



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**“REPOTENCIACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL BANCO DE
PRUEBAS DE LA TURBINA HÉLICE DE EJE HORIZONTAL DEL
LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA HIDRÁULICA DE LA
FACULTAD DE MECÁNICA”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

AUTORES:

JACINTO GUALDEMAR LÓPEZ VILLAGÓMEZ

MAGALI ALEXANDRA SANI PÉREZ

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**“REPOTENCIACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL BANCO DE
PRUEBAS DE LA TURBINA HÉLICE DE EJE HORIZONTAL DEL
LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA HIDRÁULICA DE LA
FACULTAD DE MECÁNICA”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

AUTORES: JACINTO GUALDEMAR LÓPEZ VILLAGÓMEZ

MAGALI ALEXANDRA SANI PÉREZ

DIRECTOR: ING. ALEX GIOVANNY TENICOTA GARCÍA

Riobamba – Ecuador

2022

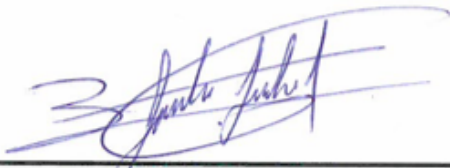
© 2022, Jacinto Galdemar López Villagómez y Magali Alexandra Sani Pérez

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

Nosotros, **Jacinto Gualdemar López Villagómez** y **Magali Alexandra Sani Pérez**, declaramos que el presente trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de Integración Curricular, el patrimonio intelectual a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 11 de Mayo del 2022



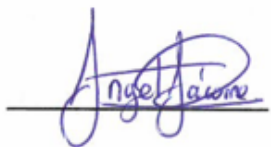
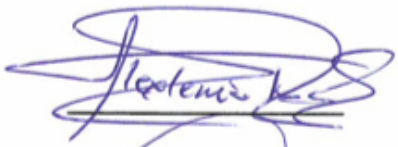

Jacinto Gualdemar López Villagómez
C.I: 060413599-6



Magali Alexandra Sani Pérez
C.I: 060404039-4

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 Y CALIBRACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS DE LA TURBINA HÉLICE DE EJE HORIZONTAL DEL LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA HIDRÁULICA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”**, realizado por el señor: **JACINTO GUALDEMAR LÓPEZ VILLAGÓMEZ** y la señorita **MAGALI ALEXANDRA SANI PÉREZ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Edwin Ángel Jácome Domínguez PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-05-11
Ing. Alex Giovanni Tenicota García DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-05-11
Ing. Marco Antonio Ordoñez Viñan MIEMBRO DE TRIBUNAL		2022-05-11

DEDICATORIA

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y la de mi familia. Dedico este trabajo de Integración Curricular a mi madre Rosa Villagómez y mi padre Adán López, que con su esfuerzo hicieron todo lo posible para que sea un profesional con ética y valores.

Jacinto Gualdemar López Villagómez

El presente trabajo de Integración Curricular se la dedico en primer lugar a Dios quien ha guiado mi camino, a mis padres y muy especialmente a mi madre y hermana María Elena Pérez y Génesis Sani quienes a pesar de la existencia de momentos difíciles han sido un pilar fundamental para llegar a cumplir tan anhelada meta.

Magali Alexandra Sani Pérez

AGRADECIMIENTO

Al finalizar este trabajo quiero utilizar este espacio para agradecer a mi tía Cecilia Ocaña, a mi hermana Graciela Tatiana, a mis hermanos Julio, Jorge, José y a mis primos Oscar, Byron .por apoyarme en cada escalón de mi vida personal y universitaria.

Jacinto Gualdemar López Villagómez

Agradezco a mi Dios que siempre me ha cuidado y levantado cuando no eh tenido fuerzas, agradezco a mi madre María Elena Pérez y a mi hermana Génesis Sani quienes me han apoyado en todo momento y siempre han estado para mí, sin embargo no menos importante me agradezco a mí misma por confiar en mí y luchar siempre por mis sueños.

Así también agradezco a mis conocidos, familiares y amigos, que de cierta manera me ha brindado sus consejos y apoyo cuando los necesite.

Magali Alexandra Sani Pérez

TABLA DE CONTENIDO

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

CAPÍTULO I

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

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	1
2.1. Turbinas hidráulicas	1
2.1.1. <i>Clasificación de las turbinas según el grado de reacción</i>	1
2.1.1.1. <i>Turbinas de acción</i>	1
2.1.1.2. <i>Turbinas de reacción</i>	1
2.1.2. <i>Definición de la turbina hélice</i>	1
2.1.3. <i>Turbina kaplan</i>	2
2.1.4. <i>Componentes de las turbinas Kaplan</i>	2
2.2. Panel de control	2
2.2.1. Componentes	3
2.2.2. Aplicaciones	4
2.2.3. Sensor de carga	4
2.2.3.1. <i>Descripción</i>	4

2.2.3.2.	<i>Información técnica</i>	5
2.2.4.	Medición de caudal	5
2.2.4.1.	<i>Medición de caudal con vertedero</i>	5
2.3.	Bomba centrífuga	6
2.3.1.	Información técnica	7
2.4.	Mantenimiento	8
2.5.	Control de la corrosión	9
2.5.1.	Tipos de corrosión	9
2.5.1.1.	<i>Corrosión química</i>	9
2.5.1.2.	<i>Corrosión bioquímica</i>	10
2.5.1.3.	<i>Corrosión electroquímica</i>	10
2.6.	Metodologías anticorrosión	10
2.7.	Técnicas de protección frente a la corrosión	10
2.7.1.	Protección anódica	11
2.7.2.	Protección catódica	11
2.7.2.1.	<i>Corriente impuesta</i>	11
2.7.3.	Ánodo de sacrificio	12
2.7.4.	Protección con inhibidores	13
2.7.5.	Protección con revestimiento	13
2.7.6.	Protección con ánodo de magnesio	13
2.7.6.1.	<i>Ánodos Clase 1. Superficies de contacto aisladas (con asfalto)</i>	13
2.7.6.2.	<i>Ánodos Clase 2. Superficies de contacto desnudas</i>	14
2.7.7.	Clasificación de ambientes según la Norma ISO 12944-5:2018	16
2.7.8.	Tipos genéricos de pinturas	17
2.8.	Ensayos con líquidos penetrantes	18
2.8.1.	Tipos líquidos penetrantes	18
2.8.2.	Métodos	18
2.8.3.	Características de los líquidos penetrantes (LP)	18
2.8.4.	Clasificación de los Líquidos Penetrantes	19
2.8.5.	Técnicas de inspección	19
2.9.	Laboratorio de turbomaquinaria hidráulica	20
2.9.1.	Equipos	20
2.9.2.	Herramientas	20
2.9.3.	Señaléticas de bioseguridad	20
2.10.	Normativas de calibración de equipos rotodinámicos	21
2.11.	Fundamentos del diagnóstico técnico y pruebas de funcionamiento en turbinas	21

CAPÍTULO III

3.	REPOTENCIACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS	22
3.1.	Análisis del sistema	22
3.1.1.	<i>Descripción de elementos</i>	22
3.1.2.	<i>Función del banco de pruebas</i>	22
3.1.3.	<i>Datos técnicos del equipo</i>	23
3.1.4.	<i>Especificación de las funciones del banco de pruebas</i>	23
3.1.5.	<i>Estudio del sistema hidráulico</i>	26
3.1.6.	Pruebas de funcionamiento	27
3.1.6.1.	<i>Evaluación de la velocidad específica de la turbina hélice de eje horizontal</i>	27
3.1.6.2.	<i>Evaluación de coeficiente de velocidad periférica</i>	28
3.1.6.3.	<i>Evaluación de número de revoluciones</i>	28
3.1.6.4.	<i>Evaluación de potencia útil</i>	28
3.1.6.5.	<i>Evaluación del caudal requerido por la turbina hélice</i>	29
3.1.6.6.	<i>Evaluación del estado de la bomba centrífuga</i>	29
3.1.6.7.	<i>Evaluación del panel de control</i>	30
3.2.	Procedimientos para seguir en la repotenciación del banco de pruebas	31
3.2.1.	Elaboración de procedimientos para seguir en el mantenimiento correctivo	31
3.2.1.1.	<i>Mantenimiento mecánico</i>	31
3.2.1.2.	<i>Mantenimiento electrónico</i>	36
3.2.2.	Elaboración de procedimientos para seguir en el mantenimiento preventivo	40
3.2.2.1.	<i>Mantenimiento mecánico</i>	40
3.3.	Elaboración de protocolos de seguridad	46
3.3.1.	Plan de seguridad	46
3.4.	Elaboración de manual de uso y plan de mantenimiento	47
3.4.1.	Diagrama de procesos	47
3.4.2.	Registro de asistencia	48
3.4.3.	Guía de práctica de laboratorio	49
3.4.4.	Registro de práctica	51
3.4.5.	Plan de mantenimiento	52

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS	53
4.1.	Análisis de resultados del diagnóstico técnico del equipo	53
4.2.	Factores de riesgo detectados y medidos	55

4.3.	Aportes a la gestión documental	55
4.3.1.	<i>Criterio B – Plan Curricular</i>	56
4.3.2.	<i>Criterio D - Ambiente Institucional</i>	56
	CONCLUSIONES	58
	RECOMENDACIONES	59
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Componentes del panel de control	3
Tabla 1-3:	Datos técnicos de los elementos del banco de pruebas	23
Tabla 2-3:	Tabla de conexiones	37
Tabla 3-3:	Plan de seguridad.....	46
Tabla 4-3:	Diagrama de procesos del banco de pruebas.....	47
Tabla 5-3:	Registro de asistencia	48
Tabla 6-3:	Registro de práctica	51
Tabla 1-4:	Datos obtenidos antes del mantenimiento	53
Tabla 2-4:	Análisis de resultados de las pruebas de funcionamiento	53
Tabla 3-4:	Relación Caudal-Altura.....	53
Tabla 4-4:	Relación Caudal-RPM.....	54
Tabla 3-4:	Evaluación de indicadores.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Vertedero de medida	5
Figura 2-2:	Vertedero rectangular	6
Figura 3-2:	Bomba centrífuga	6
Figura 4-2:	Datos técnicos de la bomba centrífuga.....	7
Figura 5-2:	Celda con corriente impuesta.	11
Figura 6-2:	Protección por ánodo de sacrificio.	12
Figura 7-2:	Protección por ánodo de magnesio.....	12
Figura 8-2:	Ánodo de Mg, tipo varilla (núcleo de alambre)	16
Figura 1-3:	Bomba centrífuga	24
Figura 2-3:	Turbina y manómetro de medición de presión.....	25
Figura 3-3:	Tubo de aspiración	25
Figura 4-3:	Segundo depósito de agua	26
Figura 5-3:	Panel de control	26
Figura 6-3:	Turbina hélice de eje horizontal	27
Figura 7-3:	Turbina corroída y álabes deteriorados	29
Figura 8-3:	Bomba centrífuga con fugas.....	30
Figura 9-3:	Tablero de control inhabilitado	30
Figura 10-3:	Aerosoles utilizados	32
Figura 11-3:	Ensayos con líquidos penetrantes.....	32
Figura 12-3:	Antes del mantenimiento.....	33
Figura 13-3:	Después del mantenimiento.....	33
Figura 14-3:	Tubería de acrílico antes del mantenimiento.....	34
Figura 15-3:	Tubería de acrílico después del mantenimiento	34
Figura 16-3:	Tubería con presencia de corrosión.....	35
Figura 17-3:	Tuberías después del mantenimiento	35
Figura 18-3:	Placas electrónicas implementadas	38
Figura 19-3:	Placas electrónicas implementadas	38
Figura 20-3:	Dinamómetro digital y cámara (sistema anterior).....	39
Figura 21-3:	Sensor celda de carga (sistema implementado).....	39
Figura 22-3:	Paredes lijadas – limpieza	40
Figura 23-3:	Desoxidante y removedor de pintura.....	41
Figura 24-3:	Aplicación de pintura de fondo	41
Figura 25-3:	Aplicación de pintura epoxi	42
Figura 26-3:	Aplicación externa de pintura anticorrosiva.....	42

Figura 27-3:	Empaque antes del mantenimiento.....	43
Figura 28-3:	Empaque después del mantenimiento	43
Figura 29-3:	Después del mantenimiento preventivo	44
Figura 30-3:	Mantenimiento preventivo al tubo de aspiración.	44
Figura 31-3:	Ánodo de Mg clase 2 tipo MVA-2.23-AAF.....	45
Figura 32-3:	Desarrollo de plan de mantenimiento.....	52
Figura 1-4:	Ejecución del programa LabVIEW y arduino.....	55

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-4:	Relación Caudal-Altura	54
Gráfico 2-4:	Relación Caudal-RPM.....	54
Gráfico 3-4:	Resultados de la evaluación	56

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Diagrama de bloques del software LabVIEW

ANEXO B: Plan de mantenimiento

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

C1	Categoría muy bajo
C2	Categoría bajo
C3	Categoría medio
C4	Categoría elevado
C5	Categoría muy alto
Im1	Inmersión en agua dulce
Im2	Inmersión en agua de mar o salobre
Im3	Enterrado en el suelo
AK	Pinturas alquídicas
AY	Pinturas acrílicas
ESI	Pinturas de silicato de etilo
EP	Pinturas para recubrimientos epoxi
PUR	Pinturas para revestimiento de poliuretano
PAS	Pinturas para revestimiento poliaspárticos
PS	Pintura para revestimientos de polisiloxano
LP	líquidos penetrantes

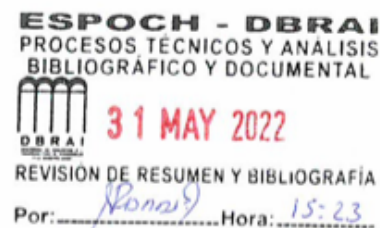
RESUMEN

El presente trabajo de integración curricular tuvo como objetivo la repotenciación y calibración del banco de pruebas de la turbina hélice de eje horizontal del Laboratorio de Turbomaquinaria Hidráulica de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo. Para lo cual se desarrolló el diagnóstico técnico de las fallas, lo que permitió definir los parámetros de automatización, mantenimiento preventivo y correctivo. La repotenciación se llevó a cabo mediante la implementación de las metodologías anticorrosivas siguiendo los lineamientos de la norma ISO 12944, por lo que se aplicó pintura anticorrosiva al depósito de agua. Además se aplicó la norma ASTM B 843 que se basa en la protección con ánodo de magnesio y la norma ASTM E 165-18 que sustenta la aplicación de ensayos con líquidos penetrantes. Posteriormente se realizó la calibración y el mantenimiento correctivo y preventivo de partes y accesorios. Para la automatización se utilizó el software LabVIEW versión 2020 el cual facilitó la operación del sistema. Se concluye que el banco de pruebas cumple con su función requerida y que la aplicación de parámetros de automatización recolectó y procesó las variables a ser medidas. Por tanto, se recomienda al técnico encargado del laboratorio, revisar periódicamente el plan de mantenimiento y manipular con cuidado partes, elementos y panel de control para evitar problemas en su funcionamiento.

