbomáquinas hidráulicas .....	8
<b>Figura 4-2:</b>	Composición de las turbinas hidráulicas .....	10
<b>Figura 5-2:</b>	Clasificación de las turbinas hidráulicas .....	10
<b>Figura 6-2:</b>	Constitución de una turbina de acción tipo Pelton .....	12
<b>Figura 7-2:</b>	Turbina Francis.....	13
<b>Figura 8-2:</b>	Distribuidor de una turbina Francis.....	14
<b>Figura 9-2:</b>	Rodete de turbina Francis.....	14
<b>Figura 10-2:</b>	Carcasa de una turbina Francis.....	15
<b>Figura 11-2:</b>	Partes de una bomba centrífuga.....	16
<b>Figura 12-2:</b>	Principio de funcionamiento de una bomba centrífuga .....	18
<b>Figura 13-2:</b>	Altura efectiva de bombeo .....	19
<b>Figura 14-2:</b>	Succión positiva .....	22
<b>Figura 15-2:</b>	Curva característica de la bomba centrífuga con caudal variable .....	23
<b>Figura 16-2:</b>	Curva característica de la bomba centrífuga con caudal constante .....	24
<b>Figura 17-2:</b>	Corrosión uniforme en el tanque de almacenamiento de agua.....	26
<b>Figura 18-2:</b>	Detalle de la instalación de ánodos de sacrificio.....	33
<b>Figura 19-2:</b>	Esquema descriptivo de la adquisición de dato.....	34
<b>Figura 20-2:</b>	NI compactDAQ 9172.....	34
<b>Figura 21-2:</b>	NI cDAQ-9172 con dimensiones en milímetros y pulgadas .....	36
<b>Figura 22-2:</b>	Modulo NI 9201 .....	37
<b>Figura 23-2:</b>	Modulo NI 9401 .....	38
<b>Figura 24-2:</b>	Sensor presión px302-030gv a 10 voltios .....	39
<b>Figura 25-2:</b>	Sensor de presión px309 100gv 5 voltios.....	39
<b>Figura 26-2:</b>	Fuente de alimentación RS-25-5 y RS-35-12.....	40
<b>Figura 27-2:</b>	Fuente de alimentación RS-25-5 .....	40
<b>Figura 28-2:</b>	Fuente de alimentación RS-35-12 .....	41
<b>Figura 29-2:</b>	Matrix de frecuencia x consecuencia .....	44
<b>Figura 30-2:</b>	Matrix para determinar la criticidad.....	44
<b>Figura 1-3:</b>	Circuito de potencia y circuito de mando.....	63
<b>Figura 2-3:</b>	Proceso de calibración de los transductores de presión.....	64
<b>Figura 3-3:</b>	Instalación de la celda de carga.....	67

<b>Figura 4-3:</b>	Instalación del sensor de proximidad .....	68
<b>Figura 5-3:</b>	Instalación y conexión de los elementos pertenecientes al circuito de puesta en marcha y paro .....	68
<b>Figura 6-3:</b>	Instalación y conexión de los elementos pertenecientes al circuito de mando..	69
<b>Figura 7-3:</b>	Interfaz del programa en el software LabVIEW 2013 .....	70
<b>Figura 8-3:</b>	Panel frontal del VIs de la turbina Francis .....	71
<b>Figura 9-3:</b>	Bloque de lectura de presiones de entrada y de salida .....	71
<b>Figura 10-3:</b>	Bloque de lectura de velocidad en rpm y m/s.....	72
<b>Figura 11-3:</b>	Bloque de lectura de fuerza y de escritura serial de botones.....	72
<b>Figura 12-3:</b>	Bloque de hora, fecha y adquisición de datos .....	73
<b>Figura 1-4:</b>	Esquema del área de protección .....	74



## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3:</b>	Curva del transductor de presión de la serie Px 309.....	65
<b>Gráfico 2-3:</b>	Curva del transductor de presión de la serie Px 302.....	66

## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** Manual de preparación del banco de pruebas de la turbina Francis antes de su encendido
- ANEXO B:** Manual de operación del banco de pruebas de la turbina Francis
- ANEXO C:** Plan de mantenimiento del banco de pruebas de la turbina Francis
- ANEXO D:** Plan de mantenimiento del banco de pruebas de la turbina Francis
- ANEXO E:** Análisis de costos para la repotenciación del banco de pruebas de la turbina Francis
- ANEXO F:** Datasheet de los elementos electrónicos usados en el banco de pruebas de la turbina Francis
- ANEXO G:** Catálogo de los ánodos de sacrificio instalados en el banco de pruebas de la turbina Francis

## RESUMEN

El presente trabajo de integración curricular tiene como objetivo la repotenciación del banco de pruebas de la turbina Francis del laboratorio de Turbomaquinaria de la Facultad de Mecánica. En la cual se realizó una evaluación del estado mecánico, eléctrico y electrónico de los equipos e instrumentos pertenecientes al banco de pruebas, ya que con el paso del tiempo no solo se deterioró mecánicamente, sino que también pierden precisión en la toma de datos en tiempo real. Dichas condiciones y características del banco de pruebas no disponía de un ambiente práctico, funcional y útil para la formación de los estudiantes, impidiendo una mejor interpretación de los datos que se pueden haber obtenido en las prácticas de laboratorio realizadas en anterioridad, esto conlleva a la realización de la recalibración de los sensores de presión recurriendo al uso de dispositivos electrónicos, instrumentos de calibración y para el procesamiento de datos en tiempo real y la reprogramación del software utilizado LabVIEW, así permitirá realizar ensayos de alta precisión y confiabilidad. Se concluye que, al realizar la repotenciación mecánica y encontrar actualizaciones de las funciones de transferencia de datos, ayudará a que el funcionamiento del banco de pruebas de la turbina Francis, sea el más adecuado y que al momento de que un estudiante realice prácticas de laboratorio este sea confiable y su proceso de trabajo y toma de datos sea lo más cercano a la realidad posible. Se recomienda ejecutar periódicamente planes de mantenimiento, para de esta manera alargar la vida útil del banco de pruebas de la turbina Francis.

**Palabras clave:** <REPOTENCIACIÓN> <BANCO DE PRUEBAS> <RECALIBRACIÓN DE SENSORES> <TURBINA> <LABVIEW (SOFTWARE)>.



Firmado electrónicamente por:  
**HOLGER GERMAN  
RAMOS UVIDIA**

1379-DBRA-UTP-2022

2022-06-29

o

## SUMMARY

The objective of this curricular integration work was the repowering of the Francis turbine test bench of the Turbomachinery laboratory of Mechanics Faculty. An evaluation of the mechanical, electrical and electronic status of the equipment and instruments belonging to the test bench was carried out, since over time they not only deteriorate mechanically, but also lose precision in real-time data collection. The conditions and characteristics of the test bench did not have a functional and useful practical environment for the training of students, preventing a better interpretation of the data that may have been obtained in the laboratory practices carried out previously. It leads to the realization recalibration of pressure sensors using electronic devices, calibration instruments and real-time data processing and reprogramming of the LabVIEW software used. It allows high-precision and reliability tests. It is concluded that, when performing the mechanical repowering and finding updates of the data transfer functions. It will help the operation of the Francis turbine test bench to be the most appropriate. At the time a student performs laboratory practices this is reliable and its work process and data collection is as close to reality as possible. It is recommended to periodically execute maintenance plans, in order to extend the useful life of the Francis turbine test bench.

**Keywords:** <REPOWERING>, <TEST BENCH>, <RECALIBRATION OF SENSORS>, <TURBINE>, <LABVIEW (SOFTWARE)>.



---

Sandra Paulina Porras Pumalema  
C.I. 0603357062

## **INTRODUCCIÓN**

En la escuela superior politécnica de Chimborazo posee alrededor de 11 laboratorios los cuales la mayoría de los mismos son didácticos, en estos laboratorios se realiza trabajos de simulaciones técnicas para que el estudiante forme y adjunte a sus conocimientos teóricos los conocimientos prácticos, el laboratorio de Turbomaquinaria Hidráulica consta de 9 bancos de pruebas, estos en su mayoría son bancos de prueba antiguos los cuales requieren de una repotenciación de la parte mecánica y eléctrica y una calibración de toda la instrumentación en cada uno de ellos.

El banco de pruebas de la turbina Francis se encuentra fuera de funcionamiento desde el año 2018, los problemas que presentes en el mismo son: corrosión del tanque de reserva de líquido, turbina Francis en la parte interna corroída y rodamientos que han cumplido su vida útil, bomba centrífuga con sellos mecánicos desgastados, así como complicaciones en el impeler del mismo y tablero de mando totalmente desconfigurado así mismo como la programación desactualizada.

Todos estos problemas mencionados anteriormente son tomadas mediante medidas sujetas a las investigaciones y normativas que puedan ayudar a la repotenciación.

# CAPÍTULO I

## 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

### 1.1. Justificación y actualidad

En la actualidad dentro del país las plantas hidroeléctricas son la principal fuente de producción eléctrica, por lo cual, la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ofrece a los estudiantes de la facultad de mecánica el laboratorio de Turbomaquinaria para la realización de prácticas, en el cual se facilitará a los estudiantes el banco de pruebas de la turbina Francis en donde los docentes pueden ayudar a comprender al alumnado el principio de funcionamiento de una turbina Francis, puesto que es de gran importancia en la industria moderna saber manipular y conocer su importancia dentro de la generación eléctrica. Con el transcurso del tiempo se han aplicado varias actualizaciones tecnológicas al banco de pruebas de la turbina Francis, haciéndola más didáctica para su uso, pero debido a la pandemia provocadas por el COVID 19, la ESPOCH se vio en la necesidad de suspender todas las actividades académicas afectando de gran manera al banco de pruebas de la turbina Francis. Como consecuencia de esta parada involuntaria el banco de pruebas fue poco a poco llenándose de corrosión debido a que el tanque de reserva de agua quedo lleno de fluido en su interior. Para mejorar e incrementar la eficiencia en el aprendizaje de los estudiantes de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo de la Facultad de Mecánica, se requiere de la repotenciación del módulo de la turbina Francis, debido a que no se encuentra en óptimas condiciones de funcionamiento. En consideración a dicha problemática se realizará un monitoreo de los parámetros de funcionamiento y hallar todos problemas que se encuentren en el banco de pruebas de la turbina Francis, además se aplicará un método anticorrosivo conocido como ánodo de sacrificio para combatir y evitar que se genere corrosión en el banco de pruebas, se implementará una actualización a la documentación de mantenimiento como: manuales de operación y el plan de mantenimiento.

### 1.2. Planteamiento del problema

En la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo se encuentra el laboratorio de Turbomaquinaria de la Facultad de Mecánica, en el cual se desarrollan prácticas de laboratorio, entre ellas se encuentra el banco de pruebas de la turbina Francis y en vista al cambio de malla curricular implementada en los años recientes ha hecho que el conocimiento teórico y práctico de los diferentes tipos de turbinas sea necesario para complementar el conocimiento de un ingeniero

de mantenimiento industrial con vistas al campo laboral de centrales hidroeléctricas ya que estas son la base fundamental en la generación de electricidad del país.

A partir del cese de actividades académicas se pudo notar una falta de mantenimiento en los laboratorios de la ESPOCH y uno de los afectados resultó ser el laboratorio de Turbomaquinaria de la Facultad de Mecánica, ya que los equipos como el banco de pruebas de la turbina Francis necesitan estar en funcionamiento constante y durante el año de la pandemia por el COVID-19 nadie pudo realizar sus actividades labores provocando así un descuido total en el cual se dejó el banco de pruebas de la turbina Francis llena de agua, desatando una corrosión en donde se han provocado daños no solo al tanque sino también a la bomba centrífuga y a la turbina Francis ,

Actualmente no se cuenta con documentación técnica ni con registros referentes al mantenimiento preventivo o correctivo esto debido a la mala organización y la perdida de estos por parte de los encargados del laboratorio de Turbomaquinaria, además este banco no se encuentra en óptimas condiciones de funcionamiento por lo que impide a los estudiantes desarrollar las prácticas de laboratorio.

### **1.3. Objetivos**

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

Repotenciar el banco de prueba de la turbina Francis del laboratorio de Turbomaquinaria de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

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

Realizar un análisis de criticidad para determinar el estado actual de los componentes que conforman el banco de pruebas de la turbina Francis

Solucionar los diferentes modos de fallos dentro del banco de pruebas de la turbina Francis, aplicando metodologías de mantenimiento.

Implementar una protección catódica mediante un ánodo de sacrificio para prever la presencia de corrosión en el banco de pruebas de la turbina Francis.

Desarrollar el manual de operación y el plan de mantenimiento para el banco de prueba de la turbina Francis.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

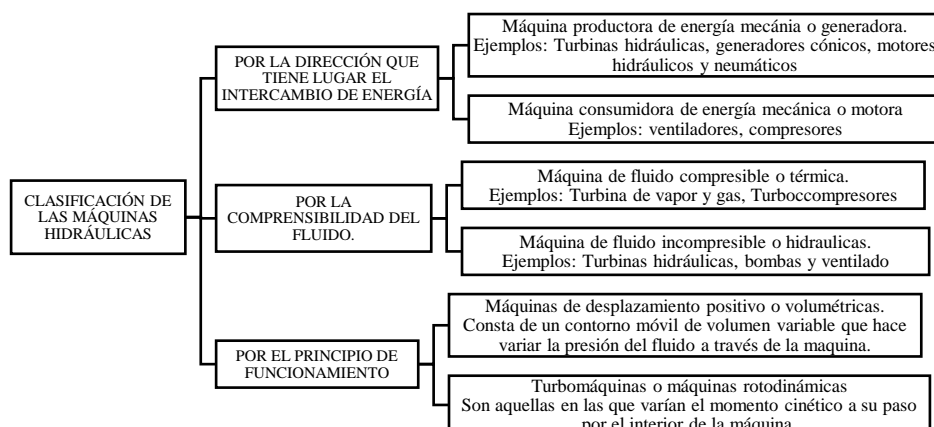
#### 2.1. Máquina

Como definición de máquina se puede precisar que es aquella que permite ejecutar la variación de una categoría de fuerza a otra, existen una gran variedad de tipos de máquinas como los motores eléctricos, los hornos, las cabestrante o cualquier mecanismo útil que absorbe fuerza eléctrica y la restituye como intensidad mecánica, de la misma forma se encuentran máquinas que trabajan en el giro competidor como las turbinas, dinamómetros, grupos electrógenos y entre otros, los cuales absorben fuerza mecánica transformándola en fuerza eléctrica (Mataix, 1986).

#### 2.2. Máquinas Hidráulicas

Las máquinas hidráulicas denominadas también como máquinas de fluidos, son sistemas mecánicos en los cuales se intercambia fuerza con el elemento líquido que recorre en su interior, en otras palabras, la fuerza absorbida por el mecanismo es producida por el desenvuelto que lo recorre o el desenvuelto obtiene fuerza que el mecanismo produce, estas máquinas se caracterizan por no desempeñar cambios de densidad en los fluidos incompresibles (Sánchez, 2003).

##### 2.2.1. Clasificación de las máquinas hidráulicas



**Figura 1-2:** Clasificación de las máquinas hidráulicas

Fuente: (Sánchez, 2003).



Las máquinas hidráulicas son las más usadas en la industria, ya que su presencia en el influye de forma positiva en el desarrollo socioeconómico a nivel general y pueden ser clasificados de acuerdo a diferentes criterios, mismos que se detallan en la Figura 1-2: Clasificación de las máquinas hidráulicas.

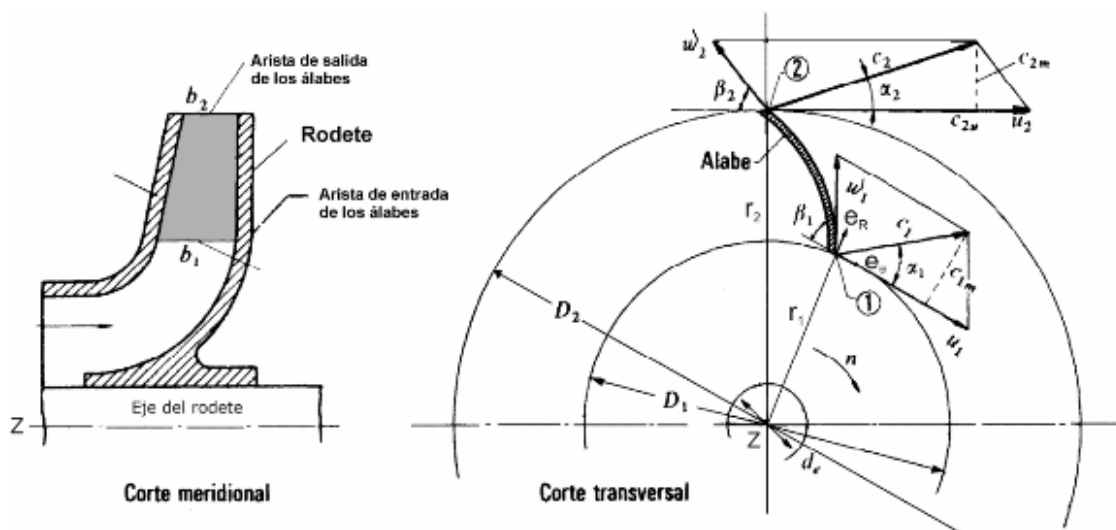
Para continuar con el tema de investigación se proceder a realizar un enfoque en lo que se denominan turbomáquinas.

### 2.2.2. Turbomáquinas hidráulicas

Las turbomáquinas hidráulicas son máquinas que operan mediante fluidos, las cuales tienen un funcionamiento centrado en la fluctuación del momento cinético del fluido en su trayecto por los conductos de un módulo denominado rotor, provisto de álabes o paletas (Zamora, 2016).

### 2.2.3. Transferencia de energía en las turbomáquinas

#### 2.2.3.1. La ecuación de Euler



**Figura 2-2:** Rodete de una bomba centrífuga con triángulos de velocidades en la entrada y salida de los álabes. Por simplicidad solo se muestra la mitad del rodete

Fuente: (García, 2014)

Notación:

$b_1, b_2$  = Anchos de entrada y salida del álabe.

$D_1, D_2$  = Diámetros de entrada y salida del álabe.

de = Diámetro del eje del rotor.

C1, C2 = Velocidad absoluta de una partícula de fluido a la entrada y salida del álabe.

n = Velocidad angular del rotor en rpm.

u1, u2 = Velocidades periféricas (absolutas) de los álabes en la entrada y salida de los álabes.

W1, W2 = Velocidades relativas del fluido en la entrada y salida de los álabes.

Los puntos 1 y 2 se refieren a la entrada y salida del rodete respectivamente, se la puede apreciar en la Figura 2-2: Rodete de una bomba centrífuga con triángulos de velocidades en la entrada y salida de los álabes. Por simplicidad solo se muestra la mitad del rodete.

$$W_1 = C_1 - u$$

$$W_2 = C_2 - u$$

### 2.2.3.2. Momento hidráulico

Es el instante realizado por la agrupación de fuerzas actuantes sobre la masa dentro de un volumen de control, con respecto a un punto de referencia estático O, para un sistema de carácter inercial situado sobre el volumen de control, está determinado por:

$$M = -\rho r_1 C_1 \cos \alpha_1 C_1 A_1 + \rho r_2 C_2 \cos \alpha_2 C_2 A_2 \quad (1)$$

Por conservación de masa se logra apreciar que:  $\rho C_1 A_1 = \rho C_2 A_2 = \rho Q$

De los triángulos de velocidades representados en la Figura 2-2: Rodete de una bomba centrífuga con triángulos de velocidades en la entrada y salida de los álabes. Por simplicidad solo se muestra la mitad del rodete se tiene que:

$$C_{1u} = C_1 \cos \alpha_1$$

$$C_{2u} = C_2 \cos \alpha_2$$

$C_{1u}$  y  $C_{2u}$  son las proyecciones de  $C_1$  y  $C_2$  en dirección de  $u_1$  y  $u_2$  respectivamente, después de lograr obtener las expresiones matemáticas, se procede a representar el momento hidráulico de la siguiente manera:

$$M = \rho Q (r_2 C_{2u} - r_1 C_{1u}) \quad (2)$$

Donde:

$M$  = Es el momento total que enlaza al fluido por el rodete o más conocido como Momento Hidráulico.

$Q$  = Es el caudal de bombeo o caudal turbinado, dependiendo del tipo de turbomáquina, tomando en consideración que el rodete tiene infinitos álabes para así lograr captar la totalidad del caudal.

### 2.2.3.3. *Potencia intercambiada*

La potencia que se intercambia por parte del rodete o la potencia que el rodete le inserta al fluido es dada por la siguiente ecuación:

$$P_t = M \omega = \rho Q \omega (r_2 C_{2u} - r_1 C_{1u}) \quad \text{con} \quad \omega = \frac{\pi n}{30} \text{ rad/s}$$

De la Figura 2-2: Rodete de una bomba centrífuga con triángulos de velocidades en la entrada y salida de los álabes. Por simplicidad solo se muestra la mitad del rodete se puede apreciar que:

$$u_1 = r_1 \omega$$

$$u_2 = r_2 \omega$$

Por lo cual se determina la potencia teórica del rodete que comunica al fluido.

$$P_t = M \omega = \rho Q (u_2 C_{2u} - u_1 C_{1u}) \quad (3)$$

$(u_2 C_{2u} - u_1 C_{1u})$  Es la fuerza específica que el rodete requiere para entrelazar al fluido y se le conoce por la terminación de  $Y_u$

$Y_u$  también suele expresarse en términos de altura de energía de tal manera que la fórmula sería la siguiente:  $H_u = Y_u / g$ .

$$P_t = \gamma Q H_u \quad (4)$$

Donde:

$H_u$  = Altura equivalente entre la fuerza intercambiada en el fluido o altura hidráulica.

Q= Es el caudal que está presente en el rodete o caudal de bombeo en el caso de bombas y caudal turbinado en el caso de turbinas.

Cuando se trata de turbinas, el fluido es el que da la energía al rodete de tal manera que la ecuación de Euler se representaría como:

$$Y_u = u_1 C_{1u} - u_2 C_{2u} \quad (5)$$

Cuando se trata de bombas, el rodete es el que imparte energía al fluido entonces la ecuación de Euler se escribe como:

$$Y_u = u_2 C_{2u} - u_1 C_{1u} \quad (6)$$

En turbomáquinas es común poder observar que la energía está en términos de la altura ( $H_u = Y_u/g$ ), de tal manera se puede obtener la siguiente ecuación:

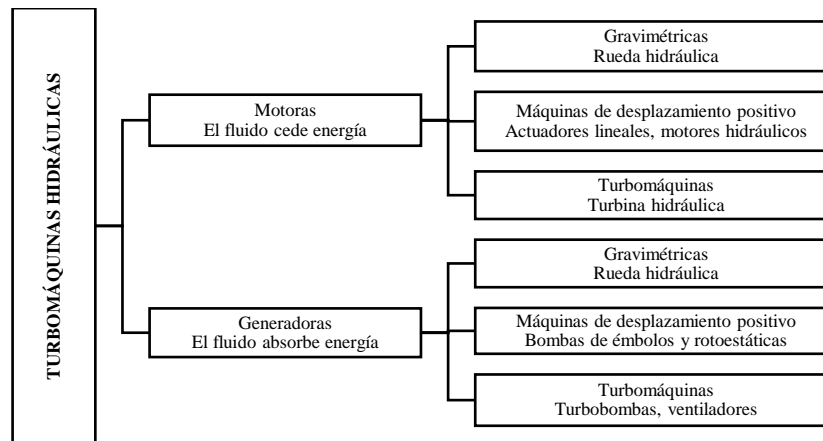
$$H_u = \pm \frac{u_2 C_{2u} - u_1 C_{1u}}{g} \quad (7)$$

$H_u$  tiene dos modos de ser representado:

- En el caso de las turbinas es la altura de Euler o altura útil aprovechada por el rodete.
- En el caso de las bombas, ventiladores y compresores es la altura teórica o fuerza teórica que entrelaza al fluido

#### **2.2.4. Clasificación de las turbomáquinas hidráulicas**

- Turbomáquinas generadoras. – Su principio de funcionamiento es el absorber la energía mecánica y restaurar la energía al fluido. Al comienzo el fluido que se manipula es líquido es por ello que se las denomina bombas, por otra parte, las máquinas que al comienzo el fluido es gaseoso son conocidas como ventiladores (Zamora, 2016).
- Turbomáquinas motoras. - El principio de funcionamiento de estas máquinas es que absorben energía del fluido y restauran energía mecánica. Habitualmente se las conoce como turbinas independientemente del fluido que manejen (García, 2011).



