



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

**MANTENIMIENTO DEL PARQUE TECNOLÓGICO DE FUENTES
RENOVABLES DE ENERGÍA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA**

Edwin Orlando Morales Ayau

Asesorado por el Ing. José Ismael Véliz Padilla

Guatemala, junio de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MANTENIMIENTO DEL PARQUE TECNOLÓGICO DE FUENTES
RENOVABLES DE ENERGÍA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

EDWIN ORLANDO MORALES AYAU

ASESORADO POR EL ING. JOSÉ ISMAEL VÉLIZ PADILLA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, JUNIO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

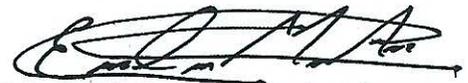
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Milton Alexander Fuentes Orozco
EXAMINADOR	Ing. Victor Manuel Ruiz Hernández
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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:

MANTENIMIENTO DEL PARQUE TECNOLÓGICO DE FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 6 de agosto de 2010.



Edwin Orlando Morales Ayau

Guatemala, 5 de febrero de 2013

**Ingeniero
Julio Cesar Campos Paiz
Director de la escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala**

Señor Director:

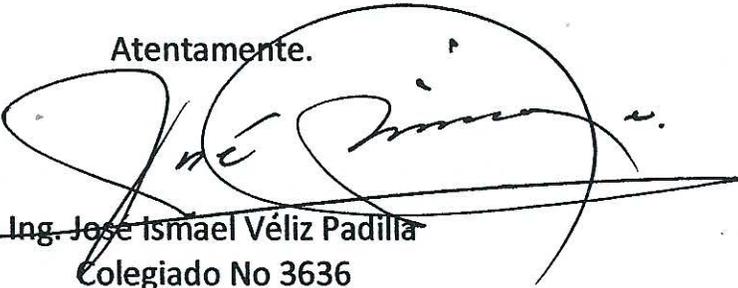
Por este medio me dirijo a usted, para informarle que he llevado a cabo la revisión final del trabajo de graduación titulado, **MANTENIMIENTO DEL PARQUE TECNOLÓGICO DE FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA**. Presentado por el estudiante Edwin Orlando Morales Ayau, con número de carné **2001-17356**.

El trabajo se ha desarrollado de acuerdo con el programa y los objetivos iniciales planteados y considero que llena los requisitos para ser aprobado como trabajo de graduación.

Finalmente, considero importante resaltar la utilidad que el trabajo tendrá como apoyo a los estudiantes de la carrera de ingeniería mecánica en el curso de maquinas hidráulicas.

Agradeciendo la atención a la presente aprovecho la oportunidad de suscribirme de usted.

Atentamente.



Ing. José Ismael Véliz Padilla
Colegiado No 3636

José Ismael Véliz Padilla
INGENIERO MECÁNICO
COL. 3646

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**

El Coordinador del Área Complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado **MANTENIMIENTO DEL PARQUE TECNOLÓGICO DE FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA**, del estudiante **Edwin Orlando Morales Ayau**, recomienda su aprobación.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Carlos Humberto Pérez Rodríguez'.



Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Coordinador de Área

Guatemala, febrero de 2013

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación del Coordinador del Área Complementaria al Trabajo de Graduación titulado, **MANTENIMIENTO DEL PARQUE TECNOLÓGICO DE FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA** del estudiante **Edwin Orlando Morales Ayau**, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Julio César Campos Paiz
DIRECTOR



Guatemala, junio de 2013

JCCP/bhdei

Universidad de San Carlos
De Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.396.2013

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: **MANTENIMIENTO DEL PARQUE TECNOLÓGICO DE FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA**, presentado por el estudiante universitario: **Edwin Orlando Morales Ayau**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, junio de 2013

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por darme la vida, entendimiento, inteligencia y las fuerzas para continuar y lograr este triunfo. “Yo soy quien te manda que tengas valor y firmeza. No tengas miedo ni te desanimes porque yo, tu Señor y Dios, estaré contigo dondequiera que vayas”. Josué 1:9.
- Mis padres** Orlando Morales y Sandra Ayau de Morales, por enseñarme el valor de la educación y brindarme siempre su apoyo incondicionalmente y sobre todo por un excelente ejemplo de vida a seguir.
- Mis hermanos** Daniel y Stefany Morales, por ser parte importante de mi vida y por llenar mi vida de alegrías y amor cuando más lo he necesitado.
- Mis tíos** Wilber Morales, Edward Ayau, por estar pendiente siempre de mis logros y alegrarse conmigo.
- Mis abuelos** Carlos Ayau y Hector Morales por sus sabios consejos.
- Mis abuelas** Angelina Godínez y Elsa Espina, por apoyarme y creer en mí siempre.

Mis primos

Marvin Espina, Lester, Alejandra, Estuardo, Joselyn Morales, Carlos, Antony, Jennifer Ayau, por su cariño ejemplo y lucha.

Mis amigos

Amalia López, Ana Navas, Carlos Navas, Deborah Galindo, Jonathan Cancinos, Lorena y María José García, porque sin su apoyo esta meta no hubiera podido ser alcanzada.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser la fuente que me brindó el conocimiento.

Mi asesor de tesis

Ing. Ismael Véliz por la orientación y ayuda que me brindó para la realización de esta tesis.

Todas las personas

Vinicio Mérida, Rafael Casco, por su aporte a este trabajo y conocimientos brindados generosamente.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. LAS MÁQUINAS HIDRÁULICAS	1
1.1. Etimología	1
1.2. Su historia	1
1.2.1. Egipto y Grecia	1
1.2.2. Los romanos	2
1.2.3. La generación de energía	3
1.2.4. La rueda hidráulica	4
1.2.5. La hidráulica en los países árabes	5
1.3. Producción de energía	5
2. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	7
2.1. Reseña histórica del parque tecnológico	7
2.2. Análisis técnico de los equipos	7
2.2.1. Análisis del estado inicial de la bomba de ariete hidráulico	7
2.2.2. Análisis del estado inicial de la turbina Peltón	9
2.2.3. Análisis del estado inicial de los paneles solares ...	11
2.2.4. Análisis del estado inicial del calentador de agua...	12
2.2.5. Análisis del estado inicial del generador eólico.....	14

2.3.	Análisis técnico de la ubicación inicial de los equipos	15
2.3.1.	Análisis técnico de la ubicación inicial del generador eólico.....	16
2.3.2.	Análisis técnico de la ubicación de la bomba sumergible.....	17
3.	LA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO	19
3.1.	Funcionamiento	19
3.1.1.	Inclisor de aire.....	19
3.1.2.	Otros requerimientos.....	20
3.1.3.	Dimensionamiento.....	21
3.2.	Ajustes.....	21
3.2.1.	Golpe de ariete.....	22
3.2.2.	Energía potencial y cinética.....	23
3.3.	Limitaciones hidráulicas.....	23
3.3.1.	Rendimiento (R)	24
3.3.2.	El caudal elevado	25
4.	LA TURBINA PELTON	27
4.1.	Definición.....	27
4.2.	Partes	27
4.2.1.	Embalse	28
4.2.2.	Tuberías, mangueras y válvulas de cierre.....	28
4.2.3.	La turbina-generador.....	28
4.2.4.	La cabina.....	29
4.2.5.	Medidores de voltaje y amperaje.....	29

5.	PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO	31
5.1.	Historia	31
5.2.	Definición	31
5.3.	Funcionamiento	32
5.3.1.	Principios teóricos de funcionamiento	32
5.3.2.	Fotogeneración de portadores de carga	33
5.3.3.	Separación de los portadores de carga	34
5.3.4.	Generación de corriente	34
5.4.	Potencia	35
6.	BOMBA SUMERGIBLE	37
6.1.	Definición	37
6.2.	Funcionamiento	37
6.3.	Aplicaciones	37
6.4.	Componentes básicos.....	38
6.4.1.	Controlador	38
6.4.2.	Bomba	38
6.4.3.	Sellos mecánicos.....	38
7.	BOMBA HORIZONTAL.....	39
7.1.	Definición	39
7.2.	Funcionamiento	40
7.3.	Componentes.....	41
7.3.1.	Cubiertas	41
7.3.2.	Impulsor	42
7.3.3.	Anillos de desgaste.....	42
7.3.4.	Estoperos.....	43
7.3.5.	Cojinetes.....	43
7.4.	Ventajas	43

8.	GENERADOR EÓLICO	45
8.1.	Definición.....	45
8.2.	Funcionamiento	45
8.3.	Partes	46
8.3.1.	Rotor	46
8.3.2.	Eje	46
8.3.3.	Estator	47
8.3.4.	Hélice	47
8.4.	Potencia.....	47
8.4.1.	Ecuaciones para calcular potencia.....	48
8.5.	Ventajas.....	50
8.6.	Desventajas.....	51
9.	MEJORAS REALIZADAS	53
9.1.	Reubicación de la turbina eólica	53
9.2.	Reacondicionamiento del área del laboratorio.....	57
9.2.1.	Construcción de encaminamientos, plataformas y piletas de recuperación de agua.....	58
9.2.2.	Pintura y repello	62
9.3.	Cambio de tubería de la bomba de ariete hidráulico y turbina Pelton	66
9.4.	Reparación de paneles solares	69
9.5.	Mejoras a manual de laboratorio de máquinas hidráulicas.....	70
9.6.	Ampliación de depósito de agua subterránea.....	71
9.7.	Iluminación de parque tecnológico	73
9.8.	Reubicación de bomba sumergible.....	75
9.9.	Mantenimiento a equipos de parque tecnológico	76
9.9.1.	Mantenimiento a generador eólico	77
9.9.2.	Mantenimiento a turbina Pelton.....	78

CONCLUSIONES 81
RECOMENDACIONES 83
BIBLIOGRAFÍA 85

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Bomba de ariete hidráulico al iniciar el proyecto.....	8
2.	Contactos de carbón dañados	9
3.	Cojinetes presentan corrosión	10
4.	Turbina Pelton	11
5.	Estructura metálica corroída	12
6.	Estado inicial del calentador del agua.....	13
7.	Indicador de temperatura deteriorado.....	14
8.	Cojinete de veleta de generador pegado por corrosión	15
9.	Ubicación de la turbina eólica al iniciar el proyecto	16
10.	Ubicación de la bomba sumergible al iniciar el proyecto	17
11.	Base metálica de torre del generador	54
12.	Base metálica de torre de generador eólico	55
13.	Ubicación final de la turbina eólica.....	57
14.	Área del laboratorio sin encaminamientos	58
15.	Encaminamiento que atraviesa el parque tecnológico.....	59
16.	Encaminamiento hacia la bomba centrífuga horizontal.....	60
17.	Pileta de recuperación de agua	61
18.	Estructura de diferentes colores y deterioradas.....	63
19.	Malla de delimitación de parque muestra corrosión.....	63
20.	Estructura de tanque aéreo pintada al finalizar el proyecto	64
21.	Malla y estructura de paneles solares pintada	65
22.	Vista inicial con tubería PVC.....	67
23.	Tubería galvanizada de turbina Pelton	68

24.	Estructura pintada y paneles solares limpios	70
25.	Tanque subterráneo al iniciar el proyecto.....	71
26.	Tanque subterráneo ampliado.....	72
27.	Luminarias de 12 voltios instaladas en el área del parque	74
28.	Nueva ubicación de la bomba sumergible.....	76
29.	Generador eólico desarmado	77
30.	Cojinetes de turbina Pelton usados y nuevos.....	79
31.	Techo de turbina Pelton	80

TABLAS

I.	Costo total de la reubicación del generador eólico	56
II.	Total de materiales para construcción de encaminamientos, plataformas y pileta de recuperación de agua	62
III.	Materiales utilizados en pintura y repello.....	66
IV.	Materiales utilizados en el cambio de tubería de turbina Pelton.....	69
V.	Materiales utilizados en ampliación de tanque subterráneo	73
VI.	Materiales utilizados en proyecto de iluminación.....	75
VII.	Cojinetes utilizados por generador eólico.....	78
VIII.	Cojinetes utilizados por turbina Pelton	78

GLOSARIO

Chumacera	Pieza metálica fija, en que descansa y gira un eje.
Cojinete	Pieza metálica móvil, en la que se apoya y gira un eje.
Cortocircuito	Fenómeno eléctrico que se produce accidentalmente por contacto entre los conductores y suele determinar una descarga.
Electrón	Partícula elemental más ligera que constituye a los átomos y que presenta la mínima carga posible de electricidad negativa.
Energía cinética	Es la energía que posee un cuerpo a consecuencia de su movimiento.
Energía eólica	Energía producida por el viento.
Estopero	Empaque de lazo y grafito.
Fotón	Partícula de luz que se propaga en el vacío.