PALABRAS CLAVE

< PARÁMETROS DE AUTOMATIZACIÓN>, < DIAGNOSTICO TÉCNICO DE LAS FALLAS >, < REPOTENCIACIÓN Y CALIBRACIÓN>, < METODOLOGÍAS ANTICORROSIVAS>, < LABVIEW>.

1061-DBRA-UTP-2022



SUMMARY

The objective of this research work was the repowering and calibration of the test bank of the horizontal axis propeller turbine of the Hydraulic Turbomachinery Laboratory of Mechanics at Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. The technical diagnosis of the faults was developed, which allowed defining the parameters of automation, preventive and corrective maintenance. The repowering was carried out through the implementation of anticorrosive methodologies following the guidelines of the ISO 12944 Standard, for which anticorrosive paint was applied to the water tank. In addition, the ASTM B 843 Standard was applied, which is based on magnesium anode protection, and the ASTM E 165-18 Standard, that supports the application of tests with penetrating liquids. Subsequently, the calibration and corrective and preventive maintenance of parts and accessories were carried out. For automation, LabVIEW version 2020 software was used, which facilitated the operation of the system. It is concluded that the test bank fulfills its required function and that the application of automation parameters collected and processed the variables to be measured. Therefore, the technician in charge of the laboratory is recommended to periodically review the maintenance plan and carefully handle parts, elements and the control panel to avoid problems in their operation.

Keywords: <AUTOMATION PARAMETERS> <TECHNICAL FAULT DIAGNOSIS>
<REPOWERING AND CALIBRATION> <ANTI-CORROSIVE METHODOLOGIES>
<LABVIEW (SOFTWARE)>.



Sandra Paulina Porrás Pumalema

C.I. 0603357062

INTRODUCCIÓN

La facultad de Mecánica de la EsPOCH fue fundada en 1973, la cual posee 11 laboratorios didácticos que realizan simulaciones técnicas que conllevan a la formación cada estudiante, el Laboratorio de Turbomaquinaria Hidráulica existe 9 bancos de pruebas los cuales, 5 son los más antiguos los cuales requieren realizar la repotenciación y calibración de cada uno de ellos.

El banco de pruebas de la turbina de hélice de eje horizontal se encuentra fuera de funcionamiento desde el año 2017, los problemas presentes son el exceso de corrosión en el depósito de agua, acrílico en mal estado, turbina con presencia de fugas, hélice con grietas, álabes fisurados, bomba centrífuga con complicaciones en su impeler y tablero de control desconfigurado.

Todos estos problemas mencionados anteriormente son tomadas mediante medidas sujetas a las investigaciones y normativas que puedan ayudar a la repotenciación, considerando así las pruebas de líquidos penetrantes que se realizará en los álabes de la turbina.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

Entre las turbinas más empleadas en lo que son centrales hidroeléctricas son Pelton, Francis y Kaplan.

La turbina Kaplan con hélice de eje horizontal se la define como una turbina de flujo axial, es utilizada en centrales hidroeléctricas con saltos de pequeña altura que por lo general tiene una presión del agua poco elevada (Oriol, 2020).

Esta turbina se la asemeja con la turbina Francis debido a que ambas poseen un distribuidor tipo Fink, sin embargo, esta consta de una carcasa en espiral, de sección circular o rectangular y de un tubo de aspiración.

Es fundamental mencionar que la turbina Kaplan permiten mayor número posibles de configuraciones, al igual que la turbina de hélice que tiene fijas las palas o álabes del rotor, cuando éstas son orientables se tiene la turbina Kaplan, donde se puede mencionar que éstas funcionan con un único sentido de giro de rotación y son llamadas turbinas irreversibles.

En el edificio de la Facultad de Mecánica, dentro del laboratorio de Turbomaquinaria Hidráulica existe la turbina hélice de eje horizontal el cual tiene como finalidad realizar talleres prácticos de una manera más favorable y óptima. Sin embargo, debido a fallas mecánicas e inhabilitación de este banco de pruebas se ha venido notando el desuso durante los últimos seis años sin funcionar.

1.2. Justificación y actualidad

Debido al transcurso de seis años que fue su última repotenciación el banco de pruebas de turbina hélice de eje horizontal se encuentra fuera de funcionamiento por lo cual es necesario habilitarlo para promover el aprendizaje de los conocimientos impartidos.

Para comprender de mejor manera el funcionamiento del banco de pruebas, la eficiencia que brinda entre otros beneficios, surge la necesidad de la repotenciación del activo a través de los estudiantes de la carrera de Mantenimiento Industrial con la realización del Trabajo de Integración

Curricular., ayudando de igual manera que los docentes puedan impartir las asignaturas dentro del laboratorio.

1.3. **Planteamiento de problema**

La Facultad de Mecánica posee el laboratorio de Turbomaquinaria Hidráulica el cual cuenta con bancos de pruebas, entre los activos se encuentra el banco de pruebas de la turbina hélice de eje horizontal, el cual se encuentra fuera de funcionamiento lo que impide demostrar los diferentes ensayos técnicos que se realiza.

Las principales partes y elementos que no permiten el correcto funcionamiento del banco de pruebas son: la turbina hélice que contiene elementos fisurados y deteriorados, el panel de control que se encuentra afectado físicamente y desconfigurado su programación, la bomba centrífuga que está fuera de operatividad, el depósito de agua que se encuentra corroído debido a la ausencia de la aplicación de un método de control.

Se plantea realizar la repotenciación, aplicando el diagnóstico técnico de fallas existentes, definir los parámetros de automatización y mantenimiento necesario para el banco de pruebas, además de la implementación de metodologías anticorrosivas, logrando así su óptimo funcionamiento.

1.4. **Objetivos**

1.4.1. ***Objetivo general***

Repotenciar y calibrar el banco de pruebas de la turbina hélice de eje horizontal del laboratorio de Turbomaquinaria Hidráulica de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo.

1.4.2. ***Objetivos específicos***

Desarrollar el diagnóstico técnico de las fallas presentes y definir los parámetros de automatización y mantenimiento recomendados para el banco de pruebas de la turbina hélice de eje horizontal del laboratorio en estudio.

Seleccionar e implementar metodologías anticorrosivas, técnicas de automatización y procedimientos necesarios de mantenimiento en partes y accesorios del banco de pruebas del laboratorio en estudio.

Analizar los resultados de las pruebas de funcionamiento en el banco de pruebas de la turbina Hélice de eje horizontal del laboratorio en estudio.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Turbinas hidráulicas

Se define como maquina hidráulica en donde un fluido incomprensible ocasiona un cambio de energía, perteneciendo a este grupo las maquinas que trabajan con un líquido. En las turbinas hidráulicas el fluido no experimenta cambios apreciables de densidad a su paso.

2.1.1. *Clasificación de las turbinas según el grado de reacción*

Para la clasificación de las turbinas se consideran dos aspectos fundamentales como son sus características y la manera en la cual funcionan, entre ellas están:

2.1.1.1. *Turbinas de acción*

En las turbinas de acción la energía de presión potencial se convierte completamente en el distribuidor en energía cinética. El flujo atraviesa el rotor sin presión y con admisión parcial. La admisión parcial significa que el chorro solo incide en algunos de los álabes móviles al mismo tiempo. Un ejemplo típico de una turbina de acción es la turbina Pelton.

2.1.1.2. *Turbinas de reacción*

La presión en las turbinas de reacción es mayor a la entrada del rotor que a la salida. La conversión de la energía de presión potencial se produce en el distribuidor y en el rotor. La energía cinética se convierte en el rotor en trabajo mecánico. El flujo atraviesa el rotor con admisión total. Por admisión total se entiende que el fluido de trabajo fluye por todo el perímetro de los rotores. Un ejemplo típico de una turbina de reacción es la turbina Kaplan (Hamburg, 2018).

2.1.2. *Definición de la turbina hélice*

La turbina de hélice es una turbina de reacción por la que el flujo circula axialmente. A diferencia de las turbinas Kaplan, las turbinas de hélice tienen un rotor con álabes fijos. Estas turbinas se utilizan con saltos pequeños y caudales de agua muy grandes. La potencia de la turbina se regula

mediante el ajuste de los álabes en el distribuidor. En la práctica, las turbinas de hélice y turbinas Kaplan se utilizan en centrales hidroeléctricas de agua fluyente (Gunt, 2021).

2.1.3. *Turbina kaplan*

La turbina kaplan es una turbina hélice con álabes regulables y debe su nombre al ingeniero Víctor Kaplan (1876 - 1934), profesor de la Universidad Técnica de Bruno Checoslovaquia, quien concibió la idea de corregir el paso de los álabes con las variaciones de la potencia.

De manera constructiva, este tipo de turbina hidráulica es una hélice, donde las palas pueden orientarse, ya que el flujo de agua varía, este tipo de turbina hidráulica se puede fabricar con eje horizontal, inclinado o con eje vertical (Planas, 2020).

2.1.4. *Componentes de las turbinas Kaplan*


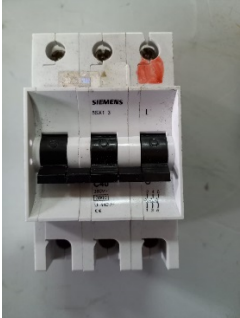

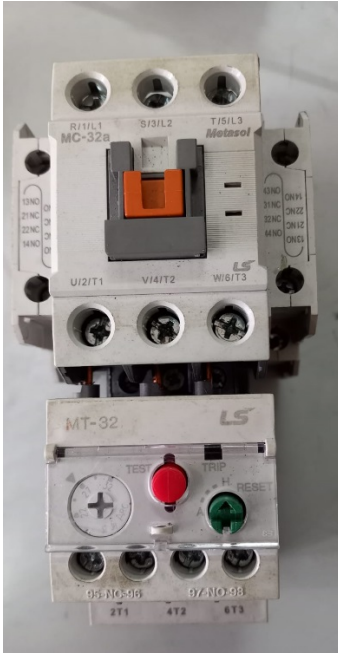


- Álabes
- Cámara espiral. Metálica o de hormigón, de secciones apropiadas.
- Cojinete guía de turbina
- Cojinete de empuje
- Distribuidor
- Eje
- Estator
- Equipo de sellado del eje de turbina
- Generador
- Puertas
- Rotor
- Turbo de aspiración

2.2. **Panel de control**

Sistema operativo que permite al usuario modificar la configuración y los controles del sistema, se incluye varias aplicaciones pequeñas o paneles de control, que se utilizan para ver y cambiar configuraciones de hardware o software, permiten que una instalación eléctrica funcione correctamente, sirve para gestionar, cambiar y adaptar no solo su infraestructura de TI, sino también la manera en que su empresa opera en todos sus procesos, para ello se consideran algunos materiales descritos a continuación:

2.2.1. Componentes

Tabla 1-2: Componentes del panel de control

Descripción de componentes	
Pulsador Seta Emergencia	Breaker trifásico
	
Relé de estado sólido	Contactor trifásico con relé térmico
	
Tarjeta de Adquisición de datos	Fuente de voltaje AC/DC
	

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2021.

2.2.2. *Aplicaciones*

Aplicado en diferentes tecnologías para controlar y monitorizar un proceso, máquina o dispositivo que habitualmente cumple funciones o tareas repetitivas, haciendo que opere automáticamente.

- **Tableros de distribución:** Son utilizados cuando una instalación eléctrica es dividida en circuitos derivados. Cada uno de los sub circuitos cuenta con elementos de protección como disyuntores, fusibles o interruptores termomagnéticos.
- **Tablero de paso:** Son aquellos que están orientados a proteger partes de un circuito que por sus características técnicas o eléctricas no pueden ser conectados directamente a un alimentador principal, sub-alimentador o línea de distribución.
- **Tablero de comando:** Ayudan a proteger y poner en funcionamiento de forma simultánea equipos, dispositivos o artefactos individuales o grupales los mismo que son pertenecientes a un mismo circuito principal.
- **Tablero de centro de control:** Compuestos por una combinación de dispositivos de protección o maniobra o solamente uno de los dos grupos, que permiten la operación de equipos de forma individual, grupos o subgrupos en forma programada o no programada.
- **Tablero de alumbrado:** Es un elemento que sirve para controlar y dividir circuitos de una instalación eléctrica, en la cual también es posible alimentar y controlar diversos centros de carga; esta protección está controlada por interruptores termomagnéticos de uno, dos y tres polos. Los tableros van dirigidos a pequeños y grandes negocios, oficinas, centros comerciales donde se requiere dividir la instalación por zonas.