**Figura 3-2:** Clasificación de las turbomáquinas hidráulicas

Fuente: (Sánchez, 2003)

### 2.3. Turbina hidráulica

Las turbinas hidráulicas son comúnmente utilizadas en las centrales hidroeléctricas para producir energía, debido a que forman parte del grupo de turbomáquinas, convierten la energía cinética y potencial de un fluido en energía mecánica rotacional con lo cual les es posible producir corriente a través de una rueda que gira a gran velocidad gracias a la energía cinética que es provocada por el flujo de agua.

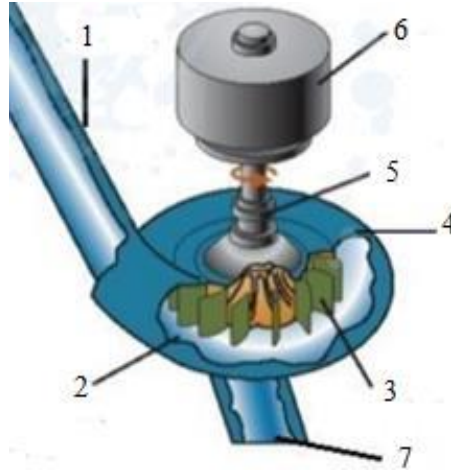
Estas turbinas se identifican principalmente por la cualidad de poder convertir la energía hidráulica en energía eléctrica, pero necesitan dos factores muy importantes para hacerlo:

- Caudal disponible: es la cantidad de líquido circulante durante un tiempo.
- Altura de caída de líquido: es la distancia entre la salida del líquido y antes del contacto con la turbina.

#### 2.3.1. Elementos constitutivos de las turbinas hidráulicas

1. **Entrada de agua:** se puede realizar a través de un canal de entrada o también se puede presurizar a través de una tubería forzada
2. **Distribuidor:** es un componente fijo que actúa como boquilla o difusor, y se encarga de dirigir el fluido desde la aparición al rodete.
3. **Rodete:** es la parte más importante de la turbina porque, al poseer álabes, produce conversión de energía.
4. **Carcasa:** es el elemento que cubre a la turbina y que se resguarda las hélices y el impulsor.
5. **Eje:** es la parte que permite la transmisión de energía mecánica de rotación al generador.

6. **Generador:** es el elemento que convierte la energía mecánica de rotación en energía eléctrica.
7. **Salida de agua:** es la parte por la cual se evacua el agua que pasa por el caracol hacia el depósito de almacenamiento.

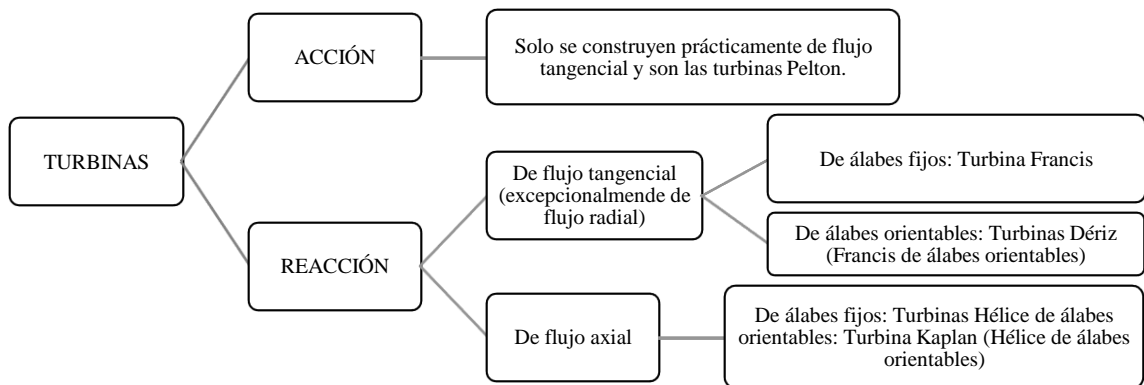


**Figura 4-2:** Composición de las turbinas hidráulicas

Fuente: (García, 2012)

### 2.3.2. Clasificación de las turbinas hidráulicas

Las turbinas hidráulicas se las pueden clasificar de acuerdo con su grado de reacción de las cuales se deriva la siguiente clasificación:



**Figura 5-2:** Clasificación de las turbinas hidráulicas

Fuente: (Mataix, 1986, pp. 461-464)

### 2.3.3. Velocidad específica

Cada turbina se caracteriza por una constante relacionada con las variables de diseño, denominada velocidad específica o número específico de revoluciones ( $N_s$ ), que tiene el mismo valor para turbinas geométrica y operativamente idénticas que operan en condiciones hidráulicas similares.

$$N_s = N (P_t)^{0.5} (H_d)^{-1.25} \quad (8)$$

Donde:

$N_s$  = Velocidad específica en rpm  $\text{kW}^{0.5} \text{m}^{-1.25}$

$N$  = Velocidad angular o de rotación en rpm

$P_t$  = Potencia de diseño de la turbina en kW

$H_d$  = Carga de diseño de la turbina en m

Una de las clasificaciones del tipo de turbina viene dado mediante la utilización de la potencia en CV y los rangos son:

- TURBINAS PELTON  $50 \leq N_s \leq 100$
- TURBINAS FRANCIS  $50 \leq N_s \leq 350$  (400)
- TURBINAS KAPLAN  $50 \leq N_s \geq 300$

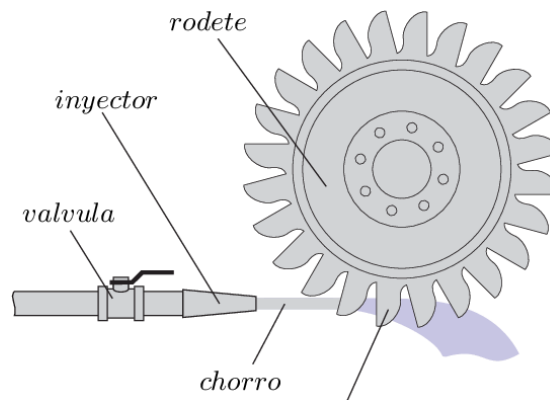
Como se puede apreciar en esta clasificación, el rango de Francis es tan amplio que incluye parte del rango de Pelton y adicionalmente la de Kaplan, con tendencia a aumentar con valores de  $N_s$  del orden 400 o mayor (Tirapegui, 1998).

Para las Francis se han creado rangos de aproximación de los cuales se han expuesto los siguientes:

- LENTA  $50 \leq N_s < 150$  ( $D1 > D3$ )
- NORMAL  $150 \leq N_s < 250$  ( $D1 \cong D3$ )
- RÁPIDA  $250 \leq N_s \leq 350$  ( $D1 < D3$ )

De la clasificación anterior puede existir un error de variación lo cual viene dado de acuerdo al criterio de los fabricantes y al año en que se diseñe la turbina.

#### 2.3.4. Turbinas de acción



**Figura 6-2:** Constitución de una turbina de acción tipo Pelton

Fuente: (Encinas, 1976)

Las turbinas trabajan para transmitir al rotor la energía potencial del salto en forma de energía cinética, mientras el agua sale del distribuidor hacia el impulsor con presión constante, el líquido que pasa por el impulsor entra en contacto con el gas. Convirtiendo así la energía de presión en energía mecánica de movimiento, estas turbinas son aptas para grandes saltos y pequeñas alturas, por lo que la potencia es relativamente baja, en cambio, si el caudal es grande, se colocan unos inyectores porque se reciben parcialmente y como el líquido entrante es tangencial al rotor, también hablamos de rotores tangenciales (Sánchez, 2003).

#### 2.3.5. Turbinas de reacción

En una turbina de reacción, el agua sale del distribuidor con cierta presión, esta presión va disminuyendo a medida que el agua pasa por los álabes del impulsor, por lo que a la salida la presión puede ser cero o incluso menos; En estas turbinas el agua circula a presión en el distribuidor y en el impulsor, por lo que la energía potencial del salto se convierte, por un lado, en energía cinética; por otro lado, en energía de presión (Mataix, 1986).

Pueden ser:

- De flujo diagonal (radio axial): Turbinas Francis y Turbinas Deriaz.



- De flujo axial: Turbinas Kaplan y de Hélice.

Este trabajo de titulación se realizará tomando en cuenta a las turbinas de flujo diagonal de una turbina y centrándose como base primordial en las turbinas Francis.

#### 2.4. Turbina Francis



**Figura 7-2:** Turbina Francis

**Fuente:** Laboratorio de Turbomaquinaria de la facultad de mecánica de la ESPOCH.

Se dice que estas turbinas están sobre presurizadas porque la presión en el área del impulsor puede variar, se las denomina también como turbinas de admisión total pues, son completamente receptivas porque están bajo la influencia directa del agua en toda su periferia. El agua se entrega al distribuidor a través de una caja helicoidal de turbina, el flujo de agua se acelera a través del dispensador mediante álabes ajustables del dispensador y el impulso generado por la desviación interna y la aceleración del agua en el impulsor se transmite al rotor (García, 2011).

En el momento en que la hélice del distribuidor está cerrada, el agua no fluye, por lo que el caudal y la presión no existen en el sistema, mientras que, cuando la posición de la hélice está completamente abierta, se obtiene el valor máximo de caudal y presión.

##### 2.4.1. Características principales de las Turbinas Francis

- Las turbinas Francis se caracterizan, de la misma forma que las turbinas Pelton, por poder operar tanto horizontal como verticalmente con respecto al eje, pero se considerará la disposición más utilizada, que es la vertical, ya que es común, especialmente en aplicaciones de alta capacidad.

- Se utilizan con cabezas hidráulicas relativamente bajas (25 - 350 m) pero con caudales elevados de hasta 200 m<sup>3</sup> /s.
- Riesgo de cavitación (en la entrada y salida de las hélices).
- Las aletas de distribución son regulables.
- Estructura: similar a la de una bomba centrífuga.
- La presión del aceite suele estar entre 10 y 15 atm, aunque en el caso de equipos muy grandes puede ser superior.
- El distribuidor consta de dos placas planas paralelas a través de las cuales se pueden girar las hélices utilizando el servomotor.
- El servomotor, hidráulicamente, controla la posición de la varilla impulsora del distribuidor.
- La velocidad de rotación del pistón es en función de la cantidad de aceite suministrado por el cilindro.

#### 2.4.2. *Parámetros funcionales de los componentes de la Turbina Francis*

##### 2.4.2.1. *El distribuidor (o corona directriz)*

Consta de hélices guía en forma de persiana circular con apertura que puede ser regulada de acuerdo a las necesidades de potencia. En este lugar se realiza de manera parcial la conversión de energía de presión en energía cinética (Tirapegui, 1998).



**Figura 8-2:** Distribuidor de una turbina Francis

Fuente: (García, 2011)

##### 2.4.2.2. *El rotor o rodete*

Está estructurado por las hélices encajadas dentro de un plato de manera perpendicular al eje de la máquina. (García, 2011)



**Figura 9-2:** Rodete de turbina Francis

**Fuente:** Laboratorio de Turbomaquinaria de la facultad de mecánica de la ESPOCH.

#### 2.4.2.3. *La carcasa o caracol*

La tubería de suministro es redonda, pero con un diámetro cónico que rodea el rotor. El líquido que pasa por el dosificador es guiado por unas paletas que se encuentran fijadas a la carcasa (anti dispensador o distribuidor fijo). La principal funcionalidad de este es realizar un cambio de dirección en el flujo que llega de la tubería de suministro, con el fin de que el agua que alimenta al distribuidor posea una presión constante (Mataix, 1986).



**Figura 10-2:** Carcasa de una turbina Francis

**Fuente:** (García, 2011)

## 2.5. **Bomba centrífuga**

Las bombas centrífugas o bombas rotativas convierten la energía mecánica en energía hidráulica, su función principal es transportar grandes cantidades de fluido a través de dos niveles diferentes.

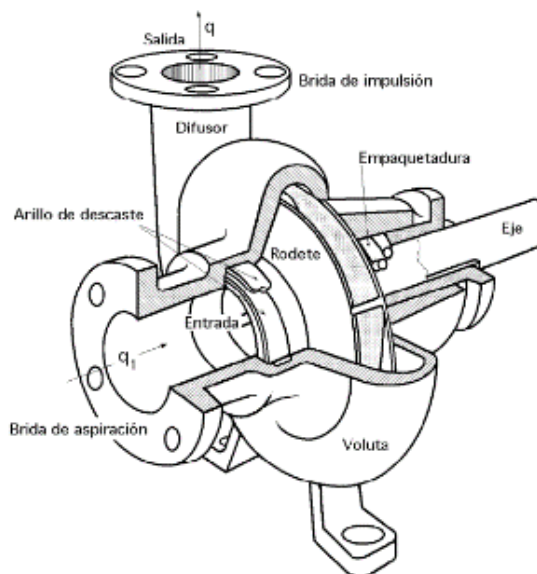
Una bomba centrífuga funciona de tal manera que, que el líquido ingresa de forma axial por la tubería de aspiración hasta el centro del rodete el mismo que gira utilizando con fuente un motor, con lo cual es posible tener un cambio de dirección de radial a axial con lo que se consigue además aceleración y trabajo. Existen bombas centrífugas diseñadas para manejar distintos tipos de caudal el mismo que va en un rango de 1 L/min hasta 106 L/min, con alturas de más de 100m, de unos

Watts hasta MW. La eficiencia máxima puede alcanzar el 90% y la curva de potencia aumenta de acuerdo al caudal (Tirapegui, 1998).

Las bombas centrífugas se caracterizan por:

- Están conformadas por un eje y uno o más impulsores.
- Tienen una carcasa.
- Elementos de cierre.
- Bajo la acción de la fuerza centrífuga, la energía del líquido aumenta.
- Pueden adaptarse al trabajo con elevadas velocidades.
- Siguiendo el eje de giro de la hélice o turbina.
- El líquido es expulsado perpendicularmente al eje de rotación de la hélice.
- Las bombas de alta presión se pueden utilizar en varios rotores en serie.
- El difusor tiene un canal helicoidal, en el caso de una bomba que trabaja a baja presión.
- El funcionamiento del rotor es principalmente radial cuando el caudal es bajo y la presión es alta.
- La dirección del flujo dentro de la bomba es paralela al eje del rotor cuando su caudal es mayor y su presión de descarga es menor.
- Las bombas centrífugas no son autocebantes y deben cebarse antes de la operación.

### 2.5.1. Elementos de una bomba centrífuga



**Figura 11-2:** Partes de una bomba centrífuga

Fuente: (Dominguez, 2020)

#### 2.5.1.1. *Carcasa*

Es la protección externa de la bomba y tiene la misión de convertir la energía de velocidad transferida al líquido por el impulsor en energía de presión, esto se logra a través de la disminución de velocidad al ir aumentando gradualmente el área.

#### 2.5.1.2. *Rodete o impulsor*

Es un elemento móvil, formado por palas divergentes unidas al eje, éste es el encargado de recolectar energía del exterior a través de un motor.

#### 2.5.1.3. *Difusor*

El difusor consta de hélices fijas divergentes mismos que, al elevar la sección transversal de la carcasa, disminuirán la velocidad del agua, que convierte la energía cinética en energía de presión, mejorando así la eficiencia del agua.

#### 2.5.1.4. *Anillos de desgaste*

Al ser una pieza fácil y económica de desmontar en aquellas partes donde, debido a la estrecha holgura entre el impulsor y la carcasa, el desgaste es prácticamente constante, se encargan de evitar la necesidad de cambiar piezas pues, únicamente se tiene que retirar los anillos.

#### 2.5.1.5. *Estoperas, empaques y sellos*

Son aquellos que se encargan de impedir el paso del líquido bombeado por el orificio por el que pasa el eje de la bomba y el paso del aire al interior de la bomba.

#### 2.5.1.6. *Flecha*

Consiste básicamente en el eje de todos los elementos giratorios que se encuentran en la bomba centrífuga, además cumple la misión de transmitir el movimiento emitido por el eje del motor.

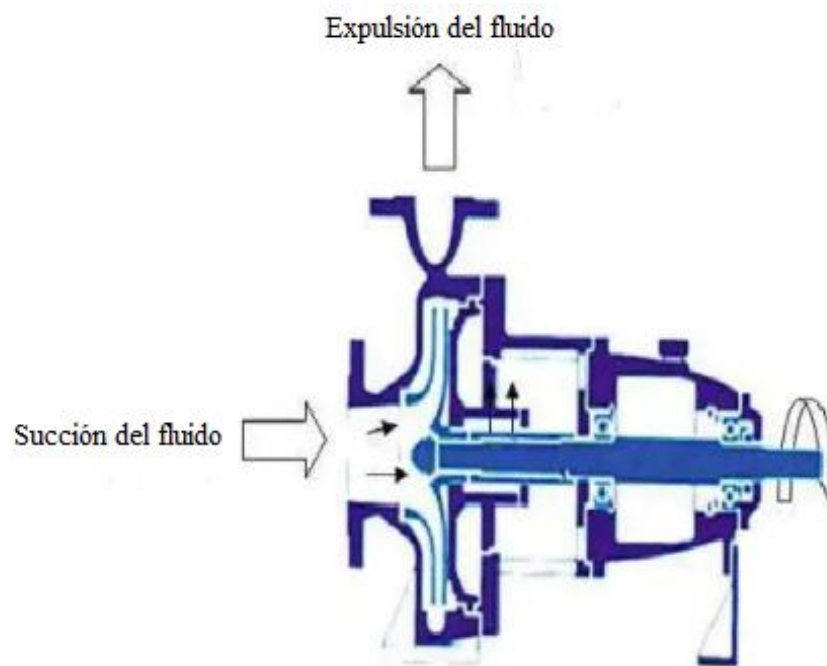
#### 2.5.1.7. *Cojinetes*

Sostienen el eje del conjunto rotor para alinearlos exactamente con las fijaciones. En pocas palabras permiten soportar las cargas radiales y axiales existentes en la bomba.

#### 2.5.1.8. Bases

Sostienen la bomba soportando el peso del conjunto.

#### 2.5.2. Funcionamiento



**Figura 12-2:** Principio de funcionamiento de una bomba centrífuga

Fuente: (Dominguez, 2020)

El flujo ingresa a la bomba a través del centro o el ojo del impulsor, y el fluido recibe energía a medida que las palas del impulsor lo extraen en dirección radial.

Dicha aceleración hace que exista un incremento considerable en presión y energía cinética, el cual es efectuado debido a la forma helicoidal de la hélice para producir un área de flujo creciente de manera que la energía cinética a la salida de la rueda se convierte en cabeza de presión a la salida.

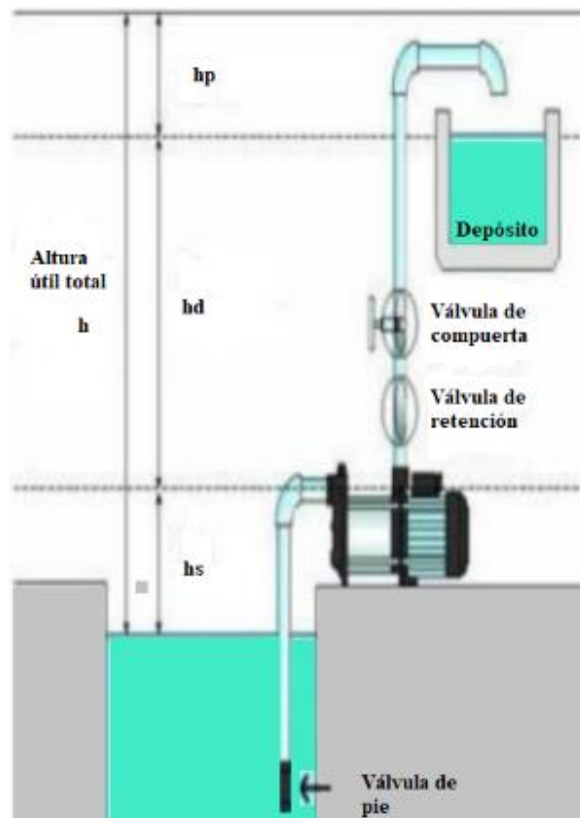
#### 2.5.3. Ventajas de las bombas centrífugas

- Estructura simple, bajo costo.

- El flujo de descarga puede interrumpirse o reducirse completamente sin dañar la bomba.
- Se puede usar con líquidos que contienen grandes cantidades de sólidos en suspensión, volátiles y líquidos hasta 850 °F.
- Sin tolerancias demasiado estrictas.
- Menos espacio ocupado.
- Económico y de fácil mantenimiento.
- No alcanzan una presión excesiva incluso cuando la válvula de envío está cerrada.
- La profundidad máxima de succión es de 15 pulgadas.
- Flujo regular sin pulsación.
- El impulsor y el eje son las únicas partes móviles.
- Sin válvulas ni piezas recíprocas.
- Funcionamiento a alta velocidad de la correa de transmisión.
- Son aptas para servicios generales, abastecimiento de agua, hidrocarburos, drenaje de aguas servidas, carga y descarga de vagones cisterna, trasvase de productos en oleoductos.

#### 2.5.4. *Parámetros de las bombas centrífugas*

##### 2.5.4.1. *Altura efectiva de bombeo*



### **Figura 13-2:** Altura efectiva de bombeo

**Fuente:** (Dominguez, 2020)

La altura efectiva de la bomba, como se muestra en la Figura 12-2, se llama resistencia al flujo del fluido, para que este fluido fluya completamente a través del sistema de bombeo, la bomba debe vencer su resistencia.

Donde:

h: Altura útil total a vencer de una bomba. [m]

hp: Altura de pérdidas. [m]

hd: Altura estática de descarga. [m]

hs: Altura estática de succión. [m]

#### 2.5.4.2. *Amplitud de velocidad*

Están acondicionados en la entrada y el apoyo de la carga permite el correcto funcionamiento de la bomba.

#### 2.5.4.3. *Amplitud de presión*

Este es el límite máximo de presión en el que la bomba puede funcionar correctamente [N/m<sup>2</sup>].

#### 2.5.4.4. *Potencia de bombeo*

La potencia de bombeo es suministrada por la bomba hacia el fluido que la atraviesa y depende de la altura efectiva de bombeo. La potencia suministrada en el eje de la bomba va a hacer mayor a la potencia, esto se da gracias a las pérdidas que da la bomba, hay tres tipos de pérdidas:

- Pérdidas hidráulicas: se produce por estrangulamiento, cambio de dirección, cierre fantasma.
- Pérdidas mecánicas: se produce por fricción entre elementos mecánicos.
- Potencias volumétricas: Se presenta por corriente secundaria, retorno de líquido, falta de estanqueidad, entre otros.

#### 2.5.4.5. *Volumen*



Esta es la cantidad de líquido que entrega la bomba a la presión de operación. [ $m^3/s$ ].