Golpe de ariete	Golpe producido en una tubería al cerrar bruscamente una válvula o grifo.
Mercado	Es el área en que confluyen las fuerzas de la oferta y la demanda para realizar las transacciones de bienes y servicios a precios determinados.
Misión	Función o tarea básica de una empresa, dependencia o de alguno de sus departamentos.
Objetivos	Fines hacia los que se dirige la actividad; puntos finales de la planeación.
Organigrama	Diagrama que ilustra gráficamente las relaciones entre funciones, departamentos, divisiones y hasta puestos individuales de una organización en materia de rendición de cuentas.
Organización	Todo grupo estructurado de personas reunidas para cumplir ciertas metas que no podrían cumplir individualmente.
Planeación estratégica	Definición de objetivos y propuesta de medios para alcanzarlos.

Política	Declaraciones o interpretaciones generales que guían el pensamiento durante la toma de decisiones; la esencia de las políticas es la existencia de cierto grado de discrecionalidad para guiar la toma de decisiones.
Productividad	Relación entre producción y los medios empleados para lograrla.
Producto	Es un conjunto de atributos tangibles e intangibles, que incluye entre otras cosas empaque, color, precio, calidad y marca, junto con los servicios y la reputación del vendedor. Un producto puede ser un bien, un servicio, un lugar, una persona o una idea.
Producto Interno Bruto (PIB)	Es el valor de todos los bienes y servicios finales producidos por un país en un año, a precios de mercado.
Psig	Libra por pulgada cuadrada manométrica.
PVC	Polímero de cloruro de vinilo que se emplea para la fabricación de diversos productos plásticos.
Riesgo	La probabilidad de que los resultados reales sean diferentes de los esperados; posibilidad de pérdida financiera.

Rodete	Rueda hidráulica horizontal con paletas planas.
Salto hidráulico	Fenómeno en el cual una corriente líquida de gran velocidad en flujo súper crítico, bajo ciertas condiciones, pasa a un flujo subcrítico con una brusca elevación de la superficie libre.
Turbina	Máquina que transforma la energía cinética del fluido en movimiento giratorio.
Visión	Expresa las aspiraciones y el propósito fundamental de una organización y apela por lo común al corazón y la razón de sus integrantes.

RESUMEN

La generación de electricidad por medio de fuentes renovables dentro del parque tecnológico, se logra gracias al generador eólico al cual se le dio mantenimiento y se le reubicó para mejorar la eficiencia del mismo, de igual manera se aprovecha la electricidad generada por los paneles solares fotovoltaicos a los cuales además de darles mantenimiento, también se le modificaron las conexiones eléctricas para aprovechar de mejor manera la electricidad generada por los mismos.

Analizando la situación inicial del parque tecnológico, se ha planteado que se debe realizar mantenimiento preventivo a todos los equipos por lo menos una vez al año, el generador eólico es uno de los equipos de mayor valor que se encuentra en el parque tecnológico, se planteó la problemática que el mismo no funcionaba y se procedió a reubicarlo, en la nueva ubicación este funciona de buena manera.

Por otra parte el acceso para darle mantenimiento al generador eólico se hace más complicado por lo que más adelante se menciona el procedimiento adecuado y seguro para prestarle mantenimiento a tan importante equipo.

La generación de energía por medio de fuentes renovables cada vez va obteniendo más auge, ya que es una energía limpia y que no genera un impacto negativo al ambiente, ciertamente el costo inicial de un proyecto de generación de electricidad utilizando las fuentes renovables como el Sol y el viento es muy elevado.

La recuperación de la inversión inicial de un proyecto de generación de electricidad por medios renovables se recupera a largo plazo y las ganancias luego de esto son muy significativas, ya que no se usa ningún combustible fósil para generar electricidad.

Para concientizar a los futuros profesionales que realizan el laboratorio del curso de máquinas hidráulicas en el parque tecnológico, se les debe instruir en la correcta utilización de los equipos de laboratorio, así como, hacerles ver las diferencias significativas que representa generar energía eléctrica por medio de fuentes renovables que hacerlo por medio de fuentes no renovables, como combustibles fósiles o incluso el impacto al ambiente que tienen las generadoras que utilizan los caudales de agua de los ríos.

OBJETIVOS

General

Realizar mejoras y dar mantenimiento al parque tecnológico de la Facultad de Ingeniería.

Específicos

1. Promover en los usuarios de las máquinas que utilizan energía renovable de su responsabilidad en la conservación de los recursos naturales, y la disminución de los impactos que deterioran el ambiente con sólo utilizarlas.
2. Modificar y mejorar la guía de laboratorio de máquinas hidráulicas, para que permita a los estudiantes de manera sencilla obtener los conocimientos acerca de dichas máquinas.
3. Realizar un plano dimensionado del área donde se reubicarán los equipos del laboratorio para el mejor aprovechamiento de los espacios.
4. Definir acciones y cuidados que se deben tomar al momento de ejecutar el movimiento de los equipos.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, la mecánica de fluidos ha sido fundamental en el desarrollo de las comunidades antiguas, hoy en día la mecánica de fluidos tiene muchas aplicaciones prácticas, que el ingeniero mecánico utiliza, entre ellas la transformación de energía hidráulica en energía mecánica como una de las aplicaciones más importantes, etcétera.

En el siguiente trabajo se estará detallando el funcionamiento y las reparaciones que se le realizaron a los equipos que se encuentran en el parque tecnológico de fuentes renovables de la Facultad de Ingeniería, entre los cuales se puede mencionar la bomba de ariete hidráulico, que no es más que una bomba hidráulica que utiliza la energía potencial del agua, que se convierte en energía cinética; utilizando una caída para luego al entrar en el dispositivo, provocar un fenómeno conocido como golpe de ariete con el cual esta energía se transforma en energía de presión, esto eleva el líquido a una altura mayor a la que se tiene en la caída.

Otro de los equipos de los cuales se detallará en el presente trabajo es la turbina tipo Pelton que cuenta con un rodete de 6 pulgadas de diámetro en la cual impactan 2 chorros de agua provenientes del depósito de agua aéreo, esta turbina cuenta con un generador tipo dínamo que genera 12 voltios de corriente alterna, los cuales son indicados por los medidores de voltaje y amperaje ubicados en la cabina.

También se estará detallando la bomba tipo turbina vertical a la cual se le realizó una modificación en su ubicación, ya que se encontraba en un depósito en el cual era muy difícil realizar la práctica de laboratorio. También se describirán mejoras y mantenimiento de paneles solares, calentador de agua y turbina eólica a la que se le dio mantenimiento y fue reubicada y puesta en funcionamiento, ya que esta no se encontraba generando corriente, con la nueva ubicación de 10 metros sobre el nivel del suelo esta genera 12 voltios de corriente alterna y sirve conjuntamente con los paneles solares para cargar el banco de baterías, el cual a su vez es utilizado para iluminar el parque por las noches.

Entre otras mejoras realizadas al parque se puede mencionar el cambio de tubería PVC por tubería galvanizada en la turbina Pelton, además a la turbina Pelton se le instaló un techo de 2 aguas, para garantizar mayor tiempo de vida útil de la turbina y una mejor vista del parque, se realizó pintura general en el parque y se instalaron 4 luminarias de 12 voltios alimentados por la energía generada por los equipos del parque, de igual manera, se construyó un nuevo depósito para aumentar la capacidad del agua a utilizar, la capacidad del tanque existente era de 200 litros, la capacidad del nuevo tanque es de 1 000 litros, además de esto se construyeron piletas para recuperar el agua utilizada en las prácticas de laboratorio.

1. LAS MÁQUINAS HIDRÁULICAS

1.1. Etimología

De acuerdo con su significado etimológico, que viene del griego *hydros* que significa “agua”, *aulos* que quiere decir conducción e *icos* que significa relativo, relativo a, la conducción del agua.

1.2. Su historia

Las civilizaciones más antiguas se desarrollaron a lo largo de los ríos más importantes de la tierra, como el Tigris e Indo. La experiencia y la intuición guiaron a estas comunidades en la solución de los problemas relacionados con las numerosas obras hidráulicas necesarias para la defensa ribereña, el drenaje de zonas pantanosas, el uso de los recursos hídricos, la navegación, entre otros.

1.2.1. Egipto y Grecia

Arquímedes realizó gran cantidad de descubrimientos excepcionales. Uno de ellos empezó cuando Cerón reinaba en Siracusa. Quiso ofrecer a un santuario una corona de oro, en agradecimiento por los éxitos alcanzados. Contrató a un artista con el que pactó el precio de la obra y además le entregó la cantidad de oro requerida para la obra. La corona terminada fue entregada al rey, con la plena satisfacción de este y el peso también coincidía con el peso de oro entregado.

Un tiempo después, sin embargo, Cerón tuvo motivos para desconfiar de que el artista lo había engañado sustituyendo una parte del oro con plomo, manteniendo el mismo peso.

Indignado por el engaño, pero no encontrando la forma de demostrarlo, solicitó a Arquímedes que estudiara la cuestión. Absorto por la solución de este problema, Arquímedes observó un día, mientras tomaba un baño en una tina, que cuando él se sumergía en el agua, esta se derramaba hacia el suelo. Esta observación le dio la solución del problema. Saltó fuera de la tina y emocionado, corrió desnudo a su casa, gritando: “*Eureka! Eureka!*” (Que, en griego, significa: “¡Lo encontré, lo encontré!”).

1.2.2. Los romanos

Los romanos antiguos, basaron el bienestar y el vivir bien, especialmente en la disponibilidad de abundante agua. Se considera que los acueductos suministraban más de un millón de metros cúbicos de agua al día a la Roma imperial, la mayor parte distribuida a viviendas privadas por medio de tubos de plomo. Llegaban a Roma por lo menos una docena de acueductos unidos a una vasta red subterránea. Para construir el acueducto Claudio, se requirieron, por 14 años consecutivos más de 40 mil carros de tufo por año.

En las provincias romanas los acueductos atravesaron con frecuencia profundos valles, como en Nîmes, donde el *Pont du Gard* (puente del Gard) de 175 metros de longitud tiene una altura máxima de 49 metros y en Segovia España, donde el puente-acueducto de 805 metros de longitud todavía funciona.

Los romanos excavaron también canales para mejorar el drenaje de los ríos en toda Europa y también para la navegación, como es el caso del canal Rin-Mosa de 37 kilómetros de longitud. Pero sin duda en este campo la obra prima de la ingeniería del Imperio romano es el drenaje del lago Fucino, a través de una galería de 5,5 kilómetros por debajo de la montaña. Esta galería solo fue superada en 1870 con la galería ferroviaria del Moncenisio.

1.2.3. La generación de energía

La principal fuente de energía mecánica de la antigüedad fue el molino griego, constituido por un eje de madera vertical, en cuya parte inferior había una serie de paletas sumergidas en el agua. Este tipo de molino fue usado principalmente para moler los granos, el eje pasaba a través de la máquina inferior y hacía girar la máquina superior, a la cual estaba unida.

Molinos de este tipo requerían una corriente veloz, estos molinos generalmente eran pequeños y lentos, la piedra de moler giraba a la misma velocidad que la rueda, tenían por lo tanto una pequeña capacidad de molienda, y su uso era puramente local. Sin embargo, pueden ser considerados los precursores de la turbina hidráulica y su uso se extendió por más de tres mil años.

Más tarde se observó que una rueda alimentada desde arriba era más eficiente, al aprovechar también la diferencia de peso entre las tazas llenas y las vacías. Este tipo de rueda, significativamente más eficiente requiere una instalación adicional considerable para asegurar el suministro de agua: generalmente, se represaba un curso de agua, a manera de formar un embalse, desde el cual un canal llevaba un flujo regularizado de agua a la rueda.

Este tipo de molino fue una fuente de energía mayor a la que se disponía anteriormente y no sólo revolucionó la molienda de granos, sino que abrió el camino a la mecanización de muchas otras operaciones industriales.

1.2.4. La rueda hidráulica

En la Edad Media, la rueda hidráulica fue ampliamente utilizada en Europa para variedad de usos industriales, según el Domesday Book, el catastro inglés elaborado en el 1086, reporta 5 624 molinos de agua, todos del tipo vitruviano. Estos molinos fueron usados para accionar aserraderos, molinos de cereales y minerales, molinos con martillos para trabajar el metal, para accionar fuelles de fundiciones y para una variedad de otras aplicaciones. De este modo tuvieron también un papel importante en la redistribución territorial de la actividad industrial.