2.2.3. *Sensor de carga*

2.2.3.1. *Descripción*

Celda de carga resistiva con una capacidad de 50kg, ideal para poder medir variaciones sobre presión en una superficie o como simple transductor para medir un peso de algún elemento en contacto con el dispositivo. Es un sensor que se utiliza para convertir una fuerza en una señal eléctrica, así que el peso de un objeto corresponde a un determinado voltaje. Funcionamiento: la lámina de metal se deforma y produce una variación de resistencia, la cual es proporcional al peso aplicado (Ternopura, 2020).

2.2.3.2. Información técnica

Peso:	30 g
Dimensiones:	3.4 × 3.4 × 0.7 cm
Color:	Plateado
Largo del cable:	40 cm

2.2.4. Medición de caudal

2.2.4.1. Medición de caudal con vertedero

La utilización de este método permite la lectura periódica del caudal en una escala, por tal motivo aparte de su sencillez es recomendable usarlo para seguimiento de caudales. Los vertederos consisten en una pequeña presa, la cual tiene una ventana por la que fluye el caudal y su magnitud se determina por la altura de su cresta (Ortíz, 2011 pág. 108).

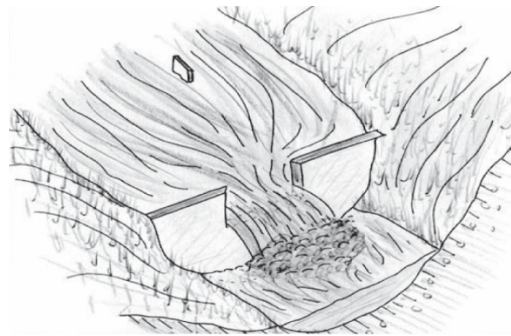


Figura 1-2: Vertedero de medida

Fuente: Ortíz, 2011.

Para lo cual el caudal se determina mediante la siguiente expresión (Ortiz, 2022 pág. 118):

$$Q=1.8 (L-0.2 h)h^{(3/2)} \text{ [lt/s]} \quad (1)$$

Donde:

- **L** = ancho de la cresta (m)
- **h** = altura de la cresta (m)

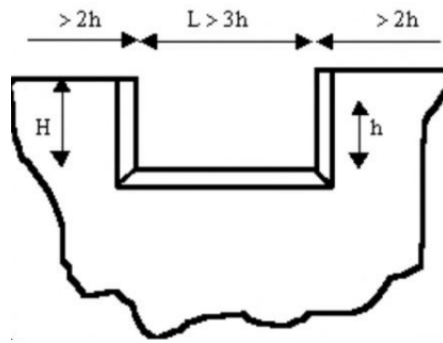


Figura 2-2: Vertedero rectangular

Fuente: Ortíz, 2022.

2.3. Bomba centrífuga

Una bomba centrífuga es considerada como un tipo de bomba hidráulica puesto que sirve para transformar la energía mecánica de un impulsor o rodete en energía cinética o de presión de un fluido incompresible. Por lo tanto, se puede decir que la bomba centrífuga convierte la energía con la que es accionada, en este caso mecánica, en energía hidráulica. (Inoxmim, 2018) , se observa la bomba centrífuga a estudio.



Figura 3-2: Bomba centrífuga

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2022.

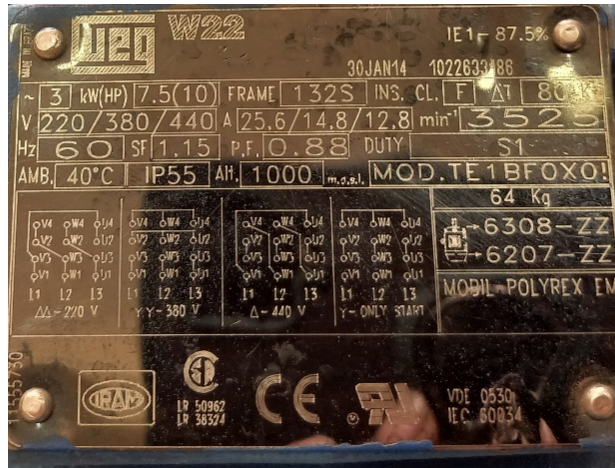


Figura 4-2: Datos técnicos de la bomba centrífuga

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2022.

2.3.1. Información técnica

Marca:	Weg
Potencia:	10 Hp
Frecuencia:	60 Hz
Tipo de motor:	Trifásico
Voltaje:	220/380/440
Velocidad:	1750 rpm

El mantenimiento y la frecuencia de las revisiones dependen de las horas de funcionamiento de la bomba, la severidad de las condiciones de servicio y de los materiales utilizados en su construcción. En general se reducen bastante, siempre que sigan entre otras las siguientes recomendaciones:

- Es necesario observar la pequeña fuga de líquido a través de la empaquetadura (si va con prensa estopa). Esta fuga es necesaria para que se verifique el cierre hidráulico que impide la toma de aire, al tiempo que actúa como líquido refrigerante de la empaquetadura y el eje. Una fuga excesiva indica desgaste, por lo que la prensa estopa deberá repararse o sustituirse.
- El motor y la bomba han de girar sin trepidaciones, saltos ni ruidos extraños. Es necesario que los rodamientos estén, en todo momento, convenientemente lubricados con aceite o grasa.
- Comprobar habitualmente que el consumo de corriente del motor a la presión de trabajo de la bomba no excede de los valores señalados en la placa.

- El cierre mecánico o retén automático no precisa atención alguna, pero jamás ha de trabajar en seco ni con aguas sucias, arenosas o sólidos en suspensión, pues se rayaría y sufriría un desgaste prematuro y la consiguiente fuga de líquido.
- Si una bomba está haciendo un servicio de reserva o si no se utiliza durante largos períodos de tiempo, las partes móviles se han de girar varias veces a la semana para que no se agarroten. (Jiménez, 2018 pág. 420)

2.4. **Mantenimiento**

Para la reparación de centrales hidroeléctricas se considera lo siguiente:

- Cálculos para obtención de máximo rendimiento eléctrico.
- Desmontaje de maquinaria y montaje.
- Recuperación de ejes.
- Construcción de ejes.
- Refrentado de tapas, bridas y carcasas.
- Recuperación de cojinetes anti fricción, metal blanco o bronce.
- Estopadas especiales, cierres mecánicos.
- Diseño de nuevos rodamientos axiales y radiales.
- Cambio de rodamientos o cojinetes axiales por rodamientos combinados.
- Reparación y construcción de tubos de aspiración.
- Construcción de tuberías de presión.
- Reconstrucción de palas directrices y fijas.
- Reparación de válvulas, todos los tipos.
- Reparación de compuertas y automatización.

Mantenimiento industrial de centrales hidráulicas:

- Revisiones programadas de la instalación.
- Control del nivel de lubricante.
- Control de temperatura.
- Control de correcto funcionamiento de la C.H.
- Control de datos a distancia.
- Limpieza y adecuación de la C.H.
- Engrase y cambios de lubricante (tiempos pre-establecidos).
- Pintura y mantenimiento de áreas exteriores.

- Limpieza de areneros y canales.
- Mantenimiento de la Obra Civil. (Riba, 2021)

2.5. **Control de la corrosión**

La corrosión es un proceso electroquímico en el cual un metal reacciona con su medio ambiente para formar óxido o algún otro compuesto. La celda que causa este proceso está compuesta esencialmente por tres componentes: un ánodo, un cátodo y un electrolito (la solución conductora de electricidad) (BalansChem, 2021).

Las técnicas de control de corrosión con las cuales se puede diseñar o seleccionar el sistema de protección, son las siguientes:

- Diseño de materiales o componentes.
- Selección de materiales.
- Pasivadores o inhibidores.
- Recubrimientos o revestimientos.
- Protección catódica.

2.5.1. *Tipos de corrosión*

2.5.1.1. *Corrosión química*

Las industrias químicas y del petróleo tienen los problemas más graves de corrosión química. En la industria del petróleo, el agua salada, los sulfitos, ácidos orgánicos y otros contaminantes aceleran la corrosión.

Las formas de control de este tipo de corrosión son:

- Adición de inhibidores al medio corrosivo.
- Uso de recubrimientos ya sea metálicos o no metálicos.
- Utilización de atmósferas inertes u hornos de atmósfera controlada.

2.5.1.2. *Corrosión bioquímica*

Está constituida por el ataque de los metales por parte de bacterias, y que tiene lugar en objetos metálicos enterrados o sumergidos en aguas estancadas.

2.5.1.3. *Corrosión electroquímica*

La corrosión por acción electroquímica es la que tiene lugar sobre los metales expuestos a la atmósfera húmeda, o sumergidos en agua, enterrados, o inmersos en medios electrolíticos (agua de mar, soluciones de ácidos, sales y álcalis).

2.6. **Metodologías anticorrosión**

El acero desprotegido en la atmósfera, el agua y el suelo está sujeto a corrosión que puede provocar daños. Por lo tanto, para evitar daños por corrosión, las estructuras de acero normalmente están protegidas para resistir los esfuerzos por corrosión durante la vida útil requerida de la estructura.

Mediante la Norma ISO 12944, se puede proteger las estructuras de acero de la corrosión, por lo cual esta Norma trata la protección mediante sistemas de pintura y protege, en las distintas partes, todas las características que son importantes para lograr una protección adecuada contra la corrosión (ISO 12944-5).

Los tratamientos anticorrosivos consisten en la aplicación de un recubrimiento que protege las piezas del contacto directo con el oxígeno u otros componentes que puedan oxidarla. Para ello existen diferentes técnicas y productos en función del material del que esté fabricado la pieza y del uso que se le vaya a dar.

2.7. **Técnicas de protección frente a la corrosión**

Para que exista la corrosión electroquímica o húmeda es necesario que se ponga en funcionamiento una pila o celda de corrosión que denota la existencia de un ánodo, un cátodo y un electrolito. En el momento en que uno de estos tres elementos básicos para el funcionamiento de una pila falle, ésta dejará de funcionar y por tanto se detendrá la corrosión (Lucas, 2018 pág. 69).

2.7.1. *Protección anódica*

La protección anódica se basa en aplicar un potencial anódico (corriente impuesta) a un material pasivable, de tal forma que éste se encuentre en su zona de pasividad.

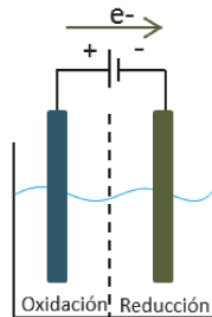


Figura 5-2: Celda con corriente impuesta.

Fuente: Lucas, 2018.

2.7.2. *Protección catódica*

2.7.2.1. *Corriente impuesta*

Consiste en aplicar exteriormente una corriente eléctrica, desde una fuente o generador, de tal forma que la estructura a proteger actúe de cátodo del par. Mediante esta técnica la corrosión se reduce virtualmente a cero y se puede mantener una superficie metálica en un medio corrosivo, sin sufrir deterioro durante un tiempo indefinido.

Se pueden usar diferentes tipos de ánodos:

- Ánodos inertes, que son aquellos que no van a sufrir ningún tipo de deterioro, tales como: metales nobles, titanio Ti, óxidos metálicos inertes.
- Ánodos parcialmente agotables, los cuales tendrán que ser revisados periódicamente con el fin de asegurar su integridad, entre ellos se destacan los compuestos por: grafito, aleaciones de hierro con elevados contenidos en silicio (HSI) y aleaciones de plomo.
- Ánodos agotables, los cuales son económicamente muy viables pero están sujetos a una revisión continua para comprobar que la protección catódica sigue siendo efectiva, en este grupo se destaca por su gran empleo el hierro (barcos viejos, tuberías sin usar, etc.).

2.7.3. *Ánodo de sacrificio*

Se trata de formar una pila galvánica en la que el metal a proteger actúe forzosamente de cátodo (polo positivo de la pila), mientras que el metal anódico se “sacrifica”, es decir, que se corroe.

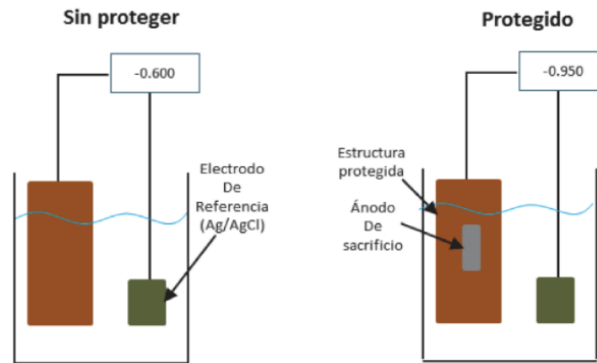


Figura 6-2: Protección por ánodo de sacrificio.

Fuente: Lucas, 2018.

Los ánodos de sacrificio más empleados son el magnesio, el zinc y el aluminio. El material que más se emplea como ánodo de sacrificio es el zinc. Los ánodos de magnesio se utilizan cuando se quiere proteger estructuras en medios agresivos (como suelos, véase Figura 6.3) o que se requiera de una polarización rápida. El aluminio también se emplea como ánodo de sacrificio debido a sus características electroquímicas.

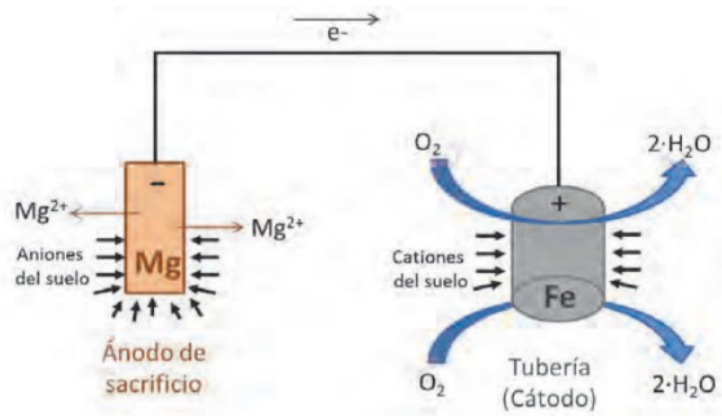


Figura 7-2: Protección por ánodo de magnesio.