#### 2.5.4.6. *Eficiencia volumétrica*

Determinado como la relación entre el volumen de salida teórico y el volumen real a cualquier presión nominal.

#### 2.5.4.7. *Eficiencia mecánica*

Se determina por medio de la relación entre el caballaje teórico a la entrada, es necesario para un volumen específico en una presión específica y el caballaje real a la entrada necesario para el volumen específico a la presión específica.

#### 2.5.4.8. *Eficiencia total*

Se puede definir como el producto de la eficiencia volumétrica y mecánica.

#### 2.5.4.9. *Altura neta de succión positiva (N.P.S.H.)*

Es una regla general que todas las bombas necesitan tener como dato en altura de succión neta positiva definida por las siglas NPSH y consiste en una presión requerida sobre la presión de vapor del líquido bombeado para que la bomba o sistema funcione correctamente sin formar vapores que es lo mismo que dar paso al fenómeno de cavitación, ya que la formación de vapor es un problema muy frecuente en el transporte de líquidos por bomba (Encinas, 1976).

Los fabricantes prueban cada diseño para determinar el nivel de presión de succión requerido para que puedan informar los resultados, como el requisito de succión final positiva neta (NPSHR) de la bomba en cada condición de potencia operativa, el caudal dinámico o volumétrico y la carga total en la bomba (García, 2011).

$$NPSH_D > NPSH_R \quad (9)$$

Donde:

$NPSH_D$  = Carga de succión neta positiva disponible.

$NPSH_R$  = Carga de succión neta positiva requerida.

#### 2.5.4.10. Cálculo de NPSH<sub>D</sub>

El cálculo de NPSH<sub>D</sub>, es netamente dependiente de la presión de vapor del líquido bombeado, la energía perdida en la tubería de succión, donde se encuentra el líquido, y la presión ejercida sobre el mismo y se puede apreciar en la siguiente ecuación:

$$\text{NPSH}_D = h_{sp} \pm h_s - h_f - h_{vp} \quad (10)$$

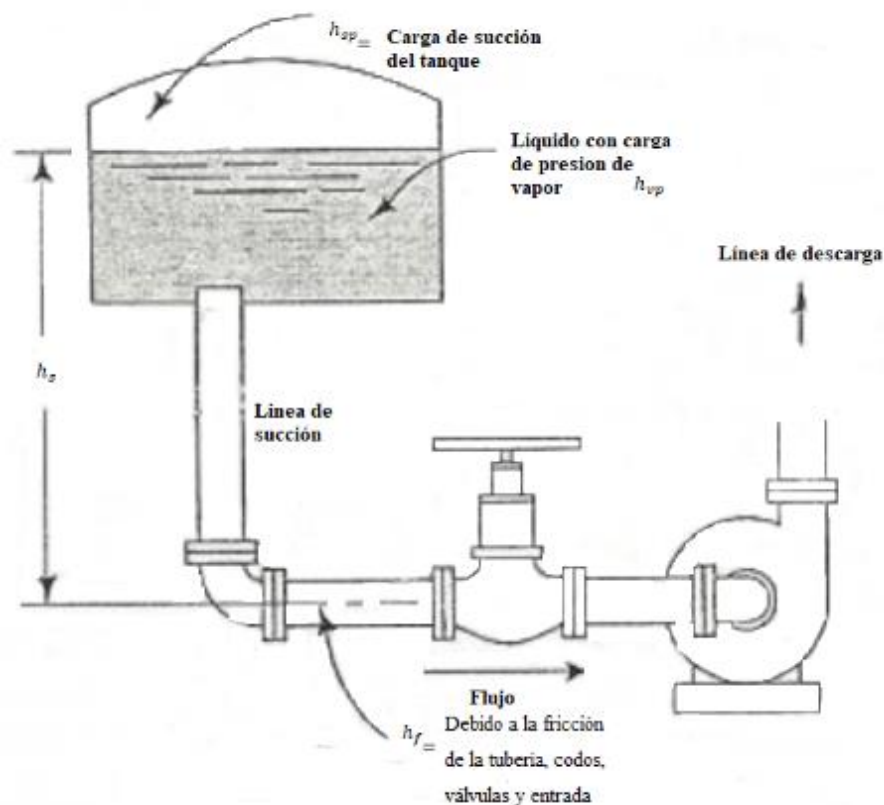
Donde:

$h_{sp}$ : Presión estática absoluta sobre el líquido almacenado, en medidores de líquido.  $h_{sp} = \frac{P_{sp}}{\gamma}$

$P_{sp}$ : Presión estática absoluta sobre el líquido en el tanque  $\frac{N}{m^2}$

$h$ : La diferencia entre la subida del líquido en el tanque y el eje de entrada de la bomba. [m]

- Si la bomba se encuentra debajo del depósito,  $h_s$  es positiva.
- Si la bomba se encuentra arriba del depósito,  $h_s$  es negativa.



**Figura 14-2:** Succión positiva

Fuente: (Dominguez, 2020)

#### 2.5.4.11. Curva característica de la bomba centrífuga

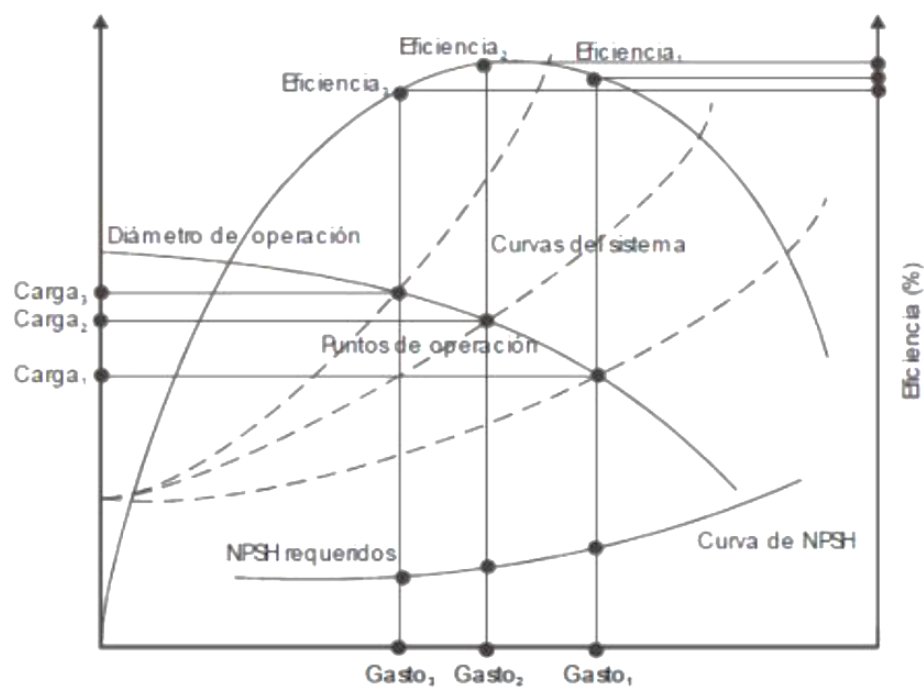
Debido a la fricción de la tubería, codos, válvulas y entrada las curvas características de la bomba centrífuga, se puede obtener mediante los datos de la placa que identifica y caracteriza a la bomba, además se requiere averiguar el datasheet o el catálogo del fabricante, dichas curvas están relacionadas con las variables que participan en su actividad. Las curvas características de la bomba muestran datos de fabricantes similares y suelen incluir:

- Curva de carga vs caudal.
- Curva de NPSH vs caudal.
- Curva de eficiencia vs caudal.
- Curva de potencia vs caudal.

En caso que no posea la información técnica del fabricante que requiere valorar, puede utilizar curvas de referencia relacionadas con características similares de la bomba, tales como: Tipo de impulsor, velocidad, diámetro, tamaño, entre otros.

#### 2.5.5. Punto de operación de la bomba centrífuga

##### 2.5.5.1. Caudal variable

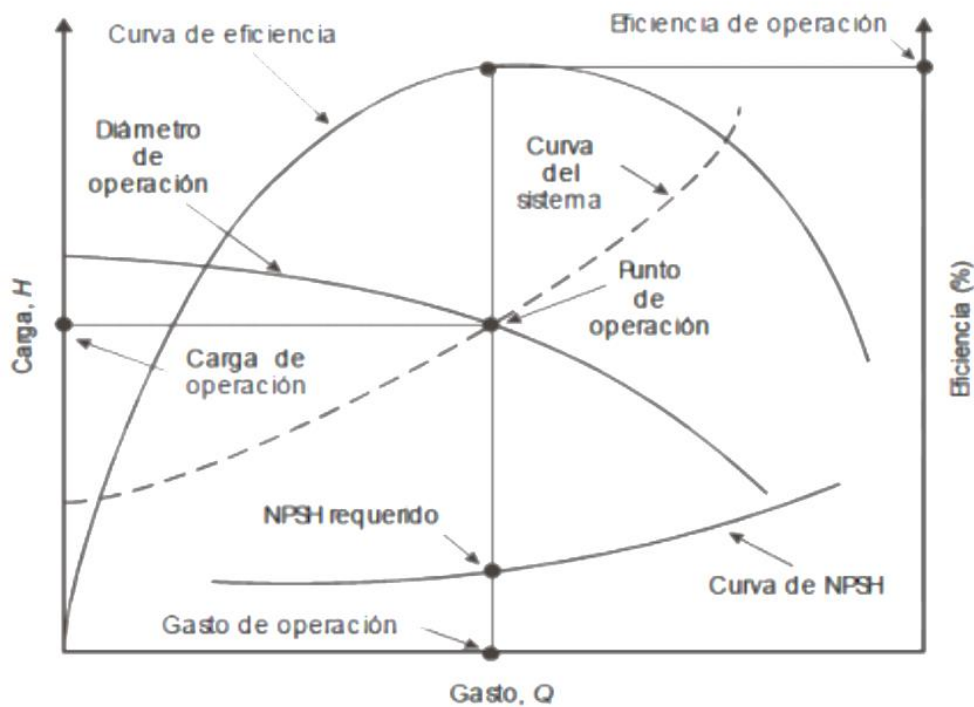


**Figura 15-2:** Curva característica de la bomba centrífuga con caudal variable

Fuente: (Tirapegui, 1998)

Los sistemas de bombeo en forma general necesitan de un flujo variable, con lo que se deduce que la bomba operará con diferentes puntos de consigna, en relación con la columna y el flujo. En cada punto de consigna, es posible obtener el NPSH necesitado y la eficiencia de la bomba centrífuga.

#### 2.5.5.2. Caudal constante



**Figura 16-2:** Curva característica de la bomba centrífuga con caudal constante

Fuente: (Tirapegui, 1998)

La carga correcta del sistema de bombeo debe estar de acuerdo con la carga generada por el mismo para conseguir el punto de funcionamiento.

En la Figura 16-2, la intersección de CARGA vs. CAUDAL permite apreciar el punto de consigna que denota la finalidad activa de operación. Al dibujar dos líneas una horizontal y otra vertical las cuales atraviesen el mismo punto, permiten obtener los valores de caudal, altura, NPSH requerido y eficiencia.

#### 2.5.5.3. Cavitación

El fenómeno de cavitación consiste en que al estar un líquido en movimiento a través de una superficie puede existir fricción lo cual provoca una caída de presión en el lugar lo cual puede producir una presión que haga que el fluido pase a estado gaseoso creando áreas de alta presión que colapsarán (Tirapegui, 1998).

Dicha implosión hace que el líquido arremeta con la superficie, provocando que las ondas de presión que viajan a través del líquido se disuelvan en la corriente de líquido.

La cavitación ocasiona el desgaste de la superficie de las tuberías y las convierte en áreas de alta caída de presión ocasionando que exista una mayor probabilidad para la formación de burbujas de vapor, si están ubicadas en la misma área donde chocan las ondas de presión.

La cavitación se puede definir de la siguiente manera:

$$C_a = \frac{P - P_v}{\frac{d \cdot v^2}{2}} \quad (11)$$

Donde:

$C_a$ : Número de cavitación.

d: Densidad (densidad del agua = 1000kg/m<sup>3</sup>).

v: Velocidad.

P: Presión.

$P_v$ : Presión de vapor o presión de saturación.

#### 2.5.5.4. *Causas de cavitación*

La cavitación tiende a ocurrir en la entrada al rodete en la parte interna de la bomba, ocasionando una acelerada destrucción del mismo y puede ser ocasionado por:

- Una longitud demasiado elevada de succión.
- Demasiadas curvaturas y accesorios en la etapa de succión.
- La existencia de demasiada altura para succionar.
- El diámetro de la tubería es muy pequeño.
- Altas pérdidas secundarias al momento de la succión.

## 2.6. Corrosión

Se conoce como corrosión a la reacción de deterioro de sus propiedades metálicas que tienen los metales o una aleación al contacto con el entorno. Se lo considera como un fenómeno que produce la pérdida del estado elemental de los metales de tal forma que regresan a su estado iónico (Terrazas, 2012).

Contextualizando en otras palabras, se trata de un fenómeno natural en el que cada sistema químico tiende al equilibrio estable, lo cual se puede determinar de diferentes formas:

- Un material que se destruye o presenta deterioro al ser expuesto a condiciones ambientales.
- Un material que se destruye por cualquier medio menos el mecánico.
- El proceso inverso de la metalurgia extractiva, mediante el cual los materiales metálicos buscan regresar al estado combinado de la forma en que se hallan en el medio natural.

### 2.6.1. Corrosión uniforme, o ataque generalizado



**Figura 17-2:** Corrosión uniforme en el tanque de almacenamiento de agua

**Fuente:** Laboratorio de Turbomaquinaria de la facultad de mecánica de la ESPOCH.

Se la considera el tipo de corrosión que sucede en mayor parte de los casos y sucede a causa de una reacción electroquímica que actúa de manera uniforme en toda la superficie de contacto. El metal se vuelve más delgado y eventualmente se descompone. La corrosión uniforme puede

evitarse o reducirse utilizando protectores catódicos, recubrimientos, inhibidores o materiales adecuados.

## **2.7. Protección catódica**

La corrosión, al ser un proceso electroquímico cuya función principal es descomponer o destruir una estructura metálica por la acción de muchas células de recubrimiento que se forman en su superficie, cuya acción devuelve la oxidación del metal se oxida siendo un producto de corrosión. Una manera de contrarrestar la corrosión es inducir suficiente corriente eléctrica en sentido opuesto de forma que se contrarreste la acción de las celdas galvánicas, la corriente inhibida se obtiene de rectificadores o generadores la cual se denomina corriente de impresión, también puede obtener la corriente por medio de un ánodo de sacrificio cuya corriente se define como corriente de galvanización, con la corriente inhibida en el material este procede a formar una celda natural estructurada que proporciona suficiente corriente para evitar la corrosión (Orell, 2014).

Sabiendo que la corrosión únicamente ocurre en las regiones anódicas, se puede aplicar un método que prevenga la corrosión del material que consiste en hacer que toda la superficie metálica (en nuestro caso, el metal del tanque) actúe como un polo negativo, aplicando una corriente externa. Es básicamente la base del mecanismo de protección catódica.

La protección contra la corrosión se puede lograr de varias maneras, en particular: modificando el electrodo de metal/potencial del medio corrosivo, modificando el medio corrosivo y modificando la superficie del metal. Los métodos de regulación de voltaje de electrodos metálicos/medios corrosivos se dividen en dos grandes grupos: protección por ánodos de sacrificio y por corrientes de impacto (Orell, 2014).

## **2.8. Ánodo de sacrificio**

La protección del ánodo de sacrificio se fundamenta en la creación de otra celda electroquímica en la que el metal a proteger actúa como cátodo (el acero del tanque), al que debe estar conectado eléctricamente a una aguja, el metal más activo, por lo que se corroerá, este es el ánodo de sacrificio (Terrazas, 2012).

Los ánodos de magnesio, zinc y aluminio o las aleaciones de estos metales juntos o con calcio se usan comúnmente para proteger el acero.

### 2.8.1. Características electroquímicas del zinc, magnesio y aluminio

Por ser materiales altamente activos únicamente el zinc, el magnesio y el aluminio y sus aleaciones pueden considerarse materiales adecuados para su uso desde un punto de vista práctico como ánodos de sacrificio.

La Tabla 1-2: Propiedades físicas y electroquímicas del Mg, Zn y Al presenta valores teóricos y prácticos de densidad de corriente para la protección de superficies metálicas en ambientes hostiles.

**Tabla 1-2:** Propiedades físicas y electroquímicas del Mg, Zn y Al

Propiedades	Mg	Zn	Al
Peso atómico (g)	24.32	65.38	26.97
Peso específico a 20°C ( $g/cm^3$ )	1.74	7.14	2.70
Resistividad eléctrica ( $\Omega$ -cm)	$4.46 \cdot 10^{-6}$	$6.0 \cdot 10^{-6}$	$2.62 \cdot 10^{-6}$
Valencia	2	2	3
Capacidad eléctrica teórica (A-h/Kg)	2204	820	2982
Capacidad eléctrica practica (A-h/Kg)	1322	738	1491
Rendimiento corriente (%)	50	90	90
Consumo teórico (Kg/A-año)	3.98	10.69	2.94
Potencial normal a 25°C (V vs Ag / AgCl)	-2.63	-1.05	-1.93
Factor de utilización (%)	85	85	85

Fuente: (Rosario, 2004)

#### 2.8.1.1. Características de la densidad de corriente, ( $i_c$ )

**Tabla 2-2:** Densidades de corriente de protección de superficies metálicas en medios agresivos

Estado superficial	Medio agresivo	Densidad de corriente.	
		$mA/m^2$	$mA/ft^2$
Acero desnudo	Agua dulce estancada.	56	5,2
Acero desnudo	Agua dulce en movimiento.	56 - 66	5,2 - 6,0
Acero desnudo	Agua dulce turbulenta/caliente.	56 - 170	5,2 - 16

Fuente: (Rosario, 2004)

La densidad de corriente se define como la corriente de protección del cátodo por unidad de área ( $A/m^2$ ).



La densidad de corriente utilizada para calcular la necesidad determina el número y tamaño de los ánodos.

### 2.8.1.2. Resistividad del agua según el medio en el que se encuentre

Se conceptualiza como resistividad al grado de dificultad que tienen los electrones en su movimiento. Se simboliza con la letra griega rho “ $\rho$ ” y se mide en ohmios por metro “ $\Omega\cdot m$ ”. La Tabla 3-2: Resistividad de las aguas según el medio en que se encuentre presenta una lista de las amplitudes de variación de la resistividad del agua natural, con base en datos de diferentes autores:

**Tabla 3-2:** Resistividad de las aguas según el medio en que se encuentre

<b>TIPO DE AGUA.</b>	<b>RESISTIVIDAD (<math>\Omega\cdot m</math>)</b>
Agua de lagos y arroyos de alta montaña	103 a 3000
Aguas dulces superficiales	10 a 1000
Aguas salobres superficiales	2 a 10
Aguas subterráneas	1 a 10
Aguas marinas	0.2
Agua de los lagos salados	0.1 a 1
Aguas de impregnación en rocas	0.3 a 10

Fuente: (Rosario, 2004)

Para realizar el diseño se opta por escoger aguas dulces superficiales las cuales tienen una resistividad en 10 a 1000  $\Omega\cdot m$ .

### 2.8.2. Características fundamentales de los ánodos de sacrificio

Tomando en cuentas aspectos técnico-económicos, un ánodo debe tener un conjunto de propiedades necesarias para ser útil:

- Mantener potencial suficiente de disolución negativo que pueda polarizar la estructura (es de 0,8 V en el caso del acero).
- Debe tener un sesgo bajo, es decir, no debe formar películas pasivamente ni interferir con los productos de corrosión y tener un alto potencial de hidrógeno.
- El material debe tener una alta eficiencia eléctrica en A/h kg.
- El ánodo tiene que ser corroído de forma uniforme.
- El metal estará fácilmente disponible y debe moldearse en una variedad de formas y tamaños.
- Los metales deben tener un precio razonable para que, con otras propiedades electroquímicas, se pueda obtener protección a un costo razonable por amperio por año.

### 2.8.3. Parámetros de diseño de ánodos de sacrificio

Para los cálculos teóricos se acude a la utilización de las expresiones matemáticas usadas en un trabajo de investigación cuyo título es DISEÑO, INSTALACION Y MANTENIMIENTO DE LOS SISTEMAS DE PROTECCION CATODICA (Orell, 2014).

#### 2.8.3.1. El área para proteger

El área para proteger se calcula de forma directa tomando como base los planos de diseño de la estructura. En el caso de que el metal tenga varios tipos de recubrimiento, la tasa de falla del recubrimiento cambia durante la vida útil de la estructura, por lo que también cambia el área a proteger.

$$\text{Área para proteger} = \text{Área total del taque.} \quad (12)$$

#### 2.8.3.2. Demanda de corriente

La demanda de corriente se calcula tomando en cuenta que es para una condición media, misma que es fundamental para mantener la polarización de la máquina.

La demanda de corriente  $I_{cm}$  se calcula:

$$I_{cm} = A \times d \times (1 - C_e) \quad (13)$$

Donde:

$I_{cm}$ : demanda de corriente, expresada en amperios.

A: área total de la superficie a proteger.

d: densidad de corriente para condición media, expresada en amperios por metro cuadrado Tabla 2-2: Densidades de corriente de protección de superficies metálicas en medios agresivos.

$C_e$ : rendimiento de corriente. (Tabla 1-2: Propiedades físicas y electroquímicas del Mg, Zn y Al).

#### 2.8.3.3. Masa total del ánodo

En cuanto para el cálculo del peso total del ánodo, es necesario para lograr proteger la estructura durante la vida del diseño del sistema, se emplea la siguiente ecuación:

$$W = \frac{I_{cm} \times t \times \frac{8760 \text{ h}}{1 \text{ año}}}{c \times f \times u} \quad (14)$$

Donde:

W: masa neta total anódica, expresada en kilogramos.

$I_{cm}$ : demanda de corriente, expresada en amperios.

t: vida de diseño de la instalación, expresada en años.

u: factor de utilización del ánodo. (Tabla 1-2: Propiedades físicas y electroquímicas del Mg, Zn y Al)

c: capacidad electroquímica del material del ánodo, expresada en A-h/kg. (Tabla 1-2: Propiedades físicas y electroquímicas del Mg, Zn y Al)

f: rendimiento de corriente. (Tabla 1-2: Propiedades físicas y electroquímicas del Mg, Zn y Al)

#### 2.8.3.4. Resistencia del ánodo de sacrificio

Existen múltiples ecuaciones para determinar la resistencia de ánodos de sacrificio con una geometría específica en la Tabla 4-2: Ecuaciones para determinar la resistencia de ánodos de sacrificio se puede observar su fórmula y su clase respectivamente.

**Tabla 4-2:** Ecuaciones para determinar la resistencia de ánodos de sacrificio

NOMBRE.	FÓRMULA.	CLASE DE ÁNODO	SIGNIFICADOS
Modificada de Dwight	$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{4L}{a} - 1$	Ánodos tipo barra o ánodos delgados, de sección transversal rectangular o trapezoidal.	$\rho$ : resistividad específica del agua ( $\Omega$ - cm), (Tabla 4-2.) $L$ : longitud del ánodo. (cm)
McCoy	$R = \frac{0,315\rho}{\sqrt{A}}$	Determina la resistencia del ánodo basado en la superficie expuesta y sin considerar su forma geométrica	$a$ : radio efectivo medio del ánodo. ( $A$ = área de la sección transversal $/2\pi$ ) (cm)
Waldron y Peterson	$R = \frac{\rho}{0,58 A^{0,727}}$	Ánodos rectangulares y planos con respaldo de madera, brazaletes seccionados sobre línea de tubos y estructuras	$A$ : área de la superficie expuesta del ánodo ( $cm^2$ )
Lloyd's	$R = \frac{\rho}{2s}$	Ánodo de placa delgada expuesta por un solo lado.	$s$ : media aritmética de la longitud y ancho del ánodo.

