



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica

**RECONDICIONAMIENTO DEL LABORATORIO DE MÁQUINAS  
HIDRÁULICAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA, USAC**

**Jarol Steevyn Herrera Alvarez**  
Asesorado por el Ing. José Ismael Véliz Padilla

Guatemala, enero de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**RECONDICIONAMIENTO DEL LABORATORIO DE MÁQUINAS  
HIDRÁULICAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA, USAC**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**JAROL STEEVYN HERRERA ALVAREZ**

ASESORADO POR EL ING. JOSÉ ISMAEL VÉLIZ PADILLA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, ENERO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Milton Alexander Fuentes Orozco
EXAMINADOR	Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### REACONDICIONAMIENTO DEL LABORATORIO DE MÁQUINAS HIDRÁULICAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA, USAC

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 7 de febrero del 2017.



**Jarol Steevyn Herrera Alvarez**

Guatemala, 11 de octubre de 2018

Ingeniero

Julio César Campos Paiz

Director Escuela de Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería


Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Campos:

Por este medio hago constar que he revisado y aprobado el trabajo de graduación del estudiante **Jarol Steevyn Herrera Alvarez**, con Registro académico **201222545** y CUI **2238 67543 0101**, el cual lleva como título: **RECONDICIONAMIENTO DEL LABORATORIO DE MÁQUINAS HIDRÁULICAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA, USAC.**

Con base en lo anterior, hago de su conocimiento esta información a efecto de continuar con el trámite respectivo para su aprobación, sin otro particular,

Atentamente



José Ismael Véliz Padilla

Ingeniero Mecánico JOSÉ ISMAEL VÉLIZ PADILLA  
Colegiado 3646 INGENIERO MECÁNICO  
ASESOR COLEGIADO 3646



# USAC

TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.289.2018

El Coordinador del Área de Laboratorios de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **RECONDICIONAMIENTO DEL LABORATORIO DE MÁQUINAS HIDRÁULICAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA, USAC** desarrollado por el estudiante **Jarol Steevyn Herrera Alvarez**, CUI **2238675430101**, Registro Académico **201222545** recomienda su aprobación.

*"Id y Enseñad a Todos"*

Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma  
Coordinador Área de Laboratorios  
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, octubre 2018

/aej



**USAC**

TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.015.2019

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y con la aprobación del Coordinador del Área Térmica del trabajo de graduación titulado: **RECONDICIONAMIENTO DEL LABORATORIO DE MÁQUINAS HIDRÁULICAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA, USAC** desarrollado por el estudiante **Jarol Steevyn Herrera Alvarez**, CUI **2238675430101**, Registro Académico **201222545** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

***"Id y Enseñad a Todos"***

Ing. Julio César Campos Paiz  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, enero de 2019

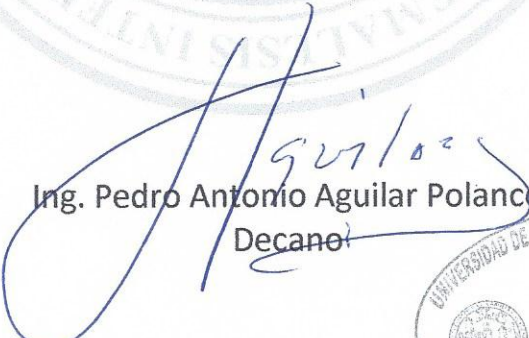
/aej



DTG. 026.2019

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **RECONDICIONAMIENTO DEL LABORATORIO DE MÁQUINAS HIDRÁULICAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA, USAC**, presentado por el estudiante universitario: **Jarol Steevyn Herrera Alvarez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, enero de 2019



/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por guiarme y brindarme la sabiduría necesaria para poder darle fin a esta etapa de mi vida, sin su misericordia nada sería posible.
- Mi madre** Aura Alvarez, cada decisión importante de mi vida agradezco haberlas tomado sostenido de su mano, todo esto ha llevado a convertirme en el hombre que soy ahora. Madre, prometo hacerla sentir orgullosa cada día de mi vida como una muestra de mi amor infinito hacia usted.
- Mi tío** Salvador Alvarez, gracias por ser esa luz en mi camino, agradezco a Dios por contar con usted siempre.
- Mi padrastro** Víctor Chay, por llegar a mi vida y a la de mi familia cuando menos lo esperamos y aunque la sangre no nos une, sé que el amor sí.
- Mis hermanas** Jaqueline, Dulce y Camila Herrera Alvarez, por motivarme a cumplir mis metas, no rendirme nunca y ser mejor cada día, son muy especiales para mí.

**Mi tía y prima**

Anita Alvarez y Fátima Canek, por el apoyo incondicional que siempre he tenido.

**Familia**

Alvarez Rodríguez, por su apoyo gracias.

**Mi familia**

Tíos, tías, y abuelos, por su apoyo y amor incondicional.

**Mis amigos**

A todos gracias, por los años que me han brindado su confianza, consejos y amistad. Cada uno es especial en mi vida.

**Mis catedráticos**

Por compartir sus conocimientos y formar parte de mi vida profesional.

**Mis compañeros de trabajo**

Por brindarme su apoyo y conocimientos en mi etapa laboral.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser fuente de conocimiento y formar profesionales por más de trecientos años.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por forjar mis conocimientos profesionales.
<b>Escuela de Ingeniería Mecánica</b>	Por permitirme la realización de mi trabajo de graduación.
<b>Ing. Ismael Véliz</b>	Por su orientación y apoyo en la elaboración de este trabajo de graduación.
<b>Ing. Esdras Miranda</b>	Por sus consejos, amistad y creer en mí.
<b>Profesorado en general</b>	Por compartir sus conocimientos.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XVII
1. ANTECEDENTES .....	1
1.1. Reseña histórica.....	1
1.2. Condiciones actuales de funcionamiento .....	1
1.2.1. Condición actual de bomba sumergible .....	2
1.2.2. Condición actual de bomba horizontal.....	2
1.2.3. Sistemas de generación de energía eléctrica .....	2
1.2.3.1. Condición inicial de turbina Pelton.....	3
1.2.3.2. Condición inicial de los paneles fotovoltaicos sin inversor de corriente CC/CA .....	5
1.2.3.3. Condición inicial de aerogenerador .....	6
1.2.4. Condición inicial de ariete hidráulico.....	7
1.2.5. Condición inicial de colector solar.....	8
1.2.6. Condición inicial de sistema de iluminación.....	9
1.2.7. Resumen de condiciones iniciales del Laboratorio de Máquinas Hidráulicas .....	11

2.	MÁQUINAS HIDRÁULICAS.....	13
2.1.	Reacondicionamiento.....	13
2.2.	Mantenimiento.....	13
2.2.1.	Correctivo .....	14
2.2.2.	Preventivo .....	15
2.2.2.1.	Plan de mantenimiento.....	16
2.3.	Tipos de bombas.....	17
2.3.1.	Bomba de émbolo .....	17
2.3.2.	Bombas rotativas.....	19
2.3.3.	Bomba centrífuga .....	21
2.3.4.	Bomba horizontal .....	23
2.3.5.	Bomba de turbina vertical.....	24
2.3.6.	Bomba sumergible .....	25
2.3.6.1.	Condiciones de operación .....	26
2.3.6.2.	Composición de equipo.....	26
2.3.7.	Ariete hidráulico.....	27
2.4.	Turbinas hidráulicas .....	28
2.4.1.	Turbina Pelton .....	28
2.4.2.	Turbina Francis .....	30
2.4.3.	Turbina <i>Kaplan</i> .....	31
2.5.	Panel solar fotovoltaico .....	32
2.5.1.	Historia de paneles fotovoltaicos.....	32
2.5.2.	Componentes.....	34
2.5.3.	Funcionamiento en generación de corriente .....	36
2.5.4.	Control de potencia y baterías.....	39
2.6.	Generador eólico.....	40
2.6.1.	Antecedentes .....	40
2.6.2.	Partes.....	42
2.6.3.	Funcionamiento en generación de corriente .....	43

	2.6.4.	Potencia.....	44
2.7.		Colector solar, calentador de agua.....	44
	2.7.1.	Historia .....	45
	2.7.2.	Componentes .....	46
	2.7.3.	Funcionamiento en calentamiento de agua .....	47
	2.7.4.	Eficiencia .....	48
2.8.		Recolección de datos .....	48
	2.8.1.	Técnicas de recolección de datos.....	49
		2.8.1.1. Encuesta.....	49
	2.8.2.	Obtención de datos.....	49
		2.8.2.1. Variable y operacionalización de variables .....	50
	2.8.3.	Representación de resultados .....	52
		2.8.3.1. Tablas porcentuales .....	52
		2.8.3.2. Tablas de frecuencia .....	52
3.		REACONDICIONAMIENTO DEL LABORATORIO DE MÁQUINAS HIDRÁULICAS .....	53
	3.1.	Independización de sistemas de generación de energía eléctrica .....	53
		3.1.1. Reinstalación de turbina Pelton .....	54
		3.1.2. Reconexión de paneles fotovoltaicos sin inversor de corriente CC/CA.....	60
		3.1.3. Reconexión de sistema aerogenerador .....	66
	3.2.	Ariete hidráulico.....	69
	3.3.	Reconexión de colector solar .....	75
	3.4.	Sistema de iluminación de energía renovable fotovoltaica .....	79

4.	RESULTADOS OBTENIDOS DE ENCUESTA REALIZADA A ESTUDIANTES DEL CURSO DE MÁQUINAS HIDRÁULICAS .....	89
4.1.	Objetivos .....	89
4.1.1.	General.....	89
4.1.2.	Específicos .....	89
4.2.	Variable .....	89
4.3.	Metodología .....	90
4.3.1.	Criterios de inclusión .....	91
4.3.2.	Criterios de exclusión .....	91
4.3.3.	Población.....	91
4.3.4.	Muestra .....	91
4.3.5.	Recursos .....	91
4.3.6.	Procedimiento .....	92
4.3.7.	Análisis estadístico.....	92
4.4.	Resultados .....	93
4.5.	Discusión de resultados .....	100
	CONCLUSIONES.....	103
	RECOMENDACIONES .....	105
	BIBLIOGRAFÍA.....	107
	APÉNDICES.....	111
	ANEXOS.....	121

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Turbina Pelton, condición inicial.....	3
2.	Componentes eléctricos, condición inicial.....	4
3.	Lámpara.....	4
4.	Paneles fotovoltaicos, condición inicial .....	5
5.	Interior del contenedor, condición inicial .....	6
6.	Generador eólico, condición inicial.....	6
7.	Ariete hidráulico, condición inicial .....	7
8.	Colector Solar, condición inicial .....	8
9.	Medidor de temperatura, condición inicial.....	9
10.	Sistema de iluminación 1/3, condición inicial .....	10
11.	Sistema de iluminación 2/2, condición inicial .....	10
12.	Sistema de iluminación 3/3, condición inicial .....	11
13.	Bomba de émbolo .....	19
14.	Bomba rotativa de gerotor.....	20
15.	Bomba centrífuga .....	22
16.	Bomba horizontal .....	24
17.	Bomba de turbina de eje vertical.....	25
18.	Tipos de bombas sumergibles .....	27
19.	Turbina Pelton.....	29
20.	Turbina Francis .....	31
21.	Turbina <i>Kaplan</i> .....	32
22.	Panel solar fotovoltaico de silicio .....	34
23.	Aplicaciones de energía solar fotovoltaica .....	39



24.	Molino holandés.....	42
25.	Colector solar de uso residencial.....	45
26.	Cableado eléctrico a contenedor de paneles fotovoltaicos.....	53
27.	Contenedor de paneles fotovoltaicos.....	54
28.	Turbina y toberas.....	54
29.	Diagrama eléctrico de medidor de voltaje y corriente.....	55
30.	Nuevo sistema de medición de voltaje y corriente.....	56
31.	Lámpara led y difusor de luz.....	56
32.	Cambio de acrílico por vidrio.....	57
33.	Turbina Pelton finalizada.....	58
34.	Conexión de componentes turbina Pelton.....	59
35.	Panel fotovoltaico derecho, antes.....	60
36.	Panel fotovoltaico izquierdo, antes.....	60
37.	Panel fotovoltaico derecho, después.....	61
38.	Panel fotovoltaico izquierdo, después.....	61
39.	Interior de contenedor proceso de lijado.....	62
40.	Exterior de contenedor proceso de lijado.....	62
41.	Reconexión del sistema eléctrico.....	63
42.	Iluminación con energía solar a 12 VCC.....	64
43.	Paneles fotovoltaicos, después.....	64
44.	Conexión de componentes de paneles fotovoltaicos sin inversor de corriente CC/CA.....	65
45.	Componentes del generador eólico.....	67
46.	Conexión de componentes de aerogenerador.....	68
47.	Válvula de retención.....	70
48.	Muelle.....	71
49.	Tornillo de muelle y construcción de válvula de retención.....	72
50.	Válvula de retención terminada.....	72
51.	Antes y después de la válvula de retención.....	73

52.	Nuevo muelle instalado .....	74
53.	Ariete hidráulico finalizado .....	74
54.	Tanque auxiliar y uniones universales .....	76
55.	Tanque de almacenamiento antes .....	77
56.	Tanque de almacenamiento después .....	78
57.	Colector solar finalizado .....	78
58.	Diseño de soporte de panel fotovoltaico .....	80
59.	Diseño de contenedor .....	81
60.	Instalación de soporte de panel fotovoltaico .....	82
61.	Conexión de los cables .....	82
62.	Panel fotovoltaico instalado.....	83
63.	Faroles instalados .....	84
64.	Componentes conectados.....	85
65.	Conexión de componentes de paneles fotovoltaicos con inversor de corriente CC/CA .....	85
66.	Contenedor instalado de sistema fotovoltaico y aerogenerador.....	86
67.	Faroles terminados .....	87
68.	Laboratorio de Máquinas Hidráulicas iluminado.....	87
69.	Práctica relacionada al mantenimiento del Laboratorio de Maquinas Hidráulicas, respuestas pregunta núm. 1 %.....	93
70.	Participación de los alumnos en el mantenimiento del Laboratorio de Máquinas Hidráulicas, respuestas pregunta núm. 2 .....	94
71.	Relación teoría práctica, respuestas pregunta núm. 3 .....	95
72.	Período de mantenimiento, respuestas pregunta núm. 4.....	96
73.	Mejora continua Laboratorio Máquinas Hidráulicas, respuestas pregunta núm. 5 .....	97
74.	Ponderación obtenida .....	99
75.	FCategorización de las ponderaciones .....	100

## TABLAS

I.	Condiciones iniciales del laboratorio .....	11
II.	Costos turbina Pelton.....	59
III.	Costos paneles fotovoltaicos sin inversor de corriente CC/CA .....	66
IV.	Costos de sistema aerogenerador .....	68
V.	Costos de ariete hidráulico.....	75
VI.	Costos de colector solar.....	79
VII.	Costos de sistema fotovoltaico .....	88
VIII.	Descripción de variables .....	90
IX.	Indicador de la variable .....	90
X.	Práctica relacionada al mantenimiento del Laboratorio de Máquinas Hidráulicas .....	93
XI.	Participación de los alumnos en el mantenimiento del Laboratorio de Máquinas Hidráulicas.....	94
XII.	Relación teoría práctica .....	95
XIII.	Período de mantenimiento .....	96
XIV.	Mejora continua Laboratorio Máquinas Hidráulicas .....	97
XV.	Ponderación obtenida por los estudiantes .....	98
XVI.	Categorización de las ponderaciones .....	99

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>H</b>	Altura total
<b>Q</b>	Caudal
<b>cm</b>	Centímetros
<b><math>\rho</math></b>	Densidad
<b><math>\eta</math></b>	Eficiencia
<b>E</b>	Energía
<b><math>E_c</math></b>	Energía cinética
<b><math>E_h</math></b>	Energía hidráulica
<b><math>E_p</math></b>	Energía potencial
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>g</b>	Gramos
<b>HP</b>	<i>Horse Power</i> , Caballos de fuerza
<b>kN</b>	KiloNewton
<b>kW</b>	Kilowatts
<b>kWh/ año</b>	Kilowatts hora por año
<b>Lb<sub>f</sub></b>	Libras fuerza
<b>l</b>	Litro
<b>MW</b>	Megawatts
<b>m/s</b>	Metros por segundo
<b><math>\gamma</math></b>	Peso específico
<b>%</b>	Porcentaje
<b>“</b>	Pulgada



## GLOSARIO

<b>Aforo</b>	Medida del volumen de un fluido en un tiempo determinado.
<b>Calidad</b>	Características que tienen la capacidad de satisfacer las necesidades y funciones.
<b>Capacidad</b>	Propiedad que poseen los objetos haciendo relación a medidas de capacidad, cantidad de líquido que cabe dentro de un objeto.
<b>Carcaza</b>	Cobertura o cubierta de una bomba.
<b>Cavitación</b>	Fenómeno producido por el golpe de burbujas formadas por cambios de presión en superficies de tuberías, bombas y turbinas.
<b>Cebar</b>	En bombas, consiste en llenar de líquido la tubería de succión y la carcasa de la bomba, para facilitar la succión de líquido, así eliminando las posibilidades de introducción de aire.
<b>Desperfecto</b>	Falla o defecto.
<b>Impulsor</b>	También conocido como Rodete, parte de una bomba que sirve para movilizar el fluido.

<b>Incidencia</b>	Influencia causada.
<b>Led</b>	Siglas de light-emitting diode, diodo emisor de luz.
<b>Purga</b>	Procedimiento que consiste en eliminar el aire de una tubería de succión.
<b>Reacondicionamiento</b>	Proceso de mantenimiento o menor reparación de un equipo.
<b>Tobera</b>	Dispositivo que convierte la energía térmica y energía de presión de un fluido.
<b>Uniones p-n</b>	Estructura principal de los componentes electrónicos comúnmente conocidos como componentes semiconductores.
<b>VCA</b>	Voltaje de corriente alterna.
<b>VCC</b>	Voltaje de corriente continua o directa.
<b>Vertedero</b>	Estructura hidráulica que permite el paso libre o controlado de un fluido.

## RESUMEN

El aprendizaje consta de conocimientos teóricos en conjunto con la práctica aplicada, y la ejecución de ambas debe tener una estrecha relación, para que el estudiante obtenga los resultados positivos al finalizar el curso y a lo largo de su carrera profesional. A todo esto se menciona un laboratorio idóneo que debe cumplir con los requisitos del programa de actividades de laboratorio.

El objetivo principal de realizar el reacondicionamiento del laboratorio del curso de Máquinas Hidráulicas de la escuela de Ingeniería Mecánica es beneficiar a la población estudiantil y a catedráticos para que tengan las herramientas necesarias en condiciones adecuadas, garantizando aprendizaje y formación de experiencia hacia los estudiantes.

El siguiente trabajo de graduación se desglosa en cuatro capítulos, el primer capítulo describe los antecedentes y condiciones iniciales del laboratorio del curso de Máquinas hidráulicas. En el segundo capítulo se describen conceptos básicos, para comprender el equipo y las instalaciones del laboratorio. En el tercer capítulo se muestra la ejecución del reacondicionamiento en él se muestran las condiciones mejoradas y para concluir en el cuarto capítulo se realizan técnicas de recolección e interpretación de datos como lo son las encuestas, para conocer el interés de los estudiantes de participar en el mantenimiento al laboratorio reforzando lo visto en clase y temas durante el desarrollo de las practicas.