Otra forma de energía desarrollada en la Edad Media fue el molino de viento. Desarrollado originalmente en Persia en el siglo VII, probablemente tuvo su origen en las antiguas ruedas de oraciones accionadas por el viento utilizadas en Asia central. Otra teoría plausible pero no demostrada, es la de que el molino de viento se derivaría de las velas de los navíos. Durante el siglo X estos molinos eólicos fueron ampliamente utilizados en Persia, para bombear agua.

1.2.5. La hidráulica en los países árabes

En la Edad Media el Islam contribuyó en forma importante al desarrollo de la hidráulica. En el área geográfica donde se ubica el primer desarrollo de la civilización islámica se realizaron importantes obras hidráulicas, como por ejemplo, canales para la distribución de agua, con un uso frecuente de sifones, casi desconocidos anteriormente, pero lo que tiene más significado, el Islam aseguró la continuidad del conocimiento con las civilizaciones antiguas, particularmente con la alejandrina.

Entre los numerosos arquitectos que actuaban en el Renacimiento, el más significativo fue Leonardo Da Vinci (1452 – 1519). A Leonardo se debe la primera versión de la conservación de la masa en un curso de agua, en el cual el producto entre la velocidad media del agua en una sección y el área de la misma sección es constante, mientras que, siempre Leonardo observa que la velocidad del agua es máxima en el centro del río y mínima sobre los bordes. En tiempos recientes se ha reconducido el estudio de la turbulencia al de los sistemas dinámicos que conducen al caos.

1.3. Producción de energía

El funcionamiento básico consiste en aprovechar la energía cinética del agua almacenada, de modo que accione las turbinas hidráulicas. Para aprovechar mejor el agua llevada por los ríos, se construyen presas para regular el caudal en función de la época del año. La presa sirve también para aumentar el salto y así mejorar su aprovechamiento.

Se pueden mencionar algunas de las ventajas de la energía hidráulica sobre otras fuentes de energía, como por ejemplo, la disponibilidad, debido a que el ciclo del agua lo convierte en un recurso inagotable. También a este tipo de energía se le denomina energía limpia, esto quiere decir, que no emite gases y por lo tanto, no causa el llamado efecto invernadero, ni provoca lluvia ácida, ni produce emisiones tóxicas. También se le denomina energía barata, debido a que sus costos de explotación son bajos y su mejora tecnológica hace que se aprovechen de manera eficiente los recursos hidráulicos disponibles.

Entre algunos inconvenientes que se pueden mencionar están que su construcción y puesta en marcha requiere inversiones iniciales importantes. Las presas se convierten en obstáculos insalvables para especies como los salmones, que tienen que remontar los ríos para desovar. Por otra parte, los embalses afectan a los cauces, provocan erosión e inciden en general sobre el ecosistema del lugar. Otro inconveniente sería el empobrecimiento del agua, es decir que el agua embalsada no tiene las condiciones de salinidad, gases disueltos, temperatura, nutrientes y demás propiedades del agua que fluye por el río.

2. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

2.1. Reseña histórica del parque tecnológico

El parque tecnológico es una organización gestionada por profesionales especializados, creado con el fin de albergar a los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Mecánica y personas ajenas a la institución, de fomentar la innovación y el desarrollo tecnológico y capitalizar el conocimiento y desarrollo estudiantil, como un instrumento eficaz en la transferencia de tecnología con alto valor agregado.

2.2. Análisis técnico de los equipos

Todos los equipos del parque tecnológico presentan desgaste y desperfectos, esto debido a la falta de mantenimiento. Es por esto que se realizó un análisis de los desperfectos y aspectos a mejorar en cada equipo.

2.2.1. Análisis del estado inicial de la bomba de ariete hidráulico

La bomba de ariete hidráulico al iniciar el proyecto se encontraba funcionando de forma correcta, sólo presentaba el inconveniente que no había ningún encaminamiento para que los estudiantes pudieran llegar al equipo sin tener el inconveniente de pasar sobre el lodo que se forma en épocas de lluvias o cuando el agua es derramada por el uso de los equipos.

La manguera transparente presentaba una deformación en la salida de la bomba, esto debido a que la tubería de $\frac{1}{2}$ pulgada horizontal que salía de la bomba quedaba muy corta y no llegaba a topar con la tubería vertical que sostiene la manguera transparente. Por otra parte no se podía observar qué altura es la que alcanzaba el agua al salir de la bomba de ariete hidráulico, esto debido a que la manguera estaba muy deteriorada y sucia, además el indicador de altura también se encontraba dañado y lo tapaba un árbol como se muestra en la figura 1.

Figura 1. **Bomba de ariete hidráulico al iniciar el proyecto**



Fuente: Parque Tecnológico de Fuentes Renovables, Facultad de Ingeniería, edificio T-7.

2.2.2. Análisis del estado inicial de la turbina Peltón

La turbina se encontraba trabajando con algunas deficiencias, ya que el eje del rotor presentaba deformación, lo cual evitaba que esta girase y produjese corriente eléctrica de forma eficiente, los medidores de voltaje y amperaje no funcionaban. Al desarmar la turbina se encontró que los contactos de carbón del inducido estaban dañados como se muestra a continuación.

Figura 2. Contactos de carbón dañados



Fuente: Parque Tecnológico de Fuentes Renovables, Facultad de Ingeniería, edificio T-7.

De igual manera, los cojinetes presentaban corrosión evidente (figura 3) y un desgaste excesivo al punto de que presentaban mucha resistencia al giro del rotor. Por otra parte, el agua que se descargaba de la turbina Pelton era desperdiciada por falta de un sistema de recuperación de agua.

Figura 3. **Cojinetes presentan corrosión**



Fuente: Parque Tecnológico de Fuentes Renovables, Facultad de Ingeniería, edificio T-7.

En gran parte los cojinetes muestran corrosión porque la turbina Pelton inicialmente se encontraba a la intemperie (figura 4) a merced de las inclemencias del tiempo como por ejemplo, la lluvia.

Figura 4. **Turbina Pelton**



Fuente: Parque Tecnológico de Fuentes Renovables, Facultad de Ingeniería, edificio T-7.

2.2.3. Análisis del estado inicial de los paneles solares

Los paneles solares se encontraron en buen estado, el único problema con ellos es que se encontraban sucios y esto evita que se aproveche al máximo los fotones provenientes de los rayos solares, por lo cual los paneles se hacen menos eficientes, la estructura metálica en la cual se encuentran colocados dichos paneles ya presentaba corrosión en ciertas partes (figura 5), esto debido a la falta de pintura.

Figura 5. **Estructura metálica corroída**



Fuente: Parque Tecnológico de Fuentes Renovables, Facultad de Ingeniería, edificio T-7.

2.2.4. Análisis del estado inicial del calentador de agua

Este equipo se encontraba trabajando de buena manera, presentaba ciertas fugas en la tubería de ingreso al mismo y además se encontró que en el tanque ya presentaba cierta corrosión (figura 6), esto debido a la falta de mantenimiento del mismo.

Figura 6. **Estado inicial del calentador del agua**



Fuente: Parque Tecnológico de Fuentes Renovables, Facultad de Ingeniería, edificio T-7.

Además de esto los medidores de temperatura del agua se encontraban deteriorados y esto ocasionaba que no se apreciara de buena manera la visualización de la temperatura del agua, como se muestra en la figura 7.

Figura 7. **Indicador de temperatura deteriorado**



Fuente: Parque Tecnológico de Fuentes Renovables, Facultad de Ingeniería, edificio T-7.

2.2.5. Análisis del estado inicial del generador eólico

El generador eólico no se encontraba trabajando, esto debido en gran parte a la ubicación en la que este estaba ubicado, esto se explicará en el inciso 2.3.1. Además de este inconveniente al desarmar dicho generador se encontró que los cojinetes estaban pegados (figura 8), esto debido al desgaste producido por las inclemencias del tiempo. Por otra parte, el generador eólico no estaba conectado al banco de baterías.

Figura 8. **Cojinete de veleta de generador pegado por corrosión**



Fuente: Parque Tecnológico de Fuentes Renovables, Facultad de Ingeniería, edificio T-7.

2.3. Análisis técnico de la ubicación inicial de los equipos

Algunos equipos del parque tecnológico no se encuentran en funcionamiento esto debido a una mala ubicación de los mismos, tal es el caso de la turbina eólica y la bomba sumergible. Por esta razón se realizó un análisis de la ubicación inicial de los equipos.

2.3.1. Análisis técnico de la ubicación inicial del generador eólico

Como se mencionó en el inciso 2.2.5. el generador eólico no funcionaba, esto debido en gran parte a la ubicación de dicho generador. La ubicación a la que inicialmente se encontraba fue a una altura de 3 metros sobre el nivel del suelo (figura 9), lo cual no era suficiente para que el viento lo hiciera girar, ya que a esa altura se encuentran muchos obstáculos como árboles y edificios que no permiten que el viento llegue hasta las aspas del generador.

Figura 9. **Ubicación de la turbina eólica al iniciar el proyecto**



Fuente: Parque Tecnológico de Fuentes Renovables, Facultad de Ingeniería, edificio T-7.

2.3.2. Análisis técnico de la ubicación de la bomba sumergible

La bomba sumergible inicialmente se encontraba ubicada en un tanque de 200 litros y no tenía tubería de entrada de agua (figura 10), por lo que para realizar las prácticas de laboratorio se tenía que llenar dicho depósito de forma manual utilizando una cubeta y un embudo, esto hacía que la práctica de laboratorio fuera poco productiva ya que se desperdiciaba mucho tiempo tratando de llenar dicho depósito, para que luego en unos cuantos segundos quedara vacío por la capacidad de descarga de la bomba sumergible y luego para continuar con la práctica era necesario volver a rellenar el tanque manualmente.

Figura 10. **Ubicación de la bomba sumergible al iniciar el proyecto**



Fuente: Parque Tecnológico de Fuentes Renovables, Facultad de Ingeniería, edificio T-7.

3. LA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO

3.1. Funcionamiento

El funcionamiento de este equipo es bastante sencillo, para su funcionamiento, la bomba de ariete hidráulico aprovecha la energía cinética del agua provocada por una caída, convirtiéndola en energía de presión, que eleva parte del mismo líquido hacia un punto de mayor altura. Esta energía de presión se produce deteniendo súbitamente, el movimiento del agua, dentro de la tubería de abastecimiento, lo que provoca el funcionamiento automático de la bomba de ariete hidráulico.

Durante este proceso existe pérdida de energía, parte de esta se libera cuando la bomba expulsa una porción del agua que le está entrando. Esta transformación de energía constituye parte fundamental en el funcionamiento automático de la bomba de ariete hidráulico provocado por el fenómeno conocido como golpe de ariete hidráulico.

3.1.1. Inclusor de aire

El inclusor de aire es un pequeño orificio de 1,5 a 2 milímetros de diámetro, con un alambre de cobre que pasa por él con cierta holgura, para permitirle a la cámara de aire tomar alguna burbuja en cada golpe de ariete y mantener la presión en la cámara de aire.

Por supuesto, también saldrá una pequeña cantidad de agua en cada golpe de ariete, pero si no hubiera cámara de aire que actúe como amortiguadora del golpe de ariete, este mismo rompería el dispositivo y dejaría de funcionar.

3.1.2. Otros requerimientos

Para que el ariete hidráulico funcione se necesitan dos cosas: que el agua exista en cantidad suficiente para impulsarlo y suficiente desnivel de trabajo (el mínimo es 20 centímetros).

El agua puede proceder de un manantial, arroyo o río y debe ser conducido al ariete hidráulico mediante un conducto (hierro galvanizado, PVC, etcétera), cuyo diámetro dependerá del caudal utilizado, en el equipo que se encuentra en el parque tecnológico el agua se encuentra almacenada en el tanque aéreo que está ubicado sobre la torre metálica y el agua es conducida hacia la bomba por medio de tubería PVC.

La inclinación del tubo debe ser de unos 30 grados por debajo de la horizontal para un funcionamiento adecuado, aunque podría hacerlo con ángulos menores. El ariete hidráulico funciona entre 60 y 90 golpes por minuto y cuanto más lento sea el funcionamiento, más agua utiliza y bombea. Para que funcione el ariete hidráulico se necesita un salto de agua que varíe entre 0,20 metros a 30 metros. Cuando el salto de agua sea mayor, el ariete hidráulico va a ser más pequeño y económico y menos cantidad de agua va a requerir para elevar otra cantidad de agua.

