



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LAS INGENIERÍAS Y APLICADAS**  
**CARRERA INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**PROPUESTA TECNOLÓGICA**

**TITULO: IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO PARA DETERMINAR EL RENDIMIENTO DE TURBINAS PELTON Y FRANCIS EN LA ASIGNATURA DE ENERGÍAS RENOVABLES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI .**

Proyecto presentado previo a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico.

**Autores:**

Edison Omar Alcoser Vizuete

Henry Mauricio Suárez Jiménez

**Tutor:**

Ph.D. Héctor Luis Laurencio Alfonso

**Latacunga – Ecuador**

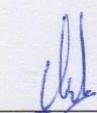
**AGOSTO - 2018**

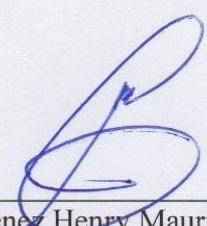


## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros Alcoser Vizuete Edison Omar y Suárez Jiménez Henry Mauricio declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: siendo **“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO PARA DETERMINAR EL RENDIMIENTO DE TURBINAS PELTON Y FRANCIS EN LA ASIGNATURA DE ENERGÍAS RENOVABLES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”** siendo el Ph.D. Héctor Luis Laurencio Alfonso tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

  
Alcoser Vizuete Edison Omar  
C.I: 0503559916

  
Suárez Jiménez Henry Mauricio  
C.I: 0503626186



## AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO PARA DETERMINAR EL RENDIMIENTO DE TURBINAS PELTON Y FRANCIS EN LA ASIGNATURA DE ENERGÍAS RENOVABLES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**, de los postulantes Alcoser Vizúete Edison Omar y Suárez Jiménez Henry Mauricio, de la carrera de Ingeniería Electromecánica considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la FACULTAD de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Julio del 2018

Ph.D. Héctor Luis Laurencio Alfonso

El Tutor



## AVAL DE APROBACION DEL TRIBUNAL DE TITULACION

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes: Alcoser Omar con CI: 0503559916 y Suárez Henry con CI: 0503626186, con el título de Proyecto de titulación: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO PARA DETERMINAR EL RENDIMIENTO DE TURBINAS PELTON Y FRANCIS EN LA ASIGNATURA DE ENERGÍAS RENOVABLES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”** han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometidos al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, Julio 2018

Para constancia firman:

Lector 1 (Presidente)  
Ing. Enrique Torres Ph.D.  
C.I:1757121940

Lector 2  
Ing. Luis Cruz Ms.C.  
C.I:0502595176

Lector 3 (Secretario)  
Ing. Yadira Herrera Ms. C.  
C.I: 0502904857



## AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

Latacunga, 26 de Julio del 2018

Ing. Enrique Torres

**Director de investigación de la Sub línea 3 de la carrera de Ingeniería Electromecánica**

**Universidad Técnica de Cotopaxi**

Presente.-

En calidad de director de investigación de la Sub línea 3 de la carrera de Ingeniería Electromecánica, confirma la realización del proyecto **“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO PARA DETERMINAR EL RENDIMIENTO DE TURBINAS PELTON Y FRANCIS EN LA ASIGNATURA DE ENERGÍAS RENOVABLES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”** implementado por los señores estudiantes de la universidad técnica de Cotopaxi de la carrera de **Ingeniería Electromecánica**; Alcoser Omar con CI: 0503559916 y Suárez Henry con CI: 0503626186, bajo la supervisión y coordinación de nuestros tutores.

Acepto conocer y estar conforme con los términos y condiciones de las actividades que se van a realizar los señores estudiantes para la ejecución del presente proyecto.

Es cuanto puedo certificar en honor a la verdad, se expide el presente para el interesado pueda hacer uso para los fines que crea conveniente.

Atentamente:

Ing: Enrique Torres  
Director de investigación sub línea 3  
Ing. Electromecánica

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a Dios mis padres y hermanos por guiarme en mi camino siendo mi mayor inspiración y orgullo, por medio de su paciencia, buenos valores y principios me guiaron y me ayudaron a cumplir una de las metas más anheladas para mi vida profesional.*

*Omar*

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a Dios por la salud, sabiduría y fortaleza brindada en este camino tan difícil de estudio bendiciéndome día tras día, a mis padres Silvia Teresa y Hernán Eduardo quienes fueron un pilar fundamental en mi vida al brindarme su apoyo incondicional lleno de buenos consejos, al enseñarme valores que me llevaron a seguir el camino del bien y ser un buen hombre en la sociedad, a mis tutores quienes supieron guiarnos en este proyecto de tesis conjuntamente con los ingenieros de facultad quienes nos han impartido sus sabios conocimientos diariamente.*

*Henry*

## **DEDICATORIA**

*El presente trabajo está dedicado a mi familia por haber sido el pilar fundamental en el transcurso de mi carrera universitaria y a lo largo de mi vida, aportando a mi formación tanto profesional y como ser humano, además con la ayuda de Dios quien estuvo guiándome, bendiciéndome y dándome la fuerzas para continuar con un sueño más en mi vida.*

*Omar*



## ***DEDICATORIA***

*Dedico este trabajo a mis padres por darme ese amor puro y sincero, a mis hermanos por ser ese apoyo incondicional en mi vida con sus consejos que día a día me dieron brindándome la sabiduría necesaria para que sea una excelente persona y alcanzar este objetivo tan anhelado.*

*Henry*

## INDICE GENERAL

<b>AVAL DE AUTORÍA .....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN... ¡Error! Marcador no definido.</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>AVAL DE APROBACION DEL TRIBUNAL DE TITULACION .....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>AVAL DE IMPLEMENTACIÓN..... ¡Error! Marcador no definido.</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>xvi</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xvii</b>
<b>AVAL DE TRADUCCIÓN.....</b>	<b>xviii</b>
<b>1. INFORMACIÓN BÁSICA .....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
1.1. Línea(s) y sub líneas de investigación .....	1
<b>2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA .....</b>	<b>2</b>
2.1. Título de la propuesta tecnológica .....	2
2.2. Tipo de alcance .....	2
2.3. Área del conocimiento .....	2
2.4. Sinopsis de la propuesta tecnológica .....	2
2.5. Objeto de estudio y campo de acción .....	3
2.5.1. Objeto de estudio.....	3
2.5.2. Campo de acción .....	3
2.6. Situación problémica y problema .....	3
2.6.1. Situación problémica.....	3
2.6.2. Problema.....	4
2.6.3 Diagrama Causa-Efecto.....	4
2.7. Hipótesis .....	5
2.8. Objetivos.....	5
2.8.1. Objetivo general .....	5
2.8.2. Objetivos específicos.....	5
2.9. Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados .....	5
<b>3.MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>6</b>
3.1. Energía eléctrica .....	7
3.2. Energía renovable .....	7

3.3. Energía potencial .....	7
3.4. Energía cinética.....	8
3.5. Turbinas hidráulicas.....	8
3.6. Clasificación de las mini centrales según su potencia .....	8
3.7. Turbina Pelton.....	9
3.7.1. Partes de la turbina Pelton .....	9
3.7.2. Álabes de turbina Pelton .....	10
3.7.3. Rodete de la turbina Pelton .....	11
3.8.4. Bomba centrífuga .....	11
3.7.5. Variador de frecuencia .....	12
3.7.6. Tubería para el sistema hidráulico .....	12
3.7.7. Eje de la turbina Pelton .....	13
3.7.8. Válvula de compuerta.....	13
3.7.9. Cojinetes y rodamientos .....	14
3.7.9.1. Generalidades de los cojinetes.....	14
3.7.10. Inyector de la turbina Pelton .....	15
3.7.11. Selección de la turbina .....	15
3.8. Turbina Francis .....	16
3.8.1. Clasificación de las turbinas Francis.....	16
3.8.2 Partes de una turbina Francis .....	17
3.8.2.1 Cámara espiral .....	17
3.8.2.2. Distribuidor de una turbina Francis .....	17
3.8.2.3. Rodete turbina Francis.....	18
3.8.2.4. Tubo de aspiración turbina Francis .....	18
3.8.2.5. Rotor de la turbina Francis .....	19
3.9. Cavitación en las turbinas hidráulicas .....	20
3.11. Ventajas y desventajas turbinas Pelton y Francis .....	21
3.11.1. Ventajas turbina Pelton .....	21
3.11.2 Desventajas turbina Pelton .....	21
3.11.3 Ventajas turbina Francis.....	21
3.11.4. Desventajas turbina Francis .....	21
<b>4. METODOLOGÍA.....</b>	<b>21</b>
4.1 Antecedentes investigativos.....	22

4.2. Fundamentación Legal.....	22
4.3. Operacionalización de variables .....	23
4.4. Instrumentos seleccionados .....	24
4.6.1 Tanque de almacenamiento .....	24
4.6.2. Selección de la bomba.....	24
4.6.3 Turbina Pelton .....	27
4.6.4. Turbina Francis .....	30
4.6.5. Variador de frecuencia .....	32
4.6.6. Arduino MEGA 2560.....	33
4.6.7. Pantalla HMI .....	33
4.6.8. Sensor de Peso.....	34
4.6.9. Sensor de Presión (Dp-100) .....	35
4.6.10. Sensor de Caudal .....	36
4.6.11. Sensor de Velocidad.....	37
4.6.12. Tuberías y accesorios .....	38
4.6.13. Software SolidWorks .....	38
<b>5.- ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>39</b>
5.1. Análisis de la estructura del módulo .....	39
5.2. Análisis de las turbinas Pelton y Francis por software .....	42
5.3. Análisis turbinas Francis .....	43
5.4. Análisis de velocidades de las turbinas Pelton y Francis.....	44
5.5. Análisis de presión de las turbinas Pelton y Francis.....	45
5.6. Análisis de la presión relativa de la turbinas Pelton .....	46
5.7. Análisis Práctico .....	47
5.8. Análisis de la eficiencia mecánica de la turbina Pelton a una altura de 50 metros.....	49
5.9. Análisis de la eficiencia mecánica de la turbina Francis a un caudal de 16 a 27 lt/s.....	49
<b>6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS .....</b>	<b>49</b>
6.1. Presupuesto .....	49
6.1.1. Directos .....	50
6.1.2 Indirectos .....	50
6.2. Análisis de impactos .....	51
6.2.1. Impacto económico .....	51

6.2.2. Impacto práctico.....	52
6.2.3. Impacto tecnológico.....	52
6.2.4. Impacto ambiental.....	52
<b>7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>52</b>
7.1. Conclusiones.....	52
7.2. Recomendaciones.....	53
<b>8. REFERENCIAS .....</b>	<b>54</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>1</b>

### INDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1. Diagrama causa – efecto.....	4
Figura 3. 1. Esquemas de las turbinas Pelton y Francis.....	8
Figura 3. 2. Turbina Pelton.....	9
Figura 3. 3. Turbina Pelton y sus partes principales.....	10
Figura 3. 4. Dimensiones del álabe.....	11
Figura 3. 5. Esquema del rodete.....	11
Figura 3. 6. Esquema bomba centrífuga.....	12
Figura 3. 7. Esquema variador de frecuencia.....	12
Figura 3. 8. Sistema de tuberías bomba – turbinas.....	13
Figura 3. 9. Esquema eje de una Turbina.....	13
Figura 3. 10. Esquema válvula de compuerta.....	14
Figura 3. 11. Esquema cojinete.....	14
Figura 3. 12. Inyección de agua turbina Pelton.....	15
Figura 3. 13. Abaco de selección de turbinas.....	15
Figura 3. 14. Ilustración de la turbina Francis y sus partes.....	16
Figura 3. 15. Cámara espiral turbina Francis.....	17
Figura 3. 16. Detalles posiciones, cerrado o abierto, de las palas directrices del distribuidor.....	18
Figura 3. 17. Rodete turbina Francis.....	18
Figura 3. 18. Tubo de succión turbina Francis.....	19
Figura 3. 19. Rodete turbina Francis.....	19
Figura 3. 20. Etapa de cavitación.....	20
Figura 4. 1. Diagrama tanque de la represa.....	24

Figura 4. 2. Curvas de selección de la bomba. ....	26
Figura 4. 3. Bomba centrífuga trifásica. ....	27
Figura 4. 4. Turbina Pelton. ....	30
Figura 4. 5. Turbina Francis. ....	32
Figura 4. 6. Variador de frecuencia. ....	33
Figura 4. 7. Arduino MEGA 2560. ....	33
Figura 4. 8. Pantalla HMI Nextion. ....	34
Figura 4. 9. Celda de peso HX-711. ....	35
Figura 4. 10. Sensor de presión Dp-100. ....	36
Figura 4. 11. Sensor de caudal. ....	37
Figura 4. 12. Sensor de velocidad. ....	38
Figura 4. 13. Estructura y turbina en SolidWorks. ....	39
Figura 5. 1. Análisis de tensión de la estructura del módulo. ....	40
Figura 5. 2. Análisis del factor de seguridad de la estructura del módulo. ....	40
Figura 5. 3. Análisis del desplazamiento de la estructura del módulo. ....	41
Figura 5. 4 Análisis de deformaciones unitarias de la estructura del módulo. ....	41
Figura 5. 5. Simulación turbina Francis. ....	42
Figura 5. 6. Simulación turbina Pelton. ....	42
Figura 5. 7. Simulación de velocidad turbina Francis. ....	44
Figura 5. 8. Simulación de velocidad turbina Pelton. ....	45
Figura 5. 9. Simulación de velocidad turbina Pelton. ....	45
Figura 5. 10. Simulación de velocidad turbina Pelton. ....	46
Figura 5. 11. Simulación de velocidad turbina Pelton. ....	46
Figura 5. 12. Curva práctica turbina Pelton. ....	47
Figura 5. 13. Simulación de velocidad turbina Francis. ....	47
Figura 5. 14. Curva de rendimiento turbina Pelton con otras condiciones. ....	48
Figura 5. 15. Curva de rendimiento turbina Pelton en otras condiciones. ....	48

### **INDICE DE TABLAS**

Tabla 2. 1. Operacionalización de objetivos. ....	5
Tabla 3. 1. Clasificación de PCH según la potencia instalada. ....	8
Tabla 3. 2. Clasificación de las PCH según su caída. ....	9
Tabla 3. 3. Tabla de rangos de velocidad específica. ....	20

Tabla 4. 1. Operacionalización de variable independiente.....	23
Tabla 4. 2. Operacionalización de variable dependiente.....	23
Tabla 4. 3. Número de cucharas.....	29
Tabla 4. 4. Tuberías y accesorios.....	38
Tabla 5. 1 Condiciones de Frontera.....	43
Tabla 5. 2. Resultados del Análisis a 50 metros.....	43
Tabla 5. 3. Resultados del Análisis a un caudal de 16 litros/min.....	44
Tabla 5. 4. Rendimiento a 50 metros turbina Pelton.....	49
Tabla 5. 5. Rendimiento a un caudal de 16 a 27 lt/s turbina Francis.....	49
Tabla 6. 1. Costos directos.....	50
Tabla 6. 2. Costos indirectos.....	51
Tabla 6. 3. Costos directos e indirectos más el IVA.....	51

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LAS INGENIERÍAS Y APLICADAS**  
**CARRERA INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**TITULO:** Implementación de un módulo de prácticas de laboratorio para determinar el rendimiento de turbinas Pelton y Francis en la asignatura de Energías Renovables de la carrera de Ingeniería Electromecánica en la Universidad Técnica de Cotopaxi.

**Autor/es:** Alcoser Vizuete Edison Omar

Suárez Jiménez Henry Mauricio

**RESUMEN**

En la presente investigación se destaca la simulación en estado dinámico y condiciones prácticas de una turbina Pelton y Francis que son las turbinas más usadas dentro del micro generación y generación a gran escala. La investigación se basa en la problemática que no existe un módulo de investigación de turbo máquinas que permitan analizar la eficiencia bajo condiciones de diferentes alturas, presión y caudal de la energía motriz del potencial hidráulico. El desarrollo metodológico se basó en una investigación de campo e investigación experimental que permitieron determinar dos escenarios de comparación y validación de datos mediante el uso de Solid Word para la simulación y la implementación práctica mediante el diseño mecánico con un factor de seguridad de 2,5 aceptable dentro del diseño mecánico, tarjeta arduino para la recepción de datos, la visualización de las curvas de las variables de operación de la turbina mediante pantalla NEXTION que posee una comunicación serial al HMI para visualizar de Rendimiento vs RPM, Presión Vs RPM, Caudal Vs RPM y Torque Vs RPM. De acuerdo a la validación de resultados se analizó que entre lo simulado en SolidWorks y los datos prácticos existe un error entre el 2 al 3 % que se pueden atribuir a la calibración de la medición de instrumentos. En la turbina Pelton se determinó una eficiencia mínima del 52% a una altura de 50 metros, generando un torque 3,2 Nm y una máxima del 62% a 60 metros y un torque de 5,6 Nm. En la turbina Francis se determinó una eficiencia mínima del 48% a una caudal de 16 litros/min, generando un torque 2,8 Nm y una eficiencia máxima del 58% a un caudal de 25 litros/min y un torque de 4,8 Nm, de acuerdo a la validación de la hipótesis se comprobó que la implementación del módulo permitió analizar de manera gráfica la eficiencia de las turbinas de acuerdo a sus variables de presión y caudal.

**Palabras claves:** Presión, Caudal, torque, rendimiento.



**FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED  
CAREER ELECTROMECHANICAL ENGINEERING**

**TITLE:** Implementation of a module of laboratory practices to determine the performance of Turbines Pelton and Francis in the subject of renewable energies in the career of Electromechanical Engineering at the Technical University of Cotopaxi.

**Author:** Alcoser Vizuete Edison Omar

Suárez Jiménez Henry Mauricio

**ABSTRACT**

In the current investigation the simulation in dynamic state and the practical conditions of a Francis turbine and a Pelton turbine have been highlighted. These are the most used turbines within the micro generation and large scale generation. The investigation is based on the problematic that there is a lack of a module of research for turbo machinery that allows an accurate analysis of their efficiency under conditions of varying heights, pressure and flow of the motor energy of the hydraulic potential. The methodological development was based on a field research and an experimental research which allowed the determination of two comparison and validation of data scenarios by means of the use of Solid Word for the simulation and practical implementation. Also, through the mechanical design with a security factor of 2,5 which is acceptable within the mechanical design, and an arduino card for reception of data, visualization of the curves of the turbine variables of operation by means of the NEXTION screen. This screen possesses a serial HMI communication to visualize the Performance Vs RPM, Pressure Vs RPM, Flow Vs RPM and Torque Vs RPM. Following the validation of the results it was analyzed that between what was simulated by SolidWorks and the practical data there is an error ranging from a 2% to a 3% which could be attributed to the calibration of the instruments of measurement. In the Pelton turbine a minimal efficiency of 52% at a height of 50 meters was determined, thus generating a Torque of 3,2 Nm and a maximum of 62 % at 60 meters and a torque of 5,6 Nm. In the Francis turbine the determined parameters were: a minimal efficiency of 48% at a flow of 16 liters per minute generating a torque of 2,8 Nm; a maximum efficiency of 58% at a flow of 25 liters per minute and a torque of 4,8 Nm. According to the validation of the research hypothesis it was proved that the implementation of the module allowed the graphical analysis of the efficiency of these turbines regarding their pressure and flow variables.

**Keywords:** Pressure, Flow, Torque, performance.



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi

CENTRO DE IDIOMAS

## AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal certifico que: La traducción del resumen del proyecto de propuesta tecnológica al Idioma Inglés presentado por los señores Alcoser Vizuite Edison Omar con CI: 050355991-6 y Suárez Jiménez Henry Mauricio con CI: 050362618-6, egresados de la Carrera de **INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA** de la Unidad Académica de **CIENCIAS DE LAS INGENIERÍAS Y APLICADAS** cuyo título versa **“Implementación de un módulo de prácticas de laboratorio para determinar el rendimiento de turbinas Pelton y Francis en la asignatura de Energías Renovables de la carrera de Ingeniería Electromecánica en la Universidad Técnica de Cotopaxi”**, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, 26 de Julio del 2018

Atentamente,

Lic. Mayra Noroña Heredia Mg.  
**DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS**  
C.C. 0501955470



CENTRO  
DE IDIOMAS

## **1. INFORMACIÓN BÁSICA**

### **Propuesto por:**

Edison Omar Alcoser Vizueté

Henry Mauricio Suárez Jiménez

### **Tema aprobado:**

Implementación de un módulo de prácticas de laboratorio para determinar el rendimiento de turbinas Pelton y Francis para la asignatura de energías renovables de la carrera de Ingeniería Electromecánica en la Universidad Técnica de Cotopaxi.

### **Carrera:**

Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, Carrera de Ingeniería en Electromecánica

### **Director de la propuesta tecnológica:**

Ph.D. Héctor Luis Laurencio Alfonso

Ms.C. Cristian Fabián Gallardo Molina

### **Equipo de trabajo:**

Edison Omar Alcoser Vizueté

Henry Mauricio Suárez Jiménez

Ph.D. Héctor Luis Laurencio Alfonso

Ms.C. Cristian Fabián Gallardo Molina

### **Lugar de ejecución:**

Cotopaxi Zona 3, Latacunga, Parroquia Eloy Alfaro, Barrio El Ejido- San Felipe, Universidad Técnica de Cotopaxi La Matriz, laboratorios de la carrera de ingeniería electromecánica.