# OBJETIVOS

## General

Ejecutar el reacondicionamiento del Laboratorio de Máquinas Hidráulicas de la escuela de Ingeniería Mecánica, USAC.

## Específicos

1. Realizar una evaluación de las condiciones actuales en que se encuentra el laboratorio.
2. Establecer las bases teóricas de reacondicionamiento y del equipo del laboratorio.
3. Realizar el reacondicionamiento en el laboratorio de máquinas hidráulicas.
4. Evaluar el interés de los estudiantes a participar en el mantenimiento al Laboratorio de Máquinas hidráulicas.



## INTRODUCCIÓN

Reacondicionamiento se define como el proceso de mantenimiento preventivo o correctivo de un equipo. El curso de Máquinas Hidráulicas complementa su enseñanza a través de realización de prácticas aplicadas en el laboratorio, en él se realizan demostraciones del funcionamiento de distintos componentes y sistemas, para que el estudiante analice y asimile de mejor manera lo impartido durante el desarrollo del curso.

Actualmente el laboratorio no se encuentra en óptimas condiciones como para poder realizar algunas de las prácticas descritas en el programa del laboratorio, debido a la falta de mantenimiento, deterioro o ausencia de componentes en los mismos. El laboratorio se encuentra expuesto a la intemperie, y debería de tener un riguroso plan de mantenimiento que sea ejecutado en ciertos periodos de tiempo para que esté listo en cualquier momento que se desee utilizar. No se cuenta con horarios de laboratorio nocturno por que se dificulta su desarrollo por la usencia de iluminación.

Lo ideal es ejecutar el reacondicionamiento para que el laboratorio ofrezca una enseñanza satisfactoria y así el estudiante tenga un mejor panorama sobre lo que es el curso de Máquinas Hidráulicas, cumpla con las competencias necesarias y las aplique en su carrera profesional.



# **1. ANTECEDENTES**

## **1.1. Reseña histórica**

El Laboratorio de Maquinas Hidráulicas surgió debido a la necesidad de proporcionar un panorama práctico y físico de los conceptos vistos en el curso teórico de Máquinas hidráulicas.

El laboratorio desde sus inicios trató de proporcionar al estudiante la práctica aplicada y conocimientos fundamentales sobre los equipos hidráulicos utilizados, distintos tipos de generación de energías limpias y también la interpretación técnica existente en este campo; el laboratorio consta con equipos de bombeo, generación eléctrica, captación de energía solar y energía eólica.

Actualmente cuenta con bombas horizontales y verticales, turbina *Pelton*, colector solar, ariete hidráulico, aerogenerador y paneles fotovoltaicos, todo a disposición para la realización de prácticas de los estudiantes.

## **1.2. Condiciones actuales de funcionamiento**

Actualmente hay equipos que no se encuentran en óptimas condiciones en el laboratorio, debido que carecen de los complementos para el funcionamiento adecuado y otros en donde es necesaria la ejecución de mantenimiento, clasificándose así como aceptables y no aceptables.

### **1.2.1. Condición actual de bomba sumergible**

Se cuenta con una bomba sumergible de electrodos de 1/2 HP. Su condición es aceptable, ya que es empleada para la realización de aforos en la práctica de laboratorio. Su condición es aceptable.

### **1.2.2. Condición actual de bomba horizontal**

Se cuenta con una bomba horizontal de 1/2 HP y al igual que la bomba sumergible del inciso anterior 1.2.1.; se encuentra en condiciones aceptables para el uso de aforos en la práctica de laboratorio.

### **1.2.3. Sistemas de generación de energía eléctrica**

Dentro del laboratorio se contempla una serie de sistemas de generación de energía eléctrica. Son utilizados para realizar evaluaciones de eficiencia energética respecto al modo en que se genera la energía.

Entre esos sistemas de generación se cuentan con los siguientes:

- Turbina Pelton para generación de energía eléctrica
- Sistema fotovoltaico sin inversor de corriente CC/CA
- Sistema aerogenerador de energía eléctrica

### 1.2.3.1. Condición inicial de turbina Pelton

La turbina Pelton presenta varios desperfectos, haciendo que su funcionamiento no sea adecuado para lograr generación de energía eléctrica. Teniendo fugas en el colector de agua por el deterioro en el acrílico.

Figura 1. Turbina Pelton, condición inicial



Fuente: elaboración propia.

Posee una lámpara inadecuada y se desconoce si los indicadores de voltaje y corriente funcionan, porque la turbina no ha tenido uso en mucho tiempo. Clasificándose como no aceptable.



Figura 2. **Componentes eléctricos, condición inicial**



Fuente: elaboración propia.

Figura 3. **Lámpara**



Fuente: elaboración propia.

### **1.2.3.2. Condición inicial de los paneles fotovoltaicos sin inversor de corriente CC/CA**

Los paneles fotovoltaicos físicamente se ven en buenas condiciones, únicamente requieren de limpieza. Adicional a la inspección visual se procedió a utilizar un multímetro digital donde se comprueba que si están generando corriente eléctrica.

Figura 4. **Paneles fotovoltaicos, condición inicial**



Fuente: elaboración propia.

Por otra parte al inspeccionar el sistema se identificó deterioro en lo externo e interno del contenedor. Clasificándose como no aceptable porque necesita mantenimiento para evitar corrosión en su estructura y reconexión de los componentes eléctricos.

Figura 5. **Interior del contenedor, condición inicial**



Fuente: elaboración propia.

### 1.2.3.3. **Condición inicial de aerogenerador**

El generador eólico no presenta problema alguno ya que se encuentra en una ubicación donde recibe adecuadamente las corrientes de aire. El cableado no está protegido, conforme pasa el tiempo pueden sufrir daño permanente. No cuenta con un sistema de control y almacenamiento de energía. Clasificándose como no aceptable.

Figura 6. **Generador eólico, condición inicial**



Fuente: elaboración propia.

#### 1.2.4. Condición inicial de ariete hidráulico

El ariete hidráulico no funciona adecuadamente, respecto a su estructura física está propenso a presentar corrosión por estar en contacto continuo con agua. El muelle no es el adecuado por estar construido de una lámina de demasiado espesor y la válvula de retención se encuentra con oxido y el empaque deformado, se puede presumir que estos son los motivos por los que no funciona. Clasificándose como no aceptable.

Figura 7. Ariete hidráulico, condición inicial



Fuente: elaboración propia.

### 1.2.5. Condición inicial de colector solar

Se considerará la reconexión y adición de un tanque auxiliar para que el colector tenga un adecuado suministro de agua.

El tanque presenta corrosión debido a la ausencia de recubrimiento, pintura anticorrosiva, haciendo que en determinado momento sufra daño permanente, no cuenta con refuerzos y hay indicios de soportes doblados por el peso del tanque del colector. Los medidores de temperatura parecen estar en buen estado. Clasificándose como no aceptable.

Figura 8. **Colector Solar, condición inicial**



Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Medidor de temperatura, condición inicial**



Fuente: elaboración propia.

### **1.2.6. Condición inicial de sistema de iluminación**

El laboratorio puede llegar a contar con secciones de clase nocturnas para llevar a cabo en el mismo, por consiguiente necesita de una fuente de iluminación para que no exista alguna dificultad, para su desarrollo y así puedan realizar prácticas cuando no hay disponibilidad de luz de día.

Actualmente la iluminación del laboratorio presenta deterioro en: cableado, protección del cableado, ausencia de bombillas, entre otros.

Figura 10. **Sistema de iluminación 1/3, condición inicial**



Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Sistema de iluminación 2/2, condición inicial**



Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Sistema de iluminación 3/3, condición inicial**



Fuente: elaboración propia.

Considerándose las condiciones como no aceptable.

### 1.2.7. **Resumen de condiciones iniciales del Laboratorio de Máquinas Hidráulicas**

A continuación, se presenta el resumen de las condiciones del laboratorio.

Tabla I. **Condiciones iniciales del laboratorio**

<b>Equipo</b>	<b>Estado</b>
Bomba sumergible	Aceptable
Bomba horizontal	Aceptable
Turbina Pelton	No aceptable
Sistema fotovoltaico	No aceptable
Aerogenerador	No aceptable
Ariete hidráulico	No aceptable
Colector solar	No aceptable
Sistema de iluminación	No aceptable

Fuente: elaboración propia.





## **2. MÁQUINAS HIDRÁULICAS**

### **2.1. Reacondicionamiento**

El reacondicionamiento es un término compuesto por el prefijo Re y el sustantivo Acondicionamiento.

El prefijo Re hace referencia a hacer alguna acción repetidamente en un periodo de tiempo o en un ciclo específico. Y el sustantivo acondicionamiento significa realizar una reparación o corrección de un espacio, para que pueda cumplir con los objetivos y funciones previstas.

Cuando se menciona la palabra reacondicionamiento en el siguiente trabajo de graduación se hace referencia a: Toda acción de reparación y mantenimiento preventivo o correctivo, dirigido a las herramientas y el equipo utilizado en el laboratorio del curso de Máquinas Hidráulicas de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con el fin de cumplir con el objetivo de aprendizaje óptimo de los estudiantes.

### **2.2. Mantenimiento**

Es definido como las acciones realizadas para reparar, preservar y conservar la integridad física de ciertos instrumentos y equipos. El objetivo fundamental del mantenimiento, es la operación correcta de condiciones de calidad de los equipos o herramientas un determinado número de horas.

Otros autores definen mantenimiento como:

“El conjunto de acciones orientadas a conservar o restablecer un sistema y/o equipo a su estado normal de operación para cumplir un servicio determinado en condiciones económicamente favorables y de acuerdo a las normas de seguridad integral”.<sup>1</sup>

### **2.2.1. Correctivo**

El mantenimiento era operación con poca importancia hasta hace unas décadas atrás, era manejada desde un plano secundario; con la llegada de la Primera Guerra Mundial en 1914, las fabricadas iniciaron con producciones a gran escala de armamento militar, por tanto conforme se producía se generaba la necesidad de ejecutar reparaciones en máquinas en el menor tiempo posible.

Así surgió un órgano subordinado a la operación, cuyo objetivo básico era la ejecución del mantenimiento cuando se presentaba alguna falla, hoy conocido como Mantenimiento Correctivo.

El mantenimiento correctivo es la acción que se realiza para reparar, este tipo de mantenimiento se realiza cuando se ha perdido la calidad, el momento en que se presenta una falla en una herramienta o equipo y este ha dejado de funcionar parcial o completamente.

Este tipo de mantenimiento no es programado y consecuentemente tiene un alto costo, ese costo abarca: mano de obra, materiales utilizados y el tiempo muerto, tiempo en que la herramienta o el equipo estuvieron sin funcionar y no aportan un beneficio a la empresa.

---

<sup>1</sup> HUNG, Alberto J. *Mantenimiento centrado en confiabilidad como estrategia para apoyar los indicadores de disponibilidad y paradas forzadas en la Planta Oscar A. Machado EDC.* p. 13.

El mantenimiento correctivo se puede desglosar en dos ramas:

- **Mantenimiento paliativo:** son las reparaciones realizadas provisionalmente con el objetivo de realizar una reparación mayor mas adelante con más tiempo disponible.
- **Mantenimiento curativo:** son las reparaciones definitivas que se realizan con más tiempo de ejecución.

### **2.2.2. Preventivo**

Es el mantenimiento programado, se realiza para reducir fallos aleatorios. Es el conjunto de acciones realizadas periódicamente para reemplazar piezas desgastadas o próximas a fallar.

También se puede definir como todos aquellos servicios de inspecciones sistemáticas, ajustes, conservación y eliminación de defectos, buscando evitar fallas y tiempos muertos en ejecución.

El mantenimiento preventivo se realiza cuando las herramientas y el equipo aún están ejecutando su trabajo de forma correcta y conforme los estándares de calidad.

El mantenimiento preventivo se desglosa en tres ramas:

- **Mantenimiento preventivo sistemático:** mantenimiento realizado según la planificación específica.
- **Mantenimiento de ronda o de vigilancia:** mantenimiento realizado según el estado de herramientas y equipos sometidos a rondas de vigilancia en un periodo de tiempo. Su objetivo principal es encontrar pequeñas fallas que vayan a perjudicar en el futuro.

- Mantenimiento preventivo predictivo: conjunto de acciones realizadas con el objetivo de tomar datos y analizarlos para comprobar posibles desviaciones en el funcionamiento de las máquinas.<sup>2</sup>

### **2.2.2.1. Plan de mantenimiento**

Un plan de mantenimiento preventivo es una herramienta que posee tareas de mantenimiento sistematizadas con el objetivo de evitar posibles fallas.

Determinación óptima del tiempo para realizar el mantenimiento, ejecución sin interrumpir el funcionamiento normal de equipos y herramientas, mejora el conocimiento y el control del estado de los equipos; son algunas de las ventajas de realizar un plan de mantenimiento.

Un plan de mantenimiento tiene diversas etapas, entre ellas se destacan las siguientes:

- Identificar equipos y herramientas: realizar un inventario de la herramienta y el equipo, clasificar por medio de códigos de identificación.
- Seleccionar de la política de mantenimiento: decidir mantenimiento a realizar por medio de análisis de propiedades cualitativas y cuantitativas; además de considerar las instrucciones del fabricante.
- Programa de mantenimiento preventivo: agrupar equipos y herramientas por familias y tipos de equipos. Proporcionar rutinas de inspección y de lubricación periódicas conforme la agrupación realizada.

---

<sup>2</sup> GENTO, Ángel M.; REDONDO, Alfonso.; FUZZYMANT. *Evaluación del mantenimiento utilizando técnicas difusas*. IX Congreso de Ingeniería de Organización. p. 88.

- Guía de mantenimiento correctivo: explicar procedimientos a seguir para la reparación, limpieza y lubricación de equipos y herramientas.
- Organización del mantenimiento: especificar personas involucradas en la realización del plan de mantenimiento a seguir y recursos físicos por usar.

### **2.3. Tipos de bombas**

Para definir una bomba hidráulica es necesario definir inicialmente qué es una máquina hidráulica.

Una máquina hidráulica es la encargada de absorber la energía cinética de un fluido de trabajo e intercambiarla por otro tipo de energía sin cambiar la densidad del agua o del fluido de trabajo. Las máquinas hidráulicas pertenecen a un grupo llamado máquinas de fluido.

Una bomba es un dispositivo o máquina encargada de absorber energía mecánica de un líquido y redistribuirlo por medio de energía hidráulica. Las bombas se emplean para impulsar líquidos en diferentes industrias.

Son diversas las aplicaciones que las bombas hidráulicas tienen en la industria, por ello es necesario conocer los tipos de bombas que existen.

#### **2.3.1. Bomba de émbolo**

Conocida como bomba de desplazamiento positivo, donde la transferencia de energía al fluido es hidrostática y su principio de operación está basado en un transporte directo del fluido de un lugar a otro, diseñada para bombear altos

contenidos de sólidos; su aplicación es registrada desde hace muchos años en la versión de generar vacío por su alto desplazamiento volumétrico. Una bomba de émbolo también es conocida como bomba de pistones.

Su aplicación es excelente cuando se han de bombear grandes cantidades de gas, vapor o se han de evacuar grandes recipientes rápidamente sin perturbaciones durante el funcionamiento.

Su funcionamiento consiste en el movimiento de uno o más pistones y válvulas ajustados a sus respectivos cilindros tal y como lo hace un compresor. Durante la carrera de descenso del pistón, se apertura la válvula de admisión accionada por del vacío creado por el propio pistón, se llena la cámara de líquido. Posteriormente el pistón sube, el incremento de presión cierra la válvula de admisión y empuja la de escape, abriéndola, con lo que se produce la descarga.

En estas bombas el conducto de salida es importante, debido a que si se encuentra cerrado producirá una falla por rotura en la bomba.

Las bombas de émbolo pueden ser:

- De efecto simple
- De doble efecto

Figura 13. **Bomba de émbolo**



Fuente: *Bomba de embolo*. <https://www.pcm.eu/es/industria/soluciones-pcm/bombas-de-embolo>. Consulta: 4 de abril de 2018.

### 2.3.2. **Bombas rotativas**

Las bombas rotativas, son máquinas de desplazamiento positivo, con un mecanismo rotativo, compuestas de dos anillos, engranes, aspas, pistones, levas, segmentos, tornillos, entre otros, que giran de distinto centro. El funcionamiento se basa en reducir la presión en el lado de entrada, esto hace que la presión movilice el líquido hacia la parte interna de la bomba; entonces al girar el elemento interno, el fluido queda atrapado en la coraza de la bomba, con un movimiento rotativo adicional el líquido sale por el lado de la salida.

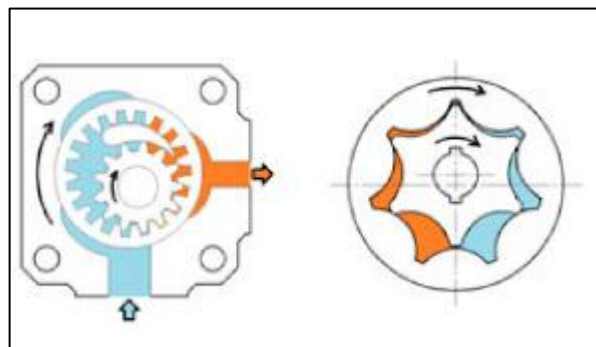
Las bombas rotativas más comunes son las de engranajes, paletas, pistones y las peristálticas. Las bombas de engranajes pueden ser:

- Engranajes exteriores: transporta el caudal entre los dientes de perfil envolvente de dos piñones acoplados.



- Engranajes internos: los dientes engranan internamente, el piñón interno posee dos dientes menos que el piñón externo, posee un dispositivo en forma de semiluna para conducir el fluido.
- De lóbulos: posee lóbulos que realizan el movimiento giratorio del fluido.
- De Gerotor: bombas con engranes internos con dos ruedas de perfil.
- Helicoidales: poseen de uno a tres tornillos roscados que giran en la coraza de la bomba.

Figura 14. **Bomba rotativa de gerotor**



Fuente: DE LAS HERAS JIMÉNEZ, Salvador. *Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas*.  
p. 170.

También existen bombas rotativas de paletas poseen una serie de aspas o paletas colocadas de forma balanceada conforme gira el rotor, atrapando al líquido y forzándolo en el tubo de descarga de la bomba, estas pueden ser:

- Paletas deslizantes o flexibles
- Equilibradas

- Desequilibradas

Las bombas rotatorias de pistones también conocidas como bombas de émbolo, consiste en el movimiento de uno o más pistones y válvulas ajustados a sus respectivos cilindros tal y como lo hace un compresor, pueden ser:

- Con pistones dispuestos de forma axial y dispuestos en forma radial

Las bombas rotatorias tienen diversas aplicaciones en la industria debido a que transportan un fluido de cualquier viscosidad. Entre las aplicaciones industriales se puede mencionar: procesos químicos, procesos alimenticios, lubricación a presión, pintura a presión, sistemas de enfriamiento, manejo de grasa.