Fuente: Lucas, 2018.

2.7.4. *Protección con inhibidores*

Es una sustancia que añadida al medio en pequeñas concentraciones disminuye la velocidad de corrosión.

2.7.5. *Protección con revestimiento*

Sistemas multifuncionados integrados que pueden combinar más de un tipo de recubrimiento.

Recubrimientos orgánicos: como pinturas., resinas, lacas y barnices.

- **Recubrimientos inorgánicos:** como esmaltes, revestimientos de vidrio y recubrimientos de conversión.
- **Recubrimientos metálicos:** inmersión en caliente, electro plateado, revestimiento, deposición química de vapor o modificando la superficie usando directamente haces de energía (láser o iónicos) (Lucas, 2018).

2.7.6. *Protección con ánodo de magnesio*

Para trabajar con ánodos de magnesio se aplica la norma equivalente: ASTM B - 843, considerando así su clase y tipo correspondiente (Chávez, 2017).

2.7.6.1. *Ánodos Clase 1. Superficies de contacto aisladas (con asfalto)*

- **Tipo MCP X DAA:** ánodo de Mg elipsoidal hidrodinámico para timones y cascos pequeños, núcleo de pletina, extremos redondeados.
- **Tipo MCP-X-CBB:** ánodo de Mg trapezoidal hidrodinámico para cascos, núcleo de pletina, extremos doblemente biselados.
- **Tipo MCP-X-DBB:** ánodo de Mg trapezoidal hidrodinámico para cascos, núcleo de pletina, extremos redondeados.
- **Tipo MCP-1.3-DBC:** ánodo de Mg paraboloidal hidrodinámico para cascos, núcleo de pletina 1.3 kg (2.86 lb), extremos redondeados.
- **Tipo MCP-X-EBB:** ánodo de Mg trapezoidal hidrodinámico para cascos, (núcleo de pletina), extremos oblicuos.
- **Tipo MLP-X-ABG:** ánodo de Mg concha para líneas sumergidas, núcleo de pletina, extremos rectos.

- **Tipo MLF-X-CBB:** ánodo de Mg trapezoidal hidrodinámico para casco, núcleo de pletina perforada.
- **Tipo MLF-X-EBB:** ánodo de Mg trapezoidal hidrodinámico para casco, núcleo de pletina perforada.

2.7.6.2. *Ánodos Clase 2. Superficies de contacto desnudas*

- **Tipo MCP-X-EAB:** ánodo de Mg trapezoidal para estructuras sumergidas (núcleo de pletina), extremos oblicuos.
- **Tipo MCT-7.1-EAB:** ánodo de Mg trapezoidal para tanques, (núcleo de tubo) 7.1 kg (15.65 lb), extremos oblicuos.
- **Tipo M0T-X-ADD:** ánodo de Mg cilíndrico para estructuras sumergidas (núcleo de tubo) extremos rectos.
- **Tipo M0T-22.6-ACC:** ánodo de Mg para contravientos (núcleo de tubo) 22.6 kg (50 lb), sección paraboloidal.
- **Tipo M0T-22.6-AAB:** ánodo de Mg para contravientos 22.6 kg (50 lb), sección cuadrada.
- **Tipo MTB-23.5-AEB:** ánodo de Mg para tanqueros (núcleo de abrazadera, extremos doblados) 23.5 kg (52lb), sección cuadrada.
- **Tipo MTP-23.5-AAB:** ánodo de Mg para tanqueros (núcleo de pletina) 23.5 kg (52lb), sección trapezoidal.
- **Tipo MTP-19-ADB:** ánodo de Mg para tanqueros (núcleo de pletina) 19 kg (42 lb), extremos rectos.
- **Tipo MTC -204-AAF:** ánodo de Mg para tanqueros (núcleo de canal) 204kg (450 lb), extremos rectos.
- **Tipo MVA -2.23-AAF:** ánodo de Mg tipo varilla (núcleo alambre) 2.23 kg/m (1.5 lb/ft), extremos rectos.
- **Tipo MVA -0.34-AAF:** ánodo de Mg tipo cinta (núcleo alambre) 0.34 kg/m (0.23 lb/ft), extremos rectos.
- **Tipo MST -7-ABB:** ánodo de Mg trapezoidal, para estructuras enterradas (núcleo de tubo) 7 kg (15.43 lb), extremos rectos.
- **Tipo MST -X-AAD:** ánodo de Mg cilíndrico, para estructuras enterradas (núcleo de tubo) extremos rectos.

Designación

Primera letra: designa el metal del ánodo

M = aleación de magnesio

Segunda letra: designa uso o forma

C = ánodo para casco

O = ánodo de contravientos

T = ánodo de tanqueros

V = ánodo para varilla

I = ánodo para cinta

S = ánodo para estructuras enterradas

L = ánodos para líneas sumergidas

Tercera letra: designa el núcleo

T = núcleo de tubo

E = núcleo de perno

B = núcleo de abrazadera

C = núcleo de canal

A = núcleo de alambre

P = núcleo de pletina

R = núcleo de tubo con oreja de levante

F = núcleo de pletina perforada

Número o letra: designa el peso aproximado

X = peso aproximado

Antepenúltima letra: designa la forma de los extremos

A = extremos rectos

B = bisel sencillo

C = bisel doble

D = extremos redondeados

E = extremos oblicuos

Penúltima letra: designa la posición del núcleo

A = axial recto

B = transversal

C = doble

D = soporte abrazadera extremos rectos

E = soporte abrazadera extremos doblados

Última letra: designa la forma del ánodo

A = elipsoidal

B = trapezoidal

C = paraboidal

D = rectangular

F = cilíndrico

G = concha



Figura 8-2: Ánodo de Mg, tipo varilla (núcleo de alambre)

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2022.

2.7.7. Clasificación de ambientes según la Norma ISO 12944-5:2018

Existen cinco categorías de corrosividad atmosférica:

- C1 muy bajo
- C2 bajo
- C3 medio
- C4 elevado
- C5 muy alto

Las siguientes tres categorías corresponden al agua y suelo

- Im1 inmersión en agua dulce
- Im2 inmersión en agua de mar o salobre
- Im3 enterrado en el suelo

Se consideran los ambientes sumergidos definidos en ISO 12944-2, excepto la categoría Im4. Los sistemas para alta mar, estructuras relacionadas y entornos Im4 se describen en ISO 12944-9 (ISO 12944-5).

2.7.8. *Tipos genéricos de pinturas*

- **Pinturas alquídicas (AK):** En estas pinturas de un solo paquete, la película se endurece / forma por evaporación del solvente y / o agua, y por reacción del aglutinante con oxígeno de la atmósfera.
- **Pinturas acrílicas (AY):** Las pinturas acrílicas son materiales de revestimiento de un solo paquete; Hay disponibles tipos a base de agua y a base de solvente. La película de pinturas acrílicas a base de solvente se seca por evaporación del solvente sin ningún otro cambio de forma, es decir, el proceso es reversible y la película se puede volver a disolver en el solvente original en cualquier momento.
- **Pinturas de silicato de etilo (ESI):** Las imprimaciones de zinc de silicato de etilo se proporcionan como materiales de revestimiento de uno o dos componentes. Sus películas se secan / se forman por evaporación del solvente y curado químico al reaccionar con la humedad del aire.
- **Pinturas para recubrimientos epoxi (EP):** son materiales de revestimiento de dos componentes. La pintura se seca por evaporación de solventes, si están presentes, y cura por una reacción química entre una base y un componente de agente de curado. La mezcla de base y agente de curado tiene una vida útil limitada.
- **Pinturas para revestimiento de poliuretano (PUR):** de un solo paquete se secan inicialmente por evaporación del solvente (donde hay solvente) y por una reacción química con la humedad del aire. El proceso es irreversible, lo que significa que el

recubrimiento no se puede disolver en el solvente original. Se encuentran disponibles tipos aromáticos y alifáticos de revestimientos de poliuretano. Los tipos aromáticos no se recomiendan para las capas superiores, ya que tienden a calentarse.

- **Pinturas para revestimiento poliaspárticos (PAS):** Las pinturas de dos componentes para recubrimientos poliaspárticos se secan por evaporación de solventes, si están presentes, y curan mediante una reacción química entre una base y un componente de agente de curado. La mezcla de base y agente de curado tiene una vida útil limitada, contiene un proceso irreversible.
- **Pintura para revestimientos de polisiloxano (PS):** Las pinturas para revestimientos de polisiloxano pueden ser materiales de revestimiento de uno o dos componentes. Los polisiloxanos son en parte inorgánicos usando resina de silicona y en parte orgánicos usando una resina modificada que es típicamente de base acrílica, acrilato o epoxi (ISO 12944-5).

2.8. Ensayos con líquidos penetrantes

El ensayo de líquidos penetrantes permite la detección de discontinuidades en materiales sólidos no porosos, siempre y cuando se encuentren abiertas a la superficie. La norma internacional la cual se realiza este ensayo es la ASTM E 165-18 Líquidos penetrantes tipo II método C (León, 2019).

2.8.1. Tipos líquidos penetrantes

- Tipo I – Tinte Fluorescente.
- Tipo II – Tinte visible.

2.8.2. Métodos

- Método A – Lavable con agua.
- Método B – Post emulsificable Lipofílico.
- Método C – Removible con Solvente.
- Método D – Post Emulsificable Hidrofílico.

2.8.3. Características de los líquidos penetrantes (LP)

- Tiene la habilidad para penetrar orificios y aberturas muy pequeñas y estrechas.

- Tiene la habilidad de mantener su color o fluorescencia.
- Tiene la habilidad de expandirse en capas muy finas.
- Tiene la resistencia a la evaporación.
- No es corrosivo.
- Es poco inflamable.
- Es estable bajo condiciones de almacenamiento.

2.8.4. *Clasificación de los Líquidos Penetrantes*

La clasificación básica de los tipos de líquidos penetrantes existentes es la que los agrupa en función de la fuente de luz que se precisa para la observación de las indicaciones que proporciona el ensayo. Se clasifican en tres grupos que son:

- Líquidos penetrantes coloreados, observación con luz visible blanca.
- Líquidos penetrantes fluorescentes, observación con luz negra (ultravioleta).
- Líquidos penetrantes mixtos (fluorescentes -coloreados), observación bajo los dos tipos de luz anteriores. (León, 2019).

2.8.5. *Técnicas de inspección*

El proceso general de ensayo por líquidos penetrantes se puede dividir en las siguientes etapas principales:

- Preparación de la superficie a ensayar, limpieza previa.
- Aplicación del líquido penetrante, tiempo de penetración.
- Si el proceso es postemulsionable, aplicación del emulsionante, tiempo de contacto.
- Eliminación del exceso de penetrante de la superficie de ensayo.
- Aplicación del revelador.
- Inspección para interpretación y evaluación de las indicaciones.
- Limpieza final.

Estas etapas se siguen con independencia de si los líquidos penetrantes son del tipo coloreados visibles o fluorescentes (Gómez de León, 2009).

2.9. Laboratorio de turbomaquinaria hidráulica

2.9.1. Equipos

- Banco de pruebas de la turbina Pelton
- Banco de pruebas de la turbina Kaplan de flujo axial
- Banco de pruebas de la turbina Francis
- Banco de pruebas de la turbina hélice de eje horizontal
- Banco de pruebas de la bomba reciprocante

2.9.2. Herramientas

- Alicata
- Arco de sierra
- Cinta métrica, metálica de 30 m
- Compas
- Copas marca Sapon y Chrono
- Destornillador estrella y plano
- Juego de herramientas
- Juego de llaves hexagonales
- Pinza
- Plano

2.9.3. Señaléticas de bioseguridad

- **Señalética de prohibición - localización (color rojo):** para señales de parada, símbolos de prohibición, este color puede ser usado además para prevenir fuego y marcar equipo contra incendio y su localización.
- **Señalética de atención – precaución (color amarillo):** para precaución y advertencia.
- **Señalética de evacuación - seguridad (color verde):** para rutas de escape, salidas de emergencia y primeros auxilios.
- **Señalética de acción obligada – información (color azul):** para obligación de uso de equipos de protección personal e información.

2.10. **Normativas de calibración de equipos rotodinámicos**

- Normas API y ASME Aplicables A Equipos Rotativos
- UNE – EN 16480
- CTN 62/SC 3 - Maquinaria para manipulación de fluidos
- Norma ISO 12944-5 , tercera edición 2018

2.11. **Fundamentos del diagnóstico técnico y pruebas de funcionamiento en turbinas**

- Descripción y funciones del banco de pruebas
- Elección de los parámetros de la turbina
- Análisis hidráulico
- Análisis mecánico

CAPÍTULO III

3. REPOTENCIACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS

3.1. Análisis del sistema

3.1.1. Descripción de elementos

El banco de pruebas consta de los siguientes elementos:

- **Turbina:** producir el paso de fluido por sus hélices, donde genera accionamientos de máquinas o generación eléctrica.
- **Tanque:** suministra de agua al sistema bomba-turbina.
- **Bomba:** transmitir la energía al fluido y lo impulsa hasta cierta altura.
- **Freno:** genera la fuerza requerida para detener el movimiento del eje, al mismo tiempo servirá para calcular el torque que entrega la turbina.
- **Sensor de carga:** convierte una fuerza en una señal eléctrica.
- **Válvula de paso:** regular el flujo de caudal a la turbina.
- **Manómetro:** mide la presión del fluido.
- **Tablero de control:** controla un proceso, así mismo protege todo el sistema con el paso excesivo de corriente, protegiendo así a la bomba.