### **Tiempo de duración de la propuesta:**

Inicio marzo 2017 – finalización agosto 2018

### **Fecha de entrega:**

Agosto del 2018

### **1.1. Línea(s) y sub líneas de investigación**

#### **Líneas de investigación:**

Según las líneas de investigación determinadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi para nuestra investigación se procedió de la siguiente manera:

## **Eficiencia Energética y energías renovables**

### **Objetivos:**

- Fomentar la investigación para la conservación de la energía y el uso de fuentes alternativas de generación de electricidad.
- Investigar nuevas tecnologías para la generación, transmisión y distribución de energía.
- Repotenciar equipos y maquinarias.
- Optimizar sistemas eléctricos.

### **Sub líneas de investigación de la carrera:**

Acorde a nuestra investigación hemos determinado la siguiente sub línea:

Eficiencia Energética en Sistemas Electromecánicos y uso de fuentes renovables de energía.

## **2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA**

### **2.1. Título de la propuesta tecnológica**

Implementación de un módulo de prácticas de laboratorio para determinar el rendimiento de turbinas Pelton y Francis para la asignatura de energías renovables de la carrera de ingeniería electromecánica en la Universidad Técnica de Cotopaxi.

### **2.2. Tipo de alcance**

El proyecto está enfocado a realizar un análisis de su funcionamiento y operación de dos tipos de turbinas acción y reacción fortaleciendo los conocimientos y la praxis dentro del área de energías renovables.

### **2.3. Área del conocimiento**

Según las normas CINE – UNESCO este proyecto está planteado de acuerdo a la séptima área de conocimiento; ingeniería, Industria y Construcción con una sub área de conocimiento Ingeniería y Profesiones Afines la que está enfocada en una subarea específica de conocimiento electricidad y energía.

### **2.4 Sinopsis de la propuesta tecnológica**

El proyecto consiste en realizar un módulo para analizar las curvas de trabajo de las turbinas Pelton y Francis en tiempo real para hacer una comparación entre estas dos y determinar la

eficiencia de cada una de ellas, es por eso que se desea implementar un módulo que sea apto para fines educativos dentro de nuestra área de estudio.

Aportando con temas de acuerdo al silabo propuesto, pretendiendo dar una mejor perspectiva a las materias relacionadas además implementar un módulo en los laboratorios de energía y generación: aportando con este módulo para la realización de prácticas que ayude a obtener una mejor visión a los estudiantes de la carrera de ingeniería electromecánica, el incremento de la tasa de estudiantes que quieren acceder a la educación en el Ecuador, aún más en el incremento de las matrículas en los centros de educación superior en donde en la actualidad la demanda ha superado las expectativas y se ve reflejado en varios puntos críticos que se da a notar en cada una de las instituciones de educación superior como por ejemplo con la adquisición de máquinas que sean aptas para fines de aprendizaje dedicados para materias de generación que aportan en el desarrollo en el ámbito profesional del estudiante.

## **2.5. Objeto de estudio y campo de acción**

### **2.5.1. Objeto de estudio**

Módulo practico para determinar el rendimiento de las turbinas Pelton y Francis.

### **2.5.2. Campo de acción**

La eficiencia de las turbinas destinadas a la generación de electricidad varían su rendimiento de acuerdo a las condiciones geográficas e hidráulicas, como pérdidas y saltos de agua diferentes que marcan una gran diferencia en el momento de entrar en operación de acuerdo a las variables y fenómenos que se produzcan dentro de estas.

## **2.6. Situación problémica y problema**

### **2.6.1. Situación problémica**

Dentro de la carrera existen asignaturas de centrales de generación y energías renovables que están encaminadas a la generación de electricidad con diferente materia prima estando dentro de una de ellas las centrales hidroeléctricas con diferentes turbinas que son aplicadas de acuerdo a la presión y caudal que se disponga durante el año, es conveniente implementar un módulo práctico que permita a los estudiantes monitorear los parámetros de operación en tiempo real de las turbinas Pelton y Francis para poder determinar las curvas de eficiencia y rendimiento de las mismas, además en la actualidad no existe en el mercado local un equipo similar que nos permita visualizar los objetivo del proyecto que se va a realizar, que cumpla y

que ayude a las exigencias que tiene el laboratorio de energías renovables de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad. En algunos casos se tienen áreas laborales en que los estudiantes electromecánicos necesitan de una herramienta que les permita facilitar el conocimiento en el campo que ellos decidieron trabajar.

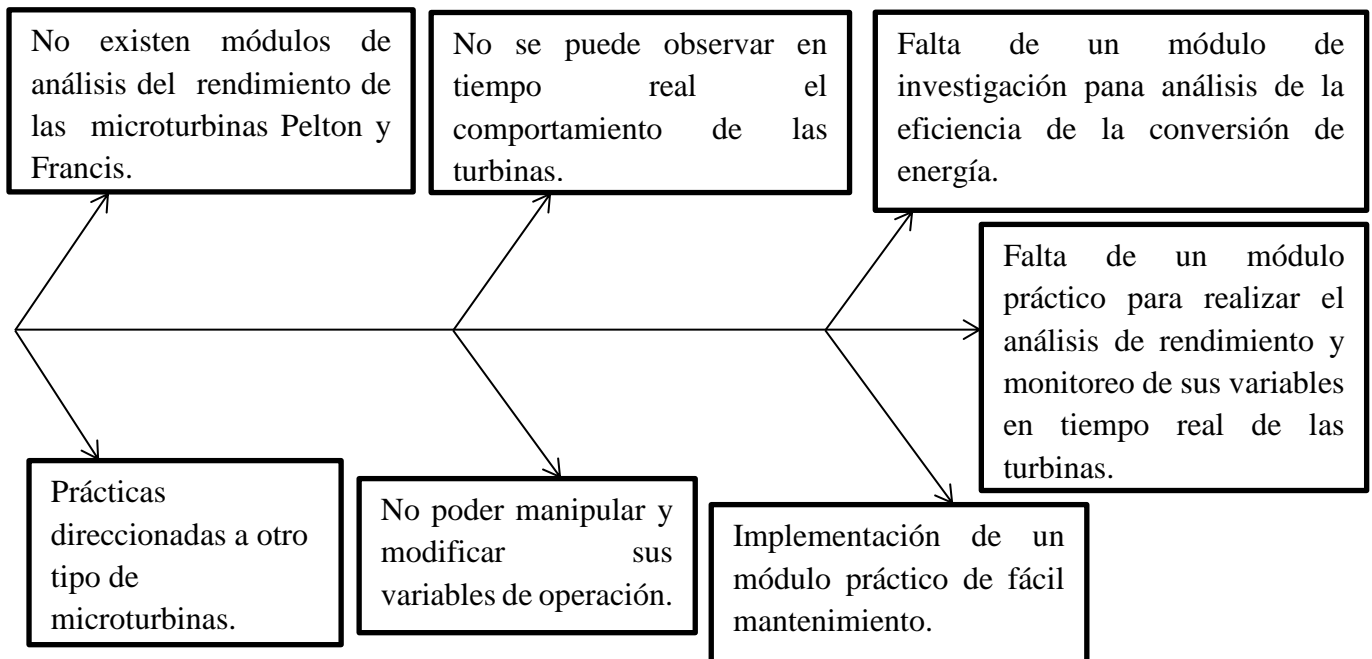
### 2.6.2. Problema

Necesidad de un módulo práctico para realizar el análisis de las turbinas Pelton y Francis monitoreado en tiempo real para realizar comparaciones de rendimiento y comportamiento de cada una de estas turbinas, además fortalecer el laboratorio para enfocarse a temas y materias que se refieran a generación hidráulica por lo cual se requiere un módulo donde se pueda observar todo su funcionamiento y características que normalmente no son visibles.

¿De no existir un módulo práctico no se podrá analizar las curvas de eficiencia tampoco el funcionamiento en tiempo real de las turbinas Pelton y Francis para desarrollar una mejor calidad académica de los estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi?

### 2.6.3 Diagrama Causa-Efecto

En el siguiente diagrama se describirá las causas y efectos de la propuesta tecnológica para analizar los principales problemas que presenta el laboratorio de energías renovables al no contar con módulos operacionales.



**Figura 2. 1.** Diagrama causa – efecto.

## 2.7. Hipótesis

Mediante la implementación de un módulo de investigación de las turbinas Pelton y Francis se podrá analizar las curvas de eficiencia de acuerdo a las variables de operación

## 2.8. Objetivos

### 2.8.1. Objetivo general

Implementar un módulo de investigación turbinas Pelton y Francis mediante la incorporación del sistema hidráulico y electrónico para el análisis del rendimiento de conversión de energía.

### 2.8.2. Objetivos específicos

- Indagar en fuentes bibliográficas para la recopilación de información y datos requeridos.
- Construir un módulo de análisis de las turbinas Pelton y Francis para prácticas de laboratorio en energías renovables.
- Analizar el rendimiento en tiempo real de las turbinas a través de sus variables de operación.

## 2.9. Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados

En la siguiente tabla 1 se muestra las actividades y tareas relacionadas con los objetivos planteados:

**Tabla 2. 1.** Operacionalización de objetivos.

<b>OBJETIVO</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL OBJETO</b>	<b>RESULTADO DE LA ACTIVIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD (TÉCNICAS E INSTRUMENTOS)</b>
-----------------	-------------------------------	----------------------------------	--

Indagar en fuentes bibliográficas para la recopilación de información y datos requeridos.	Revisión de papers, documentos, libros, fichas técnicas, páginas web.	Conocimiento técnico y teórico de las turbinas Pelton y Francis	Ficha bibliográficas
Construir un módulo de análisis de las turbinas Pelton y Francis para prácticas de laboratorio en energías renovables.	Dibujo del esquema mecánico, eléctrico y electrónico del módulo práctico con las medidas adecuadas.	Implementación mecánica, eléctrica y electrónica del módulo practico.	Investigación experimental y de campo
Analizar el rendimiento en tiempo real de las turbinas a través de sus variables de operación.	Visualización en un sistema HMI con los datos obtenidos de los sensores localizados en el sistema hidráulico.	Obtención de las curvas de rendimiento a través de las variables de operación	Investigación estadística y experimental.

### 3. MARCO TEÓRICO

La necesidad de crear nuevas fuentes de energías renovables a través de recursos naturales para el beneficio del planeta y seres humanos con la ayuda de fuentes naturales como agua, viento, sol dando un efecto de menos contaminación al medio ambiente, con la ayuda de ideas actuales, estas energías se podrán aprovechar para realizar prototipos de estudio del funcionamiento, para convertir estos recursos naturales en energía, siendo los beneficiarios profesores y estudiantes para el análisis de estas nuevas tendencias energéticas.