Fuente: (Rosario, 2004)

La expresión matemática de Waldron y Peterson son de gran utilidad para establecer la fórmula que se empleará.

$$R = \frac{P}{0,58 A^{0,727}} \quad (15)$$

### 2.8.3.5. Número de ánodos

El número de ánodos se obtiene de la siguiente ecuación:

$$N = \frac{W}{W_a} \quad (16)$$

Dónde:

N: número de ánodos a ser instalados, es adimensional.

W: masa neta total calculada del ánodo.

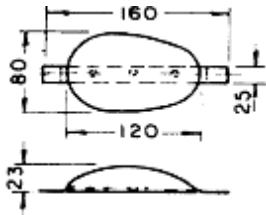
W<sub>a</sub>: masa neta individual del ánodo proporcionado por los proveedores (Tabla 5-2: Catalogo de anodos de aluminio)

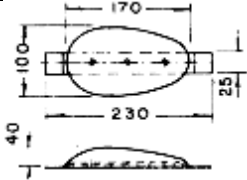
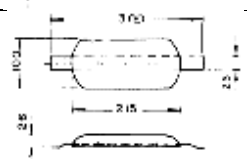
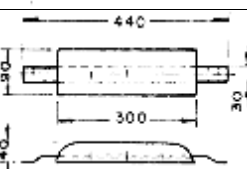
### 2.8.3.6. Masa neta individual del ánodo

El peso específico neto del ánodo se da a criterio de los fabricantes de ánodos, para el trabajo de integración en este programa de estudio se decidió utilizar datos provistos por la empresa guayaquileña PROBRISA S.A. Los ánodos son fabricados bajo licencia por GRILLO WERKE METALLGESELLSCHAFT A. G. de Alemania.

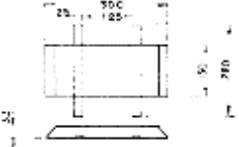
El tamaño en kilogramos que estos fabricantes ofrecen se puede apreciar en la Tabla 5-2: Catalogo de anodos de aluminio.

**Tabla 5-2:** Catalogo de anodos de aluminio

Código de articulo	Descripción	Tamaño en kilogramos
Al - 02L		1,0 kg

Al – 10L		2,6 kg
Al – 12L		3,5 kg
Al – 15		5,6 kg

CONTINUA

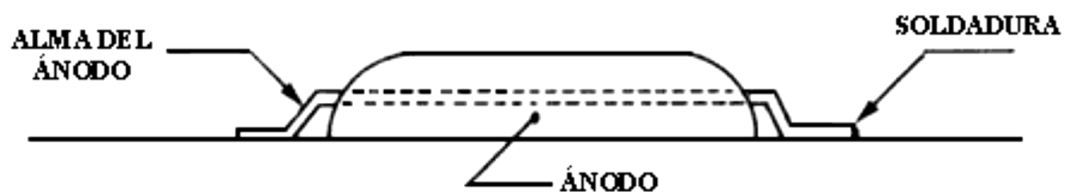
Al – 20PD		10,0 kg
-----------	---	---------

Fuente: PROBRISA S. A.

### 2.8.3.7. Fijación de los ánodos

Los ánodos se adhieren a la estructura a proteger por diversos procesos, utilizando núcleos que los atraviesan, tales como placas, varillas o barras de acero soldadas o mediante grapas, remaches o simplemente tornillos; en este caso la corriente calculada se reducirá en un 20 o 25% (Rosario, 2004).

Su distribución se basa en el área a la que protege cada ánodo, ya sea en baterías o en grupos, dependiendo de las condiciones específicas del área.



**Figura 18-2:** Detalle de la instalación de ánodos de sacrificio

Fuente: (Rosario, 2004)

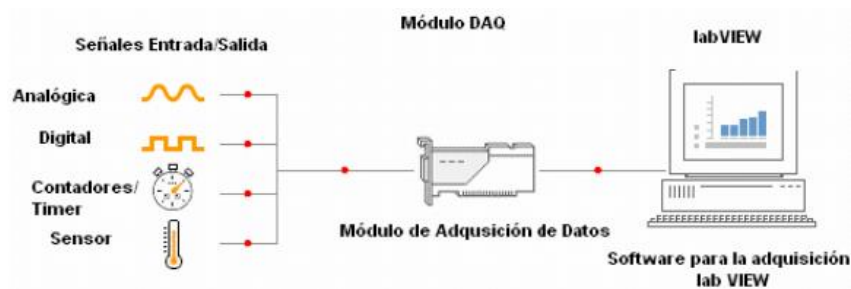
## 2.9. DEFINICIONES ELECTRÓNICAS

### 2.9.1. Software LabVIEW

LabVIEW es la abreviatura de Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench. Consiste en un entorno de programación que maneja un lenguaje de programación gráfico por medio del cual se puede crear interfaces rápidas y sencillas (Marcalla, 2011).

El proceso de adquisición de datos se da utilizando la propiedad física a ser medida del elemento de investigación; dicha propiedad puede ser la temperatura, presión, fuerza, entre otras. Para que un sistema de recopilación de datos sea eficaz debe tener la capacidad de medir todas estas propiedades físicas de manera óptima evitando en su mayor parte las lecturas erróneas.

#### 2.9.1.1. Adquisición de datos usando LabVIEW



**Figura 19-2:** Esquema descriptivo de la adquisición de dato

Fuente: (Marcalla, 2011)

La Figura 19-2 muestra un diagrama que describe el proceso de recopilación de información en el cual se aprecia que la señal censada es enviada al procesador por medio de un módulo DAQ. En primer lugar, el sensor detecta la propiedad física (presión, caudal, velocidad, etc.) que se está analizando, por lo que envía la señal de salida correspondiente al tipo de dato ya sea de forma analógica o digital; después dicha señal se analiza, interpreta y en caso de que sea analógica se procede a digitalizar en el módulo DAQ, una vez digitalizada se la envía al computador para su análisis, visualización y almacenamiento.

El proceso de adquisición de datos se fundamenta en tomar una variable física, la transforma en voltaje y la digitaliza para que pueda procesarse en la computadora. Es necesario una etapa de acondicionamiento de la señal de la variable física para que coincida con los niveles compatibles con el elemento que hace la conversión en las señales digitales. El elemento hace una conversión, como la tarjeta de recolección de datos o el módulo (CABA, 2016).

Una vez que las señales eléctricas analógicas se convierten en señales digitales, se envían a través del bus de datos dentro de la memoria de la computadora, para que puedan ser procesadas por un programa de aplicación adecuado para el uso de la computadora utilizada, en este caso LabVIEW.

### 2.9.2. Sistema NI compactDAQ



**Figura 20-2:** NI compactDAQ 9172

Realizado por: Sinaluisa, C.; Guaylla, J., 2022.

La forma de realizar pruebas ha ido evolucionando con la aparición de elementos modernos y complejos, por lo que construir nuevos dispositivos para medir cada nueva característica es sumamente costoso.

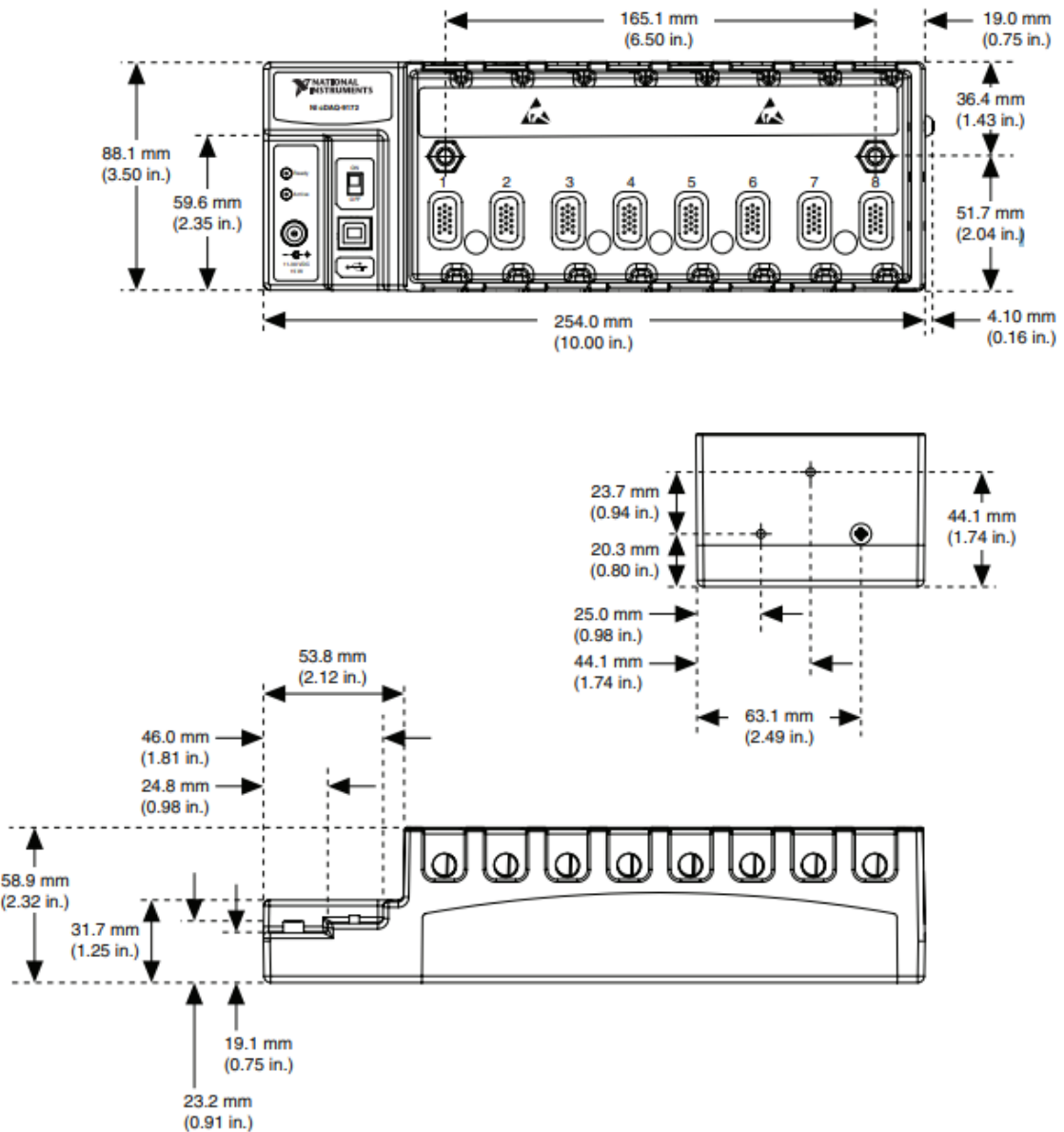
NI compactDAQ es un sistema completo que se encuentra fundamentado en dos partes hardware y software, el hardware consiste en un módulo con diferentes tipos de sensores y actuadores que combinan señales analógicas y digitales, manejando una arquitectura escalable especialmente diseñada para obtener cambios rápidos y controlados dentro del mismo. El software es básicamente una librería que sirve de extensión para LabVIEW en el cual se conectan los sensores al programa de forma sencilla (CABA, 2016).

Un sistema NI compactDAQ está conformado por un chasis y módulos de E/S los cuales se conectan mediante USB o ethernet a una PC. Se constituye como un sistema para pruebas rápidas de laboratorio; utilizando el software flexible de NI, facilita el uso de NI compactDAQ permitiendo desarrollar un sistema de pruebas y control completamente automatizado.

#### 2.9.2.1. Características de NI cDAQ-9172

- El NI cDAQ-9172 tiene ocho ranuras en chasis NI compactDAQ que puede albergar hasta a ocho módulos de la Serie C módulos E / S.
- El módulo trabaja de 11 a 30 VDC, e incluye un convertidor AC / DC. El cDAQ NI-9172 es un dispositivo compatible con USB 2.0. con opciones de montaje como en carril DIN, montaje en panel.

- El cDAQ NI-9172 posee dos contadores de 32 bits / fichas temporizador integrado en el chasis. Con el módulo de E/S correlacionado digitalmente instalado en las ranuras 5 o 6 del chasis, puede acceder a todas las funciones del chip contador/temporizador, incluido el conteo de eventos, la generación de ondas o la medición del codificador de pulso y cuadratura.



**Figura 21-2:** NI cDAQ-9172 con dimensiones en milímetros y pulgadas

Fuente: (Datasheet del NI cDAQ-917)

### 2.9.3. Serie C módulos de E / S

Los NI módulos de la serie C combinan convertidores A/D, de acondicionamiento de señal, y la conectividad de la señal en un solo módulo para medir o generar uno o más tipos de señales



específicas. La serie C de módulos E/S son intercambiables en caliente y detecta automáticamente el módulo NI compactDAQ.

Se puede acceder a los canales de E/S utilizando el software del controlador NI-CDAQ. Dado que los módulos contienen acondicionamiento de señales para amplios rangos de voltaje o tipos de señales industriales, las conexiones de cableado generalmente se realizan directamente desde los módulos de E/S a los sensores/actuadores. Para la mayoría de estos módulos de E/S, proporcionan aislamiento entre la tierra del canal y la tierra. Los módulos combinan acondicionamiento de señales, conectividad y adquisición de datos en un pequeño módulo para cada tipo específico de medición (Marcalla, 2011).

#### **2.9.4. Modulo NI 9201**

El NI 9201 es un módulo de entrada analógica de 8 canales de la Serie C con una tasa agregada máxima de 500 kS/s, 12 bits y  $\pm 10$  V. Como la mayoría de estos módulos, el NI 9201 es resistente a impactos. a 2300 Vrms. (Datasheet del NI 9201)

Esto significa que no hay voltaje dentro del rango de aislamiento que pueda dañar otros módulos del sistema, el chasis o cualquier equipo informático conectado.

Además de la protección absoluta proporcionada por el aislamiento, existe una protección contra sobretensiones de hasta 100 V contra la conexión de una señal incorrecta o una salida no deseada en canales individuales.

##### **2.9.4.1. Características del NI 9201**



**Figura 22-2:** Modulo NI 9201

**Realizado por:** Sinaluisa, C.; Guaylla, J., 2022.

- 8 entradas analógicas, rango de entrada  $\pm 10$  V Rango acumulado de muestro de 500 kS/s.
- Resolución de 12 bits, entradas de una sola terminal, terminal de tornillo o conectores DSub.
- Operación intercambiable en vivo; protección de sobre voltaje; aislamiento.
- Certificados de calibración trazable expedidos por el NIST.
- Rango de operación de -40 a 70 °C.

### 2.9.5. *Modulo NI 9401*

El NI 9401 de National Instruments es un módulo de entrada digital bidireccional de 8 canales y 100 ns para cualquier módulo compactDAQ o compactRIO de NI. La dirección de las líneas digitales en el NI 9401 se puede configurar para entrada o salida (4 bits). De esta forma, el NI 9401 se puede programar para tres configuraciones: ocho entradas digitales, ocho salidas o cuatro entradas digitales y cuatro salidas digitales (Datasheet del NI 9401).

Con la tecnología de I/O reconfigurables (RIO) se puede usar LabVIEW FPGA (en compactRIO únicamente) para programar el NI 9401 para implementar, a la medida, contadores/temporizadores de alta velocidad, protocolos de comunicación de digital, más y más. Cada canal es compatible con señales de 5 V/TTL y ofrece aislamiento transitorio de 1,000 Vrms entre los canales de E/S y el plano trasero (Datasheet del NI 9401).



**Figura 23-2:** Modulo NI 9401

Realizado por: Sinaluisa, C.; Guaylla, J., 2022.

## 2.10. Instrumentos electrónicos

### 2.10.1. *Sensor*

Es un dispositivo que convierte una propiedad o fenómeno físico en una señal eléctrica correspondiente que se puede medir, como voltaje, corriente, cambio en el valor de una resistencia o capacitor, etc. La capacidad de un sistema de adquisición de datos para medir varios fenómenos depende de los transductores para convertir las señales de estos fenómenos.

### 2.10.2. *Transductores*

Son sinónimo de sensores en sistemas de DAQ. Hay transductores específicos para diferentes aplicaciones, como la medición de la temperatura, la presión, o flujo de fluidos.

#### 2.10.2.1. *Transductor de presión de la serie PX302*



**Figura 24-2:** Sensor presión px302-030gv a 10 voltios

Realizado por: Sinaluisa, C.; Guaylla, J., 2022.

El transductor de presión requiere una excitación de 10 Vdc (5 a 15 Vdc limits), con un voltaje de salida de 0 a 100mV, opera a temperaturas de - 18 a 71°C y pesa 131g. (Datasheet del transductor px 302)

### 2.10.2.2. Transductor de presión de la serie PX309



**Figura 25-2:** Sensor de presión px309 100gv 5 voltios

Realizado por: Sinaluisa, C.; Guaylla, J., 2022.

El transductor de presión requiere una con una salida de voltaje de 0 a 100mV, exceptuando 2psi=40mV y 1psi=20mV, opera a temperaturas de 0 a 50°C (Datasheet del transductor px 309).

### 2.10.3. Fuente de alimentación

Consiste en un circuito activo que proporciona de forma confiable la diferencia de voltaje o corriente necesaria para que los demás dispositivos puedan operar. La fuente de alimentación es la encargada de convertir la tensión alterna en tensión en corriente continua. Para ello incluye un rectificador, fusible y otros componentes que le permiten recibir alimentación, regularla, filtrarla y ajustarla a las necesidades de los sensores.



**Figura 26-2:** Fuente de alimentación RS-25-5 y RS-35-12

Realizado por: Sinaluisa, C.; Guaylla, J., 2022.

#### 2.10.3.1. Fuente de alimentación RS-25-5

Tiene una salida de voltaje de 5 voltios de corriente continua, con un rango de corriente de 0 a 5 A aproximadamente soporta un tiempo de 14ms en 115VAC a plena carga y un sobre voltaje de 5.75 a 6.75voltios, tiene una eficiencia del 78.5%, trabaja a una temperatura de (-20 a 70°C). (Datasheet de la fuente RS-25-5)



**Figura 27-2:** Fuente de alimentación RS-25-5

Realizado por: Sinaluisa, C.; Guaylla, J., 2022.

#### 2.10.3.2. Fuente de alimentación RS-35-12

Su tensión de salida es de 12 VDC, con un rango de corriente de 0 a 3 A, soporta un tiempo de 30ms en 115VAC a plena carga y un sobre voltaje de 13.18 a 16.2V, tiene una eficiencia del 81%, trabaja a una temperatura de (-25 a 70°C) (Datasheet de la fuente RS-35-12).



**Figura 28-2:** Fuente de alimentación RS-35-12

Realizado por: Sinaluisa, C.; Guaylla, J., 2022.

## 2.11. DEFINICIONES MECÁNICAS

### 2.11.1. Estado técnico

Todo tipo de equipo tiene un régimen de trabajo al cual está sometido, por lo está sujeto a un deterioro continuo y su estado puede conducir a una mala calidad de fabricación elaborada, aumentando el número de fallas, anticipar e incluso aumentar el riesgo de que la operación requiera trabajadores (Morocho, 2018).

El estado técnico de un dispositivo se define como las condiciones técnicas y funcionales que presenta en un momento dado.

Las inspecciones realizadas para determinar el estado técnico del equipo deben cumplir los siguientes aspectos:

- Consumo de energía
- Funcionamiento del mecanismo motriz.
- Estado de la carcasa o cuerpo del equipo.
- Funcionamiento de los mecanismos de regulación y mando.
- Estado de las correas, cadenas de transmisión, acoples, entre otros.
- Estado de la conservación de los instrumentos que indican los parámetros de funcionamiento del equipo.
- Nivel de ruido y vibraciones.

#### 2.11.1.1. Clasificación de los equipos de acuerdo con su estado técnico

Al evaluar un equipo o una parte del mismo, su condición técnica estará determinada por su desempeño en comparación con lo que era originalmente.

La eficiencia de un equipo se traduce en un proceso productivo realizado; Si se tiene en cuenta este efecto, la condición técnica se evalúa de la siguiente manera:

En la Tabla 6-2: Valoración del estado técnico de un equipo se representa los valores a tomar en cuenta para la determinación del estado técnico de los equipos dentro del banco de pruebas de la turbina Francis, con el fin de realizar la ejecución del mantenimiento requerido los datos obtenidos serán evaluados y categorizados

**Tabla 6-2:** Valoración del estado técnico de un equipo

Estado técnico	Valoración	Factor de evaluación	Tipo de servicio de mantenimiento
Bueno	90% a 100%	1	Revisión
Regular	75% a 89%	0.80	Reparación pequeña.
Malo	50% a 74%	0.60	Reparación media.

Muy malo	Menos de 50%	0.40	Reparación general.
----------	--------------	------	---------------------

Fuente: (Morochó, 2018)

### 2.11.1.2. Procedimiento para determinar el estado técnico de un equipo

Realizando una vista previa se puede definir una valoración del equipo siendo esta según el estado bueno, regular, malo y muy malo, tomando en cuenta cada aspecto que comprende la revisión. A partir de esta evaluación, es necesario determinar el estado técnico del dispositivo, utilizando el siguiente procedimiento:

$$ET = n \times FE \quad (17)$$

Donde:

ET: estado técnico individual.

n: cantidad de aspectos evaluados.

FE: factor de evaluación.

Se suman todos los ET y el resultado se divide para n, el resultado se multiplica por 100 y se obtiene el índice que permite evaluar el estado técnico en su conjunto.

$$ETA = \frac{\sum ET}{n} \times 100 \quad (18)$$

Donde:

ETA: estado técnico actual.

n: cantidad de aspectos evaluados.

ET: estado técnico individual.

### 2.11.2. Análisis de criticidad

La finalidad de este estudio está determinada a realizar una propuesta para planificar el mantenimiento de los equipos que se consideran críticos. Para ello será necesario realizar un análisis de severidad. El análisis de criticidad es una metodología, que puede ser cualitativa o cuantitativa; Se utiliza para definir la jerarquía crítica de instalaciones, sistemas, equipos, etc.

La evaluación se realiza estimando la ocurrencia de fallas en un determinado período de tiempo, y evaluando el impacto de las fallas en las áreas operativa, económica, de seguridad humana, de

las personas y del entorno de la sociedad. La definición de la jerarquía de severidad de sistemas, dispositivos, etc.; permitirá servir como herramienta para la toma de decisiones y como guía de esfuerzos y recursos (Villacrés, 2016).

**Tabla 7-2:** Criterios para la cuantificación de la criticidad

<b>Criterios para determinar la criticidad</b>	<b>Cuantificación</b>
<b>Frecuencia de fallas:</b>	
Mayor a 4 fallas/mes	4
2-4 fallas/mes	3
1-2 fallas/mes	2
Mínimo 1 falla/mes	1
<b>Impacto operacional:</b>	
Parada inmediata de toda la empresa	10
Parada de la planta (recuperable en otras plantas)	8
Impacto en los niveles de producción o calidad	6
Repercute en costos operacionales adicionales (indisponibilidad)	3
No genera ningún efecto o impacto significativo sobre las demás operaciones	1
<b>Flexibilidad operacional:</b>	
No existe opción de producción y no hay forma de recuperarlo	5
Hay opción de producción a la capacidad mínima permisible	4
Hay opción de repuesto compartido	3
Función de repuesto disponible	1
<b>Costo de mantenimiento:</b>	

**CONTINUA**

Mayor o igual a \$ 900,00	2
Menor a \$ 900,00	1
<b>Impacto en la seguridad humana y ambiente:</b>	
Afecta a la seguridad humana tanto externa como interna	8
Afecta el ambiente produciendo daños irreversibles	6
Afecta las instalaciones o personas causando daños severos	4

**Realizado por:** Sinaluisa, C.; Guaylla, J., 2022.

Una vez que se han definido la frecuencia de fallo y el grado de impacto que presente en las diferentes áreas de interés que se analizan, se determina el grado de criticidad.

$$\text{Criticidad total} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia} \quad (19)$$

Donde:

Criticidad total: Frecuencia x [(Impacto Operacional\*Flexibilidad) + Costo Mantenimiento + Impacto SEH].