3.1.2. Función del banco de pruebas

Conocer y analizar los principios de funcionamiento, así como el comportamiento de la turbina al estar sometida a una caída de agua, simulada mediante el uso de una bomba centrífuga, determinar el torque que se genera en su eje con las diferentes variaciones de presión y caudal que se obtiene al cambiar la apertura de la válvula.

3.1.3. *Datos técnicos del equipo*

Tabla 1-3: Datos técnicos de los elementos del banco de pruebas

Nombre	Imagen	Especificaciones
Turbina		Tipo: hélice Cantidad de álabes: 3 álabes Cantidad de caudal: 2300 l/min Diámetro de entrada: 6” Diámetro de salida: 6” Tamaño del rodete: 0.131 m Tamaño de cabeza de diseño: 6 m Velocidad: 450 rpm Velocidad del eje: 1000 rpm
Bomba centrífuga		Marca: Weg Potencia: 10 Hp Frecuencia: 60 Hz Tipo: bomba centrífuga Tipo de motor: trifásico Voltaje: 220/380/440 Velocidad: 1750 rpm
Depósito de agua		Capacidad: 6000 l Tipo de material: acero
Manómetros		Marca: Winters Rango de medición: 0-30;0 – 60 ;0-100 psi

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2022.

3.1.4. *Especificación de las funciones del banco de pruebas*

Nota: se conecta el motor a la fuente de alimentación trifásica, así como los instrumentos para su práctica correspondientes, luego se pulsa el switch de encendido.

El banco de pruebas de hélice de eje horizontal permite que la bomba centrífuga extraiga agua del depósito, el cual circula por medio de la tubería PVC ubicada en la parte superior, posteriormente regulamos el caudal con la válvula y observamos en el manómetro la medición de presión ver (Figura 1-3: Bomba centrífuga).

Una vez que el caudal llega a la turbina verificamos en el manómetro la medición de presión con que el agua ingresa a la misma, para que esta transforme la energía potencial en energía cinética específicamente (rotacional) ver (Figura 2-3: Turbina y manómetro de medición de presión), el movimiento de la turbina Francis es controlado por el distribuidor Fink el cual direcciona el caudal a los álabes de la turbina.

Por último, está el tubo de aspiración ver (Figura 3-3: Tubo de aspiración) que desaloja el agua, hacia un segundo depósito de agua ver (Figura 4-3: Segundo depósito de agua) con lo cual el nivel de agua permanece constante, este ciclo se repite consecutivamente.

Para la obtención exacta de datos como caudal, velocidad de rotación del eje y presión utilizamos una tarjeta de adquisición DAQ-6009 que es compatible con la interfaz programable del PC , mediante el software LabVIEW, asimismo existe el encendido y apagado del banco de pruebas es controlado por un panel de control ver (Figura 5-3: Panel de control).



Figura 1-3: Bomba centrífuga

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2022.



Figura 2-3: Turbina y manómetro de medición de presión

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2022.



Figura 3-3: Tubo de aspiración

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2022.



Figura 4-3: Segundo depósito de agua

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2021.

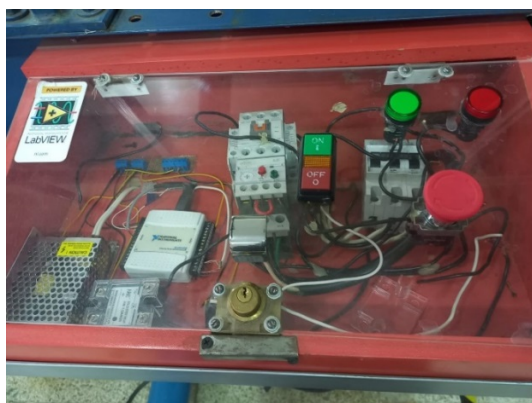


Figura 5-3: Panel de control

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2022.

3.1.5. *Estudio del sistema hidráulico*

En el banco de pruebas esta implementada una turbina, debido a que su eje se encuentra en posición horizontal y al observar la forma del rotor se determinó que la turbina instalada en el banco de pruebas es de tipo hélice de eje horizontal.



Figura 6-3: Turbina hélice de eje horizontal

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2022.

3.1.6. *Pruebas de funcionamiento*

3.1.6.1. *Evaluación de la velocidad específica de la turbina hélice de eje horizontal*

La velocidad específica es el número de revoluciones por minuto que da la turbina aplicando así la unidad de potencia trabajando bajo la unidad de carga (Zapata, 2017).

La evacuación del valor de N_S , nos sirve para la selección del tipo de turbina a utilizarse, donde se aplica la siguiente fórmula.

$$\frac{D_m}{D_M} = 0.25 + \frac{94,64}{N_S} \quad (2)$$

Donde:

- D_M : diámetro mayor del rotor (m)
- D_m : diámetro mayor del rotor (m)
- N_S : diámetro mayor del rotor (m)

Datos:

$$D_M = 131 \text{ mm} = 0,131 \text{ m}$$

$$D_m = 60 \text{ mm} = 0,06 \text{ m}$$

$$H = 6 \text{ m}$$

Entonces despejando N_S

$$N_S = \frac{94,64 * 0.131}{\frac{0.06}{0.131} - 0.25} \quad (3)$$

$$N_S = 59.6 \approx 60$$

Una vez determinado la N_S de la turbina, se evalúa mediante inspección visual, otros factores presentes en la misma como son: corrosión que abarca a gran parte de la turbina, los álabes que se encuentran deteriorados.

3.1.6.2. Evaluación de coeficiente de velocidad periférica

$$k_u = 0,79 + 1,61 * 10^{-3} * N_S \quad (4)$$

$$k_u = 0,79 + 1,61 * 10^{-3} * 60$$

$$k_u = 0.8866$$

3.1.6.3. Evaluación de número de revoluciones

$$n = \frac{60 * k_u \sqrt{2gH}}{\pi * D_M} \quad (5)$$

$$n = \frac{60 * 0.8866 \sqrt{2 * 9,8 * 6}}{\pi * 0.131}$$

$$n = 1401.72 \text{ rpm}$$

3.1.6.4. Evaluación de potencia útil

$$P_a = \left(\frac{N_S * H^{5/4}}{n} \right)^2 \quad (6)$$

$$P_a = \left(\frac{60 * 6^{5/4}}{1401.72} \right)^2$$

$$P_a = 0.16 \text{ CV} = 119.312 \text{ W}$$

3.1.6.5. Evaluación del caudal requerido por la turbina hélice

$$Q = \frac{P}{\rho * g * H} \quad (7)$$

$$Q = \frac{119.312 \text{ W}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 6\text{m}} * \frac{1000 \text{ l}}{1\text{m}^3} * \frac{60\text{s}}{1 \text{ min}}$$

$$Q = 121.74 \frac{\text{l}}{\text{min}}$$



Figura 7-3: Turbina corroída y álabes deteriorados

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2022.

3.1.6.6. Evaluación del estado de la bomba centrífuga

Durante las pruebas de funcionamiento mediante una inspección visual se evidenció que la bomba centrífuga contiene fugas en la parte superior y que el sello mecánico está deteriorado por lo que se procedió al desmontaje para la revisión de sus partes, además el control de paro de emergencia no funcionaba de manera correcta por lo que se optó restaurar la instalación eléctrica.



Figura 8-3: Bomba centrífuga con fugas

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2022.

3.1.6.7. *Evaluación del panel de control*

El circuito se encuentra desconectado consecuente a ello la programación se encuentra inhabilitada por lo que se optó a la restauración de los componentes y de la reprogramación.

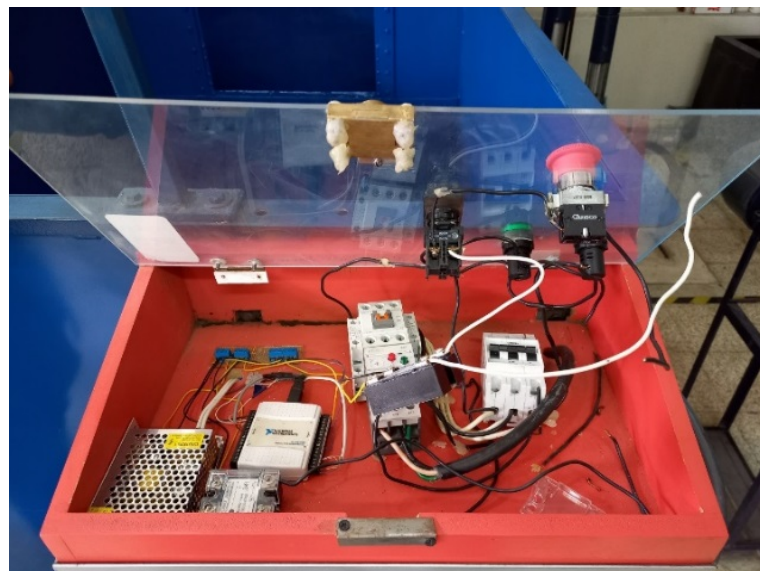


Figura 9-3: Tablero de control inhabilitado

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2022.

3.2. **Procedimientos para seguir en la repotenciación del banco de pruebas**

3.2.1. *Elaboración de procedimientos para seguir en el mantenimiento correctivo*

Debido al olvido e inexistencia de mantenimiento, se produjo el desgaste las distintas partes y elementos que constituyen al banco de pruebas de hélice de eje horizontal, por lo cual se realizó un minucioso mantenimiento correctivo, como el cambio de partes corroídas, fisuradas, en mal funcionamiento de los siguientes elementos.

3.2.1.1. *Mantenimiento mecánico*

Turbina:

- Realizar inspección visual
- Desmontar la turbina.
- Desensamblar cuidadosamente cada una de sus partes y elementos.
- Limpiar los álabes
- Soldar partes de la turbina.
- Se pinta la turbina.

Ensayos con líquidos penetrantes

Se aplica la Norma ASTM E 1417, clasificada en E165 el cual es un método de ensayo estándar para el examen por líquidos penetrantes, donde se considera la Norma ASTM E 165-18 Líquidos penetrantes tipo II método C.

- Se realiza la preparación y limpieza, donde la superficie de ensayo debe quedar libre de contaminantes como: pintura, aceite, grasa u óxido.
- Aplicar el líquido penetrante, en este caso con la técnica de aerosol.
- Verter de una forma fina y uniforme en la superficie (primera capa con SKC-S) y dejar transcurrir un tiempo de 10 minutos para que el líquido penetre.
- Verter de una forma fina y uniforme en la superficie (segunda capa CON SKL-SP2) y dejar transcurrir un tiempo de 10 minutos para que el líquido penetre.
- Verter de una forma fina y uniforme en la superficie (segunda capa CON SKD-S2) y dejar transcurrir un tiempo de 10 minutos para que el líquido penetre.

- Realizar una inspección visual, después de la aplicación de las capas anteriores, en este caso se realizará mediante bajo luz blanca o visible puesto que le líquido penetrante es del tipo rojo.
- La intensidad luminosa es de no menos 1000 lux, según como se recomienda en la Norma ATM -E1417.



Figura 10-3: Aerosoles utilizados

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2022.



Figura 11-3: Ensayos con líquidos penetrantes

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2022.

Reparación de la bomba centrífuga

- Se desmonta la bomba centrífuga.
- Limpieza completa de la bomba
- Se coloca pernos de expansión para el respectivo anclaje y soporte anti vibraciones



Figura 12-3: Antes del mantenimiento

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2022.



Figura 13-3: Después del mantenimiento

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2022.

Tubería de acrílico

- Una vez realizada la prueba de funcionamiento para la verificación de fallas y averías se determinó que la tubería de acrílico presentaba fisuras y fugas.
- Posterior se procedió al desmontaje de la tubería.
- Se realizó una inspección visual.
- Se sustituyó la tubería puesto que presentaba fisuras.
- Para ello se optó la compra de acrílico de 2 mm transparente, la cual cumplía con las condiciones de diseño.



Figura 14-3: Tubería de acrílico antes del mantenimiento

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2022.



Figura 15-3: Tubería de acrílico después del mantenimiento

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2022.

Reparación de la tubería de conducción de agua

- Se procede a retirar una parte del neplo que obstaculizaba la entrada la rosca.
- Una vez retirado el neplo, se coloca impermeabilizante en la rosca del nuevo neplo.
- Montaje de accesorios hidráulicos y unión de piezas restantes.



Figura 16-3: Tubería con presencia de corrosión

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2022.



Figura 17-3: Tuberías después del mantenimiento

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2022.

3.2.1.2. *Mantenimiento electrónico*

Implementación del sistema

Materiales usados para la implementación del sistema

- **Arduino Nano:** placa controladora que permite recolectar información principalmente del sensor de peso de la turbina al ejercer un torque cuando existe movimiento. Los datos los manda a través de comunicación serial hacia LabVIEW.
- **Selector dos posiciones:** interruptor que permite el paso de la corriente, y alimentación de los dispositivos eléctricos y electrónicos.
- **Interruptor dos polos C32:** interruptor automático de seguridad que corta el paso de la corriente eléctrica ante eventos de sobretensión, cortocircuitos se usó de 32 Amperios debido a la corriente que va a consumir la bomba en arranque directo.
- **Interruptor tres polos C50:** interruptor automático de seguridad que corta el paso de la corriente eléctrica ante eventos de sobretensión, cortocircuitos se usó de 50 Amperios debido a la corriente que va a consumir la bomba.
- **Pulsador NA:** elemento que sirve para cerrar un circuito eléctrico al ser presionado, se usa para el arranque de la bomba.
- **Pulsador NC:** elemento que sirve para abrir un circuito eléctrico al ser presionado, se usa para detener la bomba.
- **Luz piloto 110V:** dispositivos que brindan un control visual al momento de realizar una tarea de automatización, 1 luz piloto se usa para indicar si hay energía en el gabinete de control, otra luz piloto roja se enciende al momento de que se acciona la bomba y se apaga al detenerla.
- **Contactador 110V de 32 amperios:** es un interruptor automático que permite activar cargas de potencia, en este caso sirve para activar la bomba de la turbina o desactivar mediante el corte o conexión del flujo de la corriente.
- **Relé térmico:** Dispositivo de protección que detecta sobrecargas, o calentamientos en motores y bombas, garantiza su vida útil.
- **Botón de paro de emergencia tipo hongo:** sirve para en caso de emergencia se lo presione y corta la alimentación automáticamente de todos los dispositivos eléctricos y electrónicos.
- **Módulo relé 2 canales:** dispositivos que permiten con una señal eléctrica pequeña como 5V, activan cargas de potencia elevadas de 110V, en este caso las señales desde la DAQ 6009 activan estos relés para activar, el contactor y una lámpara.