Para el estudio de fuentes alternativas es necesario investigar los nuevos descubrimientos científicos para analizar cuanto tiempo y esfuerzo se va a necesitar para la construcción e implementación en este tipo de ideas como es el modulo para la comparación de eficiencia entre dos turbinas hidráulicas actuando como fuente principal el agua, utilizando tecnología de punta



mediante normas y estándares actuales acoplados al máximo confort y calidad del producto final, cuidando el medio ambiente asegurando un mundo con un mejor futuro para las nuevas generaciones.

### **3.1. Energía eléctrica**

La energía eléctrica se produce en las centrales eléctricas a partir de la transformación de una energía primaria (hidráulica, térmica, solar, nuclear, eólica). De ahí es transportada a través de las redes eléctricas hasta los núcleos de población e industrias, siendo entonces transformada en otras formas de energía (energía secundaria: luz, calor, sonido, movimiento, etc.) [1].

Las operaciones de generación de energía hidroeléctrica cubren una extensión inmensa y muchos climas, desde el permafrost ártico hasta los bosques pluviales ecuatoriales. Una central hidroeléctrica consta generalmente de una presa que almacena una gran cantidad de agua, un aliviadero que libera el agua sobrante de forma controlada y una casa de máquinas. La central hidroeléctrica también puede contar con diques y otras estructuras de control y contención del agua, que no participan [2].

### **3.2. Energía renovable**

Las energías renovables son aquellas que se producen de forma continua y son inagotables a escala humana. El sol está en el origen de todas las energías renovables porque su calor provoca en la Tierra las diferencias de presión que dan origen a los vientos, fuente de la energía eólica. El sol ordena el ciclo del agua, causa la evaporación que predispone la formación de nubes y, por tanto las lluvias. También del sol procede la energía hidráulica [3].

La energía hidráulica es producida por el agua en movimiento, ha sido hasta hace unos años fuente de energía en Ecuador. Existen centrales hidroeléctricas distribuidas por todo el Ecuador algunas actuales y otras más antiguas que otras.

### **3.3. Energía potencial**

Por energía potencial o de posición se entiende aquella energía que poseen los cuerpos cuando se encuentran en reposo; es la energía almacenada en la materia.

La energía de presión o gravitatoria es aquella contenida en las masas líquidas respecto a planos horizontales o puntos inferiores de referencia [4].

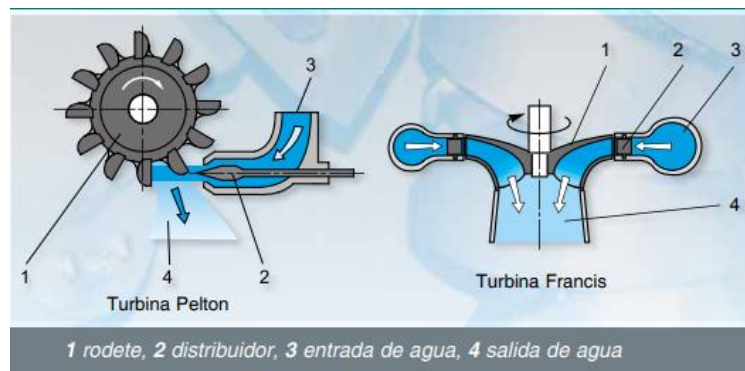
### 3.4. Energía cinética

Se denomina energía cinética o de velocidad o de movimiento a la energía que proviene de los cuerpos en movimiento, o de las partes que constituyen a los mismos (moléculas) [4].

### 3.5. Turbinas hidráulicas

Las turbinas hidráulicas se utilizan principalmente en centrales energéticas para generar energía eléctrica. Para ello, las represas fluviales o las presas utilizan la energía potencial gravitacional del agua embalsada, denominada también energía potencial.

Las turbinas hidráulicas forman parte de las turbomáquinas. Estas convierten la energía potencial del agua en trabajo mecánico. La energía potencial gravitacional se convierte primero en energía cinética. El agua fluyente se acelera a la máxima velocidad posible en un distribuidor o una tobera. El impulso del fluido se aprovecha como fuerza tangencial mediante el desvío en un rodete [5].



**Figura 3. 1.** Esquemas de las turbinas Pelton y Francis.

**Fuente:** [5].

### 3.6. Clasificación de las mini centrales según su potencia

**Tabla 3. 1.** Clasificación de PCH según la potencia instalada.

Potencia (kW)	Tipo
0-50	Micro central
50-500	Mini central
500-5000	Pequeña Central

**Fuente:** [6].

**Tabla 3. 2.** Clasificación de las PCH según su caída.

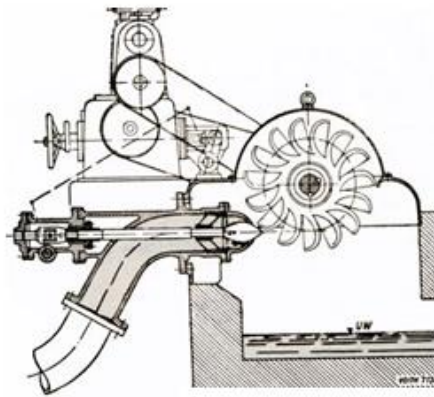
	<b>Baja(m)</b>	<b>Media(m)</b>	<b>Alta(m)</b>
Micro	$H < 15$	$15 < H < 50$	$H > 50$
Mini	$H < 20$	$20 < H < 100$	$H > 100$
Pequeña	$H < 25$	$25 < H < 130$	$H > 130$

**Fuente:** [6].

### 3.7. Turbina Pelton

En las turbinas de acción se convierte previamente la energía de presión del fluido en energía cinética, creando un chorro libre en la atmósfera. Este chorro se hace incidir sobre los álabes de un rotor, que gira asimismo en el seno de la atmósfera, desviando el chorro, apareciendo por ello un par sobre él que se utiliza para extraer la energía.

La turbina de chorro libre fue inventada alrededor de 1880 por Lester Pelton, quien después le dio su nombre. Por lo tanto, la materialización más común de este tipo de máquinas es la turbina Pelton [7].



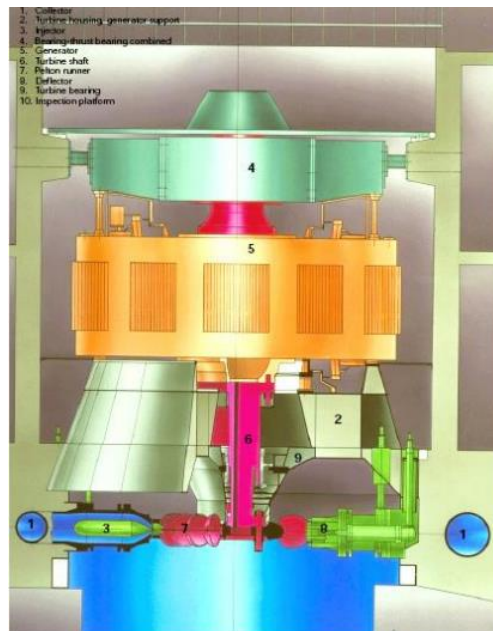
**Figura 3. 2.** Turbina Pelton.

**Fuente:** [8]

#### 3.7.1. Partes de la turbina Pelton

1. Colector espiral.
2. Carcasa y soporte del generador.

3. Inyector (Tobera +Válvula aguja).
4. Cojinete radial y de empuje axial.
5. Generador.
6. Eje.
7. Rodete.
8. Deflector.
9. Cojinete turbina [9].



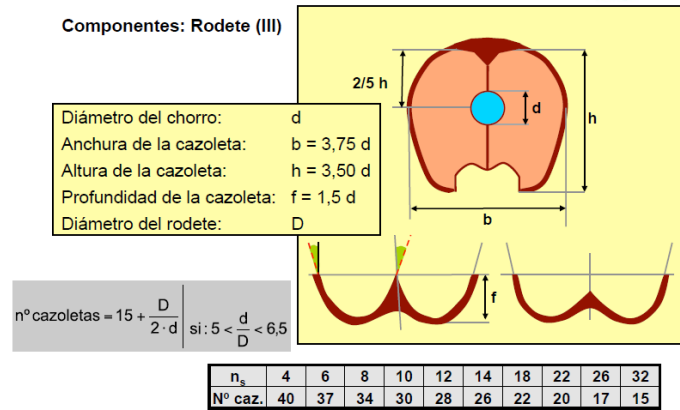
**Figura 3. 3.** Turbina Pelton y sus partes principales.

**Fuente.** [9].

### 3.7.2. Álaves de turbina Pelton

Los álaves, pueden ser piezas independientes o constituir una pieza única, están diseñados para recibir el empuje directo del chorro de agua. Su forma es similar a la de una doble cuchara, con una arista interior afilada y situada centralmente en dirección perpendicular hacia el eje (divide al álabe en dos partes simétricas de gran concavidad). Esto permite compensar los empujes axiales [10].

Cada álabe lleva en su extremo periférico una escotadura centrada en forma de W. Con ello se consigue que las cazoletas no reciban el chorro de agua hasta que su arista se encuentre en la posición perpendicular respecto al eje del chorro, aprovechando al máximo el caudal y el impulso que éste le proporciona al acompañarle durante un corto trayecto [10].

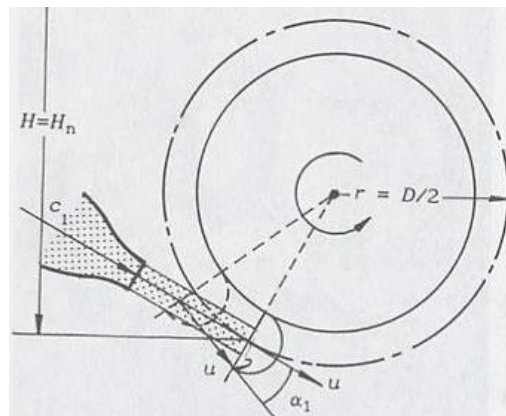


**Figura 3. 4.** Dimensiones del álabe.

Fuente: [10].

### 3.7.3. Rodete de la turbina Pelton

Llamado también rotor de rueda, este elemento es el órgano fundamental de las turbinas hidráulicas. Consta, en esencia, de un disco provisto de un sistema de álabes, paletas o cucharas, el cual está animado por cierta velocidad angular [11].

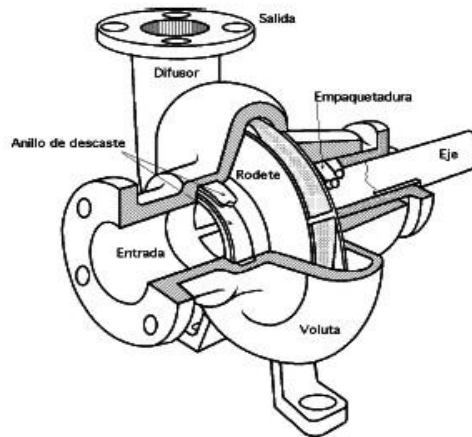


**Figura 3. 5.** Esquema del rodete.

Fuente: [12]

### 3.8.4. Bomba centrífuga

Las bombas centrífugas mueven un cierto volumen de líquido entre dos niveles; son máquinas hidráulicas que transforman un trabajo mecánico en otro de tipo hidráulico [13].