### **2.3.3. Bomba centrífuga**

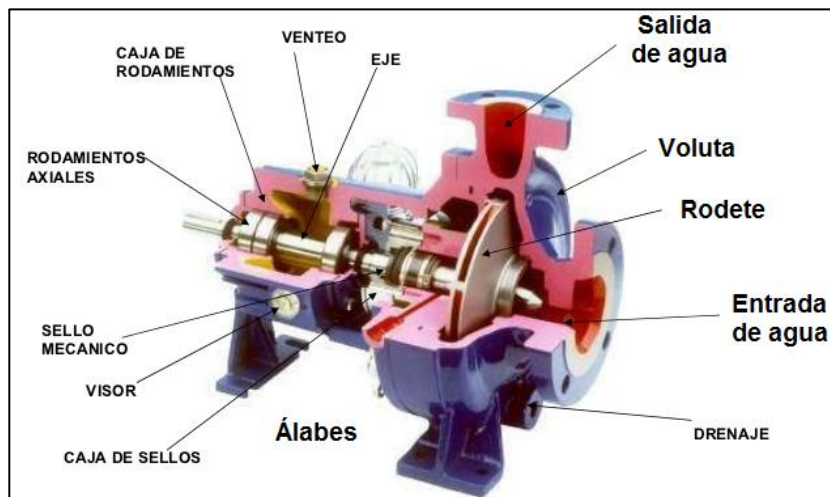
Son bombas encargadas de transportar un líquido por medio del movimiento centrífugo que genera un rotor, colocado en su interior, y es accionado por un motor eléctrico o de combustión

El funcionamiento principal se centra en el rotor de álabes fijos que gira en la carcasa en forma espiral. Por medio de la tubería de aspiración introduce el fluido, gira el rotor y se genera la fuerza centrífuga el cual hace salir el líquido a los canales situados en los alabes. Cambian energía cinética por energía potencial.

Las bombas centrífugas tienen diversas aplicaciones pero entre las más importantes se encuentran: producción de níquel, tanto en el proceso carbonato-amoniaco, como en el de lixiviación ácida, en hidroeléctricas,

industria alimenticia, industria de cosméticos, industria farmacéutica, industria licorera, bebidas y más.

Figura 15. **Bomba centrífuga**



Fuente: *Los álabes en nuestras bombas*. <https://elbombernumero13.wordpress.com>. Consulta: 4 de octubre de 2018.

Existen diversos tipos de bombas centrífugas entre ellos:

- Radiales, axiales y diagonales:

Se ha considerado como bombas centrífugas desde las propiamente centrífugas o radiales, en las que la energía se cede al líquido esencialmente mediante la acción de la fuerza centrífuga, hasta las axiales, en las que la energía se cede al líquido por la impulsión ejercida por los álabes sobre el mismo. En las bombas centrífugas radiales la corriente líquida se verifica en planos radiales, en las axiales en superficies cilíndricas alrededor del eje de rotación y en las diagonales radial y axialmente, denominándose también de flujo mixto.<sup>3</sup>

<sup>3</sup> FERNANDEZ DIEZ, Pedro. *Bombas centrífugas y volumétricas*. p. 21.

- De impulsor abierto, semiabierto y cerrado: hace referencia al tipo de diseño hidráulico.
- Horizontales y verticales: se refiere a la posición del eje de rotación, siendo este horizontal o vertical, siendo inusualmente inclinado.

#### **2.3.4. Bomba horizontal**

La bomba horizontal son las bombas que se encuentran a la misma altura que el motor, es utilizada en funcionamiento en seco exterior al líquido bombeado que llega a la bomba por medio de una tubería de aspiración. Estas bombas deben estar previamente cebadas, usualmente son necesarias válvulas de pie aspiración para poder realizar esta tarea.

Las ventajas de las bombas horizontales son:

- Montaje económico
- Conservación y montaje sencillo y económico
- Desmontaje de la bomba sencillo

Figura 16. **Bomba horizontal**



Fuente: *BHC, bombas centrifugas y helicoidales*. <http://www.bchbombas.com/bomba-horizontal.html>. Consulta: 4 de octubre de 2018.

### **2.3.5. Bomba de turbina vertical**

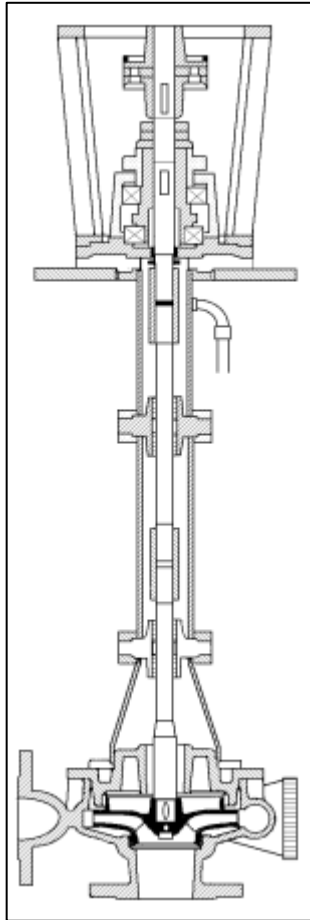
Son bombas llamadas también bombas de pozo profundo. Bombas compuestas por un eje vertical interno a la tubería de impulsión o dentro de un tubo protector, conjunto de impulsores, cojinetes y eje de soporte.

Estas bombas son aplicadas diversas industrias pero las más importantes son: la explotación de pozos, perforaciones, sondeos de diámetro reducido, industria agraria entre otras.

Los tipos de bombas de turbina vertical son:

- Bombas de turbina verticales con el motor por encima
- Bombas de turbina verticales con el motor sumergido

Figura 17. **Bomba de turbina de eje vertical**



Fuente: FERNANDEZ DIEZ, Pedro. *Bombas centrífugas y volumétricas*. p. 25.

### 2.3.6. **Bomba sumergible**

Las bombas sumergibles también conocidas como bombas de buzo o electrobombas, son bombas que eliminan la acción de del cebado. Son bombas capaces de funcionar con líquidos alrededor, se coloca el motor debajo de la bomba, eliminando la utilización de eje, cojinetes y turbo protector, reduciendo el diámetro de la tubería de impulsión.

Los motores pueden ir sellados herméticamente o en interacción con el líquido. Las ventajas de usar una bomba sumergible es la reducción de espacio para montaje, pero posee un menor rendimiento y menor vida de motor, adicional a mantenimiento mayor.

Sus aplicaciones comúnmente se encuentran en industrias agrícolas, en el interior de los pozos de 30 m de profundidad.

#### **2.3.6.1. Condiciones de operación**

- La bomba sumergible debe tener en buen estado los sellos para evitar cortocircuito producido por líquido bombeado.
- Profundidad de inmersión: 30 m.
- Impulsor sellado a la carcasa.
- Sistema eléctrico de alta tensión.

#### **2.3.6.2. Composición de equipo**

- Seguridad: protección contra vandalismo y hechos de violencia a la propiedad.
- Bomba: su función es impulsar el agua del depósito subterráneo hacia el depósito aéreo.
- Sellos mecánicos: mantener herméticamente sellado el motor.
- Controlador: tablero que contiene el control del inversor, capacitador y procesador.

Figura 18. **Tipos de bombas sumergibles**



Fuente: LÓPEZ DE PABLO, Sergio. *Instalación de una bomba sumergible para suministro de agua de un pueblo de Tanzania que trabaja por medio de una fuente de energía renovable.*

p. 19

### **2.3.7. Ariete hidráulico**

La bomba de ariete hidráulico, es una bomba que aprovecha la energía cinética del fluido convirtiéndola en energía de presión que eleva el fluido a un punto más elevado.

La energía de presión se genera por medio de detener de forma inmediata el movimiento del fluido. Existe una pérdida de energía que genera una eliminación de fluido que está entrando. La pérdida del fluido en la bomba provoca el fenómeno llamado Golpe de ariete hidráulico.



Para generar un golpe ariete hidráulico es necesario que exista suficiente caudal de fluido y cambios de elevación significativos. Los cambios de elevación de agua deben ser con un ángulo de 30° de inclinación.

El golpe de ariete es un fenómeno que se genera por la elasticidad que posee el fluido. El golpe de ariete se genera cuando una válvula instalado en el extremo de salida de una tubería se cierra, haciendo que las partículas del fluido sean empujadas por las partículas que vienen detrás; esto genera una sobrepresión que supera la velocidad del sonido del fluido. Ligera compresión de fluido, reducción de volumen y dilatación de tubería, son efectos generados por la sobrepresión. Esto en conjunto provoca el movimiento del fluido en dirección contraria al estar la válvula cerrada, se genera una depresión considerable con respecto a la presión normal.

## **2.4. Turbinas hidráulicas**

Una turbina hidráulica es un dispositivo que convierte la energía hidráulica de un fluido o gas, en energía mecánica. En el caso de turbinas hidráulicas se dice que son dispositivos motrices a diferencia de las bombas que son dispositivos generatrices. Las turbinas hidráulicas fundamentan su funcionamiento en el movimiento del fluido en los álabes.

A continuación, se explican las turbinas hidráulicas utilizadas en el laboratorio del curso de Máquinas Hidráulicas.

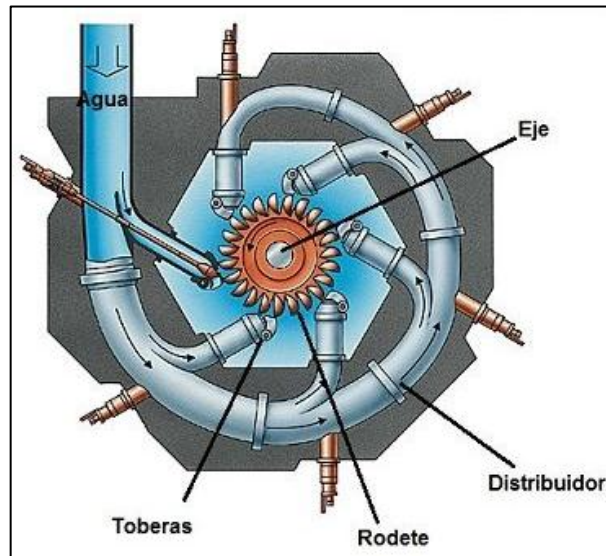
### **2.4.1. Turbina Pelton**

La turbina Pelton, clasificada entre las turbinas de acción o impulsión, son turbinas en las que el agua sale del distribuidor a la presión atmosférica,

posteriormente entra al rodete con la misma presión; en estas turbinas, toda la energía potencial del salto se transmite al rodete en forma de energía cinética; son máquinas robustas y simples, capaces de un buen rendimiento. Fueron las primeras turbinas usadas, fue inventada en 1880 por Lester Pelton, quien años después le dio su nombre.

Su funcionamiento consiste básicamente en la entrada de un fluido por medio de una tobera estacionaria convergente cónica, llamada inyector. Posteriormente el inyector hace coincidir la corriente tangencial con el rotor, que posee un disco que soporta los cangilones dobles, generalmente con doble cavidad, periódicamente colocados en su periferia. El rotor puede ser de eje horizontal o vertical. La función primordial del rotor es convertir la energía cinética del caudal de agua en velocidad de rotación de la rueda o rotor.

Figura 19. **Turbina Pelton**



Fuente: *Turbinas hidráulicas*. <http://www.areatecnologia.com/mecanismos/turbinas-hidraulicas.html>. Consulta: 4 de octubre de 2018.

## 2.4.2. Turbina Francis

La Turbina Francis, está clasificada entre las turbinas de reacción o turbinas de sobrepresión debido a que, el fluido abandona el distribuidor con una presión que disminuye a medida que el fluido atraviesa los álabes del rodete, por tanto en la salida, la presión puede ser nula ó incluso negativa; en estas turbinas el agua circula a presión en el distribuidor y en el rodete y, por lo tanto, la energía potencial del salto se transforma, una parte, en energía cinética, y la otra, en energía de presión.<sup>4</sup>

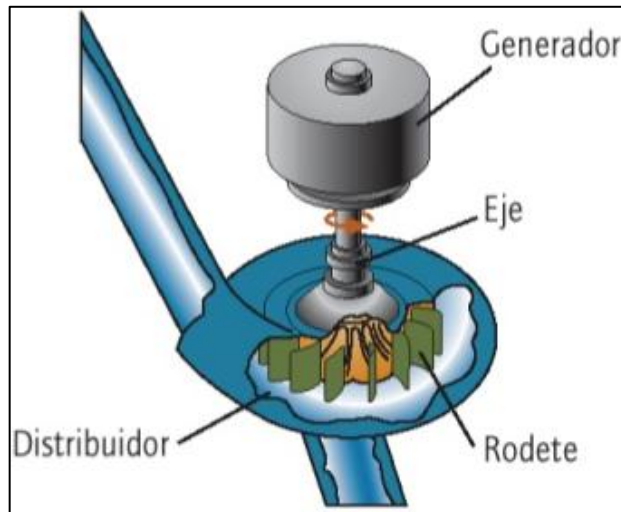
La primera turbina a reacción fue creada en 1849 por el ingeniero norteamericano J.B Francis. Su funcionamiento consiste básicamente en dirigir el flujo bajo presión en sentido centrípeto por medio de la voluta, conducto al que llega el fluido de una tubería forzada y que la distribuye uniformemente por todo el perímetro de entrada del rodete en dirección radial, convierte la energía potencial en energía cinética. El fluido que abandona la voluta pasa primero por el predistribuidor, con álabes fijos dispuestos circunferencialmente. Después del predistribuidor el agua pasa por el distribuidor, que tienen álabes con directrices móviles y regula el caudal que entra en el rodete.

Posteriormente después del recorrido realizado a través del rodete, el agua experimenta una caída de presión, hasta que finalmente sale por el centro a baja presión. La variación de la cantidad de momento cinético que se obtiene procede de la desviación de la trayectoria del flujo y de la variación de las energías de presión y cinética, que proporcionan la transferencia de energía que tiene lugar en el rodete.

---

<sup>4</sup> DÍEZ FERNÁNDEZ, Pedro. *Turbinas hidráulicas*. p.3.

Figura 20. **Turbina Francis**



Fuente: LA TORRE GARCÍA, Gerson. *Turbinas de reacción*.

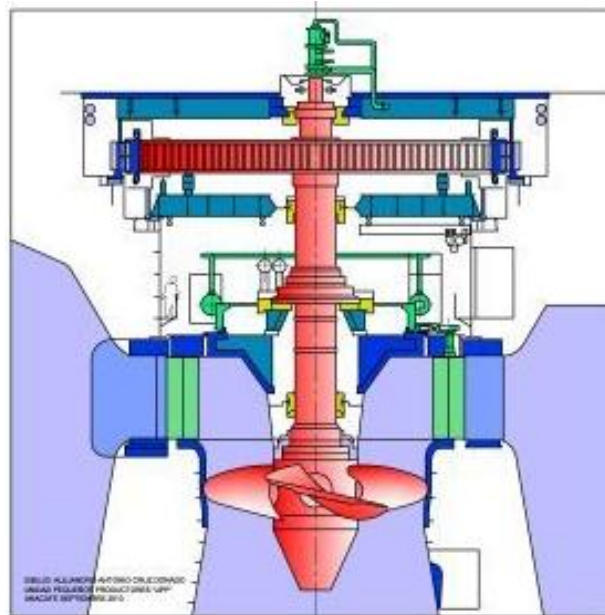
<https://es.slideshare.net/GersonLaTorre/turbina-francis-por-csar>. Consulta: 4 de octubre de 2018.

### 2.4.3. **Turbina Kaplan**

Es una turbina de reacción al igual que la turbina Francis, son turbinas en las que los álabes del rodete tienen forma de hélice; se utiliza en saltos de pequeña altura, generando elevados rendimientos.

Fue creada en 1906 por el austriaco Viktor *Kaplan*, su funcionamiento consiste básicamente en la entrada del fluido a los álabes del rodete que giran alrededor de su eje, accionados por unas manijas conectadas a bielas articuladas a una cruceta, que se desplaza hacia arriba o hacia abajo por el interior del eje hueco de la turbina. Este desplazamiento es accionado por un servomotor hidráulico, con la turbina en movimiento.

Figura 21. **Turbina Kaplan**



Fuente: *Hidrogenación eléctrica*. [http://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Hidrogenacion\\_Hidroelectricas](http://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Hidrogenacion_Hidroelectricas). Consulta: 4 de octubre de 2018.

## **2.5. Panel solar fotovoltaico**

Un panel solar fotovoltaico es un conjunto de elementos creados para aprovechar la radiación solar, elementos llamados células solares. El objetivo principal de un panel solar fotovoltaico es aprovechar la irradiación solar y generar la energía eléctrica para suministro de una instalación.

### **2.5.1. Historia de paneles fotovoltaicos**

Alexandre Edmond Becquerel, fue un francés que en 1838, mientras experimentaba con una batería electrolítica con electrodos de platino, descubrió que la corriente subía en uno de los electrodos al exponerse a la luz solar.

El término fotovoltaico se utilizó por primera vez en Inglaterra en 1849.

Charles Fritts fue el creador de la primer célula solar en 1883, con la ayuda de una muestra de selenio semiconductor realizó un empalme con pan de oro.

Años después en 1954, los Laboratorios Bell descubrieron por medio de la experimentación que semiconductores de silicio con otros aditivos, eran sensibles a la luz, posteriormente se comercializó la realización de células solares comerciales con eficiencia de 6 %.

En 1981 Arco Solar comercializa el primer panel de célula cuadrada de cuatro pulgadas. Con lo que se conseguía una mayor potencia por unidad de superficie, alcanzando potencia de hasta 47 *Watts* con la misma superficie.

En 2007 dos compañías norteamericanas, producen el 95 % de las células solares con el 28 % de eficiencia.

Figura 22. **Panel solar fotovoltaico de silicio**



Fuente: BARRERA FERNÁNDEZ, Manuel. *Energía solar: electricidad fotovoltaica*. p. 10.

### **2.5.2. Componentes**

Las partes o componentes de un panel solar fotovoltaico son los siguientes:

- **Sistemas generadores fotovoltaicos:** consisten en paneles solares fotovoltaicos inclinados y orientados específicamente para recibir la irradiación solar. Estos paneles se pueden conectar en serie o en paralelo según la demanda energética requerida; los paneles están constituidos por células solares monocristalinas o policristalinas protegidas por un vidrio y enmarcadas en un recuadro metálico.

“Los módulos fotovoltaicos deben instalarse según estudios técnicos y arquitectónicos previos, pero no está de más comentar que es recomendable instalarlos como mínimo a 15° de la horizontal para que el agua que sea derramada en él resbale y orientarlos hacia el sur ya que dicha zona es en promedio la más irradiada por el sol”.<sup>5</sup>

- Estructura de soporte: son elementos de soporte que varían según la instalación a realizar, estas pueden ser dos tipos: en el techo de un inmueble o en una superficie plana usando un soporte de estructura triangular. La estructura de soporte debe soportar diferentes factores climáticos, dilataciones térmicas y proteger la superficie de agentes ambientales.
- Inversor: es uno de los elementos más importantes debido a que genera la conversión de energía corriente directa DC a corriente alterna CA, el inversor genera energía senoidal y se obtiene por medio de la técnica de modulación de ancho de pulsos. Un microcontrolador determina el tipo de onda que se genera a partir de una tabla de valores disponibles en la memoria auxiliar del sistema; la salida del inversor está conectado a la red eléctrica y a la red de distribución respectiva.
- Cableado: el cableado es muy importante debido a que existen normas específicas para evitar daños y accidentes, estas normas son las siguientes:

---

<sup>5</sup> DÍAZ, Oscar Marcelo. *Diseño de un sistema fotovoltaico residencial con capacidad para venta de energía a la red de distribución*. p. 24.