- **Módulo hx711 y sensor de peso:** es un transmisor entre las celdas de carga y un micro controlador como Arduino/PIC/ESP, permitiendo leer el peso en la celda de manera sencilla. Es compatible con las celdas de carga de 1kg, 5kg, 20kg y 50kg. Utilizado en sistemas de medición automatizada, procesos industriales, industria médica.

Procedimiento para la implementación del sistema

- Planificar el sistema de acuerdo a los objetivos planteados.
- Elegir los elementos eléctricos y electrónicos adecuados de acuerdo a los requerimientos de repotenciación.
- Diseño de algoritmo y diagrama de flujo de procesos a implementar.
- Implementación y armado del tablero eléctrico y de control.
- Implementación de la interfaz gráfica en LabVIEW con la tarjeta de adquisición de datos My DAQ 6009 y comunicación con Arduino.
- Programación en Arduino y envío de datos seriales hacia LabVIEW.
- Calibración de sensores de presión, caudal, encoger, peso y ajustes finales de programación.
- Pruebas y resultados.

Tabla 2-3: Tabla de conexiones

Descripción	Nombre Terminal		Elemento			
MYDAQ 6009	Salidas	P0.0	Relé 1 para bomba	Entradas	P1.0	Pulsador NA Marcha
		P0.1	Relé 2 para lámpara		P1.1	Pulsador NC Paro
					AI 7	Sensor Presión Entrada
					AI 6	Sensor Presión Salida
					AI 3	Sensor Caudal
					AI 2	Sensor Encoder
ARDUINO	A4 / SDA		Terminal DT módulo HX711			
	A5 / SCL		Terminal SCK módulo HX711			
MÓDULO HX711	E+		Cable blanco celda de carga 50Kg			
	E-		Cable negro celda de carga 50Kg			
	A-		Resistencias 1k con cable blanco y rojo			
	A+		Cable rojo celda de carga 50Kg			

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2022.

ENTRADAS/SALIDAS

ARDUINO NANO

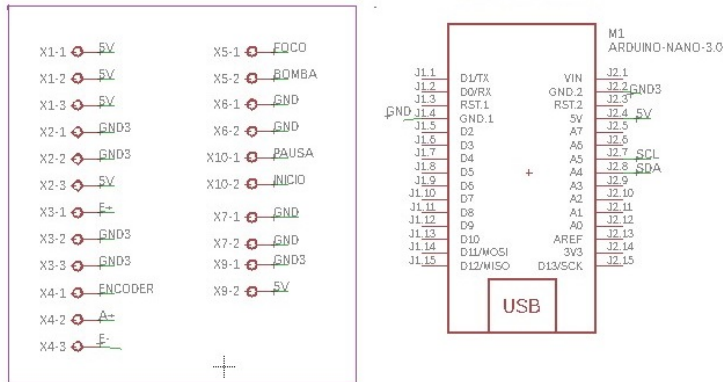


Figura 18-3: Placas electrónicas implementadas

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2022.

NI MYDAQ 6009

SENSOR PESO HX711

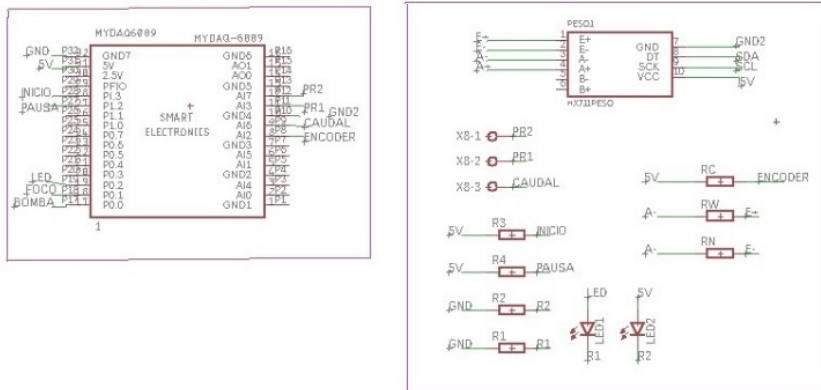


Figura 19-3: Placas electrónicas implementadas

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2022.

Diagrama de Bloques del Software realizado en lenguaje gráfico orientado a objetos LabVIEW, le puede observar en el ANEXO A: Diagrama de bloques del software LabVIEW

Sustitución de dinamómetro digital

- Desmontar la balanza digital y la cámara.
- Montar el sensor de celda de carga.
- Sujetar el sensor celda de carga de 50 kg.



Figura 20-3: Dinamómetro digital y cámara (sistema anterior)

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2022.



Figura 21-3: Sensor celda de carga (sistema implementado)

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2022.

3.2.2. *Elaboración de procedimientos para seguir en el mantenimiento preventivo*

3.2.2.1. *Mantenimiento mecánico*

Depósito de agua

Debido a la excesiva presencia de corrosión se la clasifica en C5, se aplicará una EP y se procede a la reparación completa de la misma:

- Se procede a lijar con un cepillo tipo copa de acero cada una de las paredes del depósito de agua, posteriormente su limpieza ver (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.-3**)
- Se aplicó el desoxidante en cada una de las paredes del depósito de agua, posteriormente su limpieza ver (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.-3**)
- Posteriormente se aplicó el removedor de pintura ver (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.-3**)
- Luego se realizó una limpieza general del banco
- Por último, se realizó el tratamiento de cobertura protectora por la cual se aplicó una película de recubrimiento (pintura anticorrosiva) ver (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.-3**)



Figura 22-3: Paredes lijadas – limpieza

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2022.



Figura 23-3: Desoxidante y removedor de pintura

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2022.



Figura 24-3: Aplicación de pintura de fondo

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2021.



Figura 25-3: Aplicación de pintura epoxi
Realizado por: López, J.; Sani, M., 2022.



Figura 26-3: Aplicación externa de pintura anticorrosiva
42

Reparación de los componentes del distribuidor

- Retiramos el empaque antiguo ver (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.-3**)
- Lijar y desprender los lugares que se encuentre con corrosión
- Aplicamos el removedor de corrosión
- Limpiamos todo el anillo
- Colocamos correctamente el nuevo empaque ver (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.-3**)



Figura 27-3: Empaque antes del mantenimiento

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2022.

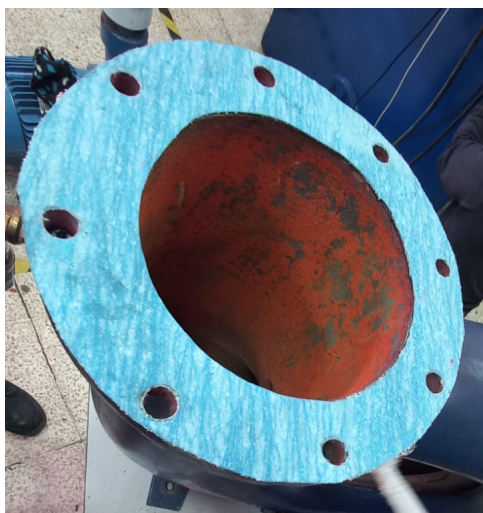


Figura 28-3: Empaque después del mantenimiento

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2022.

Reparación de la tubería de succión y descarga

- Limpiar la tubería internamente y externamente.
- Retirar la corrosión
- Aplicar pintura anticorrosiva para evitar corrosión.



Figura 29-3: Después del mantenimiento preventivo

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2022.

Reparación de tubo de aspiración

- Limpiar el tubo internamente y externamente.
- Retirar la corrosión
- Aplicar pintura anticorrosiva para evitar corrosión.



Figura 30-3: Mantenimiento preventivo al tubo de aspiración.

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2022.

Implementación de ánodo de sacrificio de magnesio

Características:

Ánodo de Mg de clase 2

Tipo MVA -2.23 –AAF

2.23 kg (1.5 lb/ft), extremos rectos

Ánodo de magnesio tipo varilla 98% puro y 2% aleante, con un peso de 1.10 kg

Cálculo de vida útil

$$VU = \frac{\text{capacidad de corriente (A.año/kg)} * \text{peso ánodo (kg)} * \text{rendimiento(\%)} * \text{factor de utilizacion}}{\text{intensidad (A)}} \quad (8)$$

$$VU = \frac{0,25 (A.año/kg) * 1,10 (kg) * 0.50(\%) * 0.85}{0.1(A)}$$

$$VU = 1.17 \text{ años} \approx 1 \text{ año con 1 mes}$$



Figura 31-3: Ánodo de Mg clase 2 tipo MVA-2.23-AAF

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2021.

Elaboración de protocolos de seguridad

Plan de seguridad

Plan de seguridad

epoch | Facultad
de Mecánica



LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA HIDRÁULICA
PERIODO
ABRIL 2022 – SEPTIEMBRE 2022

CONTROL DE PLAN DE SEGURIDAD DEL LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA HIDRÁULICA

ACADÉMICO:	
LABORANTE:	
NOMBRE DE LAB:	
FECHA:	NIVEL:
RA:	FECHA:

En el laboratorio de Turbomaquinaria Hidráulica se debe cumplir con:

- Utilizar uniforme y equipos de protección correspondientes a las actividades del laboratorio.
- Respetar las normas de bioseguridad establecidas, así como las normas preventivas.
- El uso de mascarilla es obligatorio dentro del laboratorio.
- Respetar en proceso de control y triaje determinado.
- Se prohíbe el ingreso y consumo de bebidas y alimentos.
- No se permitirá el ingreso del personal académico o estudiantes que no porte el carnet de vacunación o que presenten síntomas de contagio.
- Los estudiantes deben manejar el equipo en presencia del ayudante o jefe del laboratorio.
- Tomar precaución con las partes en movimiento para evitar accidentes.
- Desconectar el equipo antes de los trabajos de mantenimiento.
- Realizar la limpieza y desinfección necesaria de los equipos de uso colectivo al finalizar la visita al laboratorio.

- Después de la limpieza del equipo verificar si se encuentran completamente seco todas las partes.
- Para reducir la corrosión del interior de la bomba se puede añadir al agua aditivos anticorrosivos.
- Antes de encender la bomba revisar que el nivel del agua del depósito de agua este por encima de la tubería de succión y descarga.
- No apoyarse en el equipo, ya que tiene partes frágiles y puede ocasionar daños graves.
- No tocar los diferentes accesorios sin ser necesario, esto podría alterar los resultados u ocasionar daños al equipo.

FIRMA DEL DOCENTE

RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Riobamba-Ecuador
Panamericana Sur km 1 1/2
Código Postal: EC060155

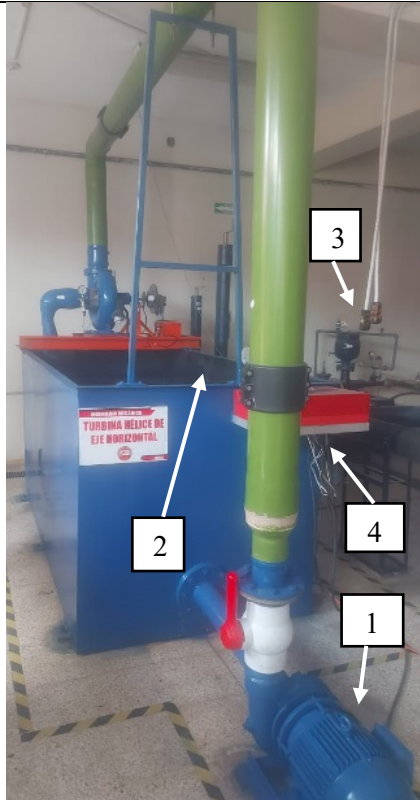
Teléfono: 593 (03) 2998-200
Telefax: (03) 2 317-001

epoch.edu.ec

López, J.; Sani, M., 2022.

Elaboración de manual de uso y plan de mantenimiento

Diagrama de procesos

Ejecutar el programa, variando los valores de altura.			
Verificar la adquisición de datos en diferentes parámetros.	Después de cada variación de datos, se realiza la toma de datos correspondiente		
Hacer clic en el botón apagar bomba, y cerrar el programa LabVIEW			
Desconectar la alimentación y colocar los cables en el lugar asignado (4).			
Ubicar las herramientas utilizadas en el lugar asignado.			
Realizar las prácticas de acuerdo a la guía de laboratorio,			

Conecta el motor a la fuente de alimentación trifásica, así como los instrumentos para su práctica. Antes, luego se pulsa el switch de encendido.

López, J.; Sani, M., 2022.

Registro de asistencia

Es necesario para llevar el control de asistencia y determinar las horas de trabajo, debe ser llenado por el docente encargado del grupo. Principales, al momento en que se ingresa al laboratorio, posteriormente los estudiantes deben registrar su nombre y apellido, código y firma. En la continuación, luego se entrega este formato al docente.