3.1.3. Dimensionamiento

Las diferentes variables que participan en el funcionamiento del ariete hidráulico, se relacionan de la siguiente forma:

Caudal elevado = $(2.Q.h) / (3.H)$ (en litros/minuto)

Donde:

Q = es el caudal de alimentación en litros por minuto

h = desnivel de trabajo en metros

H = altura de elevación en metros

3.2. Ajustes

El ajuste adecuado se logra mediante el tornillo tensor de la platina resorte y el de la carrera hasta regular el caudal requerido de trabajo.

El único mantenimiento consiste en retirar las hojas u otro material del filtro en la toma de agua y las gomas de las válvulas cuando se gasten o deterioren.

3.2.1. Golpe de ariete

El golpe de ariete se origina debido a que el fluido es ligeramente elástico. En consecuencia, cuando se cierra bruscamente una válvula o un grifo instalado en el extremo de una tubería de cierta longitud, las partículas de fluido que se han detenido son empujadas por las que vienen inmediatamente detrás y que siguen aún en movimiento. Esto origina una sobrepresión que se desplaza por la tubería a una velocidad que puede superar la velocidad del sonido en el fluido.

Esta sobrepresión tiene dos efectos: comprime ligeramente el fluido, reduciendo su volumen y dilata ligeramente la tubería. Cuando todo el fluido que circulaba en la tubería se ha detenido, cesa el impulso que la comprimía y por tanto, esta tiende a expandirse. Por otro lado, la tubería que se había ensanchado ligeramente tiende a retomar su dimensión normal. Conjuntamente, estos efectos provocan otra onda de presión en el sentido contrario. El fluido se desplaza en dirección contraria pero, al estar la válvula cerrada, se produce una depresión con respecto a la presión normal de la tubería.

Al reducirse la presión, el fluido puede pasar a estado gaseoso formando una burbuja mientras que la tubería se contrae. Al alcanzar el otro extremo de la tubería, si la onda no se ve disipada, por ejemplo, en un depósito a presión atmosférica, se reflejará siendo mitigada progresivamente por la propia resistencia a la compresión del fluido y a la dilatación de la tubería.

3.2.2. Energía potencial y cinética

La energía potencial es aquella que posee un cuerpo o un líquido en reposo dependiendo de su altura, su masa y la gravedad del lugar donde se ubique. Por lo tanto, la energía potencial que se aprovecha en el sistema de ariete hidráulico está en función de la altura del depósito de agua. La energía cinética es la que posee un cuerpo, sólido o fluido, en función de su velocidad, esta se obtendrá de convertir la energía potencial dejando fluir el agua por una tubería hasta la entrada de la bomba que se encuentra a 0,33 metros del suelo.

Al frenar, súbitamente, el movimiento del agua se produce el golpe de ariete y la energía cinética se transforma en energía de presión, comprimiendo el aire en la cámara de la misma, elevando así, el agua en la tubería de descarga.

3.3. Limitaciones hidráulicas

Hay ciertas condiciones que se deben considerar para que funcione bien el equipo hidráulico, estas son las siguientes:

- Tener una caída con un flujo de por lo menos 0,10 litros por segundo.
- Una altura mínima a la caída de 0,20 metros.
- El tubo de impulsión de la bomba debe estar lleno de agua.
- Esta tubería debe guardar una pendiente de inclinación constante y recta respecto al ariete, en este caso forma un ángulo de 60 grados respecto a la horizontal, evitando codos o curvas cerradas y no debe haber puntos más altos en donde se pueda acumular el aire.
- En regiones muy frías, se debe tener cuidado de cubrir el equipo para evitar congelación.

- La longitud del tubo de impulsión entre la caída y el ariete hidráulico debe ser, como máximo, seis veces la altura de la caída disponible.

3.3.1. Rendimiento (R)

El rendimiento de la bomba de ariete hidráulico representa el porcentaje de agua que se puede bombear con relación al total de la canalizada por la misma y varía en función del cociente h/H . Al aumentar el valor resultante, el rendimiento disminuye. En la tabla siguiente se puede ver como varía el rendimiento energético.

Donde:

h/H = cociente entre altura de descarga o de elevación entre la altura neta de caída o abastecimiento.

R = el rendimiento que se obtiene de dividir el caudal elevado o de descarga entre el caudal de caída o abastecimiento.

La elevación de la gradiente hidráulica o sobrepresión es equivalente a:

$$H = (V \times V_w)/g$$

Siendo V_w la velocidad de la onda de presión, V la velocidad del agua en el tubo y g la aceleración de la gravedad. En este caso la altura es constante de 4 metros, donde se encuentra el depósito.

3.3.2. El caudal elevado

Depende del rendimiento (R), el caudal de alimentación (Q), el desnivel de trabajo (H) y la altura de elevación (h). La ecuación que relaciona estos datos es la siguiente:

$$q = R \times Q \times H/h$$

Donde:

Q = el caudal de alimentación

H = la altura de carga o abastecimiento

h = altura de descarga

Las eficiencias para este tipo de bombas son dos, la de Rankine y la de D'Aubuisson. Utilizando las relaciones siguientes.

$$ER = (Q_2 \times h - H) / (Q_3 \times H)$$

Donde:

Q₂ = caudal de descarga

Q₃ = la diferencia entre caudal de abastecimiento y caudal de descarga, al que se le llamará caudal de desperdicio.

Todos los caudales están en litros por segundo.

La eficiencia de D'Aubuisson viene dada por la siguiente ecuación:

$$EA = (Q_2 \times h) / (H (Q_2 + Q_3))$$

4. LA TURBINA PELTON

4.1. Definición

Una turbina Pelton es uno de los tipos más eficientes de turbina hidráulica. Es una turbomáquina motora, de flujo transversal, admisión parcial y de acción. Consiste en una rueda compuesta de cucharas en su periferia, las cuales están especialmente diseñadas para convertir la energía de un chorro de agua que incide sobre las cucharas.

La turbina Pelton está diseñada para explotar grandes saltos hidráulicos de bajo caudal. Las centrales hidroeléctricas dotadas de este tipo de turbina cuentan, la mayoría de las veces, con una larga tubería llamada galería de presión para transportar al fluido desde grandes alturas, a veces de hasta más de doscientos metros. Al final de la galería de presión se suministra el agua a la turbina por medio de una o varias válvulas de aguja, también llamadas inyectoros, los cuales tienen forma de tobera para aumentar la velocidad del flujo que incide sobre las cucharas.

4.2. Partes

La turbina Pelton consta de varias partes que deben ser revisadas para el correcto funcionamiento de dicho equipo, entre las partes más importantes podemos mencionar los medidores de voltaje que son necesarios para verificar si la turbina está generando corriente.

4.2.1. Embalse

El tanque utilizado para accionar la turbina Pelton, consiste en uno de 750 litros de capacidad y ubicado a una altura de 4 metros. Este tanque cuenta con dos salidas de agua en su parte inferior conectadas a ellas se encuentran una manguera transparente en cada salida. Este tanque contaba con el inconveniente de estar colocado sobre una superficie irregular, esto podía restar tiempo de vida útil del tanque, por lo que se le colocó una base de madera uniforme para evitar este inconveniente.

4.2.2. Tuberías, mangueras y válvulas de cierre

La turbina Pelton está conectada al tanque por medio de tubería Galvanizada de 1 ½ pulgadas, niples y codos galvanizados de 2 pulgadas, al final de la tubería galvanizada que anteriormente era de tubería PVC, se encuentra un reductor de campana de 2 a ¾ pulgadas donde va acoplada una válvula de paso y luego una manguera transparente de ¾ que va acoplada a la caja donde descarga la turbina Pelton.

4.2.3. La turbina-generador

La turbina utilizada es de tipo Pelton. Tiene dos entradas de agua, con esto se garantiza que la energía suministrada sea la adecuada. Esta es de eje vertical, lo cual quiere decir que el agua llega a la misma en forma horizontal y que el agua, luego de mover la turbina, tiene su salida hacia abajo. Está compuesta por un rodete de 0,13 metros de diámetro, dos toberas tipo aguja de ¾ pulgada a la entrada y ½ pulgada a la salida y el generador de 12 voltios. Todo este equipo está montado en una caja que tiene un depósito de desagüe que deja salir el agua al nuevo tanque colocado de 1 000 litros de capacidad.

4.2.4. La cabina

Está construida de metal y es de color azul, en la parte interior se encuentran los medidores de voltaje y amperaje que son accionados por el generador de la turbina, en la parte superior externa de la cabina se encuentra una lumbrera de 12 voltios que es encendida al hacer accionar la turbina.

4.2.5. Medidores de voltaje y amperaje

El medidor es una caja que contiene un voltímetro y un amperímetro análogos, el rango del voltímetro es de 30 voltios y el del amperímetro es de 10 amperios.

5. PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO

5.1. Historia

La primera célula solar se construyó en 1883, su autor fue Charles Fritts, quien recubrió una muestra de selenio semiconductor con un pan de oro para formar el empalme. Este dispositivo presentaba una eficiencia del 1%.

En 1954 cuando los Laboratorios Bell descubrieron, de manera accidental, que los semiconductores de silicio dopado con ciertas impurezas, eran muy sensibles a la luz, fue que se disparó la edad moderna de la energía solar, estos avances contribuyeron a la fabricación de la primera célula solar comercial con una conversión de la energía solar de, aproximadamente el 6%.

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

5.2. Definición

Un panel solar fotovoltaico o colector solar fotovoltaico está formado por un conjunto de celdas que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos. El parámetro estandarizado para clasificar su potencia se denomina potencia pico y se corresponde con la potencia máxima que el módulo puede entregar bajo unas condiciones estandarizadas, que son:

- Radiación de 1 000 Watt/metro cuadrado
- Temperatura de célula de 25 grados Celsius

Las placas fotovoltaicas se dividen en monocristalinas, policristalinas y amorfas. Su efectividad es mayor cuando mayores son los cristales.

5.3. Funcionamiento

El principio de funcionamiento de un panel solar se deriva de la captación de fotones generados por el sol, estos a su vez golpean los electrones de los materiales semiconductores de los cuales están hechos dichos paneles.

5.3.1. Principios teóricos de funcionamiento

Algunos de los fotones, que provienen de la radiación solar, impactan sobre la primera superficie del panel, penetrando en este y siendo absorbidos por materiales semiconductores, tales como, el silicio o el arseniuro de galio. Los electrones que se alojan en orbitales de energía cuantizada, son golpeados por los fotones (interaccionan) liberándose de los átomos a los que estaban originalmente confinados. Esto les permite, posteriormente, circular a través del material y producir electricidad.

Un conjunto de paneles solares transforman la energía solar en una determinada cantidad de corriente continua. La corriente continua también se puede dirigir a un circuito electrónico denominado convertidor, que transforma la corriente continua en corriente alterna, que es la que comúnmente se utiliza en los hogares.

5.3.2. Fotogeneración de portadores de carga

Cuando un fotón llega a una pieza de silicio, pueden ocurrir tres acontecimientos:

- El fotón puede pasar a través del material de silicio 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. Usualmente, este electrón está en la banda de valencia y está fuertemente vinculado en enlaces covalentes que se forman entre los átomos colindantes. El conjunto total de los enlaces covalentes que forman la red cristalina da lugar a lo que se llama la banda de valencia. Los electrones pertenecientes a esa banda son incapaces de moverse más allá de los confines de la banda, a no ser que se les proporcione energía y además energía determinada.

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.

5.3.3. Separación de los portadores de carga

Existen dos modos fundamentales para la separación de portadores de carga en una célula solar:

Movimiento de los portadores, impulsados por un campo electrostático establecido a través del dispositivo.

Difusión de los portadores de carga, en las células de unión p-n, ampliamente usadas en la actualidad, el modo que predomina en la separación de portadores es por la presencia de un campo electrostático. No obstante, en células solares en las que no hay uniones p-n el campo eléctrico electrostático parece estar ausente. En este caso, el modo dominante de separación es mediante la vía de la difusión de los portadores de carga.

5.3.4. Generación de corriente

Los módulos fotovoltaicos funcionan, por el efecto fotoeléctrico. Cada célula fotovoltaica está compuesta de al menos, dos delgadas láminas de silicio. Una dopada con elementos con menos electrones de valencia que el silicio, denominada P y otra con elementos con más electrones que los átomos de silicio, denominada N.