- Las cargas positivas y negativas de cada grupo de módulos se conducirán separados y protegidos de acuerdo a la normativa para conductores eléctricos.
- Los conductores serán de cobre y tendrán la sección apropiada para evitar caídas de tensión y sobrecalentamientos.
- El cableado deberá tener la longitud necesaria para no generar esfuerzos.
- Protección para cables para condiciones ambientales.
- Los cables que se encuentren en el exterior se instalaran bajo tubo metálico y los interiores bajo canaleta.
- Se debe tomar en cuenta la protección de los usuarios, verificar cualquier fuga de agua, colocar bien cables que pasan por muros y techos.

### **2.5.3. Funcionamiento en generación de corriente**

El funcionamiento de un panel solar fotovoltaico se basa en la capacidad de captar fotones generados por la irradiación del sol, estos golpean los electrones de materiales semiconductores de las células solares, componente principal de los paneles solares.

El funcionamiento se deriva en dos principios, que son:

- Principios teóricos: los fotones que son absorbidos por la radiación solar impactan sobre la primera superficie del panel y son absorbidos por los materiales semiconductores convirtiéndolos en electrones, electrones que se alojan en orbitales de energía contable, esta choca nuevamente con fotones, generando la liberación de átomos, posteriormente circulan a través del material y producen electricidad.

Se realiza la transformación de energía solar en energía eléctrica de corriente continua. La corriente continua se dirige a un circuito electrónico denominado conversor, que transforma la corriente continua en corriente alterna, que es la que comúnmente se utiliza en las redes de distribución.

- Fotogeneración de portadores de carga: cuando un fotón llega a una pieza de silicio, pueden ocurrir tres reacciones:
  - El fotón puede pasar a través del material semiconductor sin producir ningún efecto.
  - Los fotones pueden ser reflejados al llegar a la superficie del panel, y son expulsados de este.
  - El fotón es absorbido por el silicio. Cuando se absorbe un fotón, la energía de este se comunica a un electrón de la red cristalina generando energía. La energía que el fotón le proporciona es capaz de excitarlo y promocionarlo a la banda de conducción, que está vacía y donde puede moverse con relativa libertad, usando esa banda, para desplazarse a través del interior del semiconductor

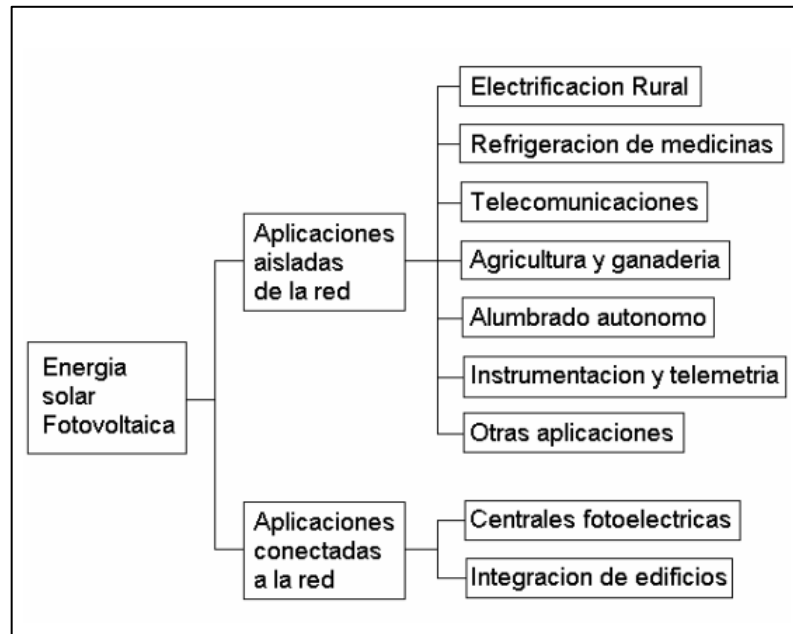
Posteriormente después de realizarse los principios explicados con anterioridad, se procede a la separación de los portadores de carga.

Existen dos formas fundamentales para la separación de portadores de carga en una célula solar: movimiento de los portadores y difusión de los portadores de carga.

La generación de corriente se genera posteriormente por medio del efecto fotoeléctrico, los módulos fotovoltaicos están compuestos por célula solares fotovoltaica, dos delgadas láminas de silicio. Una dopada con elementos con menos electrones de valencia que el silicio, llamada lámina P y otra con elementos con más electrones que los átomos de silicio, llamada lámina N. Los fotones captados interactúan en la superficie de la lámina P, esta acción libera electrones que atraviesan la capa del semiconductor, generando una diferencia de potencial en la lámina N con respecto a la lámina P.

Por medio de la conexión de conductores eléctricos, se inicia la generación de energía eléctrica continua.

Figura 23. **Aplicaciones de energía solar fotovoltaica**



Fuente: MUÑOZ ANTICONA, Delfor Flavio. *Aplicación de la energía solar para electrificación rural en zonas marginales del país.* p. 33.

Los módulos fotovoltaicos pueden ser instalados en terrazas, techos, tejados y patios; actualmente también se instalan en fachadas: ventanas, balcones, paredes y cornisas. Un aspecto fundamental en la localización de los módulos es asegurar que no existen obstáculos, al menos durante las horas centrales del día, vegetación, nieve, edificios, elementos constructivos, entre otros módulos.

#### **2.5.4. Control de potencia y baterías**

La energía irradiada por el sol y después convertida en energía eléctrica debe ser almacenada en distintos medios, entre ellos se mencionan los siguientes:

- Control de potencia: se realizan registros por medio de algoritmos de la potencia generada, estos controles de potencia registran diferentes picos de potencia para ser almacenados en baterías o ser administrados directamente a la red de distribución.
  
- Baterías de ciclo profundo: son baterías que se utilizan para almacenar energía de los sistemas fotovoltaicos independientes, existen diversos tipos según el tipo de batería así serán las características como recargables, de mantenimiento fácil, económicas, de diferentes tamaños y opciones; entre los tipos de baterías se encuentran las siguientes:
  - Plomo ácido
  - Níquel-Cadmio
  - Níquel-Zinc
  - Zinc-Cloro

## **2.6. Generador eólico**

Un generador eólico, también conocido como turbina eólica es un sistema de elementos que en conjunto tienen como objetivo aprovechar la energía cinética del viento, convirtiéndola en energía mecánica y por último transformándose en energía eléctrica.

### **2.6.1. Antecedentes**

Los generadores eólicos o aerogeneradores fueron utilizados desde tiempos remotos para locomoción, se usaban como medio de transporte por medio de barcos impulsados por velas y para almacenar granos básicos, en ese entonces se llamaba molino de viento.

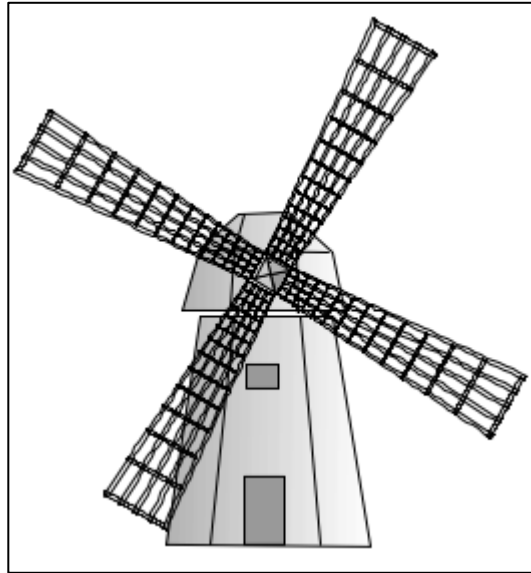
Siglos después se registra en la región oriental Irán y Afganistán, en el siglo VI D.C. se usaban molinos para moles y almacenar granos y como medio de bombeo de agua en dicha región. En el siglo XI fueron introducidos los molinos en el área de Europa.

Con el paso de los años los generadores eólicos tomaron importancia debido a que 1970 con las crisis de petróleo y el agotamiento de combustibles fósiles, los seres humanos se vieron obligados a desarrollar nuevas formas de abastecimiento y energía verde; con ello aparecieron los primeros generadores eólico comerciales. En la década de 1980 con el descontento por la energía nuclear y los desastres causados por accidentes generados, los generadores eólicos tuvieron un avance significativo.

En 2001 se creó en Dinamarca la Asociación Mundial de Energía Eólica, World Wind Energy Association, con sede en Bonn, Alemania; y concebida como una organización internacional para la promoción mundial de la energía limpia.

Actualmente se genera energía eólica más de 80 países, que satisfacen demandas energéticas de diferentes sectores. En Guatemala el 5 de marzo de cada año se conmemora el día de la eficiencia energética.

Figura 24. **Molino holandés**



Fuente: MORAGUES, Jaime; RAPALLINI, Alfredo. *Energía eólica*. p. 5.

### **2.6.2. Partes**

Los generadores eólicos poseen diferentes partes que hacen que el conjunto de elementos funcione de forma correcta, entre estos elementos se mencionan los siguientes:

- **Álabes:** son partes fundamentales de un generador eólico debido a que por medio de los álabes se capta la energía cinética de la velocidad del viento, el viento circula en ambas caras de los álabes de diferente perfil geométrico con forma irregular para aprovechar la aerodinámica del aire, esto genera una depresión en ambas caras del ala por tanto se genera una fuerza de resistencia que hace girar el rotor al que los álabes están conectados.

- Rotor: es el dispositivo encargado de transformar la energía cinética de la velocidad del viento a energía mecánica.
- Eje: se refiere al eje de rotación con respecto a la dirección del viento puede ser eje vertical o eje horizontal.
  - Eje horizontal: máquinas eólicas en las cuales el eje de rotación es paralelo a la dirección del viento.
  - Eje vertical: máquinas eólicas en las cuales el eje de rotación es perpendicular a la superficie terrestre y a la dirección del viento.
- Estator: es el dispositivo formado por un núcleo de láminas de acero en forma de bloque, con ranuras en las que se encuentran ubicadas bobinas de hilo de cobre recubiertas de acetal de vinilo.

### **2.6.3. Funcionamiento en generación de corriente**

Un generador eólico capta la energía cinética de la velocidad del viento por medio de las palas o álabes, esta genera un momento que a su vez produce un movimiento rotacional en el rotor, en este punto es cuando la energía cinética del viento es convertida en energía mecánica por medio del movimiento generado; este movimiento es transmitido a una serie de engranajes de un generador eléctrico, transformando así la energía mecánica en energía eléctrica.

Actualmente según los avances tecnológicos se encuentran aerogeneradores que pueden adaptarse a diferentes factores climáticos como, adaptarse a cambios de dirección, velocidad del viento, entre otros.



#### **2.6.4. Potencia**

La potencia se define como la cantidad de trabajo que se realiza por unidad de tiempo. Para el presente estudio se puede afirmar que la potencia de un generador eólico es la transformación de energía de cinética a mecánica y de mecánica a eléctrica en un periodo de tiempo.

#### **2.7. Colector solar, calentador de agua**

Es un sistema de calentamiento de agua, este es un sistema que utiliza la irradiación de luz solar para calentar un fluido, comúnmente agua. Estos calentadores son de uso residencial creado para sustituir sistemas convencionales que necesitaban electricidad y gas.

El colector solar o calentador solar es una alternativa muy beneficiosa con el medio ambiente, debido a que puede elevar la temperatura hasta 60 °C; es una opción amigable con el medio ambiente, no consume combustibles fósiles o electricidad.

Los colectores solares están conformados por dos elementos principales, que son:

- Colector: encargado de recibir y transformar la energía solar en energía utilizable.
- Tanque de almacenamiento: aislado para el agua que ha sido calentada.

Existen dos tipos de sistemas para el calentamiento, se diferencian en la forma de circulación del agua: Sistema de circulación natural y Sistema de circulación forzada.

### 2.7.1. Historia

En 1767, el naturalista suizo Horace-Bénédict de Saussure inventó el primer colector solar plano para cocer fruta.

En 1909, el ingeniero William J. Bayiley comenzó a comercializar un calentador solar para la producción de agua caliente domiciliaria en Los Ángeles, Estados Unidos.

Con el paso de los años el sistema de producción de agua caliente por medio de colectores solares, ha ido avanzando y desarrollando diferentes modelos.

Figura 25. **Colector solar de uso residencial**



Fuente: NANDWANI, Shyam S. *Energía solar: conceptos básicos y su utilización.* p. 22.

## 2.7.2. Componentes

Los componentes principales del colector solar son los siguientes:

- Placa de absorción: elemento encargado de recibir la energía solar y convertirla en energía térmica para luego ser transferida al fluido, agua. La placa usualmente está fabricada por algún metal, cobre, acero, aluminio, entre otros.
- Cubierta: lámina de material transparente colocada en frente de la placa de absorción, su función es permitir el paso de la radiación solar absorbida por la placa y disminuir la cantidad de radiación infrarroja que se escapa al exterior; de esta forma se disminuyen las pérdidas. Las características de la cubierta deben ser:
  - Elevada absorción dentro del espectro solar
  - Elevado índice de reflexión
- Conductos para la circulación del fluido: serie de conductos por los cuales circula el fluido de trabajo, el cual recibe y transporta la energía absorbida por la placa hacia el tanque de almacenamiento. Existen dos formas de circulación del fluido, de Serpentin o de tubos colectores e igualmente existen diversas formas de disposición de la unión placa-conductos.<sup>6</sup>
- Aislante térmico: elemento básico empleado para disminuir pérdidas por conducción en la parte inferior y lateral del colector. Las características que debe poseer el material utilizado para fabricar un aislante son: No debe deteriorarse, gasificarse o vaporizarse a temperaturas alrededor de los 200 °C, resistencia a la repetición de los ciclos térmicos entre 35 °C y 120 °C.
- Caja, juntas y selladores: la caja es el elemento de soporte, soporta todos los componentes del colector, la cual impide factores ambientales no perjudiquen el funcionamiento del colector solar. La función en conjunto de la caja, juntas y selladores, es permitir la hermeticidad y

---

<sup>6</sup> BURBANO, Juan Carlos; RESTREPO, Álvaro Hernán; SABOGAL, Óscar Julián. *Diseño y construcción de un calentador solar de agua operando por termosifón* p. 85.

soporte del colector solar. Los materiales para su fabricación son muy variados: aluminio, lámina galvanizada, madera, termoplásticos para alta temperatura o fibra de vidrio laminada. Las características más importantes que debe cumplir este elemento son las siguientes:

- Hermeticidad del fluido.
  - Resistencia a la radiación ultravioleta y a la intemperie.
  - Buena adhesión con las distintas superficies, resistencia a la repetición de los ciclos térmicos, soportar dilataciones.
- Tanque de almacenamiento: elemento encargado de almacenar el calor en el tanque por circulación directa. El mayor requerimiento técnico del tanque es su total aislamiento, con el fin de conservar la temperatura en el agua. Debe cumplir con las siguientes características:
    - Completo hermetismo.
    - Aislamiento de todos los factores ambientales.
    - Evitar fugas.
    - Disponer de dispositivos de seguridad.
    - La ubicación del tanque es importante, porque de ésta, depende la eficiencia del termosifón y el evitar el fenómeno de flujo inverso.
    - Un segundo tanque que suministre flujo continuo de agua.

### **2.7.3. Funcionamiento en calentamiento de agua**

El funcionamiento del colector solar consiste en recibir la radiación electromagnética que incide sobre la placa de absorción y mediante el efecto fototérmico, se transforma en energía interna en el sólido, aumentando su temperatura.

Una vez recibida la radiación, se requiere transferir el calor generado hacia un fluido de trabajo, que se encargará de llevar la energía hasta otro dispositivo que le dará el uso deseado por medio de los conductos de circulación del fluido.

#### **2.7.4. Eficiencia**

La eficiencia de un colector solar está definida como la cantidad de calor útil recibida, dividida por la cantidad de calor incidente en el agua calentada. La diferencia entre ambas representan las pérdidas de energía hacia el ambiente.

#### **2.8. Recolección de datos**

Existen diversas técnicas y herramientas para recolectar datos que usa un analista para ejecutar una toma de decisiones en base a los resultados obtenidos. Adicional a realizar un análisis de tipos de datos de estudio, existen dos tipos de datos entre estos datos se pueden mencionar:

- Datos cuantitativos: son datos con interpretación estadística, datos que se relacionan a cantidades reales, datos que reúnen información importante de una muestra poblacional.
- Datos cualitativos: datos relativos a cualidades, información relacionada con adjetivos, usualmente estos datos son utilizados para conocer la opinión y motivación de una muestra poblacional.

### **2.8.1. Técnicas de recolección de datos**

Entre las diversas técnicas de recolección de datos se mencionan las siguientes:

- Entrevista
- Encuesta
- Cuestionario
- Observación
- Diagrama de flujo
- Diccionario de datos

#### **2.8.1.1. Encuesta**

La técnica elegida para el presente trabajo de graduación es la encuesta, una encuesta es un conjunto de preguntas estandarizadas dirigidas a una muestra representativa de la población en este caso, estudiantes y catedráticos del curso de Maquinas Hidráulicas, con el fin de conocer su opinión y punto de vista con respecto las modificaciones realizadas al laboratorio del curso.

Para la ejecución de una encuesta se debe tomar en cuenta trazar objetivos alcanzables y propósito específico de esta.

### **2.8.2. Obtención de datos**

Una recolección de datos satisfactoria, adecuada y con objetivos alcanzados y con enfoque metodológico adecuado, necesita una correcta interpretación de resultados, por medio de diferentes técnicas.

Previo a obtener y analizar los resultados de la encuesta se debe tomar en cuenta ciertas definiciones, descritas a continuación:

### **2.8.2.1. Variable y operacionalización de variables**

Es una característica, propiedad o atributo que van a cambiar conforme se varia de sujeto de estudio y según un periodo de tiempos. Esta variable tiene como característica principal que puede medirse.

Las variables pueden clasificarse según:

- Relación de dependencia
  - Variable independiente: conocida como variable causal o experimental, variable susceptibles de explicar las variables dependientes, pueden ser manipuladas por el investigador.
  - Variable dependiente: conocida como variable de efecto o de acción condicionada, variable que se ve afectada por la presencia de la variable independiente.
  - Variable interdependiente: es el intermediario entre la variable dependiente e independiente.
  
- Naturaleza
  - Cualitativa: variables enfocadas a cualidades e información subjetiva.

- Cuantitativa: son de carácter numérico, ligadas a una cantidad.
- Valor de medición
  - Variable nominal: representa una categoría específica.
    - Ejemplo: Sexo: Masculino o femenino.
  - Variable ordinal: presentan un orden en sus categorías.
    - Ejemplo: excelente, bueno, malo.
  - Variable de intervalo: representa un orden entre categorías adicionada a una medida de referencia con distancia específica.
    - Ejemplo: Temperatura, coeficiente intelectual, etc.
  - Variable de razón: variable que posee cero absoluto y las distancias entre dos puntos son siempre iguales.

Operacionalización de una variable es poder convertirla de un nivel abstracto a un nivel concreto, esto quiere decir que se hace medible. Por medio de la operacionalización se puede determinar el método a través del cual las variables serán medidas o analizadas.

Pasos de operacionalización:

- Definición de variable
- Determinación de dimensión de variable
- Establecer indicadores y sub-indicadores necesarios
  - Indicador: se expresa en razones, proporciones, tasas e índices



- Elaboración de escala de medición o categorización

### **2.8.3. Representación de resultados**

Existen diversas técnicas de representar los resultados de datos obtenidos por medio de una encuesta; entre estas técnicas se pueden mencionar las tablas porcentuales y las tablas de frecuencia, usadas en el presente trabajo de graduación.