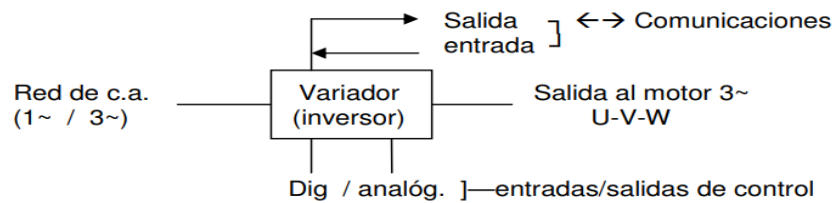


**Figura 3. 6.** Esquema bomba centrífuga.

**Fuente:** [14].

### 3.7.5. Variador de frecuencia

Se trata de dispositivos electrónicos, que permiten el control completo de motores eléctricos de inducción; los hay de c.c. (variación de la tensión), y de c.a. (variación de la frecuencia); los más utilizados son los de motor trifásico de inducción y rotor sin bobinar (jaula inversores o variadores de velocidad [15].

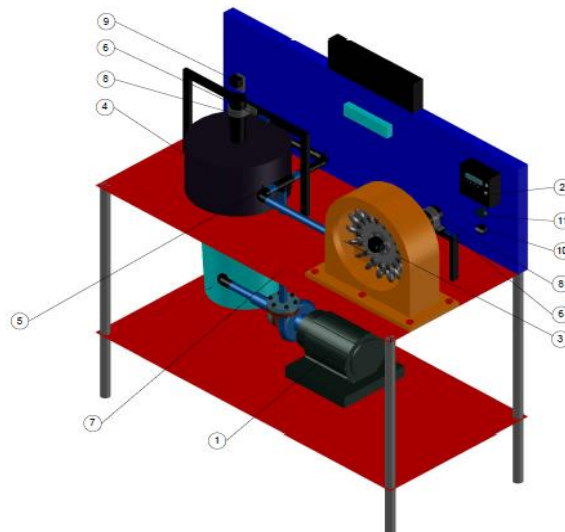


**Figura 3. 7.** Esquema variador de frecuencia.

**Fuente:** [15].

### 3.7.6. Tubería para el sistema hidráulico

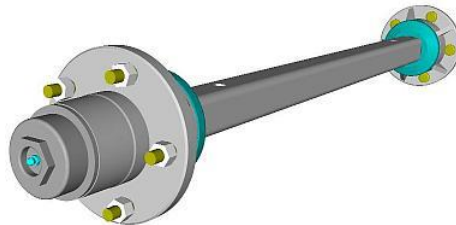
Las tuberías son un sistema formado por tubos, que pueden ser de diferentes materiales, que cumplen la función de permitir el transporte de líquidos en suspensión en forma eficiente, siguiendo normas estandarizadas y cuya selección se realiza de acuerdo a las necesidades de trabajo que se va a realizar [16].



**Figura 3. 8.** Sistema de tuberías bomba – turbinas.

### 3.7.7. Eje de la turbina Pelton

Un eje de transmisión es un componente mecánico destinado a transmitir el par y la rotación, y que suele utilizarse para conectar otros componentes del tren de transmisión que no se pueden conectar directamente debido a la distancia o la necesidad de permitir el movimiento relativo entre ellos [17]

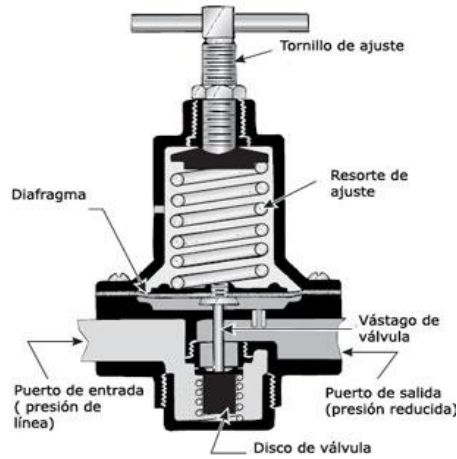


**Figura 3. 9.** Esquema eje de una Turbina.

**Fuente:** [18]

### 3.7.8. Válvula de compuerta

La válvula de compuerta es del tipo multivueltas, en la cual se cierra el paso con un obturador vertical de caras planas, que se desliza en ángulo recto sobre los asientos. Este tipo de válvula se recomienda para servicios donde se necesita una apertura o cierre sin estrangulación (paso total), para uso poco frecuente y donde se necesita una resistencia mínima a la circulación [16].



**Figura 3. 10.** Esquema válvula de compuerta.

**Fuente:** [19]

### 3.7.9. Cojinetes y rodamientos

En algunas ocasiones van montados directamente en el marco o bastidores de las máquinas, en otras van montados en soportes especialmente diseñados para facilitar el montaje [20].

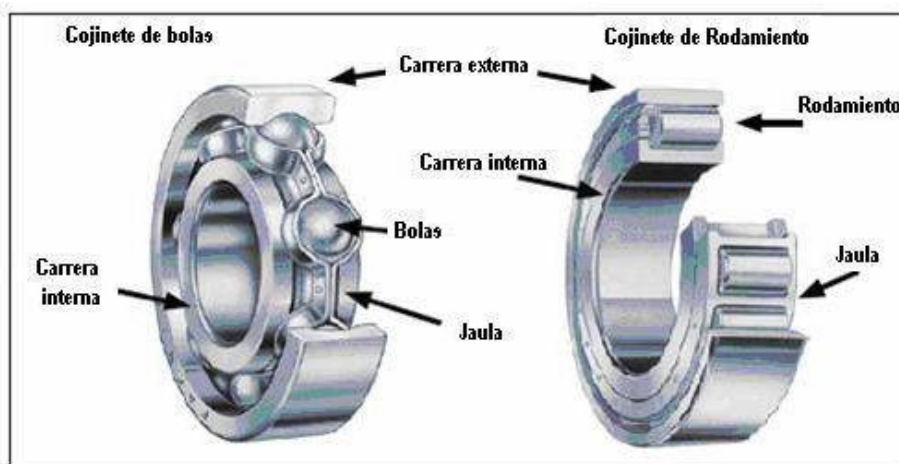
#### 3.7.9.1. Generalidades de los cojinetes

Son puntos de apoyo de los ejes rotativos.

Sirven para sostener su peso (ejes rotativos).

Guían la rotación.

Evitan deslizamientos.



**Figura 3. 11.** Esquema cojinete.

**Fuente:** [21]



### 3.7.10. Inyector de la turbina Pelton

Es el distribuidor de las turbinas Pelton. Transforma la energía de presión del fluido de trabajo en energía cinética. La velocidad del chorro a la salida del inyector, en algunas instalaciones, llega a 150 [m/s] o más. Consta principalmente de una tobera y una válvula de aguja [22].

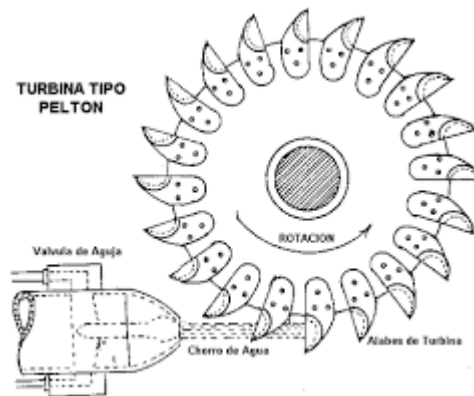


Figura 3. 12. Inyección de agua turbina Pelton.

Fuente: [22].

### 3.7.11. Selección de la turbina

En la siguiente figura se muestra el Abaco de selección de turbina según el salto y caudal.

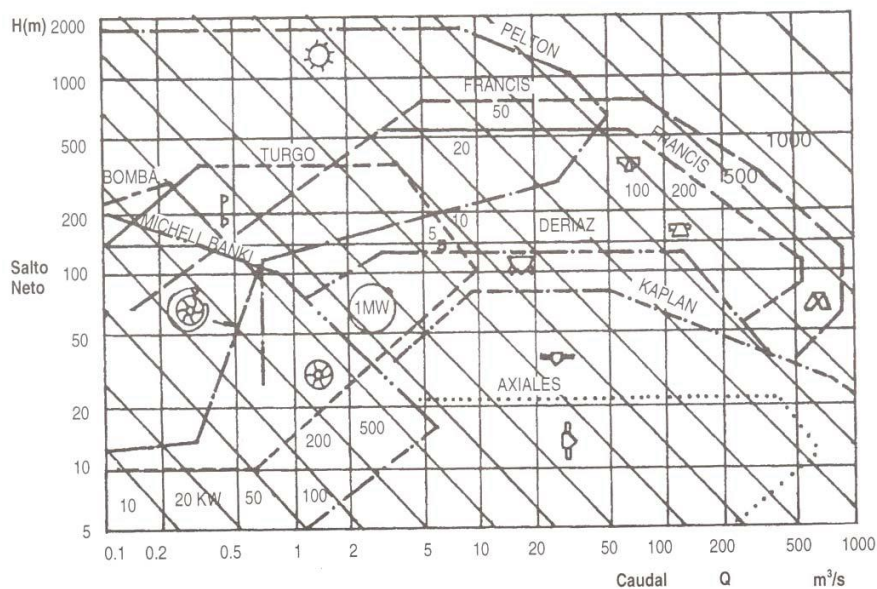


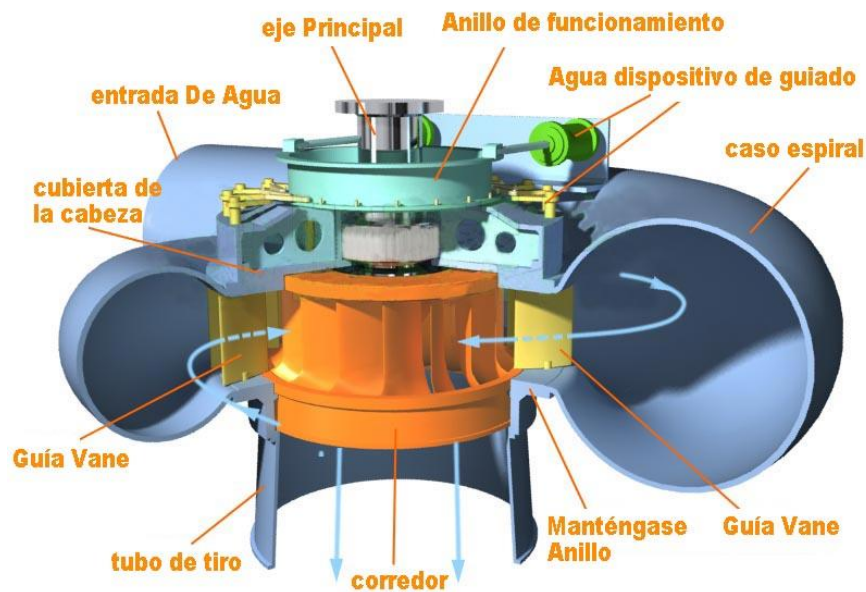
Figura 3. 13. Abaco de selección de turbinas.