Registro de asistencia

--	--

firmantes nos acogemos de manera voluntaria a ser parte de las prácticas del Laboratorio de Turbomaquinaria Hidráulica, de manera que nos prestamos al fiel cumplimiento de las normas de BIOSEGURIDAD de esta institución.

A DEL DOCENTE

RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Riobamba-Ecuador
Panamericana Sur km 1½
Código Postal: EC060155

Teléfono: 593 (03) 2998-200
Telefax: (03) 2 317-001

epoch.edu.ec

López, J.; Sani, M., 2022.

Guía de práctica de laboratorio

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

VICERRECTORADO ACADÉMICO

DIRECCIÓN DE DESARROLLO ACADÉMICO



ESPOCH

FACULTAD: MECÁNICA

CARRERA: MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**GUÍA DE PRÁCTICA DEL
LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA HIDRÁULICA DE LA
FACULTAD DE MECÁNICA**

LUGAR DONDE SE REALIZA LA PRÁCTICA:

**LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA HIDRÁULICA DE
LA FACULTAD DE MECÁNICA**

: _____

FECHA: _____

ONDE SE REALIZA LA PRÁCTICA:

LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA HIDRÁULICA

VO

resultado deseado a alcanzar con la ejecución de la práctica de laboratorio.

:

nombre del banco de pruebas en el cual se va a desarrollar la práctica de laboratorio.

TEÓRICO

teorías, conceptos y antecedentes que ayudan a comprender de mejor manera el equipo que se utilizara en la práctica.

PROCEDIMIENTO

actividades que se desarrolló en la práctica.

RESULTADOS:

datos, información obtenida, teniendo en cuenta los objetivos de investigación.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

observaciones acerca de la práctica desarrollada.



Registro de práctica

Para el control de registro de práctica y determinar las horas de trabajo, debe ser llenado por el docente encargado. Al finalizar el desarrollo de la práctica, se entrega este registro al responsable del laboratorio.

Registro de práctica

--	--

RESPONSABLE DEL LABORATORIO

	Riobamba-Ecuador Panamericana Sur km 1½ Código Postal: EC060155	Teléfono: 593 (03) 2998-200 Telefax: (03) 2 317-001	
--	---	--	---

López, J.; Sani, M., 2022.

an de mantenimiento

ANEXO B: Plan de mantenimiento.

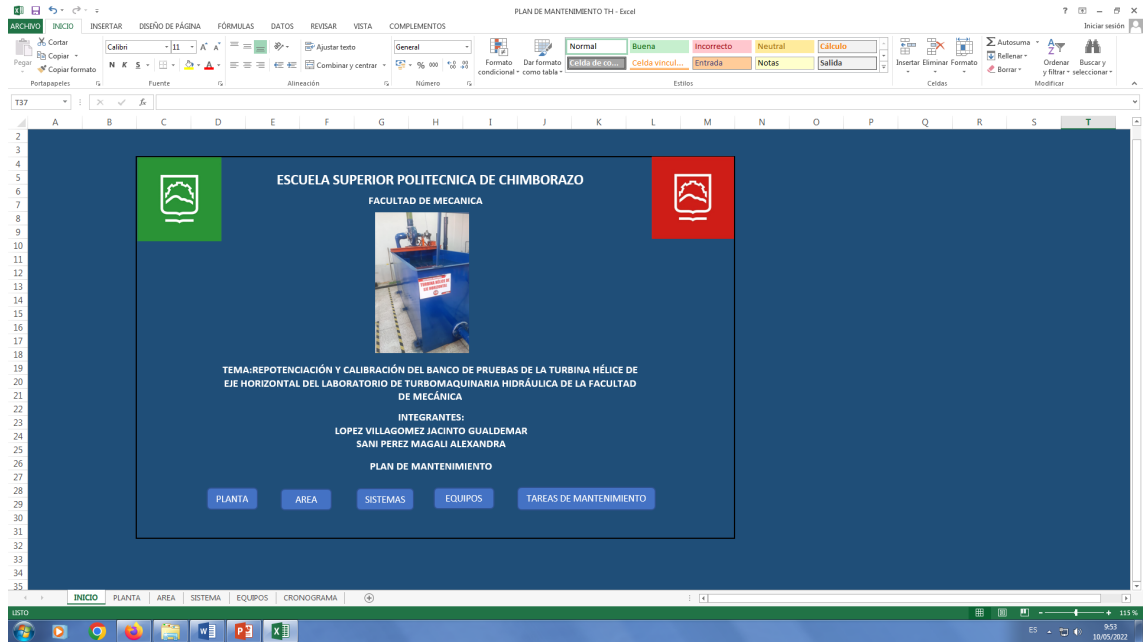


Figura 32-3: Desarrollo de plan de mantenimiento

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2022.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Análisis de resultados del diagnóstico técnico del equipo

Tabla 1-4: Datos obtenidos antes del mantenimiento

Apertura del distribuidor	Caudal (l/s)	Velocidad de entrada (m/s)	Presión de salida (psi)	Presión de entrada (psi)	Nivel del agua antes de la simulación (cm)	Nivel del agua durante la simulación (cm)
100%	0.015	0.78	3.69	2.88	16	15.5
75%	0.013	0.76	3.69	2.86	16	15.8
50%	0.011	0.60	3.69	1.58	16	18.9

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2022.

Tabla 2-4: Análisis de resultados de las pruebas de funcionamiento

Apertura de la válvula	Altura-H (cm)	Presión de entrada-Pe (psi)	Presión de salida-Ps (psi)	Caudal-Q (l/s)	Revoluciones del rotor- N (rmp)	Torque (Nm)
100%	22.5	2.23	2.19	10.66	560	0.23
85%	21	1.91	2.07	9.62	502	0.23
75%	20	1.70	2	9.02	470	0.23
65%	19.8	1.21	1.74	8.88	439	0.23
50%	19.5	0.48	1.37	8.7	400	0.23

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2022.

Tabla 3-4: Relación Caudal-Altura

CAUDAL Q (l/s)	ALTURA H (cm)
10,66	22,5
9,62	21
9,02	20
8,88	19,8
8,7	19,5

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2022.

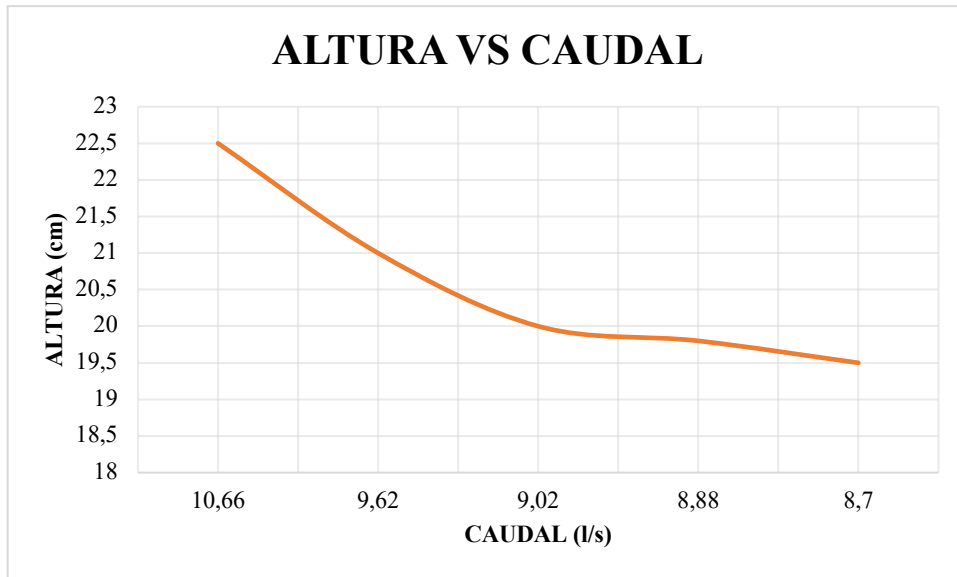


Gráfico 1-4: Relación Caudal-Altura

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2022.

Tabla 4-4: Relación Caudal-RPM

CAUDAL Q (l/s)	REVOLUCIONES DEL ROTOR (rpm)
10,66	560
9,62	502
9,02	470
8,88	439
8,7	400

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2022.

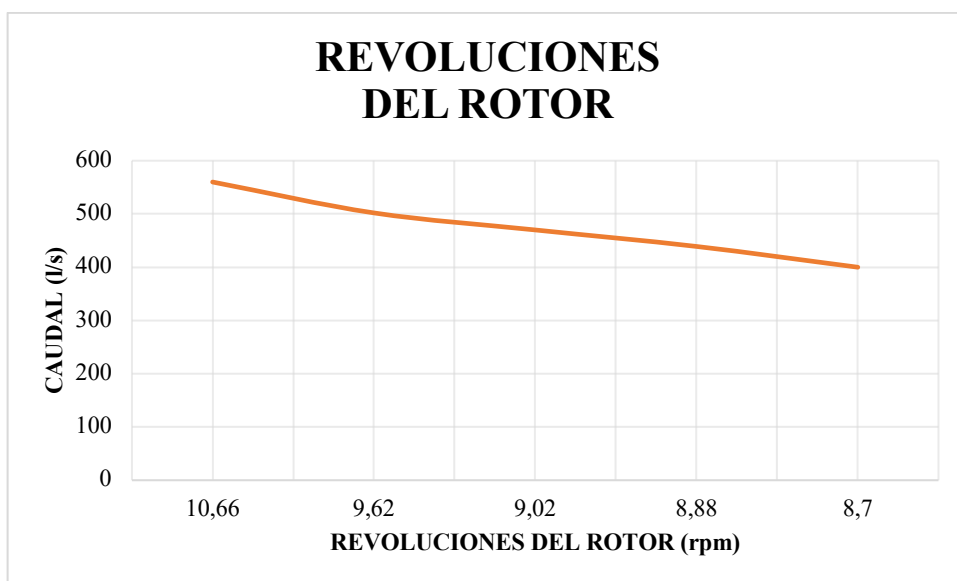


Gráfico 2-4: Relación Caudal-RPM

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2022.



Figura 1-4: Ejecución del programa LabVIEW y arduino

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2022.

4.2. Factores de riesgo detectados y medidos

La evaluación de riesgos laborales engloba los siguientes pasos:

- Identificar los peligros presentes en el laboratorio.
- Identificar quién puede sufrir daños, contemplando la posibilidad de que haya colectivos especialmente sensibles a determinados riesgos.
- Evaluar los riesgos e identificar medidas que se deben adoptar.
- Documentar los hallazgos, detallando las medidas ya adoptadas y las pendientes.
- Planificar las medidas pendientes e implementarlas.
- Revisar la evaluación y actualizarla cuando sea necesario.

4.3. Aportes a la gestión documental

A continuación, se muestran los resultados y se comparan con las observaciones que se han tenido en anteriores procesos, durante el Período de Evaluación: ABRIL 2020 – SEPTIEMBRE 2020 y OCTUBRE 2020 – MARZO 2021 y los años 2018, 2019 y 2020 para el caso de indicadores anuales.

Tabla 5-4: Evaluación de indicadores

FACULTAD	CARRERA	PLAN CURRICULAR - B	AMBIENTE INSTITUCIONAL - D	
		B.3.2	D.3.1.	D.3.2.
MECÁNICA	MECÁNICA	1.00	0.77	0.84
	MANTENIMIENTO INDUSTRIAL	0.70	0.72	0.60
	INDUSTRIAL	0.70	0.73	0.69

Fuente: Informe final del proceso de autoevaluación de carreras Agosto,2021.

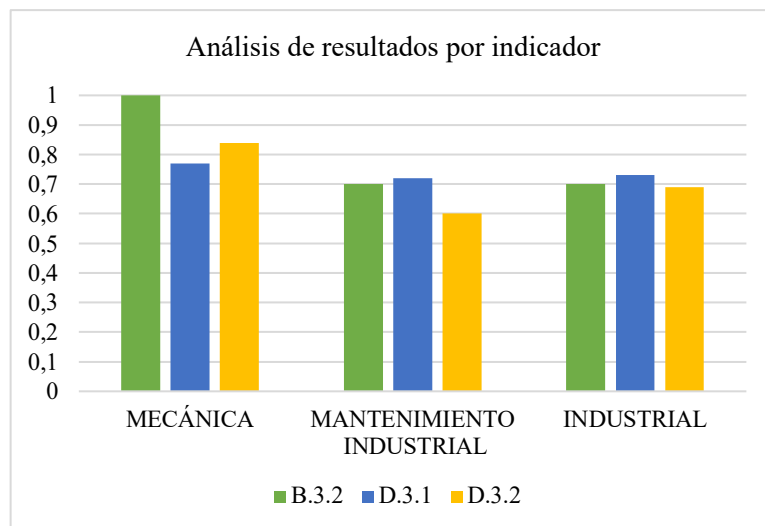


Gráfico 3-4: Resultados de la evaluación

Realizado por: López, J.; Sani, M., 2022.

4.3.1. *Criterio B – Plan Curricular*

Subcriterio: B.3. MICROCURRICULO

Indicador: B.3.2. PRÁCTICAS EN RELACIÓN A LAS ASIGNATURAS

Dentro del periodo de evaluación 2020-2021 ,en las carreras de Mecánica, Ingeniería Industrial y Mantenimiento Industrial el indicador B.3.2 ,establece una valoración de Cuasi Satisfactorio y Satisfactorio , esto debido , a que algunos de los documentos pertenecientes a Guías de prácticas de laboratorios, no cuentan con la firma de respaldo del docente para su respectiva legalización, sin embargo con la implementación de los nuevos documentos en Capítulo III y con previo seguimiento de todos los instrumentos académicos elaborados por el docente , se prevee incrementar para el periodo académico 2022-2023 a un indicador totalmente satisfactorio.