#### **2.8.3.1. Tablas porcentuales**

Son representaciones de variables obtenidas por medio de diversos métodos de recolección de datos; estas variables representan el porcentaje de la población que eligió dicha variable.

#### **2.8.3.2. Tablas de frecuencia**

Son herramientas de estadística en ellas se colocan los datos en columnas, representando los distintos valores recogidos en la muestra, variables o datos recolectados, y las frecuencias en que ocurren.

### **3. REACONDICIONAMIENTO DEL LABORATORIO DE MÁQUINAS HIDRÁULICAS**

#### **3.1. Independización de sistemas de generación de energía eléctrica**

Durante la evaluación de condiciones iniciales se observó existencia de cableado eléctrico que va desde el generador eólico al contenedor de paneles fotovoltaicos. Ver figura 26 y 27. Respecto a la turbina, se cuenta con un espacio diseñado para contenerla a ella y todos sus componentes eléctricos y electrónicos. Ver figura 2.

Figura 26. **Cableado eléctrico a contenedor de paneles fotovoltaicos**



Fuente: elaboración propia.

Figura 27. **Contenedor de paneles fotovoltaicos**



Fuente: elaboración propia.

### 3.1.1. **Reinstalación de turbina Pelton**

Se inició verificando la turbina, no presentaba dificultades para girar. Se procedió a lijar para luego pintar el soporte donde va instalada.

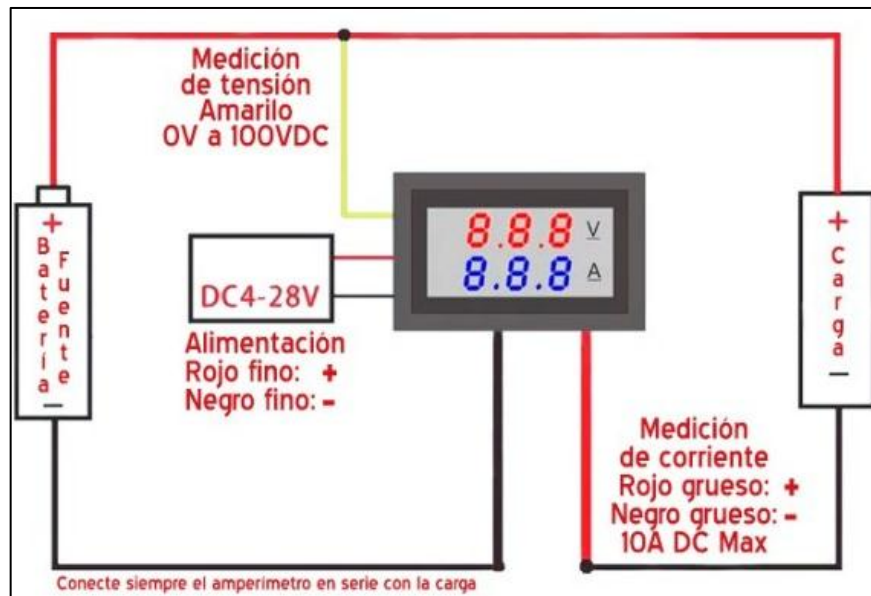
Figura 28. **Turbina y toberas**



Fuente: elaboración propia.

Los medidores de voltaje y corriente presentaban fallas, se consideró diseñar un nuevo sistema y proceder a su reconexión. Se hace uso de un medidor de voltaje y corriente, ambos en un mismo componente electrónico, cable, batería de 9V, conector para batería de 9V e interruptor de encendido y apagado; conectándose según diagrama de la figura 29.

Figura 29. Diagrama eléctrico de medidor de voltaje y corriente



Fuente: *Instrumentos de medición y prueba*. <https://www.todomicro.com.ar/instrumentos-de-medicion-y-prueba/286-voltimetro-amperimetro-999v-10a.html>. Consulta: 4 de agosto de 2018.

Luego de ser conectados todos los componentes son instalados en un contenedor que posteriormente es instalado en la estructura que contiene a la turbina. El medidor de voltaje y corriente es alimentado por una batería de 9V.

Figura 30. **Nuevo sistema de medición de voltaje y corriente**



Fuente: elaboración propia.

La iluminación anterior contaba con una bombilla pequeña de filamento de 12 VCC, esta fue sustituida por una lámpara led de 12VCC, se colocó difusor de luz para ayudar a difuminar sombras e ilumine de forma más uniforme y finalmente se pintó, para evitar que sea deteriorada por la corrosión.

Figura 31. **Lámpara led y difusor de luz**



Fuente: elaboración propia.

Respecto al colector, presenta fugas entre el acrílico y estructura de la turbina; se retiró el acrílico sustituyéndolo por vidrio de 3 mm de espesor, pegado con silicón, para evitar fugas y mejorando estéticamente el sistema.

Figura 32. **Cambio de acrílico por vidrio**



Fuente: elaboración propia.

Las mangueras presentaban suciedad por la parte interna evitando que el agua fluyera con facilidad, teniendo como consecuencia que la turbina no cumpliera con la generación de energía de una forma eficiente.

Finalmente a la estructura se le eliminó el óxido generado por la corrosión y se le aplicó pintura anticorrosiva, para evitar que sufra daño permanente.

Figura 33. **Turbina Pelton finalizada**



Fuente: elaboración propia.

Adicional se colocó una manta vinílica con información de conexión del sistema para que los estudiantes tengan una idea de cómo están conectados los componentes.

Figura 34. **Conexión de componentes turbina Pelton**



Fuente: elaboración propia.

Tabla II. **Costos turbina Pelton**

Núm.	Descripción	Cantidad	Precio unidad (Q)	Precio total (Q)
1	Voltímetro y amperímetro	1	100	100
2	Vidrio de 3 mm espesor	4	20	80
3	Batería 9V	1	24	24
4	Interruptor encendido/apagado	1	2,5	2,5
5	Fachada de medidores	1	15	15
6	Tira de luces led	1	50	50
7	1/4 pintura anticorrosiva azul	1	35	35
8	Aerosol gris	1	20	20
9	Aerosol negro	1	20	20
10	Manguera transparente de 3/4 (metro)	4	8	32
11	Manta vinílica	1	60	60
12	Lijas varias	5	5	25
13	Litro thinner	1	15	15
14	Brocha 2"	1	15	15
15	Sellador transparente	1	70	70
			Total	563,5

Fuente: elaboración propia.



### 3.1.2. Reconexión de paneles fotovoltaicos sin inversor de corriente CC/CA

Se inició reconectando los paneles al cableado debido que la cinta de aislar que tenia se estaba despegando, evitando así algún incidente como corto circuito que dañe cualquiera de los componentes del sistema. También se realizó limpieza en la superficie de los paneles, de esta forma se aprovechará más la radiación solar.

Figura 35. **Panel fotovoltaico derecho, antes**



Fuente: elaboración propia.

Figura 36. **Panel fotovoltaico izquierdo, antes**



Fuente: elaboración propia.

Figura 37. **Panel fotovoltaico derecho, después**



Fuente: elaboración propia.

Figura 38. **Panel fotovoltaico izquierdo, después**



Fuente: elaboración propia.

Se eliminó el óxido para evitar daño permanente en la lámina interna y externa de la estructura; donde luego se aplicó pintura anticorrosiva a todo el contenedor.

Figura 39. **Interior de contenedor proceso de lijado**



Fuente: elaboración propia.

Figura 40. **Exterior de contenedor proceso de lijado**



Fuente: elaboración propia.

Finalmente se procedió a conectar el sistema eléctrico que consiste de: 2 lámparas 12 VCC centradas en paralelo, batería 12 V / 34 AH, control de potencia y 2 paneles fotovoltaicos conectados en paralelo.

Los pasos para la conexión de los componentes que complementan el sistema se enumera a continuación:

- Conexión entre control de potencia y batería
- Conexión entre generador paneles fotovoltaicos y control de potencia
- Conectar la carga, 2 lámparas

Se recomienda seguir los pasos anteriormente enumerados para evitar daños permanentes al control de potencia.

Por los componentes que se tienen en el sistema únicamente habrá 12 VCC, además cabe mencionar que este sistema no cuenta con inversor de corriente continua a corriente alterna CC/CA.

La batería se colocó sobre madera para evitar que se descargue.

Figura 41. **Reconexión del sistema eléctrico**



Fuente: elaboración propia.

Figura 42. **Iluminación con energía solar a 12 VCC**



Fuente: elaboración propia.

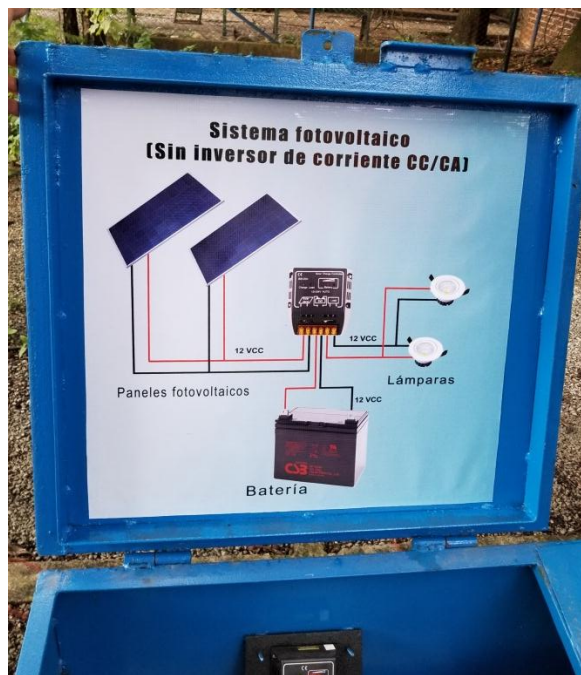
Figura 43. **Paneles fotovoltaicos, después**



Fuente: elaboración propia.

Se colocó una manta vinílica con información de conexión del sistema para que los estudiantes tengan una idea de cómo están conectados los componentes.

Figura 44. **Conexión de componentes de paneles fotovoltaicos sin inversor de corriente CC/CA**



Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Costos paneles fotovoltaicos sin inversor de corriente CC/CA**

Núm.	Descripción	Cantidad	Precio unidad (Q)	Precio total (Q)
1	1/4 pintura anticorrosiva azul	2	35	70
2	Manta vinílica	1	70	70
3	Lijas varias	7	5	35
4	Litro thinner	1	15	15
5	Lámparas ojo de buey	2	30	60
6	Cepillo de alambre	1	12	12
7	Tabla de pino	1	30	30
8	Brocha 2"	1	15	15
9	Batería ciclo profundo (usada)	1	150	150
			Total	457

Fuente: elaboración propia.

### 3.1.3. Reconexión de sistema aerogenerador

El aerogenerador se encuentra en aceptables condiciones respecto a la generación de corriente, su ubicación se encuentra en un lugar óptimo donde aprovecha el flujo de aire y el resto de componentes son colocados en un contenedor, para evitar daños y se prolongue su vida útil, se encuentran contenidos en el mismo lugar donde se encuentran los componentes que conforman el sistema de iluminación del laboratorio, ver figura 67. Se procedió a realizar la conexión de los componentes para que este almacene la energía producida, los componentes son: control de potencia, batería de 12V/34AH y lámpara de iluminación. Los pasos para la instalación son los mismos descritos en el inciso 3.1.2.

Para evitar el deterioro de los cables que conecta el generador eólico a los componentes estos son protegidos con tubo PVC flexible.

Figura 45. **Componentes del generador eólico**



Fuente: elaboración propia.

Se colocó una manta vinílica con información de conexión del sistema para que los estudiantes tengan una idea de cómo están conectados los componentes.



Figura 46. **Conexión de componentes de aerogenerador**



Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Costos de sistema aerogenerador**

Núm.	Descripción	Cantidad	Precio unidad (Q)	Precio total (Q)
1	Manta vinílica	1	45,00	45,00
2	Control de potencia	1	250,00	250,00
3	Lámpara ojo de buey	1	30,00	30,00
4	Tabla de pino	1	45,00	45,00
5	Interruptor encendido/apagado	1	7,50	7,50
6	Tapadera para caja de conexión	1	3,00	3,00
7	Caja de conexión	1	5,00	5,00
8	Tubería flexible por metro	4	1,50	6,00
9	Batería ciclo profundo (usada)	1	150,00	150,00
			Total	541,50

Fuente: elaboración propia.

### **3.2. Ariete hidráulico**

Para el ariete hidráulico se inició con la válvula de retención porque se observó que esta no cumple adecuadamente con su función. Al extraerla del ariete, efectivamente contaba con deformidades y corrosión en su estructura. Posteriormente se verificará el muelle y el tornillo de ajuste.

La función de la válvula es formar un sello para que dentro de la tubería se cree una sobrepresión a consecuencia del golpe de ariete, sin embargo si esta presenta fugas no existirá la sobrepresión que se necesita, haciendo que el sistema fracase. Además el muelle cuenta con un tornillo de ajuste, su función en conjunto hace que la válvula de retención deje de hacer sello, en otras palabras empuja a la válvula en dirección contraria al movimiento que realiza inicialmente. Si el tornillo de ajuste no se encuentra en buenas condiciones el sistema no funcionará; será ajustado mediante una tuerca de mariposa que posee dándole un número de vueltas horarias o anti horarias, según sea necesario hasta que funcione correctamente.

Figura 47. **Válvula de retención**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 47 se aprecia que la válvula presentó varios desperfectos que entre ellos están: tornillo torcido, hule deformado y tuercas con oxido. Estos factores se consideran críticos en el funcionamiento del ariete hidráulico.

El muelle está construido de lámina de 3/16 de pulgada de espesor, considerándose un espesor innecesario; esto puede ser otra de las causas de su mal funcionamiento. Por lo tanto se consideró sustituido por una lámina de menor espesor pero siempre manteniendo su forma curva.

Figura 48. **Muelle**



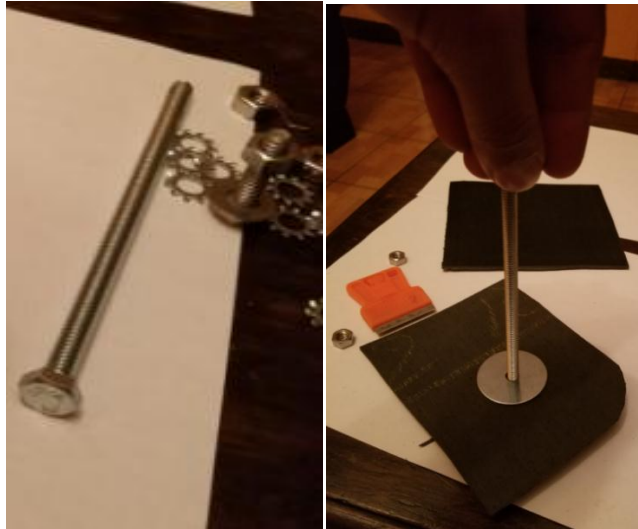
Fuente: elaboración propia.

En cuanto a la estructura del ariete no se tuvo mayor problema más que la presencia de óxido, esto se solucionó fácilmente con pintura anticorrosiva para evitar su deterioro.

El tornillo del muelle también presentó óxido, evitando poder dar ajuste. Su ajuste es crítico para el funcionamiento del ariete.

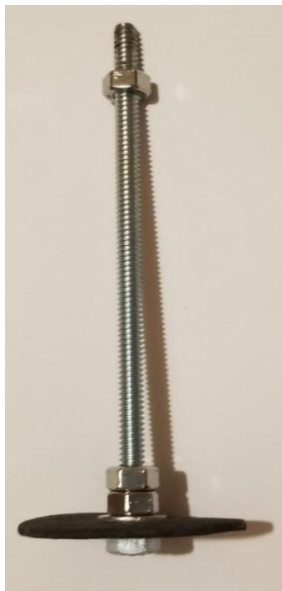
Posterior a análisis inicial, la válvula de retención fue sustituida por una nueva usando materiales con mejores propiedades: neolite como empaque de goma para la válvula, tornillos y tuercas de acero inoxidable.

Figura 49. **Tornillo de muelle y construcción de válvula de retención**



Fuente: elaboración propia.

Figura 50. **Válvula de retención terminada**



Fuente: elaboración propia.

Se aprecia un cambio considerable entre la actual y anterior válvula de retención.

Figura 51. **Antes y después de la válvula de retención**



Fuente: elaboración propia.

Para el muelle se utilizó lámina galvanizada de 1/16 de pulgada de espesor, doblada tal como se encuentra el muelle original y aplicándosele pintura anticorrosiva. Se instala válvula de retención, muelle, y tornillo de muelle.

Figura 52. **Nuevo muelle instalado**



Fuente: elaboración propia.

Para finalizar se le dio ajuste a la altura de válvula de retención y al tornillo de muelle para que el ariete funcione adecuadamente.

Figura 53. **Ariete hidráulico finalizado**



Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Costos de ariete hidráulico**

Núm.	Descripción	Cantidad	Precio unidad (Q)	Precio total (Q)
1	1/4 pintura anticorrosiva azul	1	35	35
2	Aerosol negro	1	20	20
3	Litro thinner	1	15	15
4	Brocha 1"	1	10	10
5	Neolite 10"x10"X1/16"	1	35	35
6	Tornillo acero inoxidable 1/4" de 4"	2	12	24
7	Tornillo acero inoxidable 1/4" de 2"	2	1.5	3
8	Roscas acero inoxidable 1/4"	8	0,75	6
9	Roldanas acero inoxidable	10	0.5	5
10	Lamina de 28"x1.75"x1/16"	1	20	20
11	Broca para metal	1	45	45
			Total	218

Fuente: elaboración propia.

### 3.3. Reconexión de colector solar

Consistió en agregar un tanque auxiliar que alimente el colector solar conforme se consume el agua del mismo, dicho tanque auxiliar estará sobre una estructura metálica quedando así más elevado en comparación al tanque de almacenamiento, para que exista un diferencial de alturas y el agua fluya con mayor facilidad.

La reconexión inició a partir de la toma general de agua del laboratorio que será conectado a la parte superior del tanque auxiliar y la parte inferior del tanque auxiliar se conectará a la entrada del tanque de almacenamiento, entre ellos se deberá de colocar un cheque horizontal para evitar que el tanque de almacenamiento sea vaciado.

A la entrada y salida del tanque auxiliar se colocan uniones universales para tubo de 1/2", esto para facilitar el mantenimiento al tanque y evitar hacer trabajos de corte en el sistema de tuberías.



La conexión entre la placa de absorción y tanque de almacenamiento del colector solar no se modificó por estar correctamente instalado. Como se mencionó en el párrafo anterior solo se modificará la entrada al tanque de almacenamiento.

La placa de absorción presentó suciedad, esta suciedad crea una resistencia y evita que se absorba correctamente la radiación solar, teniendo como resultado que no se calentará el agua de una forma eficiente. Se procederá a limpiar dicha superficie. Esta suciedad genera ineficiencia en paneles fotovoltaicos.

Figura 54. **Tanque auxiliar y uniones universales**



Fuente: elaboración propia.

El tanque de almacenamiento fue lijado y posteriormente se le aplicó pintura anticorrosiva. Se adicionaron refuerzos en la estructura a los extremos donde se soporta el tanque.

Figura 55. **Tanque de almacenamiento antes**



Fuente: elaboración propia.