Una vez que se obtiene el valor total de criticidad, se determina el grado de criticidad de los elementos analizados, a través de la matriz que se indica en la Figura 29-2: Matrix de frecuencia x consecuencia.



FRECUENCIA	4	M	A	A	MA	MA
	3	M	M	A	MA	MA
	2	B	B	M	A	A
	1	B	B	M	M	A
		(3-12)	(13-24)	(25-36)	(37-48)	(49-60)
		CONSECUENCIA				

**Figura 29-2:** Matrix de frecuencia x consecuencia

Fuente: (Villacrés, 2016)

La matriz de criticidad, se expresa una gama de colores que representan un grado de criticidad:

MA	MUY ALTA CRITICIDAD
A	ALTA CRITICIDAD
M	MEDIA CRITICIDAD
B	BAJA CRITICIDAD

**Figura 30-2:** Matrix para determinar la criticidad

Fuente: (Villacrés, 2016)

### 2.11.3. *Mantenimiento de un sistema hidráulico*

#### 2.11.3.1. *Mantenimiento preventivo*

Mantenimiento llevado a cabo para evaluar y/o mitigar la degradación y reducir la probabilidad de fallo de un elemento. (EN-13306, 2018)

Es importante mantener el sistema hidráulico de una máquina en las condiciones óptimas, para lograr así un funcionamiento eficiente y una máxima productividad al menor coste posible. El mantenimiento apropiado de una máquina da como resultado una máquina productiva. Si no se la mantiene correctamente, podría ofrecer poca seguridad y sufrir averías. Un programa de mantenimiento periódico asegurará una vida útil y prolongada del sistema y la seguridad del ambiente de trabajo (CABA, 2016).

Los trabajos de inspección están encaminados a reconocer el estado actual del equipo. En los diferentes sistemas podremos encontrar puntos de inspección diarios, mensuales e incluso anuales y, por supuesto, estos podrán ser modificados en cualquier momento gracias a la experiencia del responsable o al resultado de la información obtenida.

### 2.11.3.2. *Mantenimiento correctivo*

Mantenimiento que se realiza después del reconocimiento de una avería y que está destinado a poner a un elemento en un estado en que pueda realizar una función requerida (EN-13306, 2018).

- **No planificado.** Es el mantenimiento de emergencia que se le da a una máquina sin una planificación ni una inspección previa. Debe efectuarse con urgencia ya sea por una avería imprevista a reparar lo más pronto posible o por una condición imperativa que hay que satisfacer (problemas de seguridad, de contaminación, fugas, etc.).
- **Planificado.** Se sabe con antelación cual actividad se debe realizar, de modo que cuando se pare el equipo para efectuar la reparación, se disponga del personal capacitado, repuestos y documentos técnicos necesarios para realizarla correctamente.

### CAPÍTULO III

#### 3. REPOTENCIACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS DE LA TURBINA FRANCIS

##### 3.1. Análisis de criticidad método de criticidad total por riesgo (CTR)

##### 3.1.1. *Procedimientos para la determinación del estado de criticidad de los elementos del banco de pruebas de la turbina Francis*

**Tabla 1-3:** Pasos para la aplicación del del CTR.

47

N°	Pasos para la aplicación.	Ejemplo																																				
1	Tener el listado de los equipos dentro del módulo de la turbina Francis	Código y descripción de sistemas																																				
2	La selección de los factores ponderados se realiza en reuniones de trabajo con la participación de las distintas personas involucradas en el contexto operacional del activo en estudio (operaciones, mantenimiento, procesos, seguridad y ambiente).	FF= FRECUENCIA DE FALLOS, IP=IMPACTO A LA PRODUCCIÓN, IC= IMPACTO A LA CALIDAD, BM=IMPACTO POR BAJA MANTENIBILIDAD, CM= COSTO DE MANTENIMIENTO, SHA=IMPACTO EN LA SEGURIDAD, HIGIENE Y MEDIO AMBIENTE																																				
3	Se seleccionan los sistemas a priorizar y se genera una lluvia de ideas en la que se le asignan a cada equipo los valores correspondientes de cada uno de los factores.	Opiniones concernientes a los equipos por los encargados del laboratorio, posibles modos de fallo, entre otros.																																				
4	Para obtener el nivel de criticidad de cada equipo/sistema, se toman los valores totales de cada uno de los factores principales: frecuencia y consecuencias de los fallos y se ubican en la matriz de criticidad 4x5.	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td></td> <td>M</td> <td>A</td> <td>A</td> <td>MA</td> <td>MA</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>M</td> <td>M</td> <td>A</td> <td>MA</td> <td>MA</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>B</td> <td>B</td> <td>M</td> <td>A</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>B</td> <td>B</td> <td>M</td> <td>M</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>(3-12)</td> <td>(13-24)</td> <td>(25-36)</td> <td>(37-48)</td> <td>(49-60)</td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="5" style="text-align: center;">CONSECUENCIA</td> </tr> </table>		M	A	A	MA	MA	4	M	M	A	MA	MA	3	B	B	M	A	A	2	B	B	M	M	A	1	(3-12)	(13-24)	(25-36)	(37-48)	(49-60)		CONSECUENCIA				
	M	A	A	MA	MA																																	
4	M	M	A	MA	MA																																	
3	B	B	M	A	A																																	
2	B	B	M	M	A																																	
1	(3-12)	(13-24)	(25-36)	(37-48)	(49-60)																																	
	CONSECUENCIA																																					

**CONTINUA**

5	Se clasifica para cada sistema según el tipo de criticidad que resulto ser		MA	MUY ALTA CRITICIDAD
			A	ALTA CRITICIDAD
			M	MEDIA CRITICIDAD
			B	BAJA CRITICIDAD

Realizado por: Sinaluisa, C.; Guaylla, J., 2022.



ESPOCH-FAME-LT-TF-TR01	Tanque reservorio de agua acero de 1/8 in.	X				X				X						X	4	44	176	
ESPOCH-FAME-LT-TF-TR-TD01	Tubería de drenaje.	X						X		X						X	4	24	96	
ESPOCH-FAME-LT-TF-TR-V01	Válvula de drenaje.	X						X		X						X	4	24	96	
ESPOCH-FAME-LT-TF01	Turbina Francis de alabes directrices.	X				X				X						X	4	44	176	
ESPOCH-FAME-LT-TF-SP01	Sensor de presión Px 302-030gv a la entrada de la turbina.				X					X						X	2	16	32	
ESPOCH-FAME-LT-TF-SP02	Sensor de presión Px 309 100gv a la salida de la turbina.				X					X						X	2	16	32	
ESPOCH-FAME-LT-TF-D01	Dinamómetro 100n.				X					X		X				X	1	8	8	
ESPOCH-FAME-LT-TF-SPR01	Sensor de proximidad.				X					X		X				X	2	16	32	
ESPOCH-FAME-LT-TF-TC01	Tacómetro.				X					X						X	1	8	8	

CONTUNUA

ESPOCH-FAME-LT-TF-ME01	Motor eléctrico de la bomba centrífuga de 7.5hp.		X				X			X							X	3	32	96	
ESPOCH-FAME-LT-TF-BC01	Bomba centrífuga.		X				X			X							X	3	32	96	
ESPOCH-FAME-LT-TF-TSD01	Tubería de succión y de descarga más accesorios.			X				X		X							X	2	16	32	
ESPOCH-FAME-LT-TF-TCD-FL-01	Flujómetro.	X					X			X							X	4	44	176	
ESPOCH-FAME-LT-TF-PC01	Panel de control.			X				X		X							X	2	16	32	
ESPOCH-FAME-LT-TF-PC-DAQ01	Ni compact DAQ 9172.			X				X		X							X	2	16	32	
ESPOCH-FAME-LT-TF-PC-DAQ-MN01	Módulo ni 9201.			X				X		X							X	2	16	32	
ESPOCH-FAME-LT-TF-PC-DAQ-MN02	Módulo ni 9401.			X				X		X							X	2	16	32	

### 3.1.3. Resultados del CTR

#### 3.1.3.1. Zona con muy alta criticidad (MA)

**Tabla 3-3:** Elementos con muy alta criticidad

<b>ZONA DE CRITICIDAD MA: MUY ALTA CRITICIDAD</b>	
<b>Código</b>	<b>Descripción</b>
ESPOCH-FAME-LT-TF-TR01	Tanque reservorio de agua acero de 1/8 in.
ESPOCH-FAME-LT-TF01	Turbina Francis de alabes directrices.
ESPOCH-FAME-LT-TF-FL-01	Flujómetro.

Realizado por: Sinaluisa, C.; Guaylla, J., 2022.

#### 3.1.3.2. Zona con alta criticidad (A)

**Tabla 4-3:** Elementos con alta criticidad

<b>ZONA DE CRITICIDAD A: ALTA CRITICIDAD</b>	
<b>Código</b>	<b>Descripción</b>
ESPOCH-FAME-LT-TF-TR-TD01	Tubería de drenaje.
ESPOCH-FAME-LT-TF-TR-V01	Válvula de drenaje.
ESPOCH-FAME-LT-TF-ME01	Motor eléctrico de la bomba centrífuga de 7.5hp.
ESPOCH-FAME-LT-TF-BC01	Bomba centrífuga.

Realizado por: Sinaluisa, C.; Guaylla, J., 2022.

#### 3.1.3.3. Zona de con media criticidad

**Tabla 5-3:** Elementos con media criticidad

<b>ZONA DE CRITICIDAD M: MEDIA CRITICIDAD</b>	
<b>Código</b>	<b>Descripción</b>
ESPOCH-FAME-LT-TF-SP01	Sensor de presión Px 302-030gv a la entrada de la turbina.
ESPOCH-FAME-LT-TF-SP02	Sensor de presión Px 309 100gv a la salida de la turbina.
ESPOCH-FAME-LT-TF-SPR01	Sensor de proximidad.
ESPOCH-FAME-LT-TF-TSD01	Tubería de succión y de descarga más accesorios.
ESPOCH-FAME-LT-TF-PC01	Panel de control.
ESPOCH-FAME-LT-TF-PC-DAQ01	Ni compact DAQ 9172.
ESPOCH-FAME-LT-TF-PC-DAQ-MN01	Módulo ni 9201.
ESPOCH-FAME-LT-TF-PC-DAQ-MN02	Módulo ni 9401.

Realizado por: Sinaluisa, C.; Guaylla, J., 2022.

#### 3.1.3.4. Zona con baja criticidad

**Tabla 6-3:** Elementos con baja criticidad

<b>ZONA DE CRITICIDAD B: BAJA CRITICIDAD</b>	
<b>Código</b>	<b>Descripción</b>
ESPOCH-FAME-LT-TF-D01	Dinamómetro 100 N.
ESPOCH-FAME-LT-TF-TC01	Tacómetro.

Realizado por: Sinaluisa, C.; Guaylla, J., 2022.



### 3.2. Evaluación del estado de los elementos mecánicos y eléctricos pertenecientes al banco de pruebas de la turbina Francis

#### 3.2.1. Datos técnicos del módulo de la turbina Francis

**Tabla 7-3:** Datos técnicos del módulo de la turbina Francis

INFORMACION INICIAL.							
Código del banco de pruebas de la turbina Francis				ESPOCH-FAME-LT-TF01			
<b>EQUIPO</b>				<b>TURBINA FRANCIS</b>			
Ubicación: ESPOCH, Facultad de mecánica, laboratorio de Turbomaquinaria							
Marca: ARMFIELD		N° de inventario: 10623		Comprado a: ARMFIELD LTDA.			
Modelo: R16 6' Ns, 36 Mk II Francis Turbine		Año de Compra: 1980		Precio de compra: \$26.85			
Número de serie		Dimensiones 3557x2727x1390 mm		Año de avalúo: 2003			
Año de Fabricación		Peso: 362.4 Kg		Avalúo: \$104978.22			
DATOS TECNICOS							
Tipo de turbina: Rodete Francis de voluta revertida.		Velocidad específica: 36 rpm		N° de alabes del rodete: 10 N° de alabes directrices: 8			
Cabeza neta de diseño: 6 m		Diámetro nominal del rodete: 15.25 cm		Velocidad óptima del eje: 1000 rpm			
Rendimiento máx. del eje: 2.9 bhp		Caudal: 2700 Lt/min		Diámetro de la tubería de entrada: 6'' (15.25 cm)			
<b>EQUIPO</b>				<b>MOTOBOMBA</b>			
DATOS TECNICOS							
Tipo de motor: conexión delta		Tipo de bomba: Centrífuga		Fase: trifásico			
Marca: BROOK CROMPTON PARKINSON		Potencia: 7.5kW		Frame: D132M1-1			
Modelo		Amperaje: 27.5A		Velocidad del eje: 1750 rpm			
Número de serie: 159L		Voltaje 220V		Frecuencia: 60Hz			
Año de fabricación		Tipo de corriente: Alterna		Clase: B			
PARTES PRINCIPALES DEL MODULO DE LA TURBINA FRANCIS.							
#	Nombre	Cant.	Característica	#	Nombre	Cant.	característica
1	Válvula de drenaje	1	Bronce de cierre rápido.	9	Soporte de la tubería	1	Almacén de tubo cuadrado estructural de 1''
2	Tanque reservorio	1	De plancha de 1/8''.	10	Flujómetro	1	Recibe la señal del transformador de caudal de la tubería.
3	Tubo de desfogue	1	Tubo de acero galvanizado de forma cónica.	11	Válvula de compuerta	1	Para regular el paso de agua de la bomba a la turbina
4	Voluta Francis	1	Vaso de vidrio templado para poder observar el nivel del fluido.	12	Bomba	1	Centrífuga

CONTINUA

5	Rodete Francis	1	Fundido de Bronce al manganeso, maquinado y balanceado, 10 aletas.	13	Motor eléctrico	1	Trifásico
6	Alabes directrices	8	Fundido y maquinado en bronce al manganeso.	14	Dinamómetro	1	Carcasa de hierro fundido rango de 0 a 100 Newtons
7	Manómetro	1	Para medir la presión en la carcasa.	15	Tacómetro	1	Velocidad del eje de la turbina rango de 0 a 200 rpm
8	Tubería de entrada	1	Tubo de PVC reforzado de 6''				

Realizado por: Sinaluisa, C.; Guaylla, J., 2022.

### 3.2.2. Estado técnico de los equipos del banco de pruebas de la turbina Francis

#### 3.2.2.1. Estado inicial de la turbina Francis

**Tabla 8-3:** Estado inicial de la turbina Francis

ESTADO INICIAL DE LA TURBINA FRANCIS.							
Marca	ARMPFIELD		Responsables de mantenimiento:		Carlos Sinaluisa Marcelo Guaylla		
Código	ESPOCH-FAME-LT-TF01		Velocidad específica	36 rpm	Dimensiones	3557x2727x1390 mm	
# inventario	10623		Modelo	R16 6'' Ns, 36 Mk II Francis Turbine			
Manuales		Planos			Repuestos		
Si		No		Si		No	
		X				X	
Elementos constitutivos.					Estado técnico		
					B	R	M
Estado del caracol de la turbina.						x	
Estado del distribuidor de la turbina						x	
Estado de los alabes directrices							x
Estado del rodete							x
Estado del eje							x
Estado del rodamiento de bolas de marca Hoffmann LS14 ½							x
Estado del rodamiento de rodillos marca Koyo CRL 11							x
Estado del sensor de presión Px 302-030 gv a 10V a la entrada de la turbina							x
Estado del sensor de presión Px 309-100 gv a 5V a la salida de la turbina							x
EVALUACIÓN DEL ESTADO TÉCNICO							
Estado técnico	n	Factor de evaluación.				Valoración del estado técnico individual. $ET = n \times FE$	
		1	0,8	0,6	0,4		
Bueno.	0					0	
Regular.	2					1,6	
Malo.	4					2,4	
Muy malo.	3					1,2	
$\Sigma n$	9					$\Sigma ET$	5,2

CONTINUA

Estado técnico actual $ETA = \frac{\sum ET}{n} \times 100$	Valoración .	Tipo de mantenimiento.	
$ETA = 57.78\%$	Malo	Reparación media.	X

Realizado por: Sinaluisa, C.; Guaylla, J., 2022.

### 3.2.2.2. Estado inicial del tanque de reserva

**Tabla 9-3:** Estado inicial del tanque de reserva

ESTADO INICIAL DEL TANQUE DE RESERVA.							
Tipo de metal	Plancha de acero	Responsables de mantenimiento:			Carlos Sinaluisa Marcelo Guaylla		
Código	ESPOCH-FAME-LT-TF-TR01	Espesor del acero.	1/8 in	Dimensiones	1,84x1,24x1,04 m		
# inventario	10623	Tipo de anclaje					
Manuales		Planos		Repuestos			
Si	No	Si	No	Si	No		
	X		X		X		
Elementos constitutivos.				Estado técnico			
				B	R	M M	
Estado de la superficie del tanque expuesta al medio agresivo.						x	
Estado de la estructura de soporte para la turbina Francis.					x		
Estado de la estructura de soporte para el panel de control.					x		
Estado de la válvula de drenaje.						x	
Estado de la tubería de drenaje						x	
Estado de los pernos de anclaje del tanque.						x	
EVALUACIÓN DEL ESTADO TÉCNICO							
Estado técnico	n	Factor de evaluación.				Valoración del estado técnico individual. $ET = n \times FE$	
		1	0,8	0,6	0,4		
Bueno.	0					0	
Regular.	2					1,6	
Malo.	1					0,6	
Muy malo.	3					1,2	
$\sum n$	6				$\sum ET$	3,4	
Estado técnico actual $ETA = \frac{\sum n}{\sum n} \times 100$		Valoración .	Tipo de mantenimiento.				
$ETA = 56.67\%$		Malo	Reparación media.	X			

Realizado por: Sinaluisa, C.; Guaylla, J., 2022.

3.2.2.3. Estado inicial de la motobomba centrífuga

**Tabla 10-3:** Estado inicial de la motobomba centrífuga

ESTADO INICIAL DE LA MOTOBOMBA CENTRÍFUGA.								
Marca	BROOCK CROMPTON PARKINSON		Responsables de mantenimiento:			Carlos Sinaluisa Marcelo Guaylla		
Código	ESPOCH- FAME-LT-TF- MTB01	Velocidad del eje	1750 rpm	Amperaj e.	27,5 A	Voltaje	220V	
# inventario	10623	Frecuencia	60 Hz	Tipo de corrient e.	Alterna	Potencia	7,5 Kw	
Manuales		Planos			Repuestos			
Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	
	X			X			X	
Elementos constitutivos.					Estado técnico			
					B	R	M	M
Estado del motor eléctrico de la bomba centrífuga						x		
Estado del caracol de la bomba.						X		
Estado del distribuidor de la bomba							x	
Estado del rodete							x	
Estado del eje							x	
Estado de las conexiones electricas. (cableado)						x		
Estado del sello mecánico.							X	
Estado de los pernos de anclaje.						X		
EVALUACIÓN DEL ESTADO TÉCNICO								
Estado técnico	n	Factor de evaluación.				Valoración del estado técnico individual. $ET = n \times FE$		
		1	0,8	0,6	0,4			
Bueno.	0					0		
Regular.	4					3.2		
Malo.	4					2.4		
Muy malo.	0					0		
$\Sigma n$	8				$\Sigma ET$	5,6		
Estado técnico actual $ETA = \frac{\Sigma ET}{\Sigma n} \times 100$		Valoración	Tipo de mantenimiento.					
$ETA = 70\%$		Malo	Reparación media		X			

Realizado por: Sinaluisa, C.; Guaylla, J., 2022.

3.2.2.4. Estado inicial del dinamómetro

**Tabla 11-3:** Estado inicial del dinamómetro

ESTADO INICIAL DEL DINAMÓMETRO DE LA TURBINA			
Capacidad	0 a 100 Newtons	Responsables de mantenimiento:	
		Carlos Sinaluisa Marcelo Guaylla	
Código.	ESPOCH- FAME-LT-TF- D01	Tipo de transmisión.	Por banda

CONTINUA

# inventario	10623					
Manuales		Planos		Repuestos		
Si	No	Si	No	Si	No	
	X		X		X	
Elementos constitutivos.				Estado técnico		
				B	R	M
Estado actual del dinamómetro.					X	
Estado actual de polea				x		
Estado actual de la banda de transmisión al tacómetro.					X	
Estado actual del tacómetro.				x		
Estado actual del sensor de proximidad					X	
<b>EVALUACIÓN DEL ESTADO TÉCNICO</b>						
Estado técnico	n	Factor de evaluación.				Valoración del estado técnico individual. $ET = n \times FE$
		1	0,8	0,6	0,4	
Bueno.	2					2
Regular.	3					2,4
Malo.	0					0
Muy malo.	0					0
$\Sigma n$	5				$\Sigma ET$	4.4
Estado técnico actual $ETA = \frac{\Sigma ET}{\Sigma n} \times 100$		Valoración	Tipo de mantenimiento.			
$ETA = 88\%$		Regular	Reparación pequeña.			X

Realizado por: Sinaluisa, C.; Guaylla, J., 2022.

### 3.2.2.5. Estado inicial de las tuberías de succión y de descarga

**Tabla 12-3:** Estado inicial de las tuberías de succión y de descarga

ESTADO INICIAL DE LAS TUBERÍAS DE SUCCIÓN Y DE DESCARGA.					
Tipo de tubería.	Tubo de PVC reforzado de 6''	Responsables de mantenimiento:		Carlos Sinaluisa Marcelo Guaylla	
# inventario	10623	Código	ESPOCH-FAME-LT-TF-TSD01		
Manuales		Planos		Repuestos	
Si	No	Si	No	Si	No
	X		X		X
Elementos constitutivos.				Estado técnico	
				B	R
Estado de la tubería de succión y de descarga de la bomba.					X
Estado de los pernos de sujeción de la tubería de succión con el tanque.				x	
Estado de los pernos de sujeción de la tubería de succión con la bomba.				x	
Estado de los empaques de la tubería de succión					x
Estado de la válvula de compuerta a la descarga de la bomba.					x
Estado de los empaques de la válvula de compuerta					x
Estado de los pernos de sujeción de la válvula a la salida de la bomba					X
Estado de los pernos de sujeción de la válvula con la tubería de descarga					X

CONTINUA

Estado de los codos en la tubería de descarga.				x			
Estado del soporte de la tubería de descarga.					X		
Estado del flujómetro.							x
Estado de la tubería de descarga de la turbina.						x	
EVALUACIÓN DEL ESTADO TÉCNICO							
Estado técnico	n	Factor de evaluación.				Valoración del estado técnico individual. $ET = n \times FE$	
		1	0,8	0,6	0,4		
Bueno.	3					3	
Regular.	4					3,2	
Malo.	2					1,2	
Muy malo.	3					1,2	
$\Sigma n$	12				$\Sigma ET$	8,6	
Estado técnico actual $ETA = \frac{\Sigma ET}{\Sigma n} \times 100$		Valoración	Tipo de mantenimiento.				
$ETA = 71,67$		Malo	Reparación media.			X	

Realizado por: Sinaluisa, C.; Guaylla, J., 2022.