Aquellos fotones procedentes de la fuente luminosa, que presentan energía adecuada, inciden sobre la superficie de la capa P y al interactuar con el material liberan electrones de los átomos de silicio los cuales, en movimiento, atraviesan la capa de semiconductor, pero no pueden volver. La capa N adquiere una diferencia de potencial respecto a la P.

Si se conectan unos conductores eléctricos a ambas capas y estos, a su vez, se unen a un dispositivo o elemento eléctrico consumidor de energía, se iniciará una corriente eléctrica continua.

5.4. Potencia

En un día soleado, el Sol irradia alrededor de 1 kilowatt/metro cuadrado a la superficie de la tierra. Considerando que los paneles fotovoltaicos actuales tienen una eficiencia típica entre el 12%-25%, esto supondría una producción aproximada de entre 120-250 Watts/metro cuadrado en función de la eficiencia del panel fotovoltaico.

El verdadero problema con los paneles fotovoltaicos es el coste de la inversión, requiriendo hasta más de 10 años para recuperar el coste inicial y generar ganancias.

6. BOMBA SUMERGIBLE

6.1. Definición

Una bomba sumergible es una bomba que tiene un impulsor sellado a la carcasa. El conjunto se sumerge en el líquido a bombear. La ventaja de este tipo de bomba es que puede proporcionar una fuerza de elevación significativa pues no depende de la presión de aire externa para hacer ascender el líquido.

6.2. Funcionamiento

Un sistema de sellos mecánicos se utiliza para prevenir que el líquido que se bombea entre en el motor y cause un cortocircuito. La bomba se puede conectar con un tubo, manguera flexible o bajar de los carriles o de los alambres de guía de modo que la bomba sienta en un acoplador del pie de los platos, de tal forma que se conecta con la tubería de salida.

6.3. Aplicaciones

Las bombas sumergibles encuentran muchas utilidades, las bombas de etapa simple se utilizan para el drenaje, el bombeo de aguas residuales, el bombeo industrial general y el bombeo de la mezcla. Las bombas sumergibles se colocan habitualmente en la parte inferior de los depósitos de combustible y también se utilizan para la extracción en pozos de agua. Aumentando la presión en el fondo del depósito, se puede elevar el líquido más fácilmente que succionándolo desde arriba, el sistema consiste en un número de rodets giratorios instalados en serie para aumentar la presión.

La energía para hacer girar la bomba proviene de una red eléctrica de alta tensión que acciona un motor especialmente diseñado para trabajar a temperaturas de hasta 150 grados Celsius.

6.4. Componentes básicos

Son varios los componentes básicos los encargados de que la bomba sumergible funcione adecuadamente, entre ellos mencionaremos el controlador, la bomba y los sellos mecánicos.

6.4.1. Controlador

El controlador CPT es una caja de metal que tiene un montaje de tres tableros: el tablero inversor, tablero capacitor y el tablero procesador.

6.4.2. Bomba

La función de esta es generar un movimiento rotatorio para impulsar el agua, la bomba que se encuentra actualmente en el parque tecnológico es una bomba marca Grundfos, que para su funcionamiento utiliza 220 voltios, es una bomba de $\frac{3}{4}$ caballos de fuerza, prácticamente la función de la bomba es impulsar el agua que se encuentra en el depósito subterráneo, hacia el depósito aéreo o ya sea hacia las tuberías donde se realizan los aforos.

6.4.3. Sellos mecánicos

Estos se utilizan para prevenir que el líquido que se bombea entre en el motor y cause un cortocircuito.

7. BOMBA HORIZONTAL

7.1. Definición

Una bomba centrífuga es una máquina que está formada por un conjunto de paletas giratorias encerradas dentro de una carcasa, dichas paletas imparten energía al fluido, esto debido a la fuerza centrífuga, dichas paletas son movidas por un motor eléctrico. Se pueden mencionar dos partes principales de una bomba centrífuga, por un lado se tiene un elemento giratorio, comprendido por un impulsor y las paletas y por otro lado se tiene un elemento estacionario compuesto por la cubierta, estoperos y chumaceras.

Las bombas centrífugas según sus impulsores y la dirección principal del flujo en relación con el eje de rotación se dividen en: impulsores de flujo radial, impulsores de flujo axial e impulsores de flujo mixto. Ahora bien los impulsores se pueden clasificar con mayor detalle de acuerdo con el flujo a los bordes de succión de las paletas como sigue: succión sencilla con una sola entrada en un solo lado, succión doble con flujo de agua al impulsor simétricamente por ambos lados.

Los impulsores también se clasifican de acuerdo a su construcción mecánica de la siguiente manera: cerrados con refuerzos, abiertos sin refuerzos y semiabiertos o semicerrados.

La bomba que se tiene en el parque tecnológico es una bomba centrífuga horizontal y estas se pueden clasificar según la colocación de la boquilla de succión de la manera siguiente: succión en el extremo, succión lateral, succión de fondo y succión superior.

7.2. Funcionamiento

El funcionamiento de una bomba centrífuga es bastante sencillo, el líquido es introducido a través de la brida de aspiración al centro del impulsor, la rotación del impulsor a altas velocidades aporta energía de velocidad al fluido, esta energía de velocidad es cambiada por una energía de presión en la carcasa.

El impulsor es movido por medio de una flecha que está acoplada al rotor de un motor eléctrico, en el caso de la bomba que se encuentra el parque tecnológico es una bomba que utiliza 110 voltios y tiene potencia de $\frac{1}{2}$ caballos de fuerza, para que la bomba funcione es necesario cebar la misma, esto se puede hacer de una forma muy sencilla ya que la tubería de succión cuenta con un tapón el cual debe retirarse y llenarse la tubería por completo de agua, en la entrada de la tubería de succión se encuentra instalada una válvula de pie, esta válvula lo que hace es mantener la tubería de succión siempre llena y así de esta manera se evita que se cebe la bomba cada vez que se realice la práctica de laboratorio.

El motor eléctrico de la bomba se hace accionar por medio de un interruptor ubicado dentro de la caseta de block, antes de accionar el interruptor es necesario poner el flipon (*Breaker*) en posición ON y luego se procede a accionar el interruptor de la bomba.

7.3. Componentes

Varios son los componentes básicos encargados que la bomba tenga un funcionamiento adecuado, entre ellos mencionaremos las cubiertas, impulsor, anillos de desgaste, estoperos y cojinetes.

7.3.1. Cubiertas

Es la parte exterior protectora de la bomba y cumple la función de convertir la energía de velocidad impartida al líquido por el impulsor en energía de presión. Esto se lleva a cabo mediante reducción de la velocidad por un aumento gradual del área.

La carcasa (voluta), está dispuesta en forma de caracol, de tal manera, que la separación entre ella y el rodete es mínima en la parte superior; la separación va aumentando hasta que las partículas líquidas se encuentran frente a la abertura de impulsión; en algunas bombas existe, a la salida del rodete, una directriz de álabes que guía el líquido a la salida del impulsor antes de introducirlo en la voluta.

La cubierta o caja de la bomba de voluta, tiene ese nombre debido a la envoltura en forma de espiral que rodea el impulsor. Esta parte de la cubierta recibe el líquido descargado por el impulsor y convierte la energía de velocidad en energía potencial. La carcasa de una bomba centrífuga aumenta en área de su punto inicial hasta que completa los 360 grados alrededor del impulsor. A la pared que divide la sección inicial y la parte de la boquilla de descarga de la cubierta se le llama lengüeta de la voluta o tajamar.

7.3.2. Impulsor

Es el corazón de la bomba centrífuga. Recibe el líquido y le imparte una velocidad de la cual depende la carga producida por la bomba. El impulsor o rodete, formado por una serie de álabes de diversas formas que giran dentro de una carcasa circular. El rodete va unido solidariamente al eje y es la parte móvil de la bomba. El líquido penetra axialmente por la tubería de aspiración hasta el centro del rodete, que es accionado por un motor, experimentando un cambio de dirección más o menos brusco, pasando a radial, (en las centrífugas) o permaneciendo axial, (en las axiales), adquiriendo una aceleración y absorbiendo un trabajo.

Según el diseño de la entrada del agua los impulsores se pueden clasificar como: impulsores de admisión simple e impulsores de doble admisión. En un impulsor de admisión simple el líquido entra al ojo de succión sólo por un lado mientras que en un impulsor de doble admisión el líquido entra al impulsor simultáneamente por ambos lados.

Los impulsores según la forma de sus alabes pueden clasificarse también de la siguiente manera: impulsor de alabes derechos, impulsor de alabes Francis, impulsor de flujo mixto y propulsor o impulsor de flujo axial.

7.3.3. Anillos de desgaste

Cumplen la función de ser un elemento fácil y barato de remover en aquellas partes en donde debido a las cerradas holguras entre el impulsor y la carcasa, el desgaste es casi seguro, evitando así la necesidad de cambiar estos elementos y quitar sólo los anillos.

7.3.4. Estoperos

La función de estos elementos es evitar el flujo hacia fuera del líquido bombeado a través del orificio por donde pasa la flecha de la bomba y el flujo de aire hacia el interior de la bomba.

7.3.5. Cojinetes

Sirven de soporte a la flecha de todo el rotor en un lineamiento correcto en relación con las partes estacionarias. Soportan las cargas radiales y axiales existentes en la bomba.

7.4. Ventajas

Entre las ventajas que se encuentran en el uso de una bomba centrífuga horizontal, pueden mencionarse las siguientes:

- El precio de una bomba centrífuga es aproximadamente $\frac{1}{4}$ del precio de la bomba de émbolo equivalente.
- El espacio requerido es aproximadamente $\frac{1}{8}$ del de la bomba de émbolo equivalente.
- El peso es muy pequeño y por lo tanto, las cimentaciones también lo son.
- El mantenimiento de una bomba centrífuga sólo se reduce a renovar el aceite de las chumaceras, los empaques del presa-estopa y el número de elementos a cambiar es muy pequeño.

8. GENERADOR EÓLICO

8.1. Definición

Un generador eólico es un generador eléctrico movido por una turbina accionada por el viento, el antecesor de este fue el molino de viento que se empleaba para la molienda. El generador eólico aprovecha la energía cinética del viento convirtiéndola en energía mecánica por medio de una hélice que, a través de un sistema de transmisión mecánico, hace girar el rotor de un generador que convierte la energía mecánica rotacional en energía eléctrica.

Existen diferentes tipos de generadores eólicos, dependiendo de su potencia, la disposición de su eje de rotación, el tipo de generador, etcétera.

Los generadores eólicos pueden trabajar de manera aislada o agrupados en parques eólicos o plantas de generación eólica, distanciados unos de otros, en función del impacto ambiental y de las turbulencias generadas por el movimiento de las palas. El generador eólico que se tiene en el parque tecnológico es capaz de generar hasta 36 voltios de corriente directa.

8.2. Funcionamiento

Un generador eólico transforma la energía cinética del viento en energía eléctrica. Se montan sobre una torre a más de 30 metros para capturar más energía. La fuerza del viento mueve las aspas y este movimiento se transmite mediante una serie de engranajes a un generador eléctrico.

Los antiguos diseños de aerogeneradores eran menos eficientes e incapaces de adaptarse a los cambios de dirección y velocidad del viento, esto quedó atrás ya que ahora cuentan con una veleta que busca la dirección del viento para aprovechar las corrientes de viento provenientes de cualquier dirección.

8.3. Partes

Las partes del generador eólico como el rotor, el eje, el estator y la hélice, son algunos de los componentes básicos que aseguran un funcionamiento correcto, es por ello que estos componentes deben revisarse y cambiarse si presentan algún tipo de defecto o desgaste.

8.3.1. Rotor

Las palas del rotor, construidas principalmente con materiales compuestos, se diseñan para transformar la energía cinética del viento en un momento torsor en el eje del equipo. Los rotores modernos pueden llegar a tener un diámetro de 42 a 80 metros y producir potencias equivalentes de varios megawatts. La velocidad de rotación está normalmente limitada por la velocidad de punta de pala, cuyo límite actual se establece por criterios acústicos.

8.3.2. Eje

El generador eólico ubicado en el parque tecnológico de fuentes renovables es un generador de eje horizontal que son aquellos en los que el eje de rotación del equipo se encuentra paralelo al piso. Esta es la tecnología que se ha impuesto, por su eficiencia y confiabilidad y la capacidad de adaptarse a diferentes potencias.

8.3.3. Estator

El estator es el elemento, fijo del alternador y está compuesto por un núcleo formado por planchas finas de acero estampadas y superpuestas formando un bloque, contando con unas ranuras en las cuales se colocan las bobinas de hilo de cobre recubierto de varias capas de acetato de vinilo en forma de fundas.