Fuente: [23].

### 3.8. Turbina Francis

La turbina Francis fue desarrollada por James B. Francis en 1948, en dichas máquinas, la rueda de alabes o rodete, presentaba un flujo predominantemente radial, con los mismos radios de entrada y salida para todas las líneas de corriente, este diseño presentaba el problema de requerir mayores diámetros del rodete ante mayores caudales. La solución a este problema fue hacer que el agua siguiera una dirección radial-axial, esto es, a medida que el agua se mueve a través del rodete, su radio de giro disminuye aumentando la velocidad del agua; el resultado de ello fue el tipo de turbina de flujo mixto que actualmente es el modelo más habitual, esta, aun que guardan poca semejanza con la máquina Francis original, cuenta con un principio de funcionamiento similar y conserva el mismo nombre

Las turbinas se pueden dividir en: hidráulicas, a vapor y a gas dependiendo el fluido que provoque el movimiento. Las turbinas hidráulicas, caso de las turbinas Francis, convierten la energía del fluido hidráulico, en energía mecánica, gracias al flujo del fluido a través de la misma y aprovechando la energía del salto [24]



**Figura 3. 14.** Ilustración de la turbina Francis y sus partes.

**Fuente:** [25].

#### 3.8.1. Clasificación de las turbinas Francis

Según la altura o carga de trabajo, se clasifican en:

- Francis lenta: para saltos de gran altura, alrededor de 200 m o más.

- Francis normal: Indicada en saltos de altura media, entre 200 y 20 m.
- Francis rápidas y extra rápidas: apropiadas para saltos de pequeña altura, inferiores a 20 m. [25].

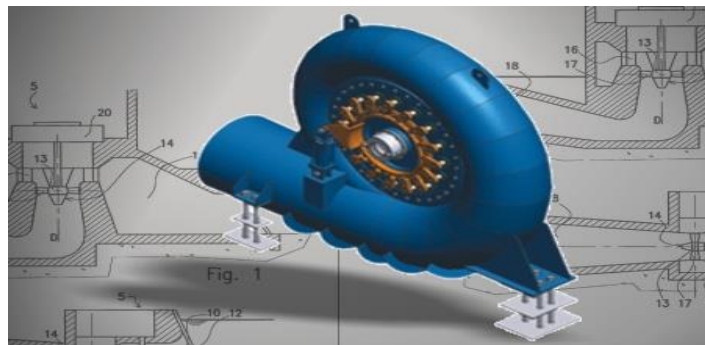
Según la disposición del eje:

- Turbina Francis de eje Vertical.
- Turbina Francis de eje Horizontal. [25].

### 3.8.2 Partes de una turbina Francis

#### 3.8.2.1 Cámara espiral

Está constituida por la unión sucesiva de una serie de virolas tronco-cónicas, cuyos ejes respectivos forman una espiral. Desde el acoplamiento con la tubería forzada, donde el diámetro interior de la virola correspondiente alcanza su valor máximo, la sección interior, circular en la mayoría de los casos, va decreciendo paulatinamente hasta la virola que realiza el cierre de la cámara sobre sí misma, cuyo diámetro interior se reduce considerablemente. Esta disposición se conoce como el caracol de la turbina, en el que, debido a su diseño, se consigue que el agua circule con velocidad aparentemente constante y sin formar torbellinos, evitándose pérdidas de carga [26].



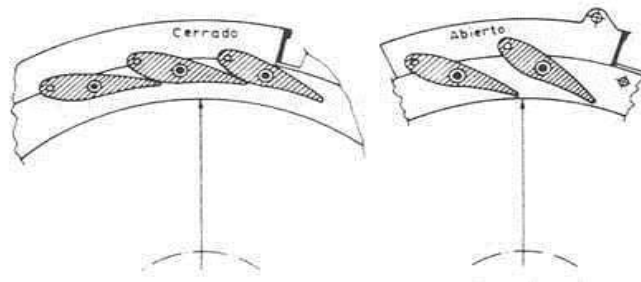
**Figura 3. 15.** Cámara espiral turbina Francis.

**Fuente:** [27].

#### 3.8.2.2. Distribuidor de una turbina Francis

El distribuidor propiamente dicho, está formado por un determinado número de palas móviles, cuyo conjunto constituye un anillo que está situado concéntricamente y entre las mismas cotas en altura que el ante distribuidor, descrito al exponer la cámara espiral, siendo, en definitiva, camino continuado del agua en su recorrido hacia el centro de la turbina.

Su función es la de distribuir, y regular o cortar totalmente, el caudal de agua que fluye hacia el rodete [28].

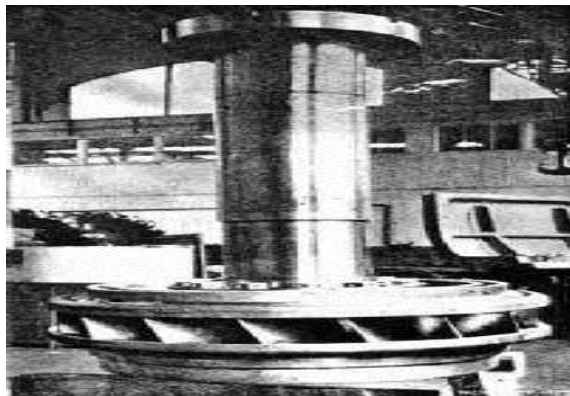


**Figura 3. 16.** Detalles posiciones, cerrado o abierto, de las palas directrices del distribuidor.

**Fuente:** [28].

### 3.8.2.3. Rodete turbina Francis

El sistema de distribución posee una parte estacionaria denominada anillo fijo (stay ring) y los álabes fijos. Los álabes móviles en forma de persiana vertical y circular guían el agua hacia el rodete. La apertura de los álabes móviles se puede graduar por medio de un anillo localizado en la parte superior y accionado por servomotor hidráulico. En el distribuidor se transforma la energía de presión en energía cinética [29].

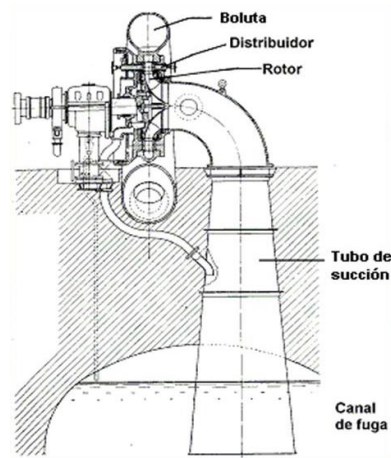


**Figura 3. 17.** Rodete turbina Francis.

**Fuente:** [28].

### 3.8.2.4. Tubo de aspiración turbina Francis

Es la salida de la turbina. Su función es darle continuidad al flujo y recuperar el salto perdido en las instalaciones que están por encima del nivel de agua a la salida. En general se construye en forma de difusor, para generar un efecto de aspiración, el cual recupera parte de la energía que no fuera entregada al rotor en su ausencia [30].



**Figura 3. 18.** Tubo de succión turbina Francis.

**Fuente:** [31].

### 3.8.2.5. Rotor de la turbina Francis

Es el corazón de la turbina, pues aquí tiene lugar el intercambio de energía entre la máquina y el fluido. En forma general, la energía del fluido al momento de pasar por el rodete es una suma de energía cinética, energía de presión y energía potencial. La turbina convierte esta energía en energía mecánica que se manifiesta en el giro del rodete. El rodete a su vez transmite esta energía por medio de un eje a un generador eléctrico dónde se realiza la conversión final en energía eléctrica. El rotor puede tener diversas formas dependiendo del número específico de revoluciones para el cual esté diseñada la máquina, que a su vez depende del salto hidráulico y del caudal de diseño [32].



**Figura 3. 19.** Rodete turbina Francis.

**Fuente:** [33]

### 3.9. Cavitación en las turbinas hidráulicas

La cavitación se entiende la formación de bolsas localizadas de vapor dentro del líquido, pero casi siempre en las proximidades de las superficies sólidas que limitan el líquido.

En el caso de las turbomáquinas hidráulicas la cavitación es un factor determinante, marcando el límite más bajo para el tamaño de la máquina y también el límite más alto para la velocidad del flujo medio [34].

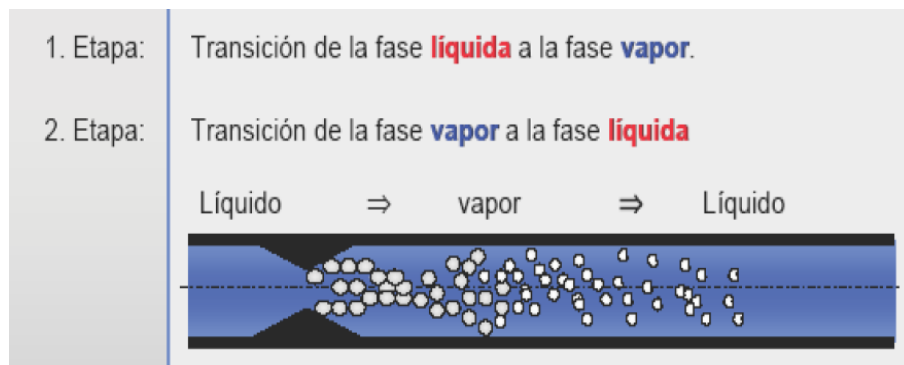


Figura 3. 20. Etapa de cavitación.

Fuente: [34].

### 3.10. Rango de velocidades de las turbinas Pelton y Francis

Tabla 3. 3. Tabla de rangos de velocidad específica

Tipo de turbina	$n_{smin}$	$n_{smax}$
Pelton con un inyector	5	30
Pelton con varios inyectores	30	50
Francis lenta	50	100
Francis normal	100	200
Francis rápida	200	400
Francis extra rápida y ruedas hélice	400	700

Fuente: [22].

### **3.11. Ventajas y desventajas turbinas Pelton y Francis**

#### **3.11.1. Ventajas turbina Pelton**

Baja probabilidad de cavitación y fabricación sencilla.

Mantenimiento económico.

Los alabes son robustos y duraderos.

Alto rendimiento a cargas parciales superior al 80% para un 20% del caudal nominal.

#### **3.11.2 Desventajas turbina Pelton**

Requiere de múltiples inyectores para hacer frente a grandes caudales.

Baja velocidad de operación.

Para potencias altas requiere grandes áreas debido a su gran rodete [35].