4.3.2. *Criterio D - Ambiente Institucional*

Subcriterio: D.3. LABORATORIOS-CENTROS DE SIMULACIÓN-TALLERES

Indicador: D.3.1. FUNCIONALIDAD

Funcionalidad D.3.1

Dentro del periodo de evaluación 2020-2021, en las carreras de Mecánica, Ingeniería Industrial y Mantenimiento Industrial el indicador D.3.1, establece una valoración de Cuasi Satisfactorio, esto debido, a que no se evidencian documentos legalizados de los planes de mantenimiento y seguridad ejecutados en los laboratorios, sin embargo con la implementación de los nuevos documentos en Capítulo III y generando el informe de ejecución de los planes de mantenimiento y seguridad en los laboratorios., se prevee incrementar para el periodo académico 2022-2023 a un indicador totalmente satisfactorio.

Indicador: D.3.2. EQUIPAMIENTO

Equipamiento D.3.2

Dentro del periodo de evaluación 2020-2021, en las carreras de Mecánica, Ingeniería Industrial y Mantenimiento Industrial el indicador D.3.1, establece una valoración de Cuasi Satisfactorio, esto debido, a que existen equipos que ya han cumplido su vida útil en varios laboratorios por ende no pueden usarse para la realización de prácticas., sin embargo con las repotenciación de los bancos de pruebas, se prevee incrementar para el periodo académico 2022-2023 a un indicador totalmente satisfactorio.

CONCLUSIONES

El estudio previo del diagnóstico técnico de fallas, aportó para realizar el mantenimiento necesario en partes y elementos del banco de pruebas, logrando así un funcionamiento de caudal máximo o altura máxima.

Se realizó el respectivo mantenimiento correctivo y preventivo en la turbina hélice para dejar a la turbina en su óptimo funcionamiento.

Se realizó el mantenimiento correctivo y preventivo tanto a la tubería como al reservorio dejándolo en las mejores condiciones para su utilización.

Se ensambló de manera correcta todos los elementos constitutivos del banco de pruebas tales como: turbina, bomba, tuberías, conexiones eléctricas e instrumentación.

Se realizó las pruebas necesarias de arranque y correcta funcionalidad del equipo.

Se determinó experimentalmente que se produjo un incremento en la presión al cerrar parcialmente los alabes del distribuidor.

RECOMENDACIONES

Los estudiantes deben seguir los protocolos de seguridad establecidos.

Realizar un mantenimiento preventivo a la turbina para evitar daños futuros en cuanto a la corrosión.

Vaciar el depósito de agua, luego de realizar las prácticas de laboratorio para evitar posibles problemas de corrosión.

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

BIBLIOGRAFÍA

BALANSHEM. *Corrosión electroquímica*. [blog] .[Consulta 5 diciembre2021]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/503459668/Principios-de-Corrosion-Electroquimica-2021-10>

CHÁVEZ, ASDRÚBAL. *PDVSA*. [blog] .[Consulta 5 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.yumpu.com/es/document/read/16510819/anodos-de-magnesio-mg-para-proteccion-sisman>

GÓMEZ DE LEÓN, EDUARDO. *Líquidos penetrantes:nivel II*. Madrid-España: Fundacion Confemetal, 2009. ISBN 84-92735-05-1, pp:40-43.

GUNT. *Turbina de hélice*. [blog] .[Consulta 12 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.gunt.de/es/productos/maquinas-fluidomecanicas/turbomaquinas/turbinas-hidraulicas/turbina-de-helice/070.45003/hm450-03/glct-1:pa-150:ca-756:pr-1751>.

HAMBURG, GUNT. *Mecánica y diseño mecánico*. [blog] .[Consulta 12 noviembre 2021]. Disponible en:[://www.gunt.de/images/download/turbines_spanish.pdf](http://www.gunt.de/images/download/turbines_spanish.pdf).

INOXMIM. *que-es-una-bomba-centrifuga*. [blog] .[Consulta 8 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.inoxmim.com/blog-c/que-es-una-bomba-centrifuga>.

ISO 12944-5. *Pinturas y barnices -Protección contra la corrosión de estructuras de acero mediante sistemas de pintura protectora*.

JIMÉNEZ, HERAS, Salvador. 2018. *Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas*. [en línea]. Segunda Edicion. Barcelona- España: Editor Iniciativa Digital Politécnica. Oficina de Publicacions Acadèmiques Digitals de la UPC, 2018. [Consulta: 23 noviembre 2021]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/127556>

León, Miguel. *Laboratorio de ensayos de materiales* [blog] .[Consulta 2 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.concrelab.com/wp-content/uploads/2020/01/ebook.pdf&chunk=true>.

LUCAS, GRANADOS ,Bianca. &, SÁNCHEZ,TOVAR, Rita. *Corrosión*. 2018. [en línea]. Valencia-España: Editorial de la universitat Politécnica de Valencia, 2018. [Consulta: 23

noviembre 2021]. Disponible en:
https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/25a5e0c7-bf46-4b33-ae0d-ade94ac2e7be/TOC_6479_01_01.pdf?guest=true

MARCO, MUELA. *El examen por líquidos penetrantes ASTM E 1417-99* [En línea] Lima-Peru, ADEMINSAC, 2020. [Consulta 16 noviembre 2021]. Disponible en:
<https://www.studocu.com/ec/document/escuela-politecnica-nacional/soldadura-de-produccion-y-mantenimiento/espanol-astm-e1417-99-rseumen/10208832>.

ORIOR, PLANAS. *Turbina Kaplan*. [blog] .[Consulta 16 noviembre 2021]. Disponible en:
<https://solar-energia.net/energias-renovables/energia-hidraulica/turbinas-hidraulicas/kaplan>.

ORTIZ, FLÓREZ, Ramiro. *Pequeñas centrales hidroeléctricas*. [En línea] Bogota-Colo, Edición de la U, 2022. [Consulta 12 diciembre 2021]. Disponible en:
https://books.google.com.ec/books?id=oANcEAAAQBAJ&pg=PA11&dq=caudal+de+vertedero+rectangular&hl=es&sa=X&ved=2ahUKewiejumm2o_2AhWUpJUCHXvmBaI4ChDoAXoECAgQAg#v=onepage&q=caudal%20de%20vertedero%20rectangular&f=false.

ORTÍZ, FLÓREZ, Ramiro. 2011. *Pequeñas Centrales Hidroelectricas*. Bogotá-Colombia: Ediciones de la U, 2011, ISBN 983-958-792-323-0, pp. 13-37.

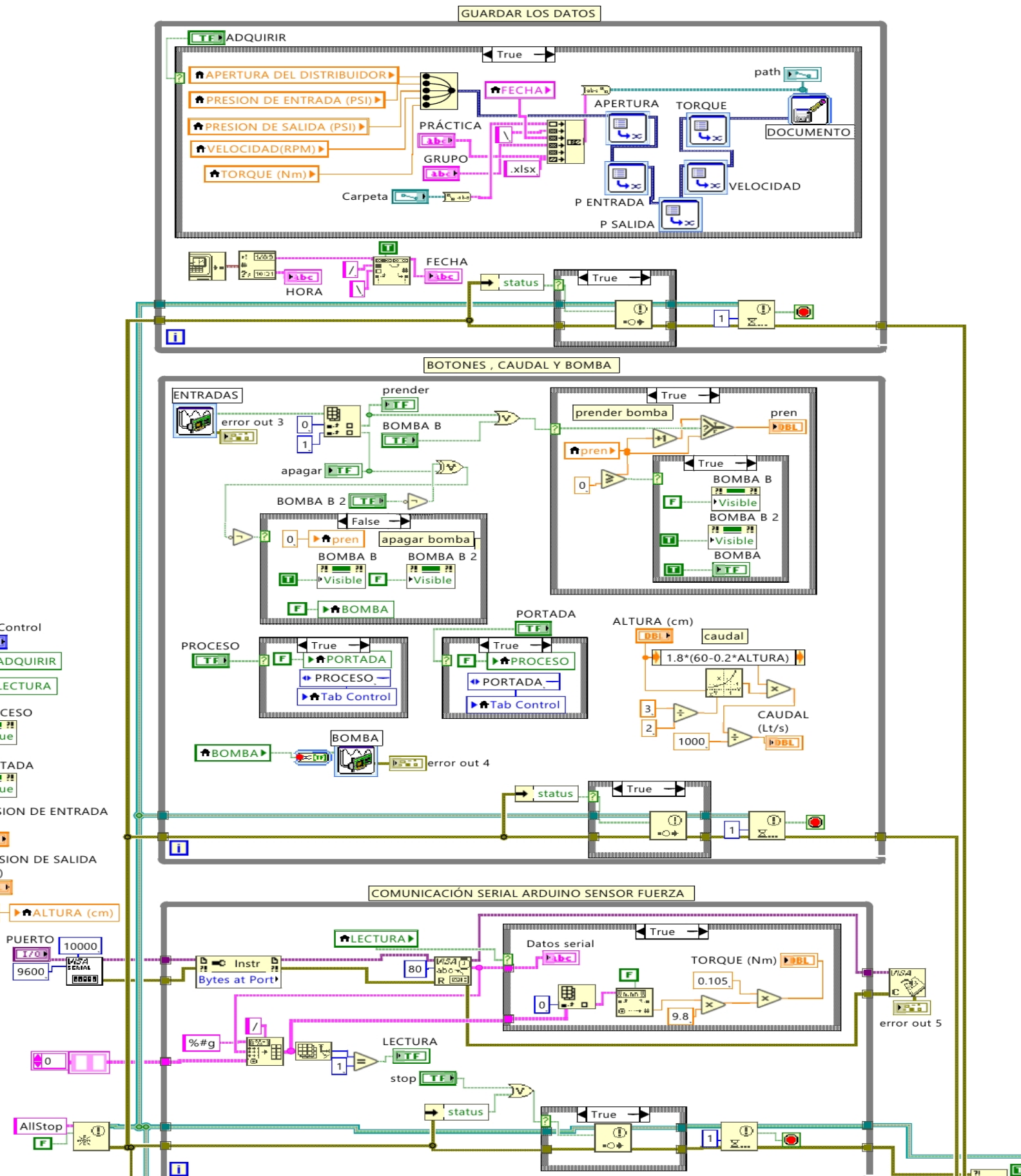
PLANAS, ORIOR. *Energía Solar*. [blog] .[Consulta 20 noviembre 2021]. Disponible en:
<https://solar-energia.net/energias-renovables/energia-hidraulica/turbinas-hidraulicas/kaplan>.

RIBA. *Metalúrgica Riba, s.l.* [blog] .[Consulta 15 diciembre 2021]. Disponible en:
<http://es.metalriba.com/turbinas-hidraulicas/>

TERNOPURA. *Celda de carga 50kg / Sensor de fuerza compatible Arduino* [blog] .[Consulta 11 diciembre 2021]. Disponible en: <https://www.tecnopura.com/producto/celda-de-carga-50kg-sensor-de-fuerza-compatible-arduino/>.

ZAPATA, CUARTAS, Juan, Fernando. Simulación hidrodinámica de una Turbina tipo hélice de 2kW de potencia. Instituto Tecnológico Superior Metropolitano [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado)., Quito, Ecuador. 2019. pp. 41-46. [Consulta: 14 Diciembre 2021]. Disponible en:
<https://repositorio.itm.edu.co/bitstream/handle/20.500.12622/191/ZapataCuartasJuanFernando2017.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Diagrama de bloques del software LabVIEW



ANEXO B: Plan de mantenimiento

PLAN DE MANTENIMIENTO TH [solo lectura] - Excel

ARCHIVO INICIO INSERTAR DISEÑO DE PÁGINA FÓRMULAS DATOS REVISAR VISTA COMPLEMENTOS

Calibri 11 Fuente Alineación Número Estilos Celdas Modificar

R26

TURBINA DE HÉLICE DE EJE HORIZONTAL				
PLAN DE MANTENIMIENTO				
Máquina:			TURBINA DE HÉLICE DE EJE HORIZONTAL	
Código:			ESPOCH-FAME-LT-BC	
Código	Equipo	Actividad	Frecuencia	Responsable
ESPOCH-FAME-LT-BC01	Motro eléctrico	Verificar la tensión del motor eléctrico	Mensual	Mecánico
		Cambio de rodamientos del motro eléctrico		
ESPOCH-FAME-LT-BC02	Tablero de control	Inspección visual del nivel de las boneras, conductores y componentes eléctricos del tablero de control.	Semestral	Eléctrico
ESPOCH-FAME-LT-BC04	Sensor de presion de entrada	Inspección visual de los conductores.	Mensual	Eléctrico
		Limpieza de la bornera del sensor.		
ESPOCH-FAME-LT-BC05	Sensor de presion de salida	Inspección visual de los conductores.	Mensual	Eléctrico
		Limpieza de la bornera del sensor.		
ESPOCH-FAME-LT-BC06	Sensor de RPM	Inspección visual de fisuras en su placa	Semanal	Eléctrico
ESPOCH-FAME-LT-BC07	Sensor de carga	Limpieza y verificación del disco de torque	Mensual	Eléctrico
ESPOCH-FAME-LT-BC08	Disco de torque	Inspeccion visual si existe grietas y si esta correctamente acoplado al eje de la hélice	Trimestral	
ESPOCH-FAME-LT-BC09	Turbina	Inspeccion visual si presenta daños excesivos realizar su correcto reemplazo	Semestral	Mecánico
		Limpieza de la corrosion y realizar su correcta protección		
ESPOCH-FAME-LT-BC11	Anodo de sacrificio	Inspeccion visual y si presenta daños excesivos realizar su correcto reemplazo	Anual	Mecánico
ESPOCH-FAME-LT-BC10	Deposito de agua	Verificar si existe corrosion y aplicar medidas anticorrosivas	Semestral	Mecánico

LISTO 115%