### 3.2.2.6. Estado inicial del panel de control del banco de pruebas de la turbina Francis

**Tabla 13-3:** Estado inicial del panel de control

ESTADO INICIAL DEL PANEL DE CONTROL.							
Marca	National instruments	Responsables de mantenimiento:			Carlos Sinaluisa Marcelo Guaylla		
Código	ESPOCH-FAME-LT-TF-PC01	Modelo:		NI compactDAQ 9172.			
# inventario	10623						
Manuales		Planos			Repuestos		
Si	No	Si	No	Si	No		
	X		X		X		
Elementos constitutivos.				Estado técnico			
				B	R	M	M M
Estado del puesto de mando del módulo de la turbina.							X
Estado de los pulsadores 1/0 del módulo de la turbina							x
Estado del contactor de la bomba centrífuga.							X
Estado del circuito para la recepción de datos del flujómetro							x
Estado del caudalímetro analógico						x	
Estado de la Ni DAQ 9172				x			
Estado de los módulos Ni 9401 y Ni 9201				x			
Estado de las fuentes de 5v y de 12 v				x			
Estado de fuente de alimentación de la DAQ				x			
Estado de la comunicación entre el software y el banco de pruebas.							X
EVALUACIÓN DEL ESTADO TÉCNICO							
Estado técnico	n	Factor de evaluación.				Valoración del estado técnico individual. $ET = n \times FE$	
		1	0,8	0,6	0,4		
Bueno.	4					4	
Regular.	0					0	
Malo.	1					0,6	

CONTINUA


Muy malo.	5				2
$\Sigma n$	10			$\Sigma ET$	6,6
Estado técnico actual $ETA = \frac{\Sigma ET}{\Sigma n} \times 100$		Valoración	Tipo de mantenimiento.		
$ETA = 66\%$		Malo.	Reparación media.		X

Realizado por: Sinaluisa, C.; Guaylla, J., 2022.






### 3.3. Repotenciación del banco de pruebas de la turbina Francis

#### 3.3.1. Procedimientos para la restauración de la turbina Francis

**Tabla 14-3:** Restauración de la turbina Francis

Actividad	Procedimiento	Evidencia fotográfica
Desmontaje de la turbina Francis	Junto a la turbina Francis se encuentran instalados dos instrumentos de medición (tacómetro y dinamómetro), los cuales interrumpían el acceso de las herramientas y la comodidad para poder realizar el desmontaje de la turbina. Por ello se tomó la decisión de desmontar ambos equipos, utilizando llaves y copas hexagonales. Finalmente se procedió al desmontaje de la turbina Francis utilizando las mismas herramientas.	
Mantenimiento correctivo a la turbina Francis	Al momento de haber realizado el desmontaje de la turbina se logró identificar que en su interior se encontró agua ocasionando una gran capa de corrosión lo cual impedía que los alabes puedan realizar los giros necesarios. Era casi imposible poder realizar algún tipo de trabajo de mantenimiento correctivo al equipo en el laboratorio de Turbomaquinaria, ya que no se contaba con las herramientas y equipos necesarios para poder acceder al interior de la turbina, lo cual llevó a la decisión de trasladar el equipo a un taller. Se realizó las siguientes tareas: Se procedió a desprender el visor de la turbina, pero por la corrosión éstas parecían ser soldadas entre sí y era difícil la accesibilidad a las mismas, para lo cual se utilizó un desoxidante el cual se lo aplico cada 20 minutos. Posterior al desmontaje del visor de nivel del agua se procedió a retirar los rodamientos que unen el eje con el rodete de la turbina. Con la ayuda de un soplete se calentó los rodamientos para posteriormente ser extraídos utilizando un extractor de rodamientos. Al retirar el	

CONTINUA






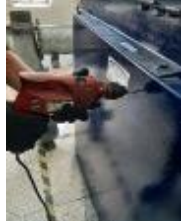

	<p>primer rodamiento también se logró desmontar los álabes fijos Una vez retirados los álabes fijos se procedió al desmontaje del eje de la turbina. Finalmente se retiraron los álabes móviles (directrices) seguido de esto se realizó la limpieza a todos los componentes internos de la turbina</p>	
<p>Cambio de rodamientos</p>	<p>Los rodamientos se encontraron desgastados y en mal estado por lo que se procedió al cambio de estos.</p>	
	<p>El primer rodamiento de bolas de marca Hoffmann LS14 ½ de marca inglesa cuyas medidas son 1 3/8 x 2 9/16. El repuesto fue encontrado en Colombia</p>	
	<p>El segundo rodamiento de rodillos marca Koyo CRL 11 cuyas medidas son 1 7/8 x 4 x 13/16. El repuesto fue encontrado en Quito</p>	
<p>Montaje de los componentes de la turbina</p>	<p>Luego de haber realizado las actividades de mantenimiento correctivo de todos los componentes que conforman la turbina, se procedió a la instalación de cada uno de ellos. Una vez armada toda la turbina se la ubico en su lugar correspondiente colocándole la tubería de entrada y la contándole con el dinamómetro.</p>	

Realizado por: Sinaluisa, C.; Guaylla, J., 2022.



### 3.3.2. Procedimientos para la restauración del tanque de reserva




**Tabla 15-3:** Restauración del tanque de reserva

Actividad	Procedimiento	Evidencia fotográfica
Limpieza del material deseado	Con la ayuda de cepillos de acero y lijas se elimina residuos e impurezas tales como oxidación, pintura envejecida y otras incrustaciones.	
	Se utiliza herramientas eléctricas tales como: una amoladora y un disco de cepillo de acero; los cuales ayudaron a la eliminación de oxidación, pintura envejecida y otras incrustaciones.	
	Con la ayuda de guaipes y escobas se retira los residuos que se desprendieron al piso.	
Pretratamiento para el pintado	Se utiliza solventes como el desoxidante y el removedor de pintura, removiendo así la corrosión, pintura envejecida y cascarillas de laminación. Nota: se recomienda utilizar equipo de protección personal ya que los solventes son altamente tóxicos y se corre el riesgo de lesiones corporales.	
Aplicación de recubrimiento al tanque de reserva de líquido	Una vez ya aplicado el pretratamiento se procedió a la aplicación de la pintura epóxica polamidica marca UNIPOX, de color plomo, la misma que se la aplico con un rodillo, el producto se colocó por completo y solo en la parte interna del tanque de reserva ya que este era la más desgastada de toda la estructura. La parte exterior se pintó con pintura esmalte anticorrosiva color azul.	
Instalación de los ánodos de sacrificio	Para la colocación de los ánodos de sacrificio se hace uso de un taladro con el cual se realizan perforaciones en el tanque donde van sujetos los ánodos por medio de pernos de acero de 1/4"	 

Realizado por: Sinaluisa, C.; Guaylla, J., 2022.

### 3.3.3. Procedimientos para la restauración de la motobomba centrífuga




**Tabla 16-3:** Restauración de la motobomba centrífuga

Actividad	Procedimiento	Evidencia fotográfica
Desmontaje de la bomba	Se procedió a retirar la válvula de compuerta, para lo cual se usaron 2 llaves #24 y una llave #20. Para desmontar la bomba se desajusta los pernos de anclaje con la llave # 24 de ahí se procede a desajustar los pernos de anclaje del motor eléctrico con la llave # 20.	
Desmontaje de la voluta de la bomba centrífuga	Mediante la utilización de llaves hexagonales se procedió retirar la voluta de la bomba. Posterior a ello se observó corrosión en el rodete y en la carcasa por lo cual se procedió a retirar	
Mantenimiento del rodete de la bomba centrífuga.	Se realiza el desmontaje del rodete aplicando calor, se retira el sello mecánico y el ventilador del eje para realizar el mantenimiento y sustitución de las partes afectadas.	
	Posterior a ello se realizó la limpieza al rodete, al disco fijo y a la carcasa, utilizando una amoladora, una grata, un cepillo de acero, lijas y desoxidante. Los rodamientos se encuentran en perfecto estado por lo cual no se los cambia solo se los lubrica. El estado del eje es perfecto por lo cual se lo mantiene solo con una limpieza superficial.	
Mantenimiento del sello mecánico.	Se realiza cambio del sello mecánico, debido a que este se encontraba desgastado y se presenciaba fugas de agua a través de él.	
Montaje de la carcasa de la bomba centrífuga	Una vez realizados las actividades de mantenimiento preventivo en la carcasa, rodete y tubería de succión de la bomba se procedió al montaje de estos.	

Realizado por: Sinaluisa, C.; Guaylla, J., 2022.

### 3.3.4. Procedimientos para el mantenimiento del dinamómetro




**Tabla 17-3:** Mantenimiento del dinamómetro de la turbina

Actividad	Procedimiento	Evidencia fotográfica
Desmontaje del freno.	Se desajusta los pernos de anclaje, se retira el brazo metálico con el cual está sujeta la cámara, se retira el tacómetro, y el sensor inductivo. Se procede a desajustar los prisioneros del acople entre el eje del dinamómetro y el eje de la turbina.	
Inspección visual	Se realiza la inspección visual en la cual podemos observar que las pastillas del freno están desgastadas y se realiza un cambio de pastillas y se realiza una limpieza del dinamómetro.	
Montaje	Una vez terminadas las tareas de mantenimiento se procede a montar todo con la turbina.	



Realizado por: Sinaluisa, C.; Guaylla, J., 2022.

### 3.3.5. Procedimientos para el mantenimiento de las tuberías de succión y de descarga

**Tabla 18-3:** Mantenimiento de las tuberías de succión y de descarga

Actividad	Procedimiento	Evidencia fotográfica
Desmontaje de la válvula de compuerta	Con la ayuda de herramientas como llaves, llave de tubo, combo y puntas de acero se logró el desmontaje de la válvula de compuerta evidenciando así la corrosión existente en su interior la misma que no permitía el giro del volante.	
Mantenimiento preventivo de la válvula de compuerta	Se realizó la limpieza de todo el interior de la válvula de compuerta con la ayuda de lijas, cepillo de acero y desoxidante logrando así retirar toda la corrosión. Al momento del desmontaje de la válvula se vieron afectados los empaques en las diferentes entradas y salidas, lo cual llevo a la sustitución de todos los empaques.	
Mantenimiento de la tubería de succión y la tubería de descarga.	La tubería de succión se encuentra en buen estado por lo cual se realiza una limpieza tanto en la unión con el tanque como con la unión en la bomba. En la tubería de descarga se presencia una fisura a la cual fue cambiada.	

CONTINUA

	También se observa un flujómetro el cual ya no está funcionando el cual se lo retira y se tapa el agujero que deja tras su retiro.	
Montaje de la válvula de compuerta	Posteriormente a los trabajos de mantenimiento realizados a la válvula de compuerta se procedió a la instalación de este.	

Realizado por: Sinaluisa, C.; Guaylla, J., 2022.

### 3.4. Mantenimiento, calibración de los sensores y reprogramación del sistema de control del banco de pruebas de la turbina Francis

#### 3.4.1. Inspección visual



**Figura 1-3:** Circuito de potencia y circuito de mando

Realizado por: Sinaluisa, C.; Guaylla, J., 2022.

Se procede a ver el estado físico de los elementos electrónicos tales como el circuito de mando en el cual se ubican las ni compact las cuales se encuentran en perfecto estado, el cDAC está en perfecto estado, pero solo es compatible con la versión del software LabVIEW 2017, las fuentes de alimentación están en buenas condiciones, los cables, las borneras de conexiones están bien pero mal distribuidas.



En el circuito de potencia el pulsador para el encendido esta descompuesto, el contactor al momento de encender la bomba centrífuga se quemó por lo cual se lo ha cambiado, el pulsador de paro funciona, el estado de los cables es óptimo, pero la distribución no es la adecuada.

El caudalímetro analógico se encuentra fuera de servicio ya que el circuito realizado para el flujómetro habría sufrido un sobre calentamiento provocando así la obsolescencia de los dos elementos.

Los sensores de presión de la serie Px 309 y Px 302 y el sensor inductivo se encuentran en perfecto funcionamiento, pero descalibrados mientras tanto el flujómetro esta fuera de servicio.

Debido al estado actual de los componentes eléctricos no se pude encender el módulo para realizar las pruebas correspondientes.

### 3.4.2. *Calibración de los sensores de presión*



**Figura 2-3:** Proceso de calibración de los transductores de presión

Realizado por: Sinaluisa, C.; Guaylla, J., 2022.

Para la calibración de los sensores se usa un multímetro, una fuente de corriente, un sistema cerrado que nos proporcione una presión regulable, un manómetro y se procede a tomar los datos para realizar la gráfica con el finde sacar las nuevas ecuaciones para la programación.

#### 3.4.2.1. *Obtención de datos de la presión de entrada en el transductor Px 309*

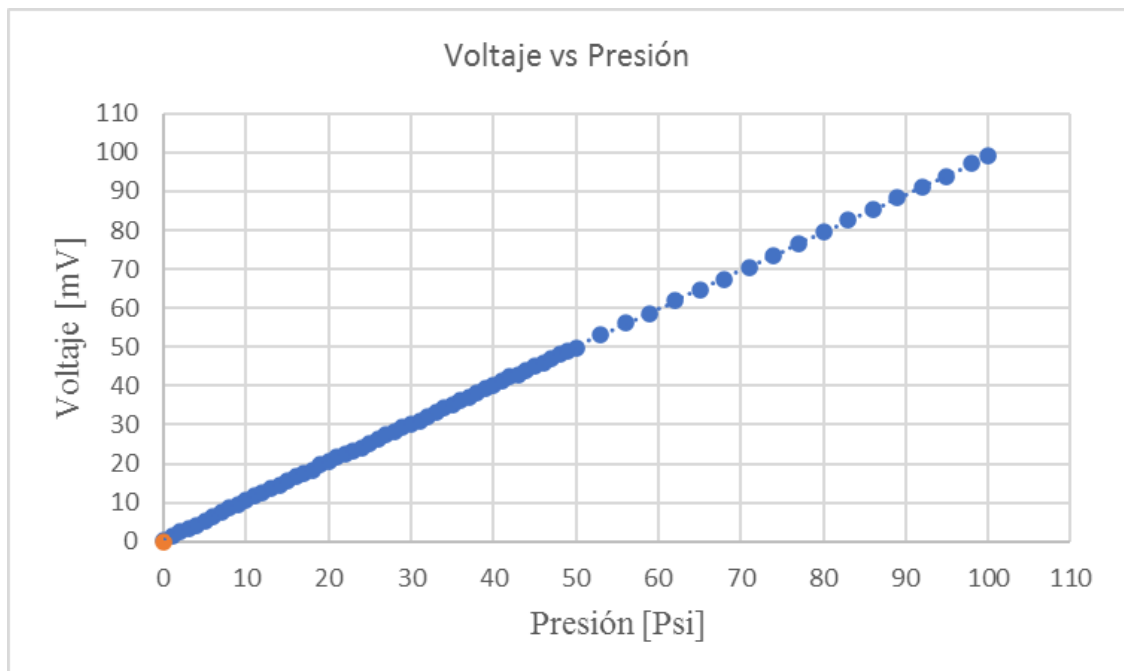
Para poder calibrar el transductor Px 309 se debe tomar en cuenta su alcance máximo de presión, el cual aquí es de 100 psi por lo tanto se debe tomar 100 datos para poder observar la variación del voltaje.

**Tabla 19-3:** Datos de la presión de entrada en el transductor Px 309

Datos de la presión de entrada en el transductor Px 309							
Presión [Psi]	Voltaje [mV]	Presión [Psi]	Voltaje [mV]	Presión [Psi]	Voltaje [mV]	Presión [Psi]	Voltaje [mV]
0	0,3	17	17,5	34	34,2	53	53
1	1,4	18	18,4	35	35,2	56	56,1
2	2,5	19	19,8	36	36,3	59	58,7
3	3,4	20	20,5	37	37,1	62	62,1
4	4	21	21,8	38	38,1	65	64,7
5	5,4	22	22,5	39	39,2	68	67,4
6	6,3	23	23,4	40	40,1	71	70,5
7	7,6	24	24,2	41	41,3	74	73,4
8	8,6	25	25,3	42	42,3	77	76,6
9	9,6	26	26,5	43	43	80	79,5
10	10,7	27	27,5	44	44,1	83	82,7
11	11,7	28	28,4	45	45,1	86	85,3
12	12,4	29	29,3	46	46	89	88,3
13	13,7	30	30,3	47	47,1	92	91,2
14	14,6	31	31	48	48,2	95	93,9
15	15,7	32	32,2	49	48,8	98	97,1
16	16,9	33	33,4	50	49,8	100	99

Realizado por: Sinaluisa, C.; Guaylla, J., 2022.

Con los siguientes datos procedemos a realizar un diagrama por dispersión en el cual da como resultado la Figura 3-3 en la cual se puede observar cómo va cambiando la magnitud del voltaje con respecto a la presión inyectada en los sensores.



**Gráfico 1-3:** Curva del transductor de presión de la serie Px 309

Realizado por: Sinaluisa, C.; Guaylla, J., 2022.

La ecuación de la nueva curva es:

$$y = -0,0001x^2 + 0,9956x + 0,5576$$

$$R^2 = 1$$

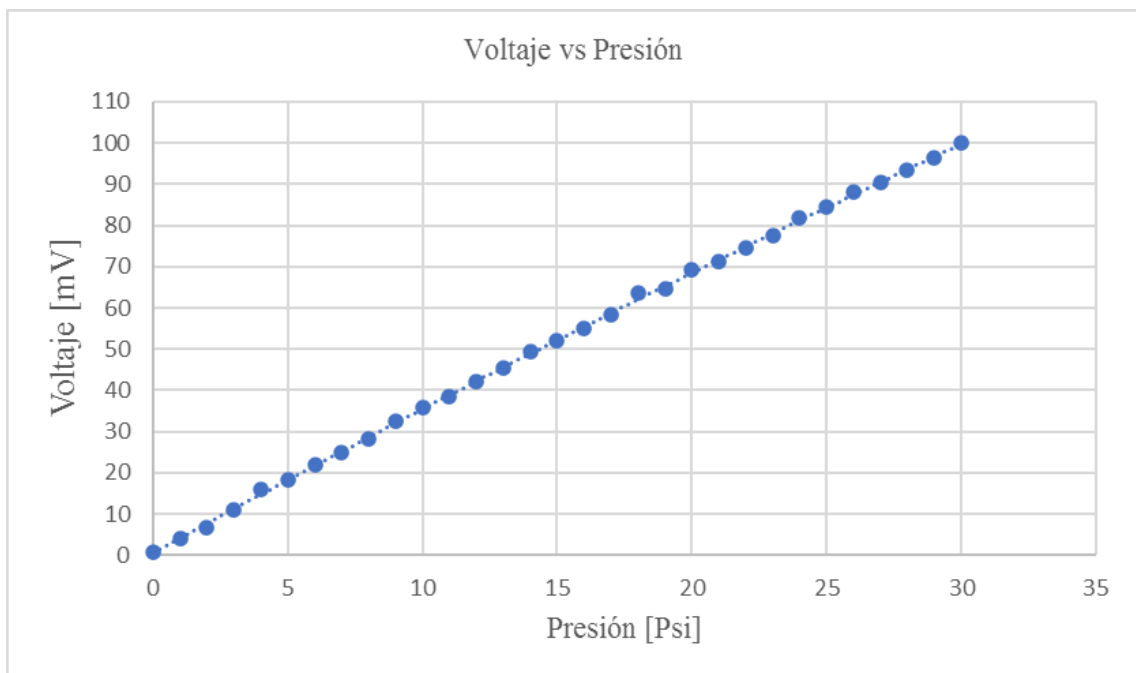
### 3.4.2.2. Obtención de datos de la presión de salida en el transductor Px 302

Para poder calibrar el transductor Px 302 se debe tomar en cuenta su alcance máximo de presión, el cual aquí es de 30 psi por lo tanto se toma 30 datos para poder observar la variación del voltaje con respecto a la presión. El cual podemos observar en la Figura 4-3.

**Tabla 20-3:** Datos de la presión de salida en el transductor Px 302

Datos de la presión de salida en el transductor Px 302					
Presión [Psi]	Voltaje [mV]	Presión [Psi]	Voltaje [mV]	Presión [Psi]	Voltaje [mV]
0	0,9	11	38,4	22	74,6
1	4	12	42,1	23	77,4
2	6,9	13	45,6	24	81,7
3	11,2	14	49,4	25	84,5
4	15,9	15	51,9	26	88
5	18,3	16	54,9	27	90,4
6	21,9	17	58,5	28	93,3
7	24,8	18	63,5	29	96,4
8	28,2	19	64,5	30	99,9
9	32,6	20	69,2	-	-
10	35,8	21	71,1	-	-

Realizado por: Sinaluisa, C.; Guaylla, J., 2022.



**Gráfico 2-3:** Curva del transductor de presión de la serie Px 302

Realizado por: Sinaluisa, C.; Guaylla, J., 2022.

La ecuación de la nueva curva es:

$$y = -0,0091x^2 + 3,5758x + 0,6237$$

$$R^2 = 0,9997$$

### 3.4.3. *Instalación de una celda de carga*

Se instalo en el freno de la turbina Francis una celda de carga con la capacidad de medir 20 N para lo cual se realiza una base que vaya sujeta en el brazo saliente del freno donde antes estaba la balanza y luego se colca un a un cable de acero para que al momento de usar el freno la deformación que se produzca en la celda de carga pueda ser receptada por el programa.



**Figura 3-3:** Instalación de la celda de carga

**Realizado por:** Sinaluisa, C.; Guaylla, J., 2022.

### 3.4.4. *Instalación del sensor de proximidad*

Este sensor puede detectar la señal desde una distancia de 2 a 8mm (se usa una distancia de 5mm) la cual se corta cuando las muescas que se han dejado pasan por donde se encuentra el sensor. Requiere una alimentación de mínima de 12Vdc y una máxima de 24Vdc, con una frecuencia máxima de cambio de hasta 1000Hz, sus dimensiones son 97 x 132 x 42 mm y pesa 124g.





**Figura 4-3:** Instalación del sensor de proximidad

Realizado por: Sinaluisa, C.; Guaylla, J., 2022.

### 3.4.5. *Reparación del del circuito de puesta en marcha-paro y del circuito de mando*

#### 3.4.5.1. *Circuito de puesta en marcha-paro*

Se realiza los cambios de los contactores y pulsadores y se procede a realizar las conexiones pertinentes además se implementó un fusible a la entrada del contactor para así poder protegerlo de una sobre tensión, también se implementa luces para que sean usadas como señales visuales y poder saber si el circuito esta energizado o no, también cuando está en funcionamiento y cuando no.



**Figura 5-3:** Instalación y conexión de los elementos pertenecientes al circuito de puesta en marcha y paro

Realizado por: Sinaluisa, C.; Guaylla, J., 2022.

#### 3.4.5.2. Circuito de mando



**Figura 6-3:** Instalación y conexión de los elementos pertenecientes al circuito de mando

**Realizado por:** Sinaluisa, C.; Guaylla, J., 2022.

En el circuito de mando se optimiza las tarjetas para la recepción de datos y se utiliza un Arduino nano con el cual se facilita la toma de datos.