#### **3.11.3 Ventajas turbina Francis**

Bajas pérdidas hidráulicas.

Alta eficiencia.

Alta velocidad específica.

Bajos costos en acoplamiento con el generador.

Opera a grandes rangos de alturas y caudales [35].

#### **3.11.4. Desventajas turbina Francis**

Problemas de cavitación.

Bajo rendimiento a cargas parciales.

Alto desgaste de erosión por su geometría [35].

## **4. METODOLOGÍA**

En este proyecto se pone en práctica dos tipos de métodos uno de estos se ha considerado el experimental ya que se centra en un objeto a estudiar hipotético deductivo ya que se emplea

como estrategia el control para el análisis de datos y metodológico ya que involucra el estudio de datos teóricos de medición, recolección y análisis de datos.

#### **4.1 Antecedentes investigativos**

Los fabricantes de equipos prácticos para laboratorios actualmente poseen en sus catálogos módulos de pruebas para Turbinas Pelton y Francis cada uno por separado por ejemplo la empresa Edibon ha desarrollado un módulo para medir la eficiencia mecánica e hidráulica de la turbina Pelton, también ha desarrollado un módulo para determinar características de funcionamiento de una turbina Francis a diferentes velocidades y mediciones de eficiencia mecánica e hidráulica, las curvas que determinan estos módulos es de Eficiencia Vs RPM en donde están incluidas las mediciones de presión, caudal, torque y velocidad, estos valores pueden ser visualizados en una pantalla HMI montada en el módulo [36].

En la tesis “Diseño e implementación de un banco de pruebas de una central pico hidroeléctrica para la visualización de las variables eléctricas para la carrera de ingeniería electromecánica de la unidad académica CIYA período” (2014). Previo la obtención del título de Ingeniero Electromecánico los autores: Dávalos Constante Andrés Alejandro y Puruncajas Falconí Cristian Ismael acorde a los datos técnicos del módulo se instaló una central pico hidroeléctrica así aprovechar la visualización en una pantalla HMI [37].

#### **4.2. Fundamentación Legal**

En el artículo 173 de la Ley Orgánica de Educación Superior (LOES), establece que el Consejo de Evaluación, Acreditación y Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior (CEAACES) es el organismo técnico público encargado de ejecutar los procesos de evaluación externa, acreditación y aseguramiento de la calidad de la educación superior, así como de normar el proceso de autoevaluación. En el mismo artículo también se establece que:

Las universidades, escuelas politécnicas, institutos superiores técnicos, tecnológicos, pedagógicos, de artes y de conservatorios superiores del país, tanto públicos como particulares, sus carreras y programas, deberán someterse en forma obligatorio a la evaluación interna y externa, a la acreditación, a la clasificación académica y al aseguramiento de la calidad de la educación [38].



### 4.3. Operacionalización de variables

En nuestro módulo práctico de turbinas Pelton y Francis se tiene que definir cuál es nuestra variable independiente y dependiente para el análisis del mismo como se especifica en las siguiente tablas 4.1. y 4.2.:

**Tabla 4. 1.** Operacionalización de variable independiente.

<b>Variable</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Instrumentos de medición</b>
Presión	Se define como el cociente entre la componente normal de la fuerza sobre una superficie y el área de dicha superficie.	(PSI)	Sensor de presión.
Caudal	Es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto por unidad de tiempo.	(m <sup>3</sup> /s)	Sensor de Caudal

**Tabla 4. 2.** Operacionalización de variable dependiente.

<b>Variable</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Instrumentos de medición</b>
Velocidad	Es una magnitud física que expresa la relación entre el espacio recorrido por un objeto el tiempo y su dirección.	(Rev/min)	Sensor de velocidad

#### 4.4. Instrumentos seleccionados

##### 4.6.1 Tanque de almacenamiento

El tanque de almacenamiento de nuestro módulo práctico representa la represa, las dimensiones de este tanque son: Fig. 4.6.1.

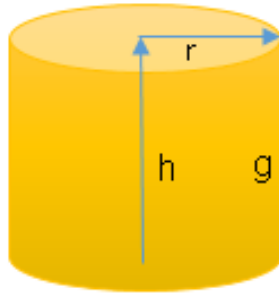


Figura 4. 1. Diagrama tanque de la represa.

Altura h: 0,50m

Radio r: 0,17m

Material: PVC

$$\text{Volumen: } V = \pi r^2 h [\text{m}^3] \quad \text{Ecuación. (4.6.1)}$$

$$V = \pi(0,17\text{m})^2(0,50\text{m})$$

$$V = 0.04537 [\text{m}^3]$$

##### 4.6.2. Selección de la bomba

La bomba centrífuga trifásica permite mover un cierto líquido entre dos niveles con diferencia de altura, en el módulo práctico moverá el agua almacenada en nuestro tanque que representa a la represa circulando por la tubería, proporcionando la presión necesaria para mover las turbinas Pelton y Francis y así inyectar suficiente cantidad de agua.

Pasos para la selección de la bomba donde se determinan diversas variables:

$$Q = \frac{V}{t} \quad \text{Ecuación. (4.6.2)}$$

Donde:

Q: Caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

V: Volumen ( $\text{m}^3$ ).

t: Tiempo (seg.).

$$H_t = \frac{P_d}{\gamma} + \frac{V_d^2}{2g} + Z_d - \left[ \frac{P_s}{\gamma} + \frac{V_s^2}{2g} + Z_s \right] \quad \text{Ecuación. (4.6.3)}$$

Donde:

$H_t$ : Altura manométrica total m.

$P_d$  ( $P_s$ ): Presión manométrica medida en la descarga y aspiración  $\text{KN}/\text{m}^2$ .

$\gamma$ : Peso específico del agua  $\text{N}/\text{m}^3$ .

$V_d$  ( $V_s$ ): Velocidad en la boquilla de descarga y aspiración  $\text{m}/\text{s}$ .

$g$ : Aceleración de la gravedad  $\text{m}/\text{s}^2$ .

$Z_d$  ( $Z_s$ ): Cota de los manómetros de la descarga y aspiración con respecto a la de referencia m.

$$\text{NPSH} = \left( \frac{P_a - P_v}{\rho} \right) + H_{\text{suc}} - H_f \quad \text{Ecuación. (4.6.4)}$$

Donde:

NPSH: Succión positiva neta (m).

$P_a$ : presión atmosférica (m).

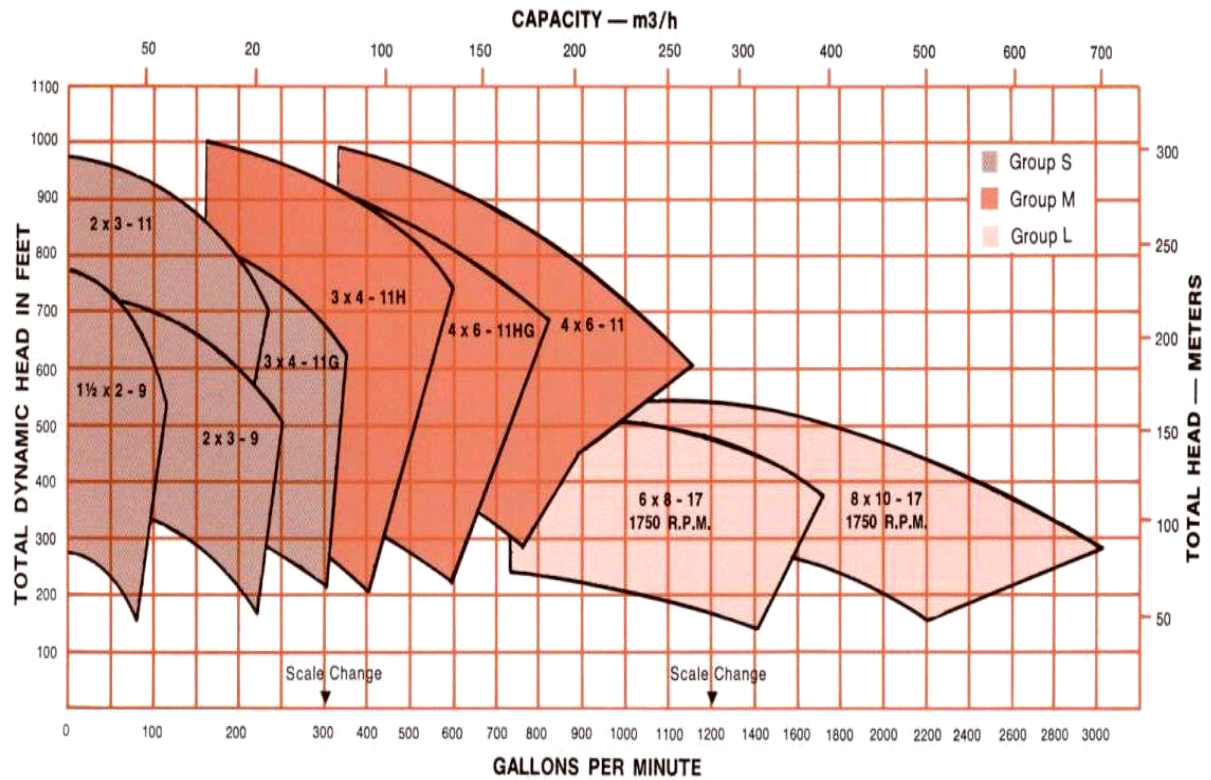
$P_v$ : Presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo.

$\rho$ : Gravedad específica del líquido bombeado.

$H_{\text{suc}}$ : Altura de succión (m).

$H_f$ : Perdidas por fricción en la tubería de succión.

# Performance Curve Model 3316 3560 R.P.M. Except as noted.



**Figura 4. 2.** Curvas de selección de la bomba.

**Fuente:** [39].

Características de la bomba seleccionada:

Marca: BARNES

Potencia: 3.6 HP.

Voltaje: 220 / 440 V.

Caudal: 60 gpm.

Frecuencia: 60 Hz.

Revoluciones: 3460 rpm.

Corriente: 10.8 / 5.4 A.



**Figura 4. 3.** Bomba centrífuga trifásica.

**Fuente:** [40].

### 4.6.3 Turbina Pelton

Es una turbina de acción muy utilizada y está recomendada en aquellos aprovechamientos a grandes saltos, es el elemento principal en este módulo junto con la turbina Francis ya que transforma la energía mecánica en eléctrica, se construyó un prototipo de la turbina que simulara a tiempo real las curvas de eficiencia, utilizaremos las siguientes ecuaciones:

$$Q = A \cdot V \quad \text{Ecuación. (4.6.5)}$$

Donde:

Q: Caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

v : Velocidad del fluido ( $\text{m}/\text{s}$ ).