Después de pintar el tanque de almacenamiento:

Figura 56. **Tanque de almacenamiento después**



Fuente: elaboración propia.

Resultado final del colector solar:

Figura 57. **Colector solar finalizado**



Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. Costos de colector solar

Núm.	Descripción	Cantidad	Precio unidad (Q)	Precio total (Q)
1	1/4 pintura anticorrosiva blanco	1	35	35
2	Litro thinner	1	15	15
3	Brocha 1"	1	10	10
4	Brocha 2"	1	10	10
5	Hoja de sierra	1	20	20
6	Pegamento para PVC	1	15	15
7	Uniones universales	2	20	40
8	Cheque horizontal	1	45	45
9	Codos de 1/2"	10	1.5	15
10	Unión macho con rosca de 1/2"	2	2,25	4,5
11	Unión hembra con rosca de 1/2"	2	2,25	4,5
12	Tubo PVC de 1/2"	1	18	18
13	Estructura metálica con acabado	1	150	150
14	Refuerzos	2	20	40
15	Tonel	1	120	120
			Total	542

Fuente: elaboración propia.

### 3.4. Sistema de iluminación de energía renovable fotovoltaica

A continuación se desarrolló un sistema de iluminación usando un panel fotovoltaico de 75W con inversor de corriente CC/CA esto quiere decir que se obtendrán 120VCA a partir de 12VCC. La energía eléctrica generada será aprovechada para iluminar el Laboratorio de Máquinas Hidráulicas. Se controlará el encendido y apagado de las luces mediante un temporizador digital programable. Se inició haciendo un listado de componentes disponibles para la elaboración de un sistema de iluminación, llegando a contar con:

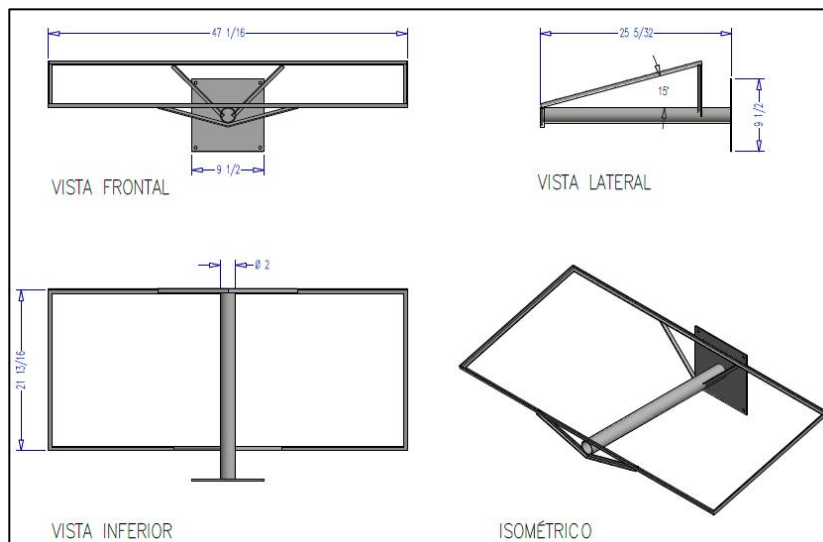
- 3 faroles
- 1 batería 12V/26Ah
- 1 panel fotovoltaico monocristalino 17.9VCD/4.19A
- 1 inversor de corriente

Componentes adicionales para completar el sistema:

- Control de potencia
- Temporizador de encendido y apagado de la luces tipo led
- Tres bombillas tipo led de 7W
- Cable con protección para exterior

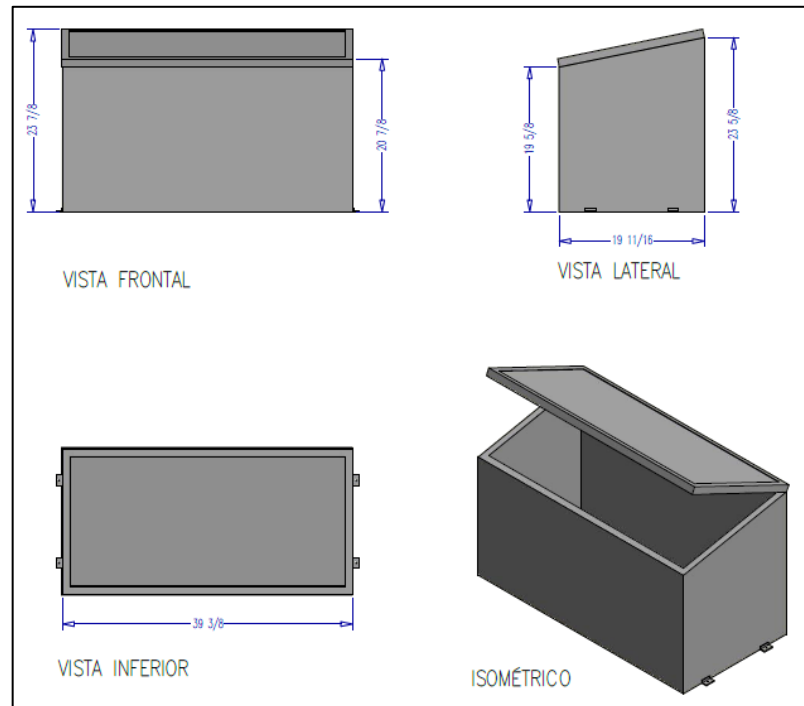
También se necesitó diseñar un soporte para el panel fotovoltaico monocristalino y un contenedor para el resguardo de los componentes como batería, inversor, temporizador, control de potencia y la cimentación de los 3 faroles. El soporte de panel fotovoltaico está construido de hierro angular de 1"x1/8", pieza plana de 3/16"x9 1/2"x9 1/2" y tubo de 2" de diámetro. EL panel será ubicado en dirección sur, a 15° sobre la horizontal, para que se aproveche de forma eficiente la radiación solar. Y el contenedor similar al de la figura 43.

Figura 58. **Diseño de soporte de panel fotovoltaico**



Fuente: elaboración propia, empleando Inventor 2018.

Figura 59. **Diseño de contenedor**



Fuente: elaboración propia, empleando Inventor 2018.

Se inició con la instalación del soporte del panel fotovoltaico a la estructura.

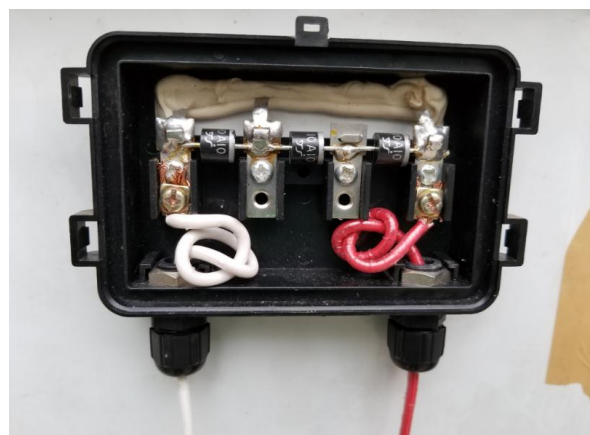
Figura 60. **Instalación de soporte de panel fotovoltaico**



Fuente: elaboración propia.

Posteriormente a la instalación del soporte, se hizo la colocación del panel fotovoltaico y la conexión de los cables. El cableado que conecta el panel fotovoltaico y el control de potencia estará expuesto a la intemperie por lo tanto se protegió con tubo PVC flexible para evitar deterioro.

Figura 61. **Conexión de los cables**



Fuente: elaboración propia.

Figura 62. **Panel fotovoltaico instalado**



Fuente: elaboración propia.

Los faroles, previo a su cimentación, se les realizó cambio de los vidrios a otros más claros por motivo de que los vidrios anteriores atenuaban la iluminación. Para la instalación de los faroles se recibió apoyo por parte de la Unidad de Planificación de la Facultad de Ingeniería. Finalmente se cableó entre los faroles y el contenedor y se instalaron las luces led conectadas en paralelo.



Figura 63. **Faroles instalados**



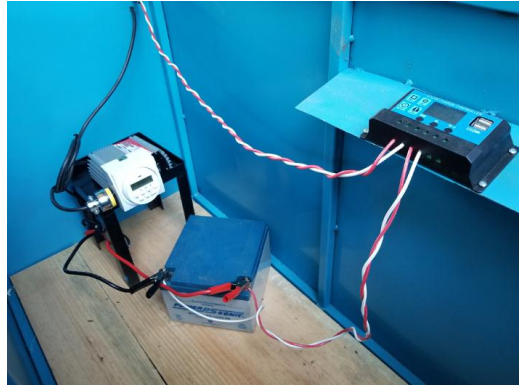
Fuente: elaboración propia.

Los pasos para la conexión de los componentes que complementan el sistema de generación se enumera a continuación:

- Conexión entre control de potencia y batería.
- Conexión entre generador de energía panel fotovoltaico y control de potencia.
- Conexión en paralelo entre batería e inversor de corriente.
- Conectar el temporizador.
- Conectar la carga, luces led.

Se recomienda seguir los pasos anteriormente enumerados para evitar daños permanentes al control de potencia.

Figura 64. **Componentes conectados**



Fuente: elaboración propia.

Se colocó una manta vinílica con información de conexión del sistema para que los estudiantes tengan una idea de cómo están conectados los componentes.

Figura 65. **Conexión de componentes de paneles fotovoltaicos con inversor de corriente CC/CA**



Fuente: elaboración propia.

A continuación se presenta el contenedor instalado:

Figura 66. **Contenedor instalado de sistema fotovoltaico y aerogenerador**



Fuente: elaboración propia.

Para finalizar se pintaron los faroles y se instalaron advertencias de no apoyarse.

Figura 67. **Faroles terminados**



Fuente: elaboración propia.

Figura 68. **Laboratorio de Máquinas Hidráulicas iluminado**



Fuente: elaboración propia.

Los componentes son críticos en cualquier sistema de generación, para complementar este inciso se realizó un ejemplo del diseño de un sistema de

generación con paneles fotovoltaicos, donde se obtienen requerimientos mínimos de los componentes en función de la energía a consumir. Anexo 1.

Tabla VII. **Costos de sistema fotovoltaico**

<b>Núm.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unidad (Q)</b>	<b>Precio total (Q)</b>
1	Soporte de panel fotovoltaico	1	250	250
2	Ducto flexible por metro	15	2,5	37,5
3	Cable TSJ por metro	25	4,6	115
4	Contenedor metálico	1	750	750
5	Tabla de pino	1	45	45
6	Control de potencia	1	250	250
7	Temporizador	1	105	105
8	Luces tipo led 7W/110V	3	10	30
9	Manta vinílica	1	50	50
10	Cable rojo calibre 12 por metro	10	3,25	32,5
11	Cable blanco calibre 12 por metro	10	3,25	32,5
12	Vidrios 3 mm espesor p/faroles	16	10,5	168
13	Aerosol negro	1	20	20
			<b>Total</b>	<b>1885,5</b>

Fuente: elaboración propia.

## **4. RESULTADOS OBTENIDOS DE ENCUESTA REALIZADA A ESTUDIANTES DEL CURSO DE MÁQUINAS HIDRÁULICAS**

### **4.1. Objetivos**

Como parte del estudio realizado, se plantearon objetivos alcanzables para la realización de recolección de datos.

#### **4.1.1. General**

Conocer el interés de los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Mecánica en el mantenimiento al Laboratorio de Maquinas Hidráulicas.

#### **4.1.2. Específicos**

- Indicar si los estudiantes deberían de participar en la planeación y ejecución de mantenimiento del Laboratorio de Máquinas Hidráulicas, para reforzar los temas vistos en clase.
- Analizar si la mejora continua puede ser aplicada al Laboratorio de Máquinas Hidráulicas.

### **4.2. Variable**

En la tabla VIII se presenta la descripción de las variables.

Tabla VIII. **Descripción de variables**

<b>Variable</b>	<b>Definición</b>	<b>Indicador de la Variable</b>
“Interés de los estudiantes en el mantenimiento del Laboratorio de Máquinas Hidráulicas”	Información adquirida a través de una encuesta realizada según la experiencia de los alumnos que llevan el curso de Máquinas Hidráulicas durante el primer semestre del ciclo 2018.	Evaluación sobre participación de los estudiantes en el Laboratorio de Máquinas Hidráulicas.

Fuente: elaboración propia.

- Definición operacional: de acuerdo a las ponderaciones obtenidas a través de las encuestas realizadas a los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Mecánica que llevan el curso de Máquinas Hidráulicas se categorizaran como alto, mediano y bajo interés.

Tabla IX. **Indicador de la variable**

<b>Categorización</b>	<b>Rango punteo</b>
Alto interés	80-100
Mediano interés	50-70
Bajo interés	0-40

Fuente: elaboración propia.

#### **4.3. Metodología**

La metodología utilizada para la recolección de datos se presenta a continuación.

#### **4.3.1. Criterios de inclusión**

Alumnos que se encuentren llevando el curso de Máquinas Hidráulicas durante el primer semestre del 2018 en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

#### **4.3.2. Criterios de exclusión**

- Alumnos que no asistieron al examen final
- Alumnos que no llegaron a zona mínima
- Alumnos que se negaron a participar en la encuesta

#### **4.3.3. Población**

Alumnos que se encuentren llevando el curso de Máquinas Hidráulicas durante el primer semestre del 2018 en la facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

N= 57 alumnos

#### **4.3.4. Muestra**

La muestra poblacional que se estudió fue de 46 alumnos.

#### **4.3.5. Recursos**

- Físicos: boletas para la recolección de datos, instalaciones de la Facultad de Ingeniería.



- Humanos: Alumnos que se encuentren llevando el curso de Máquinas Hidráulicas durante el primer semestre del 2018 en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Investigador: Jarol Steevyn Herrera Alvarez, estudiante de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Personal Auxiliar.

#### **4.3.6. Procedimiento**

- Solicitud al catedrático responsable del curso de Máquinas Hidráulicas para realizar la investigación de campo, encuesta a los alumnos que desearan participar. Ver apéndice 1.
- Con la autorización, se procedió a pasar la encuesta a los alumnos presentes previo a la realización examen final de Máquinas Hidráulicas.
- Los datos obtenidos fueron tabulados y procesados en el programa Excel, incluyendo herramientas básicas, tablas y gráficas, para el posterior proceso analítico.

#### **4.3.7. Análisis estadístico**

Se aplicó un análisis estadístico mediante elaboración de tablas y gráficas por porcentajes.

#### 4.4. Resultados

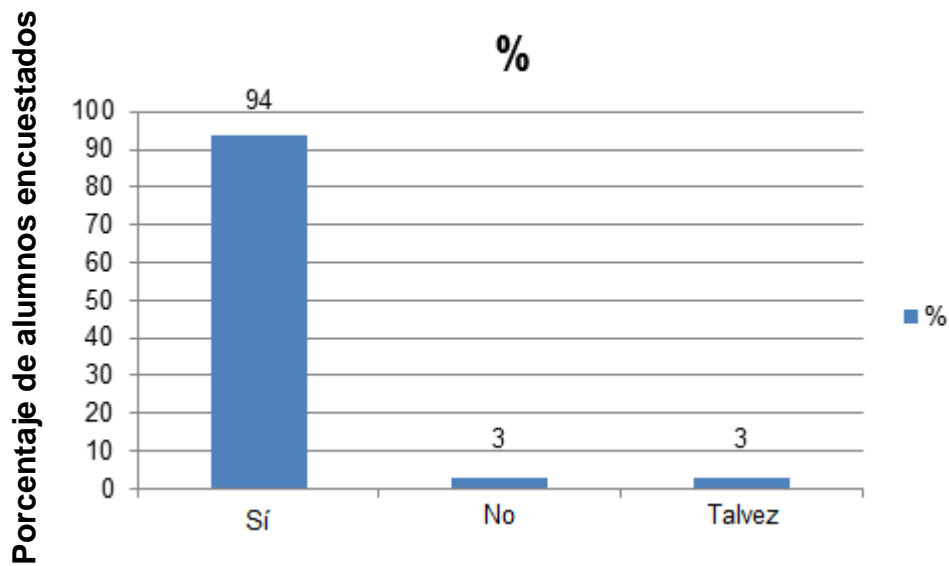
Los resultados obtenidos de la encuesta realizada, fueron los siguientes:

Tabla X. **Práctica relacionada al mantenimiento del Laboratorio de Máquinas Hidráulicas**

Respuesta Pregunta núm. 1	Núm. alumnos	%
Si	36	94
No	1	3
Tal vez	1	3
Resultado	38	100

Fuente: elaboración propia.

Figura 69. **Práctica relacionada al mantenimiento del Laboratorio de Máquinas Hidráulicas, respuestas pregunta núm. 1 %**



Fuente: elaboración propia.

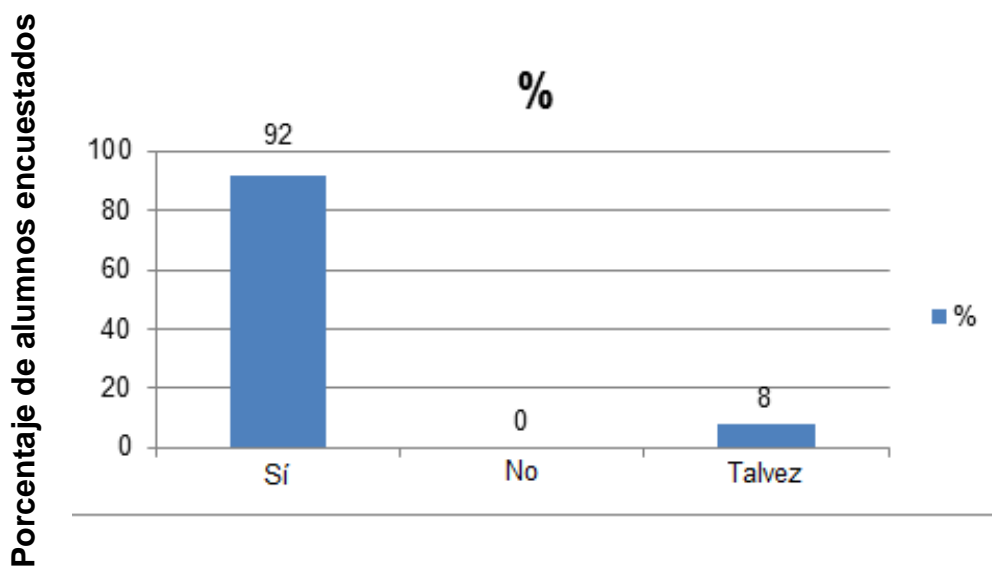
Interpretación tabla X y figura 69: el 94 % de los alumnos encuestados creen conveniente el realizar como parte del curso una práctica relacionada al mantenimiento del Laboratorio de Máquinas Hidráulicas, siendo estos la mayoría del total encuestado durante la recolección de datos.

Tabla XI. **Participación de los alumnos en el mantenimiento del Laboratorio de Máquinas Hidráulicas**

Respuesta Pregunta núm. 2	Núm. alumnos	%
Si	35	92
No	0	0
Tal vez	3	8
Resultado	38	100

Fuente: elaboración propia.

Figura 70. **Participación de los alumnos en el mantenimiento del Laboratorio de Máquinas Hidráulicas, respuestas pregunta núm. 2**



Fuente: elaboración propia.