8.3.4. Hélice

La hélice del generador eólico consta de tres aspas, sujetadas al rotor del generador por medio de tornillos, cada aspa de la hélice consta de 2 tornillos pasados. La forma de las aspas de los generadores tienen una forma irregular esto debido a que esa forma se usa para aprovechar la aerodinámica del aire, su forma es idéntica a las alas de aviones o velas de veleros, eso hace que el aire produzca una baja presión en el lado cóncavo y por lógica física, mayor velocidad en el sistema de aspas, o sea, que esta al rotar a mayor velocidad que la velocidad del viento y mayor velocidad = mayor generación eléctrica los veleros que usan ese diseño en la vela pueden viajar a mayor velocidad que el viento, que si lo captara embolsándolo como esas velas cuadradas, que sólo impulsaban el barco a la velocidad del viento.

8.4. Potencia

Es la cantidad de trabajo que se realiza por unidad de tiempo. Puede asociarse a la velocidad de un cambio de energía dentro de un sistema o al tiempo que demora la concreción de un trabajo. Por lo tanto, es posible afirmar que la potencia resulta igual a la energía total dividida por el tiempo.

8.4.1. Ecuaciones para calcular potencia

La base para calcular la potencia para un generador eólico será por medio de energía, el viento es aire en movimiento y al haber movimiento, hay energía cinética. La energía cinética depende de la masa y la velocidad, de la siguiente forma:

$$E_c = 0,5 \cdot m \cdot v^2$$

Donde:

E_c = energía cinética

m = masa

v = velocidad

La velocidad del aire es fácil de evaluar, pero se debe determinar cuál es la masa de aire que atraviesa el generador eólico. Para ello, se calcula su volumen y se multiplica por la densidad. Considerando que las aspas del molino giran y forman un círculo, la masa de aire que cruza el aerogenerador tendrá forma de cilindro. ¿Cuál es la energía cinética contenida en dicho cilindro? para calcularlo, se supone un período de tiempo arbitrario t , durante el cual se asume que la velocidad v permanece constante.

La base del cilindro imaginario será el área del molino, que como bien se sabe es:

$$b = \pi \cdot r^2$$

Donde:

b = base del cilindro imaginario

$$\pi = 3,14159$$

r = la longitud de las aspas más el radio del rotor

Por otra parte, la altura del cilindro será la distancia recorrida por el aire en el tiempo t , entonces:

$$h = v \cdot t$$

Donde:

h = altura del cilindro imaginario

v = velocidad del viento

t = tiempo en que corre el viento

De esta manera el volumen del cilindro es base \times altura, se tiene que:

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot v \cdot t$$

Donde:

V = volumen del cilindro imaginario

r = la longitud de las aspas más el radio del rotor

v = velocidad del viento

t = tiempo en que corre el viento

Así también se puede decir que la masa de aire que cruza el aerogenerador es igual al volumen \times densidad del aire. Se llamará ρ a la densidad.

De esta manera la energía cinética del aire que pasa por el generador eólico queda de la siguiente manera:

$$E_c = 0,5 \cdot m \cdot v^2$$

Sustituyendo $m = V \rho$ y luego $V = \pi \cdot r^2 \cdot v \cdot t$ y despejando la ecuación quedaría de la siguiente manera:

$$E_C = 0,5 \cdot \pi \cdot \rho \cdot r^2 \cdot v^3 \cdot t.$$

Como se puede observar en la ecuación la energía depende cúbicamente de la velocidad, esto quiere decir, que por mínimo que sea el aumento de la velocidad se apreciarán grandes incrementos en la electricidad obtenida.

8.5. Ventajas

Entre las ventajas del uso de energía eólica se pueden mencionar las siguientes:

- Utiliza energía renovable, el costo del viento es despreciable.
- Es una energía limpia no produce emisiones atmosféricas ni residuos contaminantes.
- Puede instalarse en espacios no aptos para otros fines, por ejemplo, en zonas desérticas, próximas a la costa, en laderas áridas y muy empinadas para ser cultivables.

- Se puede instalar sin necesidad de afectar otros usos del suelo, por ejemplo, prados para uso ganadero o algunos cultivos.
- Su instalación es rápida, a lo sumo 10 meses.
- Su utilización combinada con otros tipos de energía, habitualmente la solar, permite la autoalimentación de viviendas, terminando así con la necesidad de conectarse a redes de suministro, pudiendo lograrse autonomías superiores a las 82 horas, sin alimentación desde ninguno de los 2 sistemas.

8.6. Desventajas

- Coste inicial muy elevado.
- Los sitios adecuados de generación usualmente están remotos y es caro hacer la conexión a la red de suministro.
- Desde el punto de vista estético, la energía eólica produce un impacto visual inevitable por el tamaño de los generadores.

9. MEJORAS REALIZADAS

9.1. Reubicación de la turbina eólica

Debido a la ubicación original de la turbina eólica, esta no recibía la corriente de aire necesaria para generar corriente, de manera que se procedió a elevarla 10 metros sobre el nivel del suelo, para esto se fabricó una base de metal de 15 x 15 centímetros en la cual descansa tubería galvanizada de 2 pulgadas que es la que soporta la turbina eólica. En esta nueva ubicación dicha turbina funciona de buena manera ya que el viento que corre a mayor altura tiene mayor velocidad.

Como se puede observar en la figura 1 la altura a la que se encontraba inicialmente la turbina eólica es muy baja, es una altura de 3 metros en donde no corre el viento aparte de que la altura no es suficiente también cuenta con muchos obstáculos que no permiten que el viento llegue a las hélices de la turbina y por lo tanto, estas no son movidas evitando así que se genere energía eléctrica.

Lo que se procedió a hacer fue que se estudió el área y se ideó la manera de subir de altura dicha turbina, la forma más práctica y segura de hacer dicha modificación fue que se tomó el edificio T-7 de Ingeniería como cimiento de la torre de la turbina.

Para elevar aún más la turbina se utilizó un tubo galvanizado de 2 pulgadas de diámetro y 6 metros de largo y se colocó verticalmente como torre de la turbina, para anclar dicha torre al edificio de Ingeniería mecánica se utilizó una base metálica, esta base fue fabricada de lámina negra de 3/8 de pulgadas se cortaron 2 secciones y se unieron a escuadra con soldadura corrida aplicada con electrodo E7018 de 1/8 de pulgadas, además para evitar que la base donde descansa el tubo se deforme por el peso del tubo y al peso de la turbina se le colocaron 2 cartabones a 70 grados respecto de la horizontal soldados a la placa que forma la escuadra como se muestra en la figura 11, en esta misma figura también se puede apreciar un tubo de 2 ½ x 3 pulgadas que sirve como guía del tubo de 2 pulgadas que hace de torre de la turbina.

Figura 11. **Base metálica de torre del generador**



Fuente: Parque Tecnológico de Fuentes Renovables, Facultad de Ingeniería, edificio T-7.

También se le realizaron cuatro perforaciones a dicha base, para permitir anclarla al edificio utilizando tornillos de anclaje de 3/8 de pulgadas de diámetro para asegurar una correcta sujeción como se muestra en la figura 12 la base ya anclada a la columna del edificio T-7 de Ingeniería, además de esta base también se fabricaron abrazaderas a lo largo de la columna del edificio para dar un mayor soporte a la torre y evitar de esta manera que el tubo se deforme por las fuerzas provocadas por el viento. Adicional a colocar la base y colocar abrazaderas también se colocó alambre de acero a los cuatro vientos de la torre de la turbina, esto para dar una mayor seguridad a la torre y evitar deformación en la misma.

Figura 12. **Base metálica de torre de generador eólico**



Fuente: Parque Tecnológico de Fuentes Renovables, Facultad de Ingeniería, edificio T-7.

La fabricación de la base, abrazaderas y montaje de la turbina sobre la torre llevó aproximadamente cuatro semanas, además de esto también se le realizó mantenimiento preventivo al generador, pero eso se estará detallando más adelante. El costo total de la reubicación del generador eólico fue de Q 3 697,00 esto sin contar el mantenimiento interno del generador eólico que se estará desglosando en el numeral 9.10. Dicho costo se muestra desglosado en la tabla I.

Tabla I. **Costo total de la reubicación del generador eólico**

Cantidad	Material	Precio	
		Unitario (Q)	Valor (Q)
1	Tubo galvanizado de 2"	325,00	325,00
25	Cable de acero de 1/4"	10,00	250,00
0,2	Lámina negra de 3/8"	1 250,00	250,00
12	Pernos de anclaje Hilty de 3/8"	10,00	120,00
0,25	Pintura azul bandera	250,00	62,50
0,5	Thinner	75,00	37,50
16	Pernos prensa cable	2,00	32,00
30	Cable calibre 12	1,50	45,00
25	Cable paralelo calibre 16	3,00	75,00
		Total materiales	1 197,00
20	Coste de mano de obra al día	125,00	2 500,00
Total proyecto			3 697,00

Fuente: elaboración propia.

A continuación se muestra el lugar donde fue ubicada finalmente la turbina eólica.

Figura 13. **Ubicación final de la turbina eólica**



Fuente: Parque Tecnológico de Fuentes Renovables, Facultad de Ingeniería, edificio T-7.

9.2. Reacondicionamiento del área del laboratorio

En general, se procedió a pintar todas las estructuras del área del parque y los equipos, también se construyeron encaminamientos y se aplicó repello a la bodega donde se encuentra la bomba centrífuga horizontal. Además de esto se construyeron piletas con las cuales se puede recuperar el agua utilizada en las prácticas de laboratorio ya que anteriormente el agua utilizada en las prácticas era desperdiciada.

9.2.1. Construcción de encaminamientos, plataformas y piletas de recuperación de agua

Al inicio del proyecto se tenía la problemática de que no se contaba con encaminamientos para llegar a realizar las prácticas de laboratorio a los diferentes equipos, esto quiere decir, que los estudiantes debían caminar sobre la gramilla y cuando esta se encontraba mojada por los derrames de agua y especialmente en temporada de lluvia se formaba lodo y esto causaba incomodidades en los estudiantes ya que se ensuciaban y no podían realizar las distintas prácticas de laboratorio de forma adecuada. En la figura 14 se puede apreciar el estado del laboratorio al iniciar el proyecto.

Figura 14. **Área del laboratorio sin encaminamientos**



Fuente: Parque Tecnológico de Fuentes Renovables, Facultad de Ingeniería, edificio T-7.

Para darle una solución al problema de incomodidad se procedió a construir dos encaminamientos, uno que va desde la entrada del parque tecnológico y cruza en diagonal toda el área pasando primeramente por la turbina Pelton donde también se le hizo una plataforma fundida para que los estudiantes puedan pararse sobre ella y observen el funcionamiento de la turbina, luego pasa por donde se encuentran los paneles solares y el cajón donde se encuentran los acumuladores, el encaminamiento continua y pasa por el área donde se encuentra el calentador de agua solar y finalmente termina en el área donde se encuentra la bomba de ariete hidráulico.

Este encaminamiento se fabricó de mezcla de cemento, arena y pedrín y la longitud del mismo es de 15 metros por 1 metro de ancho como se muestra en la figura 15.

Figura 15. **Encaminamiento que atraviesa el parque tecnológico**



Fuente: Parque Tecnológico de Fuentes Renovables, Facultad de Ingeniería, edificio T-7.

El otro encaminamiento que se construyó es el que va de la entrada del parque tecnológico y pasa debajo de la galera de instrucciones y luego culmina en la bodega donde se encuentra instalada la bomba centrífuga horizontal, desde este punto también se puede observar el funcionamiento de la bomba sumergible tipo turbina vertical, este encaminamiento también fue fabricado con una mezcla de cemento, arena y piedrín cuenta con una longitud de seis metros por un metro de ancho como se muestra en la figura 16.

Figura 16. **Encaminamiento hacia la bomba centrífuga horizontal**



Fuente: Parque Tecnológico de Fuentes Renovables, Facultad de Ingeniería, edificio T-7.

Otra problemática que se tenía era que al realizar las prácticas de aforos se desperdiciaba el agua utilizada para dicha práctica, para darle una solución a este problema se procedió a construir una pileta de recuperación de agua, dicha pileta tiene área rectangular y una tubería que descarga el agua recuperada hacia el depósito principal subterráneo de capacidad de 1 000 litros. Dicha pileta también fue construida con una mezcla de cemento, arena y piedrín y las dimensiones de dicha pileta se muestran en la figura 17.