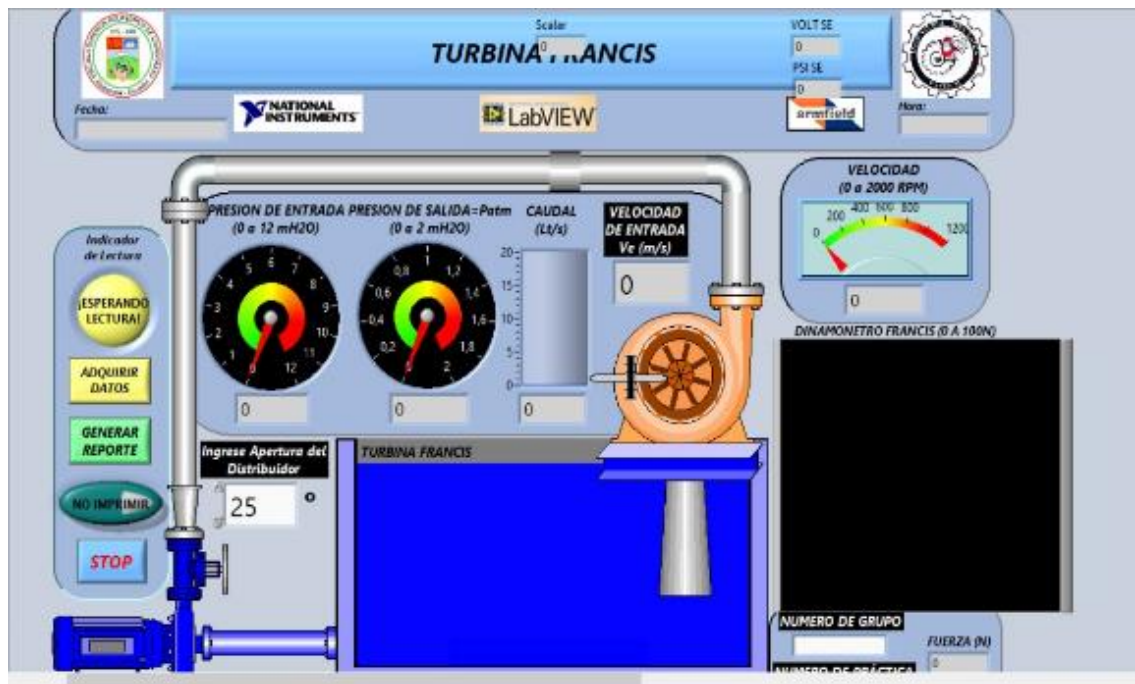
Se realizan las conexiones de los sensores de presión en la NI 9201 la cual está siendo abastecida de electricidad por la fuente de alimentación RS-35-12 quien entrega de 12 voltios para poder energizar los sensores de presión que funcionan a 10 voltios y el sensor de proximidad en la NI 9401 quien interactúa directamente con la fuente de alimentación RS-25-5 debido a que entrega un voltaje de 5 voltios ideal para el sensor que trabaja con 3 voltios, las NI-DAQ se colocan en la cDAQ 9172 debido a que esta es la que realiza la interacción con el software.

El sensor de fuerza va conectado al Arduino nano para la detección de los datos que se genere al utilizar el dinamómetro.

Al culminar se comprueba que todas las conexiones estén en perfecto estado y que no exista ningún corto circuito, ninguna sobretensión o algún imprevisto durante su funcionamiento.

#### 3.4.6. *Reprogramación del software LabVIEW con las nuevas variables*

El software LabVIEW que se encuentra instalado en el ordenador del laboratorio de Turbomaquinaria es de la versión del 2013, los sistemas de bloques realizados conllevan la toma de datos por dos sensores de presión, un sensor inductivo, un flujómetro y toma de datos para la fuerza por medio de visión artificial.



**Figura 7-3:** Interfaz del programa en el software LabVIEW 2013

**Realizado por:** Sinaluisa, C.; Guaylla, J., 2022.

#### 3.4.6.1. *Rediseño de la nueva instrumentación virtual*

El concepto de instrumentación virtual nace a partir del uso del computador como instrumento de medición de señales como presión, caudal, velocidad, fuerza, etc.

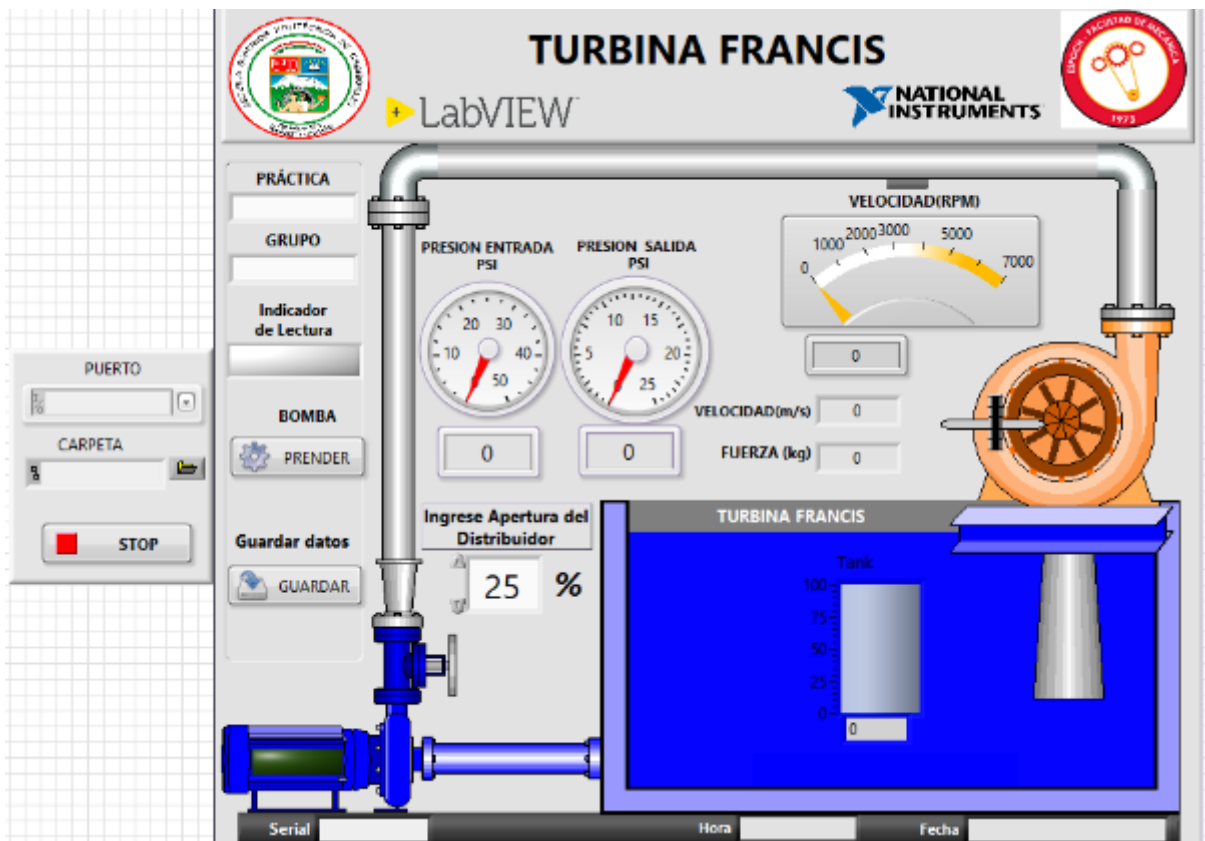
#### 3.4.6.2. *Virtual instruments. VIs*

Los VIs, están integrados por 3 partes principales:

- El panel frontal que está compuesto por una combinación de controladores e indicadores que le permiten al usuario enviar y recibir datos del VI.
- El diagrama de bloques que está compuesto de nodos, terminales y cables.
- El icono/conector son nodos análogos a estatutos, funciones y subrutinas en los lenguajes de programación basados en texto.

#### 3.4.6.3. *Panel frontal del Vis*

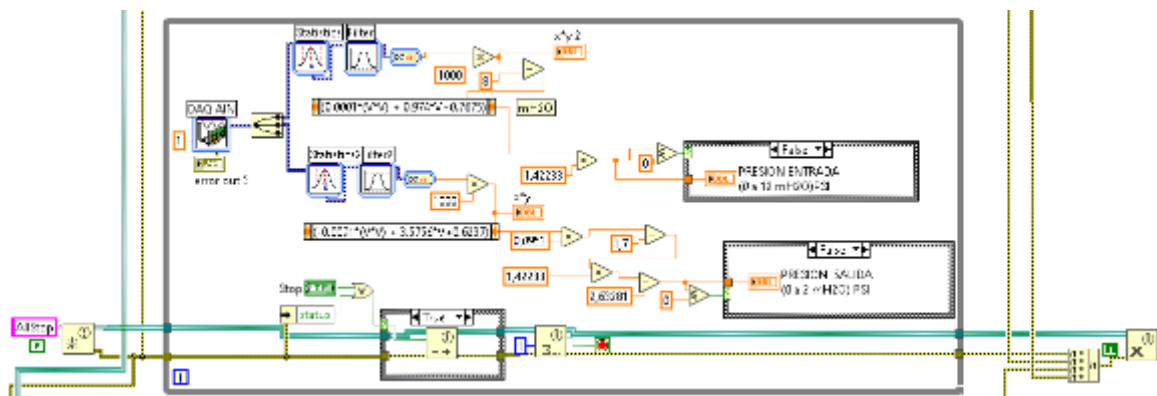
El panel frontal del VI se ha diseñado exclusivamente el banco de pruebas de la turbina Francis; contienen características propias necesarias para la adquisición de datos. El panel frontal del VI del módulo de la turbina Francis contiene las siguientes características:



**Figura 8-3:** Panel frontal del VIs de la turbina Francis

Realizado por: Sinaluisa, C.; Guaylla, J., 2022.

#### 3.4.6.4. Programación por bloques para la medición de las presiones de entrada y de salida



**Figura 9-3:** Bloque de lectura de presiones de entrada y de salida

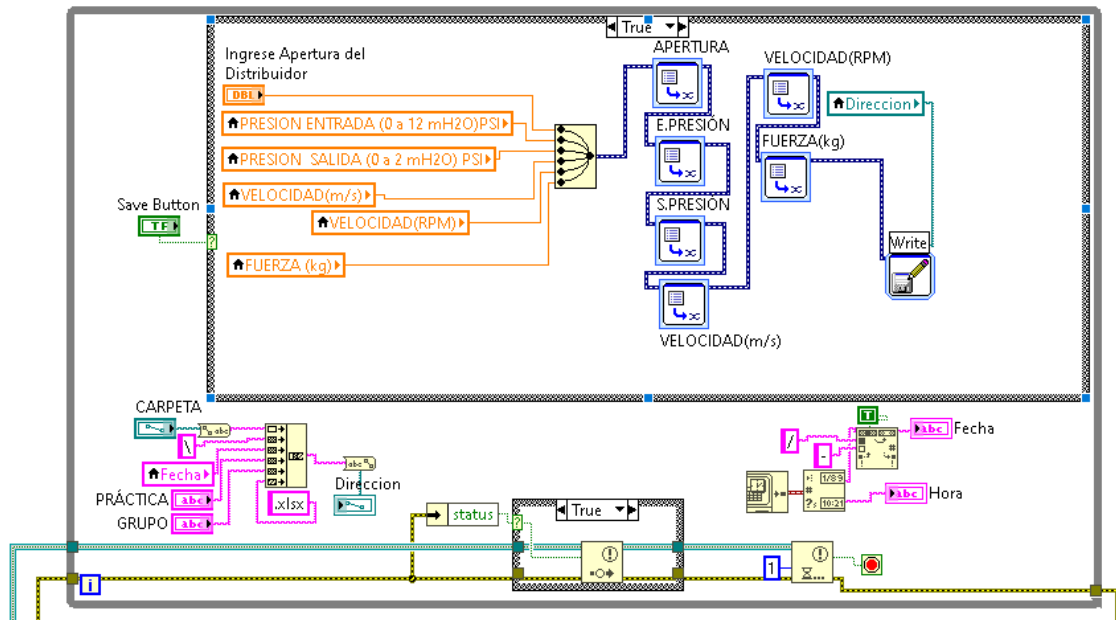
Realizado por: Sinaluisa, C.; Guaylla, J., 2022.

El circuito funciona de la siguiente manera cuando la bomba ejerce la presión sobre el agua y atraviesa por el sensor Px 309 y por el sensor Px 302 de salida de la turbina estos



La celda de carga utiliza un transductor que transforma la deformación producida a un valor numerico y mediante la librería inscrita en arduino, dicho valor es enviado a través del puerto serial haciA el labview el cual interpreta dicho valor como la fuerza ejercida dentro del sistema

### 3.4.6.7. Programación por bloques para la fecha, hora y la adquisición de datos



**Figura 12-3:** Bloque de hora, fecha y adquisición de datos

Realizado por: Sinaluisa, C.; Guaylla, J., 2022.

El ciclo de repetición me entrega la fecha y hora actual, crea el nombre del archivo dependiendo al grupo y práctica, se encuentra continuamente esperando la activación del botón de guardar datos una vez activado dicho botón guarda todas las variables del sistema en un archivo de Excel y cuando deshabilitas el botón los datos quedan guardados

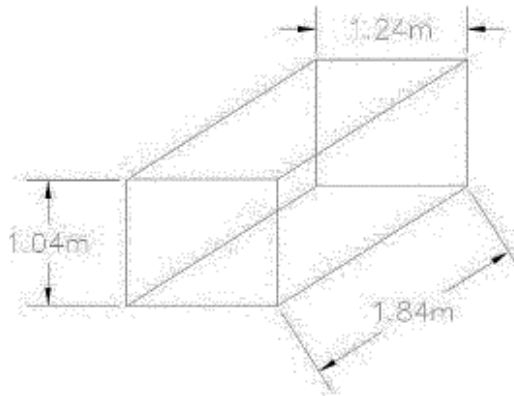
Dependiendo el número de grupo y practica crea un nuevo archivo en caso contrario añade la información al archivo existente

## CAPÍTULO IV

### 4. FASE EXPERIMENTAL

#### 4.1. Procedimientos para la selección del ánodo de sacrificio

##### 4.1.1. *El área para proteger*



**Figura 1-4:** Esquema del área de protección

Realizado por: Sinaluisa, C.; Guaylla, J., 2022.

Para determinar el área a proteger se aplicará la ecuación (12) como se muestra a continuación:

$$\begin{aligned}\text{Área a proteger} &= \text{Área total del tanque} \\ \text{Área a proteger} &= ((1.84\text{m} \times 1.04\text{m} \times 2) + (1.24\text{m} \times 1.04\text{m} \times 2) + (1.84\text{m} \times 1.24\text{m})) \\ \text{Área a proteger} &= 7.398 \text{ m}^2 \cong 7.4 \text{ m}^2\end{aligned}$$

##### 4.1.2. *Demanda de corriente*

Con la ecuación (13) determinamos la demanda de corriente como se muestra a continuación:

$$\begin{aligned}I_{\text{cm}} &= A \times d \times (1 - C_e) \\ I_{\text{cm}} &= 7.4 \text{ m}^2 \times 56 \text{ mA/m}^2 \times (1 - 0.50) \\ I_{\text{cm}} &= 0.207 \text{ A}\end{aligned}$$



#### 4.1.3. Masa total del ánodo

Utilizando la ecuación (14), se determinó la masa neta total anódica:

$$W = \frac{I_{cm} \times t \times \frac{8760 \text{ h}}{1 \text{ año}}}{c \times f \times u}$$
$$W = \frac{0.207 \text{ A} \times 8 \text{ años} \times \frac{8760 \text{ h}}{1 \text{ año}}}{2982 \text{ A-h/kg} \times 0.50 \times 0.85}$$
$$W = 11.44 \text{ kg}$$

#### 4.1.4. Resistencia del ánodo de sacrificio

La ecuación 15 es la expresión matemática de Waldron y Peterson, la cual será empleada como se muestra a continuación:

$$R = \frac{\rho}{0.58 A^{0.727}}$$
$$R = \frac{900 \Omega\text{m}}{0.58 (0.30\text{m} \times 0.09\text{m})^{0.727}}$$
$$R = 21.44 \text{ K}\Omega$$

#### 4.1.5. Número de ánodos

El número de ánodos se obtiene de la ecuación (16), la cual será aplicada a continuación:

$$N = \frac{W}{W_a}$$
$$N = \frac{11.44 \text{ kg}}{5.6 \text{ kg}}$$
$$N = 2.04 \text{ unidades} \cong 2 \text{ unidades}$$

## 4.2. Recolección de datos de las variables medidas con los instrumentos utilizados en automatización

### 4.2.1. Datos técnicos del equipo

Tamaño nominal del rodete. 152.5 mm.



Cabeza neta de diseño.	6 m.
Diámetro máximo del chorro	18.8 mm.
Velocidad óptima del eje.	1000 rpm
Diámetro de la tubería de ingreso a la turbina.	152.5 mm. = 6 plg.

#### 4.2.2. Variables medidas por los sensores

Lectura del sensor en la presión de entrada.	$H_n = 7.9069 \text{ psi} = 5.5593 \text{ mca}$
Velocidad.	$N = 438.67 \text{ RPM}$
Fuerza medida en el dinamómetro.	$F = 0.9663 \text{ kg}$
Caudal.	$Q = 0.0085 \text{ m}^3/\text{s}$

Estas variables fueron tomadas con una apertura de  $5^\circ$  de los alabes del distribuidor y con una carga de frenado de aproximadamente 1kg

#### 4.2.3. Altura neta o salto ( $H_n$ )

La altura neta o salto  $H_n$  se determinará con la siguiente ecuación:

$$\frac{P_e}{\gamma} + \frac{V_e^2}{2g} + Z_e - H_n = \frac{P_s}{\gamma} + \frac{V_s^2}{2g} + Z_s \quad (20)$$

Donde, despejando  $H_n$  se obtiene que:

$$H_n = \frac{P_e}{\gamma} - \frac{P_s}{\gamma} + \frac{V_e^2}{2g} - \frac{V_s^2}{2g} + Z_e - Z_s$$

Donde:

$P_e$  = presión de entrada a la turbina (mca)

$P_s$  = 0 presión atmosférica. (mca)

$H_e = P_e/\gamma$  = Lectura en el manómetro (mca)

$V_e$  = velocidad de entrada (m/s)

$V_s$  = 0 pequeña comparada con  $V_e$  (m/s)

$\gamma$  = peso específico del agua ( $1000 \text{ Kg/m}^3$ )

Y reemplazando nos queda que:

$$H_n = \frac{P_e}{\gamma} + \frac{V_e^2}{2g} + 1 \quad (\text{mca})$$

$$H_n = 4.55 + \frac{0.43^2}{2(9.81)} + 1$$

$$H_n = 5.559 \text{ mca}$$

#### 4.2.4. Caudal de entrada

Mediante la siguiente expresión se calculará el caudal de entrada.

$$V_e = \frac{Q}{A_e} \quad (21)$$

Donde:

$A_e$  = Área de la turbina. ( $m^2$ )

$D_e$  = Diámetro de la tubería (6 plg)

$Q$  = Caudal ( $m^3/s$ )

$$Q = V_e * A_e$$

$$Q = 0.43 * \frac{\pi}{4} * (0.1525)^2$$

$$Q = 0.0078 \text{ m}^3/\text{s}$$

#### 4.2.5. Potencia útil

Para la potencia útil se utilizó la siguiente expresión:

$$P_u = 0.001396 * N * W * d \quad (\text{cv}) \quad (22)$$

Donde:

$T = W * d$  torque.

$W$  = carga aplicada en el Dinamómetro medida por la celda de carga (Kg).

$d$  = longitud del brazo ( $d = 0.25 \text{ m}$ ).

$N$  = número de rpm. Del eje de la turbina. (rpm)

F = Lectura en el Dinamómetro. (N)

$$P_u = 0.001396 * 438.67 * 0.9663 * 0.25$$

$$P_u = 0.1479 \text{ cv}$$

#### 4.2.6. *Potencia hidráulica absorbida (Pa)*

Mediante la ecuación (23) se calculó la potencia hidráulica absorbida.

$$P_a = \frac{\gamma * Q * H_n}{75} \text{ (cv)} \quad (23)$$

Donde:

$\gamma$  = peso específico ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )

Q = caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

H<sub>n</sub> = altura neta (mca)

$$P_a = \frac{1000 * 0.0078 * 5.559}{75}$$

$$P_a = 0.578 \text{ cv}$$

#### 4.2.7. *Rendimiento total*

Para el rendimiento total se aplicó la ecuación (25) como se muestra a continuación:

$$P_a = \frac{\gamma * Q * H_n}{75} \text{ (cv)} \quad (24)$$

Con lo cual se determinó que:

$$N_t = \frac{P_u}{P_a} * 100 \text{ (\%)}$$

$$N_t = \frac{0.1479}{0.578} * 100$$

$$N_t = 25.6 \text{ \%}$$

## CONCLUSIONES

Mediante la realización de un análisis de criticidad basado en el método de criticidad total por riesgo se obtuvo información de cada uno de los sistemas, los cuales son: la motobomba centrífuga, la turbina Francis, el panel de control, el tanque de reserva, el dinamómetro, las tuberías de succión y de descarga. Gracias a esta metodología se pudo determinar el nivel de criticidad de cada uno de los sistemas, observando que los equipos presentan criticidades muy altas, altas, medias y bajas. Una vez tabuladas cada uno de los equipos según la criticidad que presentan nos permite realizar una valoración del estado actual de cada uno de ellos, determinando así los trabajos de mantenimiento necesarios para cada uno de los sistemas.

Las tareas de mantenimiento realizadas dentro del sistema hidráulico fueron esenciales para la restauración del módulo, ya que se efectuaron tareas de mantenimiento correctivo tales como : cambio de rodamientos en el eje de la turbina Francis, cambio de rodamientos en el eje entre la bomba y el motor eléctrico, cambio del circuito del flujómetro del panel de control por obsolescencia, además se realizaron tareas de mantenimiento preventivo como: el cambio las pastillas del freno en el dinamómetro, limpieza de tanque, aplicación de pintura epóxica en el interior del tanque, instalación de los ánodos de sacrificio, cambio de empaques en las tuberías y recubrimientos superficiales en los equipos con esmaltes anticorrosivos de color naranja y azul. Todas estas actividades de mantenimiento realizadas llevaron a que el módulo esté en condiciones óptimas de funcionamiento.

La protección catódica no es un método absoluto; los cálculos finales se basan en una densidad de corriente que ha demostrado ser la correcta en un área particular o bajo condiciones específicas, además se debe regir en función de la vida de la infraestructura y el factor económico. La elección de los ánodos aluminio son adecuados para este trabajo de integración curricular debido a su potencial eléctrico que es el correcto para trabajar con aguas dulces, su precio unitario es de \$55 lo cual resulta muy accesible y número necesario para nuestro trabajo es de 2 unidades con un tiempo de vida de 8 años.

La utilización del hardware Nationals Instruments y software LabVIEW basado en un lenguaje de programación gráfica, permite realizar una interacción sencilla e incluso con mayor capacidad de adquisición y presentación de resultados debido a que proporciona una variedad de características y herramientas que van desde asistentes interactivos hasta interfaces configurables y definidas por el usuario.

Utilizando como base la información obtenida mediante el método de criticidad total por riesgo procedemos a realizar el plan de mantenimiento para lo cual determinamos cada uno de los

elementos, equipos y sistemas involucrados en este trabajo de integración curricular, identificamos cada una de las tareas a realizar y de acuerdo a las tablas de estado de situación, diagnosticamos el tipo de mantenimiento a realizar para cada tarea con su respectiva frecuencia, además declaramos al responsable, el número de técnicos para cada actividad, repuestos, herramientas, equipos y materiales.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda que antes de la puesta en marcha, el operador del banco de pruebas de la turbina Francis debe cumplir con todas las normas de seguridad expuestas en el manual de preparación del banco de pruebas de la turbina Francis antes de su encendido el cual se adjunta en los anexos de este trabajo de integración curricular y con ello no provocar cualquier tipo de situación de riesgo durante la práctica que se esté por realizar.