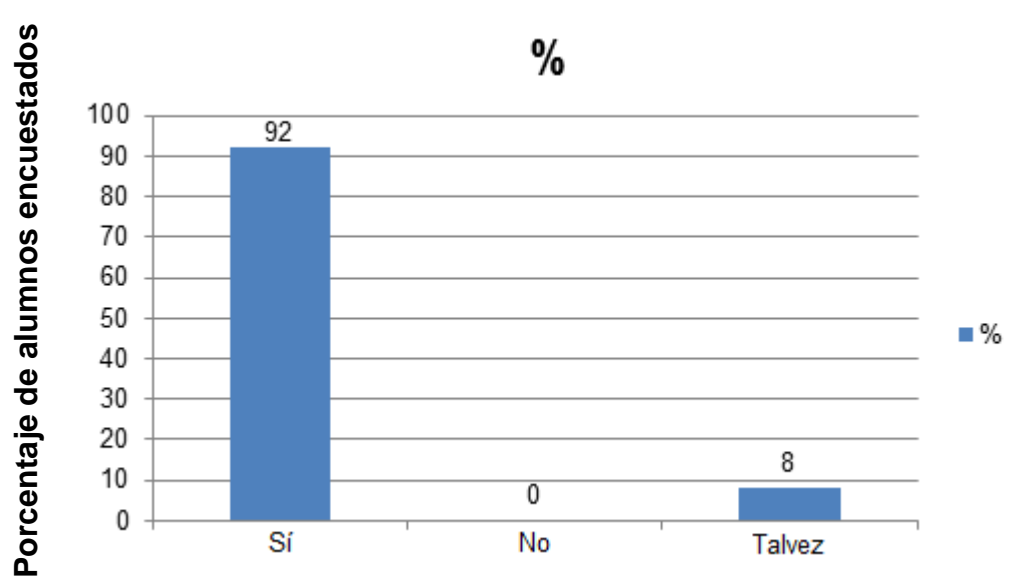
Interpretación tabla XI y figura 70: el 92 % de los encuestados consideran que los estudiantes del curso de Máquinas Hidráulicas deberían de participar en el mantenimiento de laboratorio de dicho curso, mientras que el 8 % restante se encuentran indecisos ante tal pregunta.

Tabla XII. **Relación teoría práctica**

<b>Respuesta pregunta núm. 3</b>	<b>Núm. alumnos</b>	<b>%</b>
Si	35	92
No	0	0
Tal vez	3	8
Resultado	38	100

Fuente: elaboración propia.

Figura 71. **Relación teoría práctica, respuestas pregunta núm. 3**



Fuente: elaboración propia.

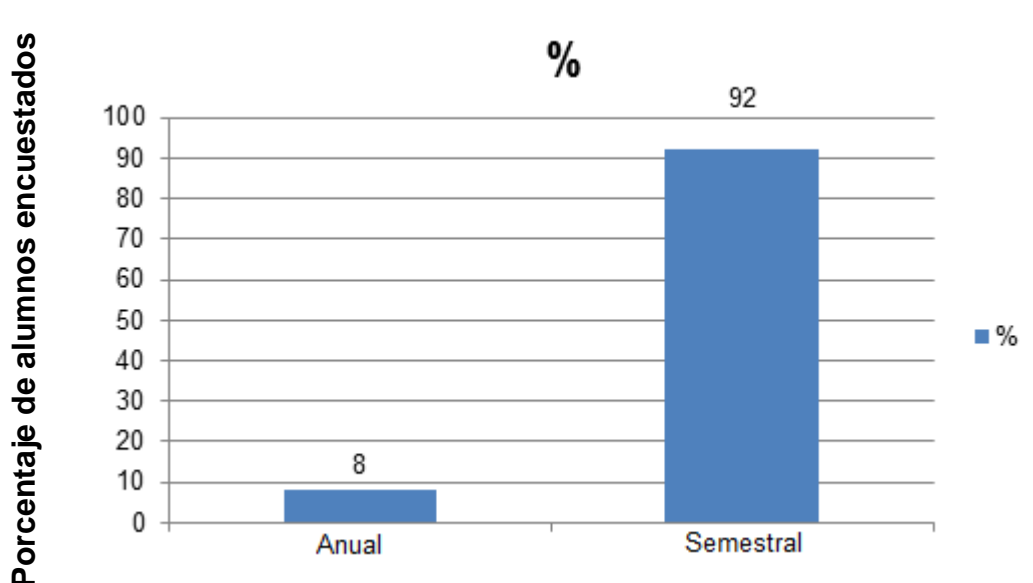
Interpretación tabla XII y figura 71: la aplicación de los temas desarrollados en el curso de Maquinas Hidráulicas según criterio del 92 % de los encuestados sería de ayuda, para reforzar los conocimientos adquiridos en la teoría, el 8 % respondió que tal vez.

Tabla XIII. **Período de mantenimiento**

<b>Respuesta pregunta núm. 4</b>	<b>Núm. alumnos</b>	<b>%</b>
Anual	3	8
Semestral	35	92
Resultado	38	100

Fuente: elaboración propia.

Figura 72. **Período de mantenimiento, respuestas pregunta núm. 4**



Fuente: elaboración propia.

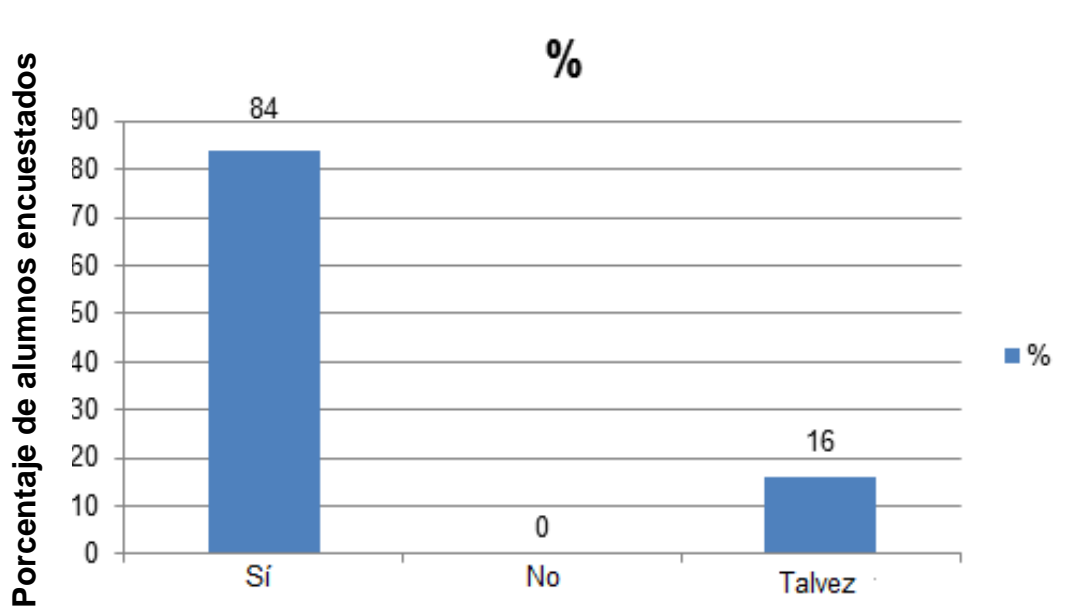
Interpretación tabla XIII y figura 72: el 92 % de alumnos encuestados refieren realizar el mantenimiento del Laboratorio de Máquinas Hidráulicas cada 6 meses, siendo este tomado como parte del curso.

Tabla XIV. **Mejora continua Laboratorio Máquinas Hidráulicas**

Respuesta pregunta núm. 5	Núm. alumnos	%
Si	32	84
No	0	0
Tal vez	6	16
Resultado	38	100

Fuente: elaboración propia.

Figura 73. **Mejora continua Laboratorio Máquinas Hidráulicas, respuestas pregunta núm. 5**



Fuente: elaboración propia.

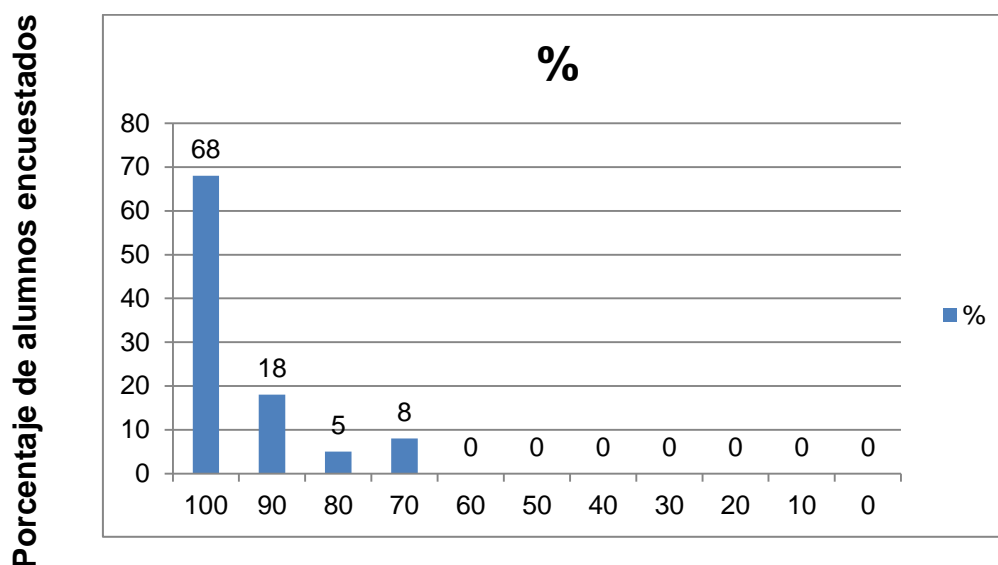
Interpretación tabla XIV y figura 73: el 84 % cree necesaria la mejora continua del laboratorio de máquinas hidráulicas para elevar el nivel de conocimiento, mientras que el 16 % consideran que tal vez sea necesaria.

Tabla XV. **Ponderación obtenida por los estudiantes**

<b>Ponderación</b>	<b>Núm. alumnos</b>	<b>%</b>
100	26	68
90	7	18
80	2	5
70	3	8
60	0	0
50	0	0
40	0	0
30	0	0
20	0	0
10	0	0
0	0	0
<b>Resultado</b>	<b>38</b>	<b>100</b>

Fuente: elaboración propia.

Figura 74. **Ponderación obtenida**



Fuente: elaboración propia.

Interpretación tabla XV y figura 74: El 91 % de los encuestados obtuvo una ponderación igual o mayor a 80 puntos, el 8 % se encuentra entre los 50-70 puntos y 0 % igual o menor a 40 puntos.

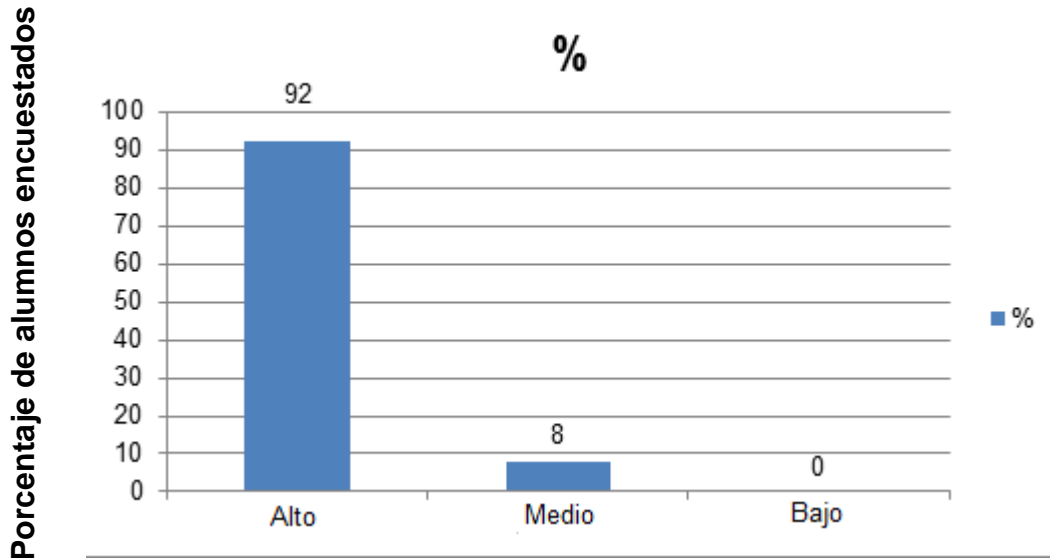
Tabla XVI. **Categorización de las ponderaciones**

<b>Categorización</b>	<b>Rango</b>	<b>Núm. alumnos</b>	<b>%</b>
Alto	80-100	35	92
Medio	50-70	3	8
Bajo	0-40	0	0
Resultado		38	100

Fuente: elaboración propia.



Figura 75. **Categorización de las ponderaciones**



Fuente: elaboración propia.

Interpretación tabla XVI y gráfica 75: el 92 % de los encuestados se encuentran en la categoría de Alto Interés con una ponderación de 80-100 puntos, el 8 % en la categoría de Medio Interés con 50-70 puntos y 0 % en la categoría de Bajo Interés con una ponderación igual o menor a 40 puntos.

#### 4.5. **Discusión de resultados**

La muestra estuvo conformada por 38 estudiantes que llevan el curso de Máquinas Hidráulicas, impartido por la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, durante el ciclo 2018.

Del total de los 38 estudiantes encuestados, el 94 % cree conveniente proponer una práctica relacionada con el mantenimiento del laboratorio de máquinas hidráulicas, el 92 % considera que los estudiantes del curso son

quienes deben participar en el mantenimiento del laboratorio, donde también el 92 % opina que el participar en el mantenimiento ayudará a conocer mejor los temas desarrollados en la práctica y teoría de dicho curso, realizando dicha práctica una vez por semestre según el 92 % de los encuestados, además de recalcar que el 84 % cree necesaria la mejora continua al Laboratorio de Máquinas Hidráulicas.

Con los datos anteriormente recolectados se realiza la operacionalización de la variable Interés de los alumnos; determinando que la muestra se categoriza en su indicador como 'alto' debido a que el 92 % de los encuestados obtuvo un puntaje igual o mayor a 80 puntos.



## CONCLUSIONES

1. El análisis inicial al laboratorio permitió evidenciar las condiciones en las que se encontraba, distintos sistemas se presentaron incompletos o en total deterioro, con base en el análisis en mención se clasificaron los distintos sistemas, para eventualmente ejecutar el reacondicionamiento llevándolos a un estado óptimo de funcionamiento.
2. Mediante las bases teóricas se establecen las condiciones en que deben de estar los componentes de un sistema para su funcionamiento. La información se puede encontrar en distintas fuentes como: manual de fabricante, especificaciones técnicas de componentes, internet, fichas técnicas, entre otras. De esta forma se logra certeramente conocer, diagnosticar y reparar los sistemas que se tienen
3. Se ejecutó el reacondicionamiento a cada uno de los sistemas que se encontraban en el laboratorio, no solo se dio mantenimiento sino que se mejoraron al incluir componentes de mayor tecnología, para que complementen y mejoren su funcionamiento. Se colocaron distintos diagramas para que los estudiantes conozcan cómo se relacionan los componentes de la variedad de sistemas con lo que cuenta el Laboratorio de Máquinas Hidráulicas.
4. Entre los estudiantes que llevan el curso de Máquinas Hidráulicas, impartido por la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala durante el ciclo 2018 , se determinó que el 92 % de los encuestados se encuentran con Alto Interés en realizar

como parte del curso una práctica de mantenimiento del laboratorio, mientras que el 8 % se encuentra con Mediano Interés y 0 % con Bajo Interés, recalcando que la participación en dicha práctica es de beneficio, tanto para el estudiante que pone en práctica todo lo relacionado a la teoría, como para mantener en óptimas condiciones dicho laboratorio.

## RECOMENDACIONES

1. Analizar a fondo cada uno de los sistemas que se tienen en el laboratorio y posteriormente plantear y ejecutar un plan de mantenimiento por períodos establecidos, según el deterioro o desgaste que presenten, manteniéndolo siempre en óptimas condiciones.
2. Investigar, documentar y archivar toda información como manuales de partes de funcionamiento y mantenimiento de los sistemas que se tienen, para cuando ocurra una falla o se ejecute mantenimiento se cuente con la información necesaria, que facilite las tareas descritas anteriormente. Todo antecedente es necesario y vital para la realizar diagnósticos y mantenimientos, según las necesidades que se presenten.
3. Diseñar y elaborar un plan de mantenimiento para cada uno de los sistemas que se encuentran en el laboratorio, tanto a los sistemas como a su entorno, por ejemplo como en el caso de los paneles fotovoltaicos y colector solar, verificar la limpieza de sus superficies y que no se les genere sombra para así aprovechar la radiación solar y generar energía eficientemente.
4. Tomar en cuenta la opinión futura de los estudiantes y docentes con respecto al mantenimiento del laboratorio, y la introducción de nuevo equipo que facilite la enseñanza del curso.



## BIBLIOGRAFÍA

1. AYUSO, Jorge Mauro. *Detección de cavitación en turbina Francis*. [en línea]. <<https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/2632>>. [Consulta: 4 de abril de 2018].
2. BARRERA FERNÁNDEZ, Manuel. *Energía solar: electricidad fotovoltaica*. Italia: Liber Factory, 2010. 72 p.
3. CAÑADAS, Miguel Angel Martínez. *Hidráulica aplicada a proyectos de riego*. España: EDITUM, 1993. 312 p.
4. CAUAS, Daniel. *Definición de las variables, enfoque y tipo de investigación*. Bogotá, Colombia: Biblioteca electrónica de la Universidad Nacional de Colombia, 2015. 72 p.
5. DE LAS HERAS JIMÉNEZ, Salvador. *Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas*. España: Universidad Politécnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politécnica, 2011. 416 p.
6. DÍAZ, Oscar Marcelo. *Diseño de un sistema fotovoltaico residencial con capacidad para venta de energía a la red de distribución*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica Eléctrica. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 2005. 161 p.



7. FERNÁNDEZ DIEZ, Pedro. *Bombas centrífugas y volumétricas*. España: Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética, Universidad de Cantabria, 2010. 15 p.
8. \_\_\_\_\_. *Turbinas hidráulicas*. España: Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética, Universidad de Cantabria, España, 1996. 148 p.
9. GALLEGO DE LA SACRISTANA LÓPEZ DE PABLO, Sergio. *Instalación de una bomba sumergible para suministro de agua de un pueblo de Tanzania que trabaja por medio de una fuente de energía renovable*. Madrid, España: E.T.S.I. Diseño Industrial (UPM), 2016. 115 p.
10. GENTO, Ángel M.; REDONDO, Alfonso. *FUZZYMANT: Evaluación del mantenimiento utilizando técnicas difusas*. España: Universidad de Valladolid, 2005. 476 p.
11. HASSAINE, Linda. *Implementación de un control digital de potencia activa y reactiva para inversores*. Madrid, España: Universidad Carlos III de Madrid, 2010. 290 p.
12. HUNG, Alberto J. *Mantenimiento centrado en confiabilidad como estrategia para apoyar los indicadores de disponibilidad y paradas forzadas en la Planta Oscar A. Machado EDC*. Cuba: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, 2009. 8 p.
13. MARCHEGANI, Ariel. *Turbinas Pelton*. Buenos Aires, Argentina: Universidad Nacional del COMAHE, Facultad de Ingeniería,

Departamento de mecánica aplicada, Laboratorio de Máquinas Hidráulicas. 2004. 21 p.