Figura 17. **Pileta de recuperación de agua**



Fuente: Parque Tecnológico de Fuentes Renovables, Facultad de Ingeniería, edificio T-7.

Para realizar los trabajos de encaminamientos, plataformas y piletas de recuperación se utilizaron cuatro sacos de cemento, un metro de arena, un metro de piedrín y medio metro de selecto, el total invertido en construcción de encaminamientos, plataformas y pileta de recuperación de agua se muestra en la tabla II.

Tabla II. **Total de materiales para construcción de encaminamientos, plataformas y pileta de recuperación de agua**

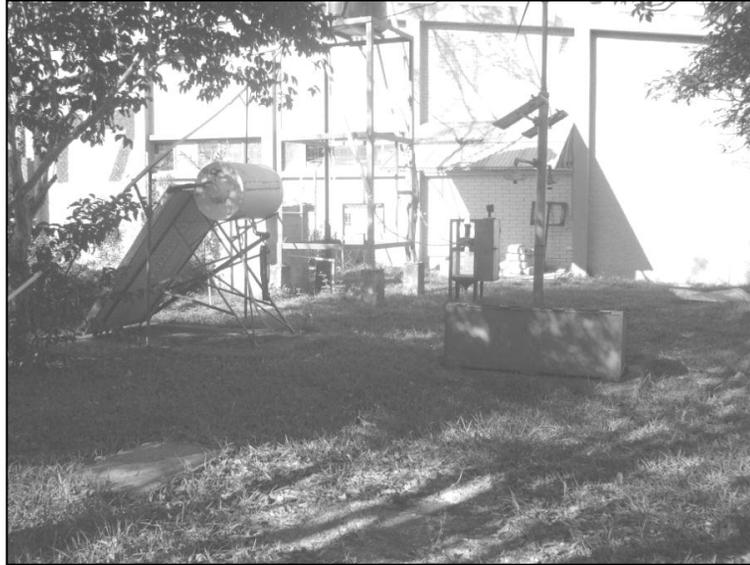
Cantidad	Material	Precio	
		Unitario (Q)	Valor (Q)
4	Saco de cemento	60,00	240,00
1	Arena	81,00	81,00
1	Piedrin	123	123,00
0,5	Arena amarilla	70,00	35,00
8	Block	12,00	96,00
1	Selecto	50,00	50,00
		Total materiales	625,00
4	Coste de mano de obra al día	100,00	400,00
Total proyecto			1 025,00

Fuente: elaboración propia.

9.2.2. Pintura y repello

Al iniciar el proyecto se pudo verificar que tanto las estructuras de equipos (figura 18) y malla (figura 19) del parque tecnológico presentaban corrosión y falta de pintura, esto causaba que el parque diera un mal aspecto y tenía un aspecto no uniforme ya que las estructuras presentaban diferentes colores.

Figura 18. **Estructura de diferentes colores y deterioradas**



Fuente: Parque Tecnológico de Fuentes Renovables, Facultad de Ingeniería, edificio T-7.

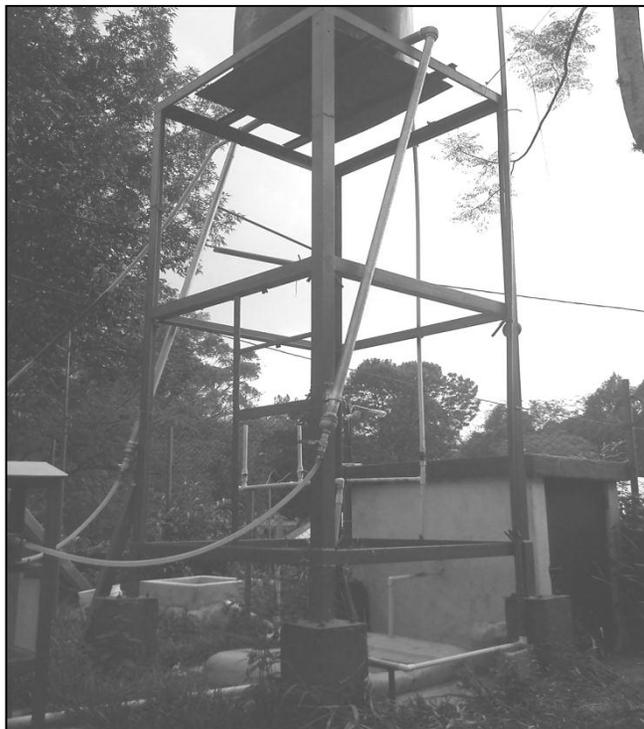
Figura 19. **Malla de delimitación de parque muestra corrosión**



Fuente: Parque Tecnológico de Fuentes Renovables, Facultad de Ingeniería, edificio T-7.

Para darle solución a este problema se procedió a lijar, limpiar y por último pintar todas las estructuras, equipos y la malla de delimitación del parque tecnológico como se muestra en las figuras 20 y 21.

Figura 20. **Estructura de tanque aéreo pintada al finalizar el proyecto**



Fuente: Parque Tecnológico de Fuentes Renovables, Facultad de Ingeniería, edificio T-7.

Figura 21. **Malla y estructura de paneles solares pintada**



Fuente: Parque Tecnológico de Fuentes Renovables, Facultad de Ingeniería, edificio T-7.

El procedimiento de pintura fue el siguiente: en primer lugar se procedió a lijar todas las superficies y levantar la pintura vieja, seguidamente de esto se procedió a limpiar todas las superficies a modo de dejarlas libres de polvo, grasa, etcétera. Una vez las superficies estaban limpias se procedió a aplicar pintura anticorrosiva color azul bandera diluida con un 25% de solvente mineral ya que la pintura se aplicó en su mayoría con soplete y esto conlleva un mayor gasto de solvente y pintura pero se logra un mejor acabado. En total para aplicar pintura a todo el parque se utilizaron 7 galones de pintura color azul bandera, 7 galones de solvente mineral, $\frac{1}{4}$ de galón de pintura anticorrosiva negra, $\frac{1}{2}$ galón de pintura blanca para exteriores. El total invertido en pintura y repello se muestra en la tabla III.

Tabla III. **Materiales utilizados en pintura y repello**

Cantidad	Material	Precio	
		Unitario (Q)	Valor (Q)
8	Pintura color azul bandera	250,00	2 000,00
0,5	Pintura color blanco	250,00	125,00
0,25	Pintura color negro	250	62,50
8	Thinner laca	77,14	617,12
0,5	Arena amarilla	50,00	25,00
10	Lija	8,00	80,00
		Total materiales	2 909,62
10	Coste de mano de obra al día	Manto USAC	
Total proyecto			2 909,62

Fuente: elaboración propia.

9.3. Cambio de tubería de la bomba de ariete hidráulico y turbina Pelton

La tubería que inicialmente tenía la turbina Pelton al iniciar el proyecto era una tubería de PVC de diámetro de 1 ½ pulgada, dicha tubería salía del depósito aéreo y se interconectaba con la caja donde descansa la turbina Pelton, el problema con este tipo de tubería es que en cualquier momento se puede quebrar ya que es una tubería que se encontraba bastante deteriorada y aparte representa un mal aspecto para la presentación del parque tecnológico como se muestra en la figura 22.

Figura 22. **Vista inicial con tubería PVC**



Fuente: Parque Tecnológico de Fuentes Renovables, Facultad de Ingeniería, edificio T-7.

Para solucionar este problema y darle una verdadera solución a largo plazo se procedió a cambiar la tubería de PVC por tubería galvanizada, esto para la tubería que descarga hacia la turbina Pelton como se muestra en la figura 23.

Figura 23. **Tubería galvanizada de turbina Pelton**



Fuente: Parque Tecnológico de Fuentes Renovables, Facultad de Ingeniería, edificio T-7.

En un principio se pretendía de igual manera cambiar la tubería PVC de la bomba de ariete hidráulico por una tubería galvanizada el inconveniente es que se presentaba un riesgo de electrocución para los estudiantes ya que dicha tubería pasa muy cerca de unos cables de iluminación como se observa en la figura 22, entonces para evitar este riesgo se dejó la tubería de PVC ya que esta no conduce la electricidad como lo haría en su caso la tubería de metal.

El total de materiales utilizados en el cambio de tubería PVC a tubería de metal galvanizado se muestra en la tabla IV.

Tabla IV. **Materiales utilizados en el cambio de tubería de turbina Pelton**

Cantidad	Material	Precio	
		Unitario (Q)	Valor (Q)
2	Pintura color azul bandera	325,00	650,00
2	Pintura color blanco	22,00	44,00
2	Pintura color negro	21,00	42,00
2	Thinner laca	25,00	50,00
1		40,00	40,00
1		18,00	18,00
6	Arena amarilla	11,00	66,00
2	Lija	3,00	6,00
		Total materiales	916,00
2	Coste de fabricación de rosca de tubería e instalación	125,00	250,00
Total proyecto			1 166,00

Fuente: elaboración propia.

9.4. Reparación de paneles solares

Como se mencionó en el numeral 2.2.3, los paneles solares inicialmente se encontraban trabajando de buena manera, con el inconveniente que se encontraron sucios, la estructura metálica en la que están montados dichos paneles presentaba cierta corrosión. Para solucionar este problema se procedió a limpiar dichos paneles y a pintar la estructura como se muestra en la figura 24.

Figura 24. **Estructura pintada y paneles solares limpios**



Fuente: Parque Tecnológico de Fuentes Renovables, Facultad de Ingeniería, edificio T-7.

9.5. Mejoras a manual de laboratorio de máquinas hidráulicas

En el manual existente del laboratorio de máquinas hidráulicas no se detallaban prácticas para los aforos hidráulicos, ni una práctica para el cálculo de generación de energía por un generador eólico y paneles solares. Una de las modificaciones al manual es precisamente incluir este tipo de prácticas al manual de laboratorio, el nuevo manual se encuentra en los anexos.

9.6. Ampliación de depósito de agua subterránea

Inicialmente se tenía el inconveniente de que para realizar las prácticas del laboratorio de la bomba centrífuga horizontal se tenía un depósito subterráneo muy pequeño de agua, la capacidad de este tanque era de 200 litros (figura 25).

Figura 25. Tanque subterráneo al iniciar el proyecto



Fuente: Parque Tecnológico de Fuentes Renovables, Facultad de Ingeniería, edificio T-7.

El inconveniente principal era que el tanque quedaba vacío muy rápido y luego para continuar con las prácticas de laboratorio era necesario volver a llenar el tanque con agua proveniente de una tubería externa.

Para solucionar este problema se modificó dicho depósito y se amplió de una capacidad inicial de 200 litros a una capacidad final de 1 000 litros (figura 26), aparte de que este depósito tiene una capacidad 5 veces mayor a la inicial, el agua se recupera gracias a las piletas de recuperación de agua.

Figura 26. **Tanque subterráneo ampliado**



Fuente: Parque Tecnológico de Fuentes Renovables, Facultad de Ingeniería, edificio T-7.

Los materiales utilizados en la ampliación del tanque subterráneo se presentan en la tabla V.