El operario del banco de pruebas de la turbina Francis debe ejecutar el funcionamiento mediante lo estipulado en el manual de operación del banco de pruebas de la turbina Francis, después de la puesta en marcha se debe realizar la adquisición de datos para lo cual se debe tener en cuenta que las variables medidas por el software se encuentren estables, una vez realizada la toma de datos se podrá realizar maniobras de acuerdo a lo que el docente solicite.

Mantener lleno el tanque de agua durante los días en los cuales se llevarán a cabo las prácticas de laboratorio, una vez terminadas deben vaciar el tanque, de esa manera poder preservar y prolongar su vida útil, además no se debe pintar, ni mojar los ánodos de sacrificio porque tienden a oxidarse lo que provocaría una deterioración acelerada y una pérdida en sus propiedades para poder actuar como un ánodo de sacrificio.

Ejecutar el plan de mantenimiento preventivo presentado en los anexos de este trabajo de integración curricular respetando los tiempos establecidos para cada actividad, utilizando las herramientas establecidas y el equipo de protección personal, para con ello poder realizar de manera exitosa y sin ningún contratiempo.

## BIBLIOGRAFÍA

**CABA COSTALES, Carlos Mauricio., & GUERRERO CANTOS, Karina Alexandra.** Repotenciación y recalibración de los bancos de pruebas de las turbinas y bombas del laboratorio de turbomaquinaria hidráulica de la Facultad de Mecánica. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2016. pp. 16-19. [Consulta: 01 septiembre 2021]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/5183>.

**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. 12-15. [Consulta: 15 febrero 2022]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18544>

**EN-13306. 2018.** *Terminologías del mantenimiento.*

**BLAS ZAMORA, Parra., & ANTONIO VIEDMA, Robles.** *Máquinas Hidráulicas (Teoría y Problemas)*. [En línea] Cartagena-España: Crai UPCT ediciones, 2016. [Consulta: 10 enero 2022]. Disponible en: <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/5476/isbn9788416325191.pdf>

**HÉCTOR GARCÍA, Gutiérrez., & ARTURO NAVA, Mastache.** *Selección y dimensionamiento de turbinas hidráulicas para centrales hidroeléctricas* [En línea] Ciudad de Mexico-Mexico: .Ingenieria.unam.mx, [Consulta: 20 diciembre de 2021]. Disponible en: [https://www.ingenieria.unam.mx/deptohidraulica/publicaciones/pdf\\_publicaciones/SELECYDIMENSIONAMIENTOdeTURBINAS.pdf](https://www.ingenieria.unam.mx/deptohidraulica/publicaciones/pdf_publicaciones/SELECYDIMENSIONAMIENTOdeTURBINAS.pdf)

**MARIO ALBERTO, García Pérez.** *Turbomáquinas – Turbinas Hidráulicas*. [En línea] Lima-Peru: Editoriales Univerdad Nacional de Callao, 2011. [Consulta: 15 diciembre de 2022]. Disponible en: [https://unac.edu.pe/images/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes\\_Finales\\_Investigacion/2011/Noviembre/IF\\_GARCIA%20PEREZ\\_FIEE.pdf](https://unac.edu.pe/images/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes_Finales_Investigacion/2011/Noviembre/IF_GARCIA%20PEREZ_FIEE.pdf).

**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. 9-12. [Consulta: 23 enero de 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/825>

**MATAIX, CLAUDIO.** *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas.* 2da ed. Madrid-España: Ediciones del Castillo S. A., 1986. ISBN: 84-219-0175-3, pp 1-6.

**MOROCHO, MANUEL.** *Administración del mantenimiento.* [En línea] Riobamba-Ecuador : Editorial Escuela Superior Politécnica de Chimborazo , 2018. [Consulta: 9 enero de 2022]. Disponible en: <https://www.studocu.com/ec/document/escuela-superior-politecnica-de-chimborazo/ingenieria-en-mantenimiento-industrial/plan-de-mantenimiento/7158964>

**ORELL REGIS, Aina Isabel.** Protección catódica en estructuras sumergidas. Aplicación al proyecto de boyas y tuberías de un terminal portuario de descarga de crudo. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España. 2014. pp. 9-12. [Consulta: 17 enero de 2022]. Disponible en: <https://oa.upm.es/32717/>

**WILLIAM YOEL, Pari Cutipa.** Aplicación de la resistividad para la exploración de aguas subterráneas en la microcuenca Yanamayo - Azángaro. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. 2019. pp. 6-7. [Consulta: 17 enero de 2022]. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/12069>.

**PELAYO, LAURA.** Diseño de un sistema de protección contra la corrosión en una estructura eólica offshore. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado). Universidad de Cantabria, Bilbao, España. 2019. pp. 10-12. [Consulta: 16 enero de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/17445>

**ROSARIO, Samuel.** 2004. "Diseño de anodos de sacrificio" *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas.* [En línea], 2004, (Perú) 7(13), pp. 37-44. [Consulta: 18 octubre de 2021]. ISSN 1628-8097. Disponible en: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/515>

**URBANO SÁNCHEZ, Domínguez.** *Máquinas Hidráulicas* [En línea] Alicante-España: Editorial Club Universitario, 2019. [Consulta: 10 diciembre de 2022]. Disponible en: <https://www.editorialecu.com/libro/maquinas-hidraulicas/>

**TERRAZAS, MIRIAM.** Protección catódica con ánodos de sacrificio en un prototipo de intercambiador de calor. [En línea] (Trabajo de titulación). (Progrado). Centro de Investigación



en Materiales Avanzados. S.C., Chihuahua, Mexico. 2012. pp. 23-25. [Consulta: 17 enero de 2022]. Disponible en: <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1004/670>

**Tirapegui, Wilfrido. 1998.** *Máquinas hidráulicas*. [En línea] Lima-Peru: Fondo Editorial Inifim-Uni, 1998. [Consulta: 6 diciembre de 2021]. Disponible en: <https://ovidiouscuvilca.files.wordpress.com/2011/12/maquinashidraulicas.pdf>


**VILLACRÉS PARRA, Sergio Raúl.** Desarrollo de un plan de mantenimiento aplicando la metodología de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) para el vehículo Hydrocleaner Vactor M654 de la empresa Etapa EP. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2016. pp. 19-20. [Consulta: 27 enero de 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4749>

## ANEXOS

### ANEXO A: Manual de preparación del banco de pruebas de la turbina Francis antes de su encendido

	<b>Preparación del equipo antes del encendido.</b>	<b>Código:</b> ESPOCH-FAME-LT-TF01																								
		<b>Fecha de elaboración:</b> 01-03-2022																								
		<b>Última aprobación:</b>																								
		<b>Versión:</b> 01																								
<b>Elaborado por:</b> Carlos Sinaluisa; Marcelo Guaylla	<b>Revisado por:</b> Ing. Edison Calderón	<b>Aprobado por:</b> Ing. Marco Ordoñez																								
<b>Objetivo:</b> Preparar al banco de pruebas de la turbina Francis para su puesta en marcha siguiendo los siguientes pasos con el fin de que no se presente ninguna situación que pudiese interrumpir con la realización de la práctica de laboratorio.																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 25%;">Condiciones de seguridad</th> <th style="width: 25%;">Pasos</th> <th style="width: 25%;">Descripción de la actividad</th> <th style="width: 25%;">Equipos / Materiales</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="7">           1. Es obligatorio el uso de los siguientes equipos de protección personal:           <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mandil.</li> <li>• Orejeras.</li> <li>• Guantes.</li> <li>• Visores.</li> </ul>           2. Si se presenta algún tipo de situación insegura se debe comunicar de manera inmediata. Estas pueden ser:           <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cortocircuitos.</li> <li>• Atascamiento de la válvula de compuerta.</li> <li>• Presencia de agentes tóxicos o nocivos.</li> </ul> <b>Orden y limpieza.</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar todos los materiales utilizados en el banco de pruebas en su respectivo lugar, como son: los cables la extensión y la mesa donde se colocará el ordenador.</li> <li>• No colocar objetos como comida, equipos electrónicos o herramientas encima del banco de pruebas.</li> <li>• Mantener los pasillos y el piso secos y libres de obstáculos</li> </ul> </td> <td>           Revisar que el depósito de agua se encuentre totalmente lleno.         </td> <td>           Llenar el tanque hasta el nivel indicado, tener precaución de no sobrepasar el nivel y mantenerlo así.         </td> <td> <b>Materiales:</b>            Suministro de agua.            Manguera de ½ “         </td> </tr> <tr> <td>           Verificar que en el interior del tanque no se encuentren desperdicios que puedan ser succionado por el sistema.         </td> <td>           Limpiar el interior y el exterior del depósito de agua, retirando todo contaminante existente.         </td> <td> <b>Materiales:</b>            Escoba.                      Guaipe            Brocha.                      Franela            Recogedor         </td> </tr> <tr> <td>           Examinar que la válvula de drenaje del depósito de agua este cerrada.         </td> <td>           Cerciorarse de que la válvula de globo instalada en la salida se encuentre en modo bloqueo de no ser así bloquear la salida de agua.         </td> <td> <b>Materiales:</b>            Guantes.            Visores.         </td> </tr> <tr> <td>           Abrir en su totalidad la válvula de compuerta ubicada en la salida de la bomba.         </td> <td>           Girar el volante de la válvula en sentido antihorario hasta que ya no pueda dar más giros el volante.         </td> <td> <b>Materiales:</b>            Guantes.            Visores.         </td> </tr> <tr> <td>           Suministrar energía eléctrica al tablero de control.         </td> <td>           Utilizando la extensión ubicada en el banco de pruebas conectarla a cualquier punto de corriente existente en el laboratorio y administrar al tablero de control.         </td> <td> <b>Materiales:</b>            Puntos de conexión a 110v ubicados en el laboratorio.            Extensión de calibre 12, par gemelo.         </td> </tr> <tr> <td>           Suministrar energía eléctrica al motor de la bomba centrífuga.         </td> <td>           Conectar a la alimentación de 220v el motor de la bomba teniendo en cuenta que el cable no esté en contacto con el fluido del tanque.         </td> <td> <b>Materiales:</b>            Punto de conexión a 220v ubicado en el laboratorio            Cable de alimentación de la bomba centrífuga.         </td> </tr> </tbody> </table>				Condiciones de seguridad	Pasos	Descripción de la actividad	Equipos / Materiales	1. Es obligatorio el uso de los siguientes equipos de protección personal: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mandil.</li> <li>• Orejeras.</li> <li>• Guantes.</li> <li>• Visores.</li> </ul> 2. Si se presenta algún tipo de situación insegura se debe comunicar de manera inmediata. Estas pueden ser: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cortocircuitos.</li> <li>• Atascamiento de la válvula de compuerta.</li> <li>• Presencia de agentes tóxicos o nocivos.</li> </ul> <b>Orden y limpieza.</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar todos los materiales utilizados en el banco de pruebas en su respectivo lugar, como son: los cables la extensión y la mesa donde se colocará el ordenador.</li> <li>• No colocar objetos como comida, equipos electrónicos o herramientas encima del banco de pruebas.</li> <li>• Mantener los pasillos y el piso secos y libres de obstáculos</li> </ul>	Revisar que el depósito de agua se encuentre totalmente lleno.	Llenar el tanque hasta el nivel indicado, tener precaución de no sobrepasar el nivel y mantenerlo así.	<b>Materiales:</b> Suministro de agua. Manguera de ½ “	Verificar que en el interior del tanque no se encuentren desperdicios que puedan ser succionado por el sistema.	Limpiar el interior y el exterior del depósito de agua, retirando todo contaminante existente.	<b>Materiales:</b> Escoba.                      Guaipe Brocha.                      Franela Recogedor	Examinar que la válvula de drenaje del depósito de agua este cerrada.	Cerciorarse de que la válvula de globo instalada en la salida se encuentre en modo bloqueo de no ser así bloquear la salida de agua.	<b>Materiales:</b> Guantes. Visores.	Abrir en su totalidad la válvula de compuerta ubicada en la salida de la bomba.	Girar el volante de la válvula en sentido antihorario hasta que ya no pueda dar más giros el volante.	<b>Materiales:</b> Guantes. Visores.	Suministrar energía eléctrica al tablero de control.	Utilizando la extensión ubicada en el banco de pruebas conectarla a cualquier punto de corriente existente en el laboratorio y administrar al tablero de control.	<b>Materiales:</b> Puntos de conexión a 110v ubicados en el laboratorio. Extensión de calibre 12, par gemelo.	Suministrar energía eléctrica al motor de la bomba centrífuga.	Conectar a la alimentación de 220v el motor de la bomba teniendo en cuenta que el cable no esté en contacto con el fluido del tanque.	<b>Materiales:</b> Punto de conexión a 220v ubicado en el laboratorio Cable de alimentación de la bomba centrífuga.
Condiciones de seguridad	Pasos	Descripción de la actividad	Equipos / Materiales																							
1. Es obligatorio el uso de los siguientes equipos de protección personal: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mandil.</li> <li>• Orejeras.</li> <li>• Guantes.</li> <li>• Visores.</li> </ul> 2. Si se presenta algún tipo de situación insegura se debe comunicar de manera inmediata. Estas pueden ser: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cortocircuitos.</li> <li>• Atascamiento de la válvula de compuerta.</li> <li>• Presencia de agentes tóxicos o nocivos.</li> </ul> <b>Orden y limpieza.</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar todos los materiales utilizados en el banco de pruebas en su respectivo lugar, como son: los cables la extensión y la mesa donde se colocará el ordenador.</li> <li>• No colocar objetos como comida, equipos electrónicos o herramientas encima del banco de pruebas.</li> <li>• Mantener los pasillos y el piso secos y libres de obstáculos</li> </ul>	Revisar que el depósito de agua se encuentre totalmente lleno.	Llenar el tanque hasta el nivel indicado, tener precaución de no sobrepasar el nivel y mantenerlo así.	<b>Materiales:</b> Suministro de agua. Manguera de ½ “																							
	Verificar que en el interior del tanque no se encuentren desperdicios que puedan ser succionado por el sistema.	Limpiar el interior y el exterior del depósito de agua, retirando todo contaminante existente.	<b>Materiales:</b> Escoba.                      Guaipe Brocha.                      Franela Recogedor																							
	Examinar que la válvula de drenaje del depósito de agua este cerrada.	Cerciorarse de que la válvula de globo instalada en la salida se encuentre en modo bloqueo de no ser así bloquear la salida de agua.	<b>Materiales:</b> Guantes. Visores.																							
	Abrir en su totalidad la válvula de compuerta ubicada en la salida de la bomba.	Girar el volante de la válvula en sentido antihorario hasta que ya no pueda dar más giros el volante.	<b>Materiales:</b> Guantes. Visores.																							
	Suministrar energía eléctrica al tablero de control.	Utilizando la extensión ubicada en el banco de pruebas conectarla a cualquier punto de corriente existente en el laboratorio y administrar al tablero de control.	<b>Materiales:</b> Puntos de conexión a 110v ubicados en el laboratorio. Extensión de calibre 12, par gemelo.																							
	Suministrar energía eléctrica al motor de la bomba centrífuga.	Conectar a la alimentación de 220v el motor de la bomba teniendo en cuenta que el cable no esté en contacto con el fluido del tanque.	<b>Materiales:</b> Punto de conexión a 220v ubicado en el laboratorio Cable de alimentación de la bomba centrífuga.																							

**ANEXO B:** Manual de operación del banco de pruebas de la turbina Francis

	<b>Puesta en marcha del banco de pruebas de la turbina Francis.</b>	<b>Código:</b> ESPOCH-FAME-LT-TF01
		<b>Fecha de elaboración:</b> 01-03-2022
		<b>Última aprobación:</b>
		<b>Versión:</b> 01
<b>Elaborado por:</b> Carlos Sinaluisa; Marcelo Guaylla	<b>Revisado por:</b> Ing. Edison Calderón	<b>Aprobado por:</b> Ing. Marco Ordoñez
<b>Objetivo:</b> Encender el banco de pruebas de la turbina Francis de forma virtual como manual, siguiendo los siguientes pasos con el fin de que no se presente ninguna situación que pudiese interrumpir con la realización de la práctica de laboratorio.		
Condiciones de seguridad	Pasos	Descripción de la actividad
<p>3. Es obligatorio el uso de los siguientes equipos de protección personal:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mandil.</li> <li>• Orejeras.</li> <li>• Guantes.</li> <li>• Visores.</li> </ul> <p>4. Si se presenta algún tipo de situación insegura se debe comunicar de manera inmediata. Estas pueden ser:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cortocircuitos.</li> <li>• Atascamiento de la válvula de compuerta.</li> <li>• Presencia de agentes tóxicos o nocivos.</li> <li>• Remordimiento de los equipos giratorios.</li> </ul> <p>Nota: de presentar alguno de estos eventos cortar de inmediato el suministro de energía.</p> <p><b>Orden y limpieza.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar todos los materiales utilizados en el banco de pruebas en su respectivo lugar, como son: los cables la extensión y la mesa donde se colocará el ordenador.</li> <li>• No colocar objetos como comida, equipos electrónicos o herramientas encima del banco de pruebas.</li> <li>• Mantener los pasillos y el piso secos y libres de obstáculos.</li> <li>• Vaciar el depósito de fluido después de culminadas las practicas.</li> <li>• No mojar, ni pintar los ánodos de sacrificio</li> </ul>	<p>Conectar la alimentación a la cDAQ, abrir el programa LabVIEW y conectar la cDAQ y el Arduino por los puertos USB al ordenador.</p>	<p>Proporcionar energía eléctrica a la cDAQ por medio de la extensión, una vez energizado conectar los cables de la cDAQ y del Arduino al computador para enlazar el software con el módulo.</p>
	<p>Comprobar en el software LabVIEW que se reconozca la cDAQ</p>	<p>En la interfaz del software se observa un bloque en la parte izquierda donde se encuentra el <b>Puerto De Comunicación</b>, ahí es donde se realiza la detección de la cDAQ que estará como <b>COM5</b>, verificando que todo este correcto procedemos a encender el módulo.</p>
	<p>Puesta en marcha del banco de pruebas.</p>	<p>Para encender el módulo se debe accionar el switch de seguridad ubicado en el tablero de control, el cual es de color negro. Tenemos dos opciones de encendido:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. En la interfaz del software pulsamos el botón <b>Prender</b>, podemos observar el encendido y como las señales medidas por los sensores son receptadas.</li> <li>2. De forma manual mediante el pulsador de arranque ubicado en el tablero de control, el cual es de color verde. Al pulsarlo en el software sucede lo mismo que en la opción 1.</li> </ol>
	<p>Adquisición de datos</p>	<p>Una vez que el módulo este encendido se debe realizar la obtención de las variables medidas por los sensores para lo cual en el panel del software debemos constatar que las variables estén estables y de ahí mediante el botón <b>Guardar</b> se crea automáticamente una carpeta con un archivo en el cual se aprecia todas los valores medidos, los cuales pueden variar de acuerdo a las condiciones de trabajo como puede ser los grados de apertura de la válvula de compuerta, la velocidad del sistema de acuerdo a la apertura de los alabes y la fuerza aplicada en el dinamómetro.</p>
<p>Detención o apagado del banco de pruebas de la turbina Francis</p>	<p>Tenemos dos opciones de apagado:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. En la interfaz del software pulsamos el botón <b>Apagar</b>, podemos observar la detención y como las señales medidas por los sensores tienden a cero.</li> <li>2. De forma manual mediante el pulsador de paro ubicado en el tablero de control, el cual es de color rojo. Al pulsarlo en el software sucede lo mismo que en la opción 1.</li> </ol>	

**ANEXO C:** Plan de mantenimiento del banco de pruebas de la turbina Francis

**ANEXO D:** Plan de mantenimiento del banco de pruebas de la turbina Francis

**ANEXO E:** Análisis de costos para la repotenciación del banco de pruebas de la turbina Francis.

**Costos directos.**

<b>Costos de accesorios y materiales.</b>				
<b>Elementos.</b>	<b>Descripción.</b>	<b>Cantidad.</b>	<b>P. unitario (USD)</b>	<b>Costos (USD)</b>
Pintura	Esmalte azul	1 gal	20	20
Pintura	Esmalte tomate	2 L	6	12
Pintura	Epóxica	1 gal	50	50
Solvente 1	Removedor de pintura	4	5	20
Solvente 2	Desoxidante	2	4	8
Solvente 3	W40	3	3	12
Teflón	Amarillo	5	2	10
Pernos y tuercas	Acero 3/4"	4	1	4
O ring	Para alabes directrices	12	1	12
O ring	Para turbina	1	5	5
Silicon	Plomo	4	4.5	18
Cepillo de acero	Cepillo manual	2	2.5	5
Espátulas	Manual	2	2	4
Lija	Manual	5	1	5
Grata	Mecánica	2	5.5	11
Válvula	De drenaje PVC	1	6	6
Pega tanque	Negro	2	20	40
<b>Costos de reparación y accesorios electrónicos.</b>				
<b>Elementos.</b>	<b>Descripción.</b>	<b>Cantidad.</b>	<b>P. unitario (USD)</b>	<b>Costos (USD)</b>
Rodamiento	De bolas	1	120	120
Rodamiento	De rodillo	1	30	30
Sello mecánico	Bomba centrifuga.	1	20	20
Empaque	Válvula de compuerta	4	5	20
Tubería	Acople a la descarga de la bomba	1	50	50
Pastillas de freno	Fibra de carbono	2	20	40
Arduino	Arduino nano	1	20	20
<b>Costos de reparación y accesorios electrónicos.</b>				
<b>Elementos.</b>	<b>Descripción.</b>	<b>Cantidad.</b>	<b>P. unitario (USD)</b>	<b>Costos (USD)</b>
Tarjeta electrónica	Amplificación de señal del sensor de caudal	1	50	50
Guarda motor	Protección de sobre tensión	1	80	80
Fusible	Protección de línea	1	25	25
Pulsadores	I/O	2	5	10
Lámparas	De señalización	2	2.5	5
Celda de carga	De 20 KN	1	30	30
Cables	Distribución de los cables.	1	50	50
Ánodos de sacrificio	Adquisición e instalación	2	80	160
			<b>Total</b>	<b>952</b>

<b>Costo de maquinaria y equipos utilizados.</b>			
<b>Maquinas / herramientas</b>	<b>Costo / hora (USD)</b>	<b>Horas del equipo</b>	<b>Costo (USD)</b>
Moladora	15	5	75
Compresor	20	6	120
Torno.	20	2	40

Fresadora	20	1	20
Entenalla	10	1	10
Santiago	15	1	15
Vehículo.	5	10	50
		<b>Total</b>	<b>330</b>

<b>Costo de maquinaria y equipos utilizados.</b>			
<b>Trabajador</b>	<b>Salario / hora (USD)</b>	<b>Horas de trabajo</b>	<b>Costo (USD)</b>
Gasfitero.	2.5	6	15
Tornero.	2.5	6	15
		<b>Total</b>	<b>30</b>

### **Costos indirectos**

<b>Costo de maquinaria y equipos utilizados.</b>			
<b>Materiales</b>	<b>Cantidad (UND)</b>	<b>Valor unitario (USD)</b>	<b>Costo (USD)</b>
Impresiones y costos	3	45	135
Anillados	3	5	15
Gastos varios (transporte, comunicación telefónica, etc.)	1	350	350
		<b>Total</b>	<b>500</b>

### **Costos totales.**

Los costos totales equivalen a la suma de los costos directos más los costos indirectos, sumados estos dos valores se tiene el valor de **\$1812,00** (Mil ochocientos doce dólares)

**ANEXO F:** Datasheet de los elementos electrónicos usados en el banco de pruebas de la turbina  
Francis



**ANEXO G:** Catálogo de los ánodos de sacrificio instalados en el banco de pruebas de la turbina Francis