14. MARTÍN DOMÍNGUEZ, Ignacio Ramiro. *Distribución de flujos en sistemas de colectores solares planos interconectados*. México: Corporation (SRCC), 2008. 31 p.
15. MATAIX, Claudio. *Turbomáquinas hidráulicas: turbinas hidráulicas, bombas, ventiladores*. Madrid, España: Universidad Pontificia de Comillas, 2009. 343 p.
16. MEJÍA, Elías; REYES, Edith. *Operacionalización de variables conductuales*. Lima, Perú: Unidad de Postgrado de la Facultad de Educación de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 1994. 236 p.
17. MORA, Luis Alberto. *Mantenimiento, planeación, ejecución y control*. España: Ingeniero Electricista Alfaomega Grupo Editor, 2009. 528 p.
18. MORAGUES, Jaime; RAPALLINI, Alfredo. *Energía eólica*. Argentina: Instituto Argentino de la Energía General Mosconi, 2003. 22 p.
19. MUÑOZ ANTICONA, Delfor Flavio. *Aplicación de la energía solar para electrificación rural en zonas marginales del país*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, 2005. 149 p.

20. PENIN, Concepción Paz; PORTO, Eduardo Suárez; BARCA, Antonio Eiris. *Máquinas hidráulicas de desplazamiento positivo*. España: Universidad de Vigo, 2012. 157 p.
21. PÉREZ BARRETO, Rafael. *Cavitación y materiales de construcción en las bombas centrífugas*. Cuba: Minería & Geología, 2004. 13 p.
22. TAMARIZ VÉLEZ, Moisés Eduardo. *Diseño del plan de mantenimiento preventivo y correctivo para los equipos móviles y fijos de la empresa de Mirasol S.A.* Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca, 2014. 92 p.
23. ZUBICARAY, Manuel Viejo. *Bombas: teoría, diseño y aplicaciones*. Loja, Ecuador: Editorial Limusa, 2005. 262 p.

# APÉNDICES

## Apéndice 1. Encuesta realizada a estudiantes

Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería Mecánica



**“Conocer el interés de los estudiantes de la escuela de Ingeniería Mecánica en el mantenimiento al Laboratorio de Máquinas Hidráulicas”**

Instrucciones: Subraye la opción que considere de su elección.

1. ¿Cree conveniente proponer una práctica relacionada al mantenimiento del laboratorio de Máquinas Hidráulicas?  
A) Si  
B) No  
C) Tal vez
2. ¿Considera que los estudiantes del curso de Máquinas Hidráulicas deberían de participar en el mantenimiento del laboratorio?  
A) Si  
B) No  
C) Tal vez
3. ¿Cree que la participación del estudiante en el mantenimiento del laboratorio ayudaría a conocer mejor los temas desarrollados en la práctica y teoría del curso?  
A) Si  
B) No  
C) Tal vez
4. ¿Cada cuánto considera que debería de realizarse el mantenimiento al Laboratorio de Máquinas Hidráulicas?  
A) Anual  
B) Semestral
5. ¿Cree usted que la mejora continua aplique al laboratorio de máquinas hidráulicas?  
A) Si  
B) No  
C) Tal vez

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Cálculo de paneles fotovoltaicos, batería, control de potencia e inversor**

- Cálculo de energía de consumo al día

Espacios a utilizar en la casa:

- 3 habitaciones
- 1 cocina
- 1 sala
- 1 comedor
- 1 baño

Cargas a conectar en la casa:

- 7 luces: de 18:00 a 23:00, una luz LED para cada espacio de la casa
- 1 refrigeradora: 6 horas al día, sumatoria de las veces que trabaja el compresor en 24 horas
- 1 licuadora: 0.083 horas, usándola 5 minutos al día.
- 1 televisión: 6 horas al día

Cantidad	Componente	Consumo	Horas de uso al día	Energía al día
7	Luces LED 7W	49 W	5H	245WH/D
1	Refrigeradora	286 W	6H	1716WH/D
1	Licuadora	350 W	0.083H	29WH/D
1	Televisión 42"	178 W	6H	1068WH/D
Energía total necesaria con rendimiento de instalación del 80 %				3822WH/D

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2010.

Continuación del apéndice 2.

Con el rendimiento del 80 % garantiza abastecer la demanda de energía al día tomando en cuenta pérdidas del cableado de instalación o toma corriente.

- Cálculo de horas sol pico (HSP)

$$HSP = \frac{\text{radiación solar } \frac{Kw}{m^2}}{\text{radiación solar de calibración } 1Kw/m^2}$$

Donde:

- HSP: Horas sol pico
- Radiación solar: Radiación obtenida por el sol, se hace uso del valor más bajo, así se asegura cubrir el mes menos soleado del año. Noviembre con 4.85KW/m<sup>2</sup> ubicado por latitud y longitud. Dato obtenido de tabla: Posicionamiento de latitud y longitud.
- Radiación solar de calibración: Dato de laboratorio para la calibración de paneles 1KW/m<sup>2</sup>.

$$HSP = \frac{4.85KW/m^2}{1KW/m^2} = 4.85$$

Entonces, para fines prácticos se asume que este valor será constante para el sistema de generación fotovoltaico.

Continuación del apéndice 2.

- Cálculo de paneles necesarios

Número de paneles a utilizar según la demanda de consumo de energía en función del mes menos soleado del año y con paneles que proporcionen 75W, este dato del panel varía según el modelo, capacidad, tipo, fabricante, entre otros; para este ejemplo se usará la especificación del panel que suministra energía para la iluminación del Laboratorio de Máquinas Hidráulicas.

Datos:

- Rendimiento del panel por suciedad o deterioro leve será 80 %
- Número de paneles para uso diario.

$$\text{Número de paneles} = \frac{\text{Energía al día}}{\text{HSP} * \text{Rendimiento del panel} * \text{Potencia máxima}}$$

Dónde:

- Número de paneles: Paneles a utilizar según demanda.
- Energía al día: Energía total utilizada al día incluyendo rendimiento.
- HSP: Horas sol pico. Dato obtenido de inciso 1.2.
- Rendimiento del panel: Por factores que pueden afectar el funcionamiento adecuado del panel.
- Potencia máxima: Potencia del panel UL-75D-36. Ver anexo 4.

Continuacion del apéndice 2.

$$\text{Número de paneles} = \frac{3822WH/D}{4.85 * 0.80 * 75W} = 13.13 \cong 13 \text{ paneles}$$

Entonces, para cubrir la demanda de energía al día se necesitan 13 paneles.

- Capacidad de las baterías

Para conocer la capacidad de las baterías se necesita conocer la autonomía del sistema debido a días no favorables para la generación de energía, por ejemplo: días lluviosos, nublados, entre otras situaciones. Generalmente el valor se da en números enteros que representa los días que se tendrá cubierta la demanda, en este caso será para 3 días donde dicho número puede variar según el se requiera de estar en área rural este valor puede aumentar.

Se usará la retención de energía (profundidad de descarga de batería), al 50 %, según especificación de la batería del sistema de iluminación del Laboratorio de Máquinas Hidráulicas. Ver anexo 3.

$$\text{Capacidad de batería} = \frac{\text{Energía al día} * \text{días de autonomía}}{\text{voltaje de batería} * \text{Profundidad de descarga de batería}}$$

Dónde:

- Energía al día: Energía total utilizada al día incluyendo rendimiento.



Continuacion del apéndice 2.

- Días de autonomia: Días en que se cubrirá la demanda cuando el clima no favorezca a la producción de energía.
- Voltaje de batería: Puede variar según necesidad, costos, disponibilidad generalmente las más comerciales son de 12V o 24V.
- Profundidad de descarga de batería: Valor obtenido según la especificación del fabricante. Batería del modelo PS-12260. Ver anexo 3. Mientras más bajo sea ese valor mayor será la vida útil de la batería.

$$\text{Capacidad de batería} = \frac{3822WH/D * 3\text{días}}{12V * 0.50} = 1911 AH$$

Con el resultado anterior se obtuvo que la batería tiene que ser de 1911 AH de capacidad. Se puede optar por un banco de baterías configurado en serie, paralelo o mixto según sea la necesidad.

- Selección del control de potencia y convertidor corriente continua a corriente alterna
  - Control de potencia

Este control de potencia se emplea según el diseño del sistema. Se encuentran en el mercado de distintas capacidades, voltaje y amperaje. El que se encuentra instalado en el sistema de Iluminación del Laboratorio de Máquinas Hidráulicas es de 12VCC/20A.

Continuacion del apéndice 2.

- Convertidor de corriente continua a corriente alterna CC/CA

La potencia del convertidor de corriente continua a corriente alterna viene siendo dado por la sumatoria de las potencias nominales que se quieren alimentar, multiplicado por el coeficiente simultaneidad.

- Potencias nominales:

Cantidad	Componente	Consumo
7	Luces LED 7W	49 W
1	Refrigeradora	286 W
1	Licuadaora	350 W
1	Televisión 42"	178 W
	Total	863 W

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2010.

$$Potencia\ de\ convertidor = Potencia\ nominal * Coeficiente\ de\ simultaneidad$$

Dónde:

- Potencia de convertidor: Potencia que tendrá el convertidor del sistema. Convertirá 12VCC a 110VCA.
- Potencia nominal: Sumatoria de las potencias parciales a alimentar.
- Coeficiente de simultaneidad: Dato obtenido según las cargas que se utilizarán en el sistema. Queda a criterio de quien hace el diseño, para fines del ejemplo se usará el factor de simultaneidad del 80 % porque no se utilizarán todas las cargas al mismo tiempo.

Continuacion del apéndice 2.

$$Potencia\ de\ convertidor = 863\ W * 0.8 = 690\ W$$

Por lo tanto se recomienda utilizar un convertidor CC/CA de 750 W. Como dato adicional en los paneles fotovoltaicos, control de potencia y batería habrá corriente continua ya sea 12V o 24V y a la salida del convertidor CC/CA se tendrá únicamente 110V o 220V.

- Resumen:

Consumo de energía al día	3822WH/D
HSP	4.85
Paneles necesarios	13
Capacidad baterías	1911 AH
Control de potencia	12VCC/20A
Sumatoria de potencias parciales	863 W
Convertidor CC/CA	750 W

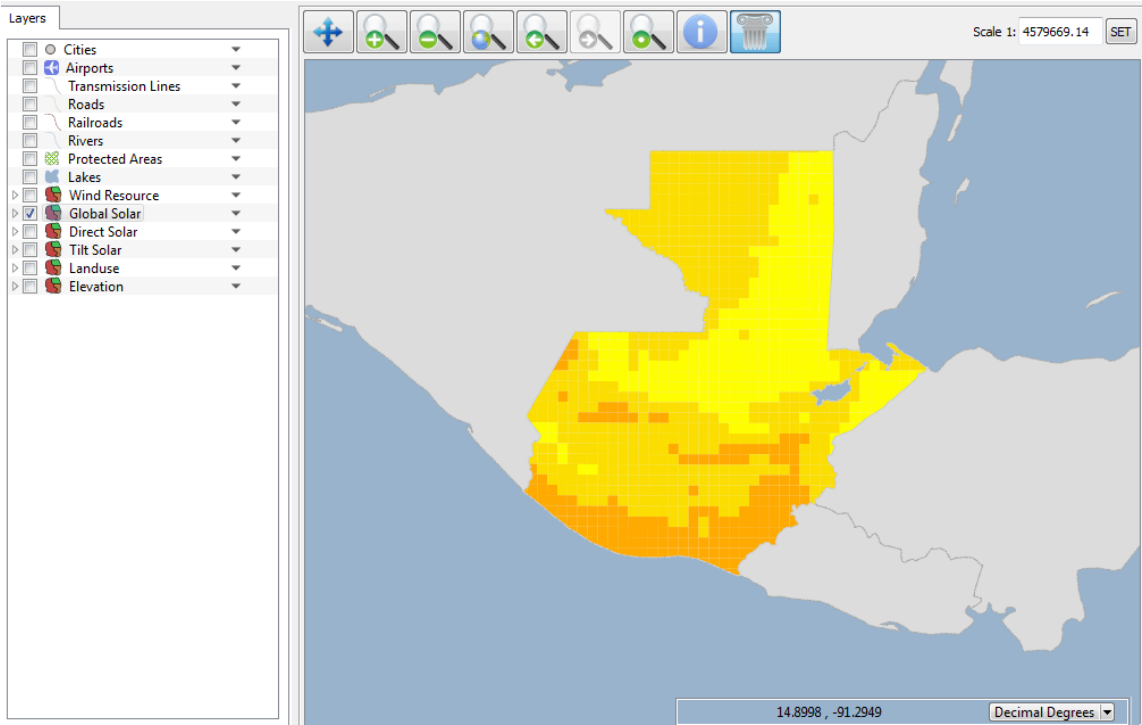
Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2010.

Posicionamiento de latitud y longitud (Localización de la vivienda).

Data													
Resource data for Latitude 14.58 Longitude -90.55, Elevation 1477 meters													
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
Solar	5.28	5.94	6.52	6.5	5.72	5.4	5.7	5.56	4.93	4.86	4.85	4.93	5.51
Wind	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	72.0

Fuente: elaboración propia, empleando GEOSPATIAL TOOLKIT 2018.

Apéndice 3. **Imagen obtenida por GEOSPATIAL TOOLKIT (Localización de la vivienda)**



Fuente: elaboración propia, empleando GEOSPATIAL TOOLKIT 2018.



## ANEXOS

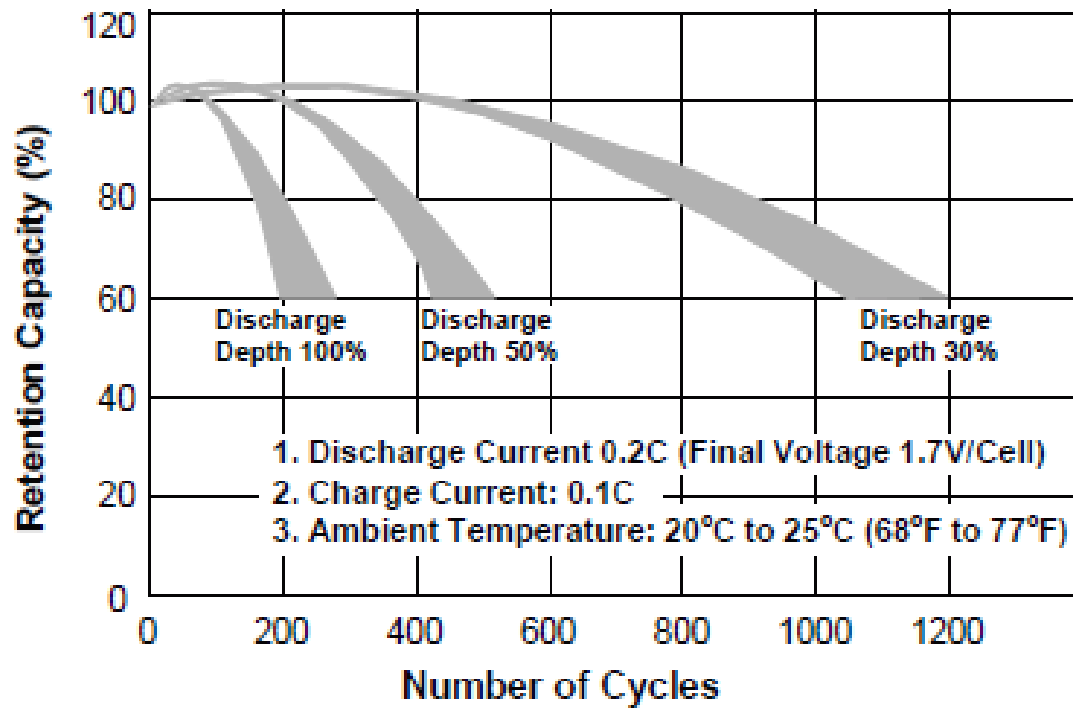
Anexo 1. **Asumiendo que la vivienda está ubicada por donde se ubica el edificio T-7**



Fuente: Google maps. <https://clickrenovables.com>, *Como calcular una instalación solar fotovoltaica*. Consulta: mayo de 2018.

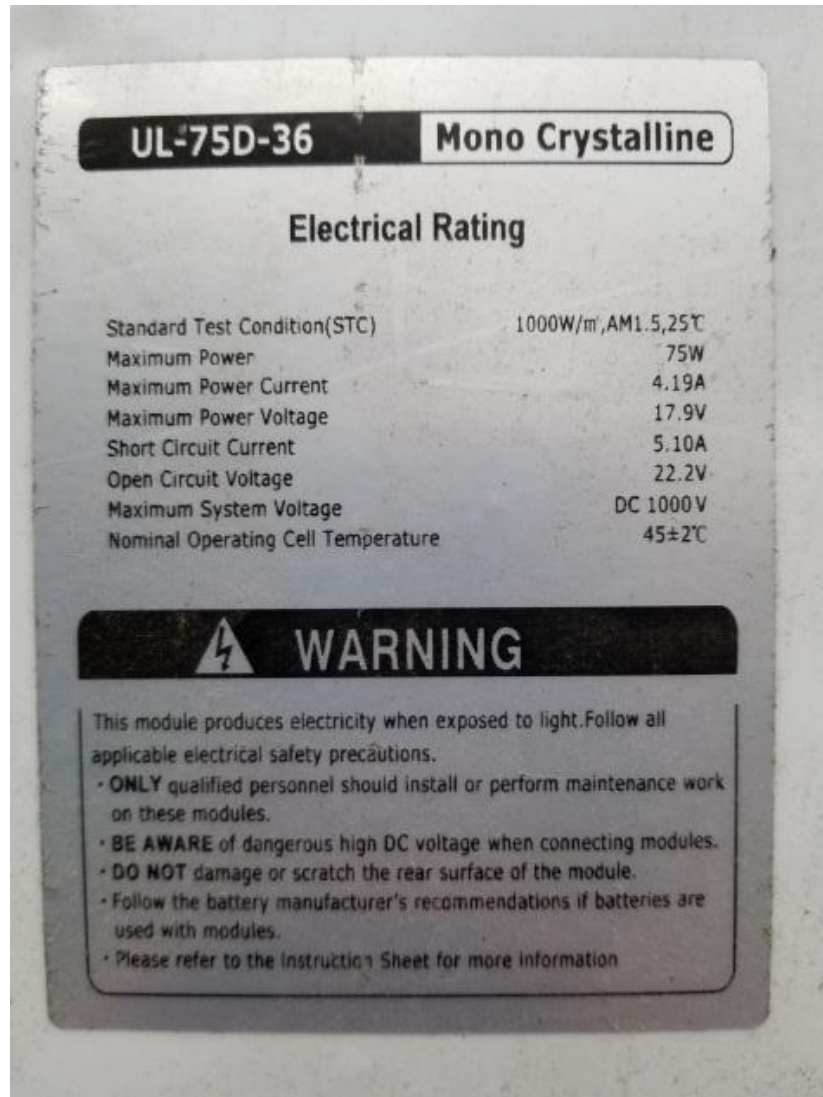
Anexo 2. **Especificación de batería PS-12260 retención de energía**

### Life Characteristics in Cyclic Use



Fuente: <https://www.mouser.mx/>. Consulta: mayo de 2018.

### Anexo 3. Especificación de panel fotovoltaico



Fuente: Laboratorio Máquinas hidráulicas, Facultad de Ingeniería, USAC.