Tabla V. **Materiales utilizados en ampliación de tanque subterráneo**

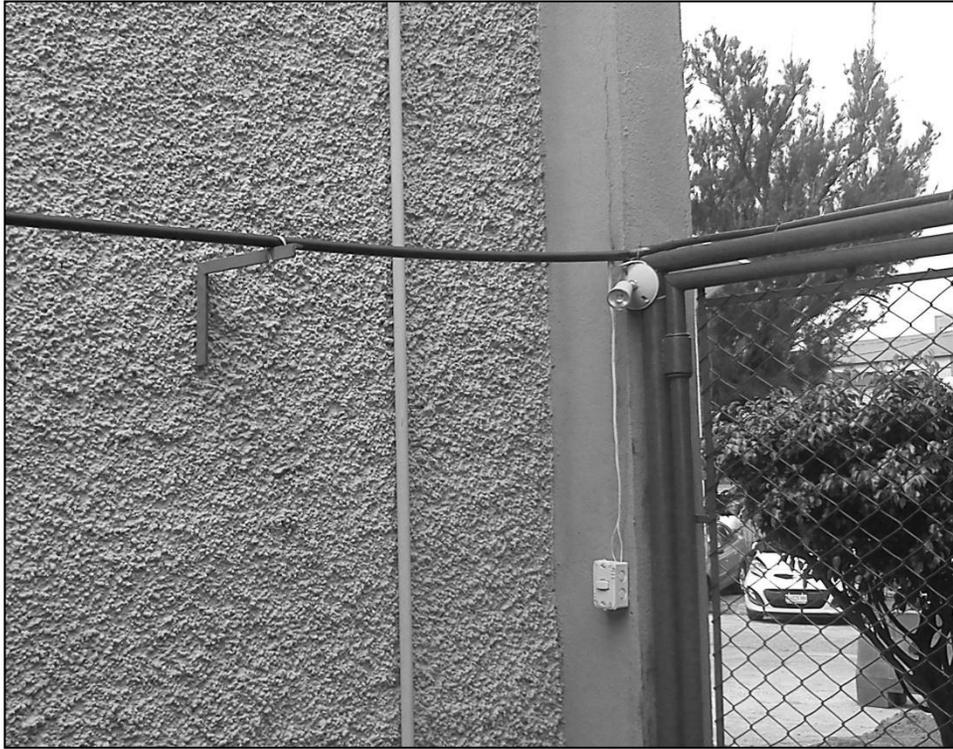
Cantidad	Material	Precio	
		Unitario (Q)	Valor (Q)
1	Saco de cemento	60,00	60,00
0,25	Arena	81,00	20,25
0,25	Piedrin	123,00	30,75
1	Tanque de agua capacidad 1 000 litros	500,00	500,00
		Total materiales	611,00
4	Coste de mano de obra excavación	125,00	500,00
Total proyecto			1 111,00

Fuente: elaboración propia.

9.7. Iluminación de parque tecnológico

La iluminación en el área del parque se hace muy necesaria debido a que por lo general, los laboratorios se realizan en horas de la tarde cuando la luz del sol ya es muy deficiente. Para darle solución a este problema se instalaron luminarias en las 4 esquinas del área del parque tecnológico figura 27, cabe mencionar que la iluminación del parque tecnológico es producida por energía renovable generada por los mismos equipos del laboratorio (turbina eólica y paneles solares).

Figura 27. **Luminarias de 12 voltios instaladas en el área del parque**



Fuente: Parque Tecnológico de Fuentes Renovables, Facultad de Ingeniería, edificio T-7.

Para llevar a cabo la iluminación se tuvo que instalar polducto en todo el perímetro del parque tecnológico, dentro del polducto que está enterrado está instalado el cable que lleva la corriente en primer lugar del generador eólico y los paneles solares hasta el banco de baterías ubicado en el cajón al centro del parque, luego del banco de baterías se toma la corriente almacenada durante el día y se traslada hacia las 4 luminarias que se encuentran en las esquinas del parque. Los materiales utilizados en el proyecto de iluminación se presentan en la tabla VI.

Tabla VI. **Materiales utilizados en proyecto de iluminación**

Cantidad	Material	Precio	
		Unitario (Q)	Valor (Q)
230	Poliducto 1/2"	0,30	69,00
85	Cable paralelo 2 x 16 blanco	3,05	259,25
1	Cinta súper 3M	24,00	24,00
4	Luminarias 12 V	20,00	80,00
		Total materiales	432,25
5	Coste de mano de obra al día	125,00	625,00
Total proyecto			1 057,25

Fuente: elaboración propia.

9.8. Reubicación de bomba sumergible

Como se mencionó en el capítulo 2.3.2, la bomba sumergible inicialmente se encontraba ubicada en un tanque de 200 litros y no tenía tubería de entrada de agua figura 10, por lo que para realizar las prácticas de laboratorio se tenía que llenar dicho depósito de forma manual utilizando una cubeta y esto hacía que la práctica de laboratorio fuera poco productiva ya que se desperdiciaba mucho tiempo. Para darle solución a este problema se retiró la bomba de donde se encontraba inicialmente y se instaló el nuevo depósito subterráneo de capacidad de 1 000 litros como se muestra en la figura 28, en esta nueva ubicación la bomba funciona de buena manera y la práctica de laboratorio se hace más eficiente.

Figura 28. **Nueva ubicación de la bomba sumergible**



Fuente: Parque Tecnológico de Fuentes Renovables, Facultad de Ingeniería, edificio T-7.

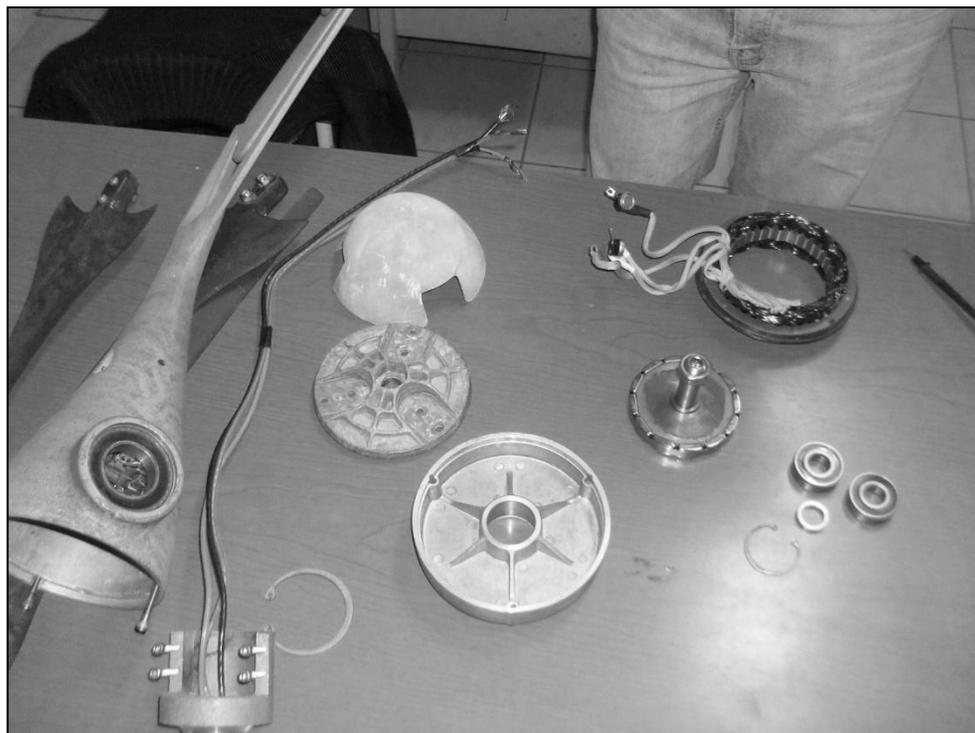
9.9. Mantenimiento a equipos de parque tecnológico

En general, se le dio mantenimiento a todos los equipos del parque tecnológico, pero en esta sección sólo se detallarán los mantenimientos internos que se le realizó al generador eólico y a la turbina Pelton.

9.9.1. Mantenimiento a generador eólico

Anteriormente, se comentó sobre la reubicación del generador eólico, para esto se tuvo que desmontar el mismo de la estructura metálica a la que estaba anclado, aprovechando este desmontaje se procedió en primer lugar a probar dicho generador, en las pruebas se noto que los cojinetes presentaban desgaste y corrosión debido a las inclemencias del tiempo. Por esta razón se procedió a desarmar el generador (figura 29) y cambiarle todos los cojinetes.

Figura 29. **Generador eólico desarmado**



Fuente: Parque Tecnológico de Fuentes Renovables, Facultad de Ingeniería, edificio T-7.

También se procedió a revisar contactos de carbón, estos presentaban poco desgaste, esto debido a que el generador no se encontraba en funcionamiento por que la ubicación que tenía no era la adecuada, de esto se habló en el numeral 2.3.1, por lo tanto, los contactos de carbón no se cambiaron. Los cojinetes que utiliza el generador eólico están descritos en la tabla VII.

Tabla VII. **Cojinetes utilizados por generador eólico**

Descripción	cantidad
Cojinete 6203 RS	1
Cojinete 6203 ZZ	1
Cojinete 6007 RS	1

Fuente: elaboración propia.

9.9.2. Mantenimiento a turbina Pelton

El mantenimiento interno que se le realizó a la turbina Pelton básicamente consistió en cambiarle cojinetes, enderezarle el eje del rotor y se le reparó un contacto de carbón que se encontraba dañado (figura 2), la descripción de los cojinetes que utiliza este equipo se pueden ver en la tabla VIII.

Tabla VIII. **Cojinetes utilizados por turbina Pelton**

Descripción	cantidad
Cojinete 6201 ZZ	2

Fuente: elaboración propia.

Los cojinetes dañados y los cojinetes nuevos se pueden apreciar en la figura 30. Aparte de que internamente se le hicieron estas reparaciones a dicha turbina, también se proveyó de un techo (figura 31) que cubriera dicha turbina para evitar que el agua dañase la misma y le reste tiempo de vida útil a las diferentes piezas de la misma.

Figura 30. **Cojinetes de turbina Pelton usados y nuevos**



Fuente: Parque Tecnológico de Fuentes Renovables, Facultad de Ingeniería, edificio T-7.

Figura 31. **Techo de turbina Pelton**



Fuente: Parque Tecnológico de Fuentes Renovables, Facultad de Ingeniería, edificio T-7.

CONCLUSIONES

1. Se propone que en la práctica de laboratorio de máquinas hidráulicas se incluya la lectura de este documento, ya que en esta se hace mención de la importancia y beneficios para el ambiente de la utilización de fuentes renovables de energía como medio para la generación de energía eléctrica.
2. Se encontró que en la guía original del laboratorio de máquinas hidráulicas no están incluidas prácticas de cálculo de cantidad de paneles solares para energía eléctrica determinada, de igual manera no está incluida una práctica para determinar la cantidad de energía generada por un generador eólico y las variables que influyen en el mismo.
3. Se elaboró un plano dimensionado en donde se indica la nueva ubicación de los equipos, este plano también servirá como guía para el instructor de laboratorio, ya que en él se puede guiar para encontrar los equipos y realizar las diferentes prácticas de laboratorio.
4. Entre los cuidados que se tomaron al momento de reubicar los equipos consistieron en cortar la energía eléctrica, luego se procedió a realizar los movimientos entre 2 personas, para los trabajos en altura se aseguraron las escaleras y se utilizó arnés de seguridad con cuerda de vida.

RECOMENDACIONES

1. Debido al costo inicial tan elevado que tienen los equipos para generar electricidad por medio de fuentes renovables, muchas personas prefieren los métodos tradicionales y nocivos para el ambiente, es importante que aparte de la lectura de este documento, también se les pida a los estudiantes del laboratorio la investigación de los efectos nocivos que tiene el proceso de la generación de energía por medios convencionales.
2. Como se ha mencionado anteriormente en este trabajo se encuentran las ecuaciones y variables que se deben tomar en cuenta para el cálculo de energía eléctrica generada por los paneles solares y por el generador eólico; sin embargo, también sería de mucha utilidad que se incluyera una práctica en donde se calcule en cuánto tiempo se puede recuperar la inversión de un calentador de agua solar, tomando en cuenta el costo de la energía eléctrica usada en un calentador de agua convencional.
3. Con base al plano dimensionado se puede observar que aún hay espacios para ubicar nuevos equipos, es importante que se puedan hacer las gestiones para instalar nuevos paneles solares, ya que al parque se le instaló un tendido eléctrico que puede brindar iluminación durante las noches, pero los paneles que se tienen son muy pequeños y generan electricidad para iluminar el parque sólo durante media hora.

4. Con anterioridad se mencionaron los cuidados que se deben tener al momento de realizarle mantenimiento a los equipos, de igual manera se debe tomar en cuenta que es necesario que se utilice el equipo de protección personal básico para evitar algún tipo de lesión, se deben usar guantes de nitrilo para manejar tornillería, guantes dieléctricos para trabajos eléctricos, botas punta de acero y gafas.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALVÁREZ POP, Ruslan Oliver; PÉREZ SÁNCHEZ, Javier Armando. *Guía de instalación, mantenimiento y práctica para el módulo de generación eléctrica por medio de turbina hidráulica del parque tecnológico USAC*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004. 126 p.
2. CASTELLANOS ROJAS, Walter Guillermo. *Manual para el desarrollo del laboratorio de máquinas hidráulicas de la carrera de ingeniería mecánica*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2007. 105 p.
3. DE AZEVEDO, Neto. *Manual de hidráulica*. 6a ed. México: Harla, 1975. 563 p.
4. KARASSIK, Igor. *Manual de bombas, diseño, aplicación, especificaciones, operación y mantenimiento*. México: McGraw-Hill, 1983. 380 p.
5. MATAIX, Claudio. *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*. 2a ed. México: Harla, 2007. 345 p.