A : Área transversal de la tubería ( $\text{m}^2$ ).

$$P_{\text{hidraulica}} = d \cdot g \cdot H \cdot Q \quad \text{Ecuación. (4.6.6)}$$

Donde:

P: Potencia Hidráulica ( $\text{J}/\text{s}$ ).

d: Densidad del agua ( $1000\text{Kg}/\text{m}^3$ ).

g: Gravedad ( $9.8 \text{ m}/\text{s}^2$ ).

H: Altura (m).

$$P = T \cdot \omega \quad \text{Ecuación. (4.6.7)}$$

Donde:

P: Potencia mecánica ( $\text{J}/\text{s}$ ).

T: Torque (N/m).

$\omega$ : Velocidad Angular (rad/s)

$$T = F \cdot d \quad \text{Ecuación. (4.6.8)}$$

Donde:

T: Torque (N/m).

F: Fuerza de fricción (N).

d : diámetro del rodete (m).

### **Eficiencia mecánica total $n_T$**

La eficiencia mecánica de la turbina Pelton es la relación entre la potencia mecánica y la potencia hidráulica de todo el sistema.

$$n_T = \frac{P_{\text{mecanica}}}{P_{\text{hidraulica}}} \quad \text{Ecuación. (4.6.9)}$$

Donde:

$n_T$ : Eficiencia mecánica (%).

P: Presión mecánica e hidráulica (Pa).

### **Formula de presión**

$$\text{Presion} = d \cdot g \cdot h \quad \text{Ecuación. (4.6.10)}$$

Presion: Presión de la bomba (Pa).

d: Densidad del fluido que es agua ( $1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$ ).

g: Gravedad ( $9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ ).

h: Caída que necesita la turbina para su funcionamiento (m).

$$U = 0.45\sqrt{2gH} \quad \text{Ecuación. (4.6.11)}$$

Donde:

U: Velocidad periférica o velocidad absoluta del álabe (s).

g: Fuerza de gravedad ( $\text{m/s}^2$ ).

H: Altura neta (m).

$$n_s = 3.65 \cdot n \cdot \sqrt{n_{tot}} \cdot Q^{\frac{1}{2}} H^{-\frac{3}{4}} \quad \text{Ecuación. (4.6.12)}$$

Donde:

$n_s$ : Número específico de revoluciones (Rev/min).

$n$  : (Rev/min).

$n_{tot}$ : Rendimiento total (constante).

$Q$ : Caudal ( $\frac{m^3}{s}$ ).

$H$ : Altura neta (m).

Con el cálculo de la velocidad específica se puede determinar el número de alabes para la turbina Pelton en la tabla 4.3.

**Tabla 4. 3.** Número de cucharas.

<b>Velocidad específica</b>	<b>Número de cucharas (z)</b>
4	40
6	37
8	34
10	30
12	28
14	26
18	22
22	20
26	17
32	15

**Fuente:** [41].

Características de la turbina Pelton seleccionada:

Diámetro del rotor: 26 cm.

Número de álabes: 24.

Material: Polietileno.



**Figura 4. 4.** Turbina Pelton.

**Fuente:** [42].

#### 4.6.4. Turbina Francis

Es una turbina de reacción y de flujo mixto está recomendada para un amplio rango de saltos y caudales siendo capaces de operar a rangos de desnivel, muy utilizadas en centrales hidroeléctricas por su alta eficiencia, elemento principal en este módulo junto con la turbina Pelton ya que transforma la energía mecánica en eléctrica, se construyó un prototipo de la turbina que simulara a tiempo real las curvas de eficiencia.

$$Q = A \cdot V \quad \text{Ecuación. (4.6.13)}$$

Donde:

Q: Caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

v : Velocidad del fluido ( $\text{m}/\text{s}$ ).

A : Área transversal de la tubería ( $\text{m}^2$ ).

$$P_{\text{hidraulica}} = d \cdot g \cdot H \cdot Q \quad \text{Ecuación. (4.6.14)}$$

Donde:

P: Potencia Hidráulica ( $\text{J}/\text{s}$ ).

d: Densidad del agua ( $1000\text{Kg}/\text{m}^3$ ).

g: Gravedad ( $9.8 \text{ m}/\text{s}^2$ ).

H: Altura (m).

$$P = T \cdot \omega \quad \text{Ecuación. (4.6.15)}$$



Donde:

P: Potencia mecánica (J/s)

T: Torque (N/m).

$\omega$  : Velocidad Angular (rad/s)

$$T = F \cdot d \quad \text{Ecuación. (4.6.16)}$$

Donde:

T: Torque (N/m).

F: Fuerza de fricción (N).

d : Diámetro del rodete (m).

Eficiencia mecánica total  $n_T$ :

La eficiencia mecánica de la turbina Pelton es la relación entre la potencia mecánica y la potencia hidráulica de todo el sistema.

$$n_T = \frac{P_{\text{mecanica}}}{P_{\text{hidraulica}}} \quad \text{Ecuación. (4.6.17)}$$

Donde:

$n_T$ : Eficiencia mecánica (%).

P: Presión mecánica e hidráulica (Pa).

Formula de presión :

$$\text{Presión} = d \cdot g \cdot h \quad \text{Ecuación. (4.6.18)}$$

Presión: Presión de la bomba (Pa).

d: Densidad del fluido que es agua ( $1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$ ).

g: Gravedad ( $9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ ).

h: Es la caída que necesita la turbina para su funcionamiento (m).

$$U = 0.45 \sqrt{2gH} \quad \text{Ecuación. (4.6.19)}$$

Donde:

U: Velocidad periférica o velocidad absoluta del álabe (s).

g: Fuerza de gravedad ( $m/s^2$ ).

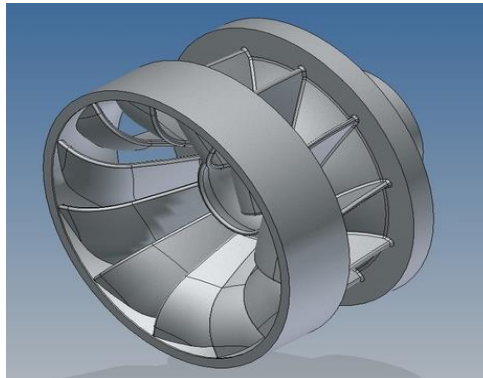
H: Altura neta (m).

Características de la turbina Francis seleccionada:

Diámetro del rotor: 15 cm.

Número de álabes: 12.

Material: Polietileno.



**Figura 4. 5.** Turbina Francis.

**Fuente:** [43].

#### **4.6.5. Variador de frecuencia**

El variador de frecuencia permite cambiar las revoluciones de la bomba y obtener diferentes casos de estudio del módulo práctico.

Características del variador de frecuencia seleccionado:

Marca: SIEMENS.

Modelo: SINAMICS V20.

Voltaje: AC 200 - 240 V.

Motor: 4 HP Frecuencia: 50/60 Hz.



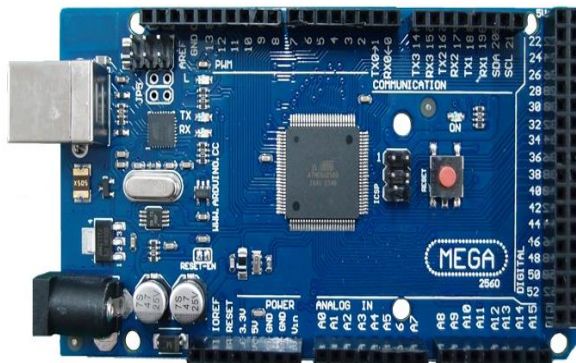
**Figura 4. 6.** Variador de frecuencia.

**Fuente:** [44].

#### 4.6.6. Arduino MEGA 2560

Es una plataforma que utiliza un código abierto basada en hardware libre y software flexible muy fácil de utilizar, se enfoca en facilitar la programación y el uso de elementos electrónicos donde los circuitos se pueden armar de forma manual o adquirirlos completamente.

Arduino seleccionado: MEGA 2560.



**Figura 4. 7.** Arduino MEGA 2560.

**Fuente:** [45].

#### 4.6.7. Pantalla HMI

Es una solución de interfaz humana e inmóvil (HMI) que proporciona una interfaz de control y visualización entre un ser humano y un proceso, máquina, aplicación o dispositivo, esta actualización reemplaza el LCD y el tubo LED.

Características de la pantalla HMI seleccionada: NEXTION

Toque: táctil resistiva.

Resolución: 800\*480.

Mostrar el tamaño en diagonal: 7 pulgadas.

Interfaz de comunicación: interfaz serie USART.

Voltaje de funcionamiento: 4.75 V.

Temperatura de trabajo:  $-20 + 70$  ° C.

16 MB Flash espacio.

Espacio de memoria RAM: 16 MB.



**Figura 4. 8.** Pantalla HMI Nextion.

**Fuente:** [46].

#### **4.6.8. Sensor de Peso**

Es un módulo que permite trabajar de forma rápida y sencilla que posee celdas de carga la cual mide fuerza en Kilogramos, es un dispositivo electrónico desarrollado con la finalidad de detectar los cambios eléctricos provocados por una variante en la intensidad de un peso aplicado sobre la báscula o balanza, información que a su vez transmite hacia un indicador de peso o controlador de peso.

Características del HX-711 Modulo Amplificador para celda de carga:

Digitalización completa en el chip HX-711.

Conexión a protoboard o tarjeta con Header Estándar.

2 canales diferenciales de entrada.

Interfaz de salida digital serial.

Regulador integrado en chip para fuente analógica.

Voltaje de operación: 2,7- 5 volts.

Corriente de operación: < 1,5mA.

Corriente en espera: < 1uA.

Identificación de cada señal:

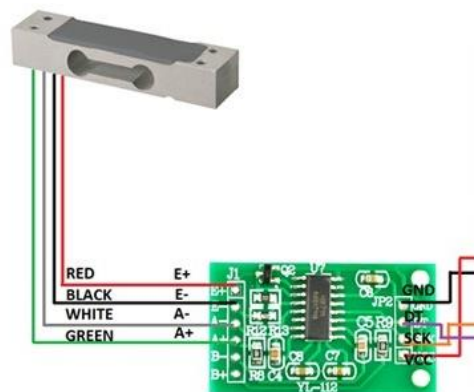
Rojo: Voltaje de excitación +, E+, VCC.

Negro: Voltaje de excitación-, E-, GND.

Blanco: Amplificador +, Señal +, A+.

Verde: Amplificador -, Señal -, A-.

Amarrillo: Tierra, normalmente no conectada a la celda, solo como protección contra interferencia electromagnética.



**Figura 4. 9.** Celda de peso HX-711.

**Fuente:** [47].

#### **4.6.9. Sensor de Presión (Dp-100)**

Los sensores de presión o transductores de presión, son muy habituales en cualquier proceso industrial o sistema de ensayo, son dispositivos que transforman la magnitud física de presión por unidad de superficie en una señal normalizada, este sensor permite medir la presión del agua utilizando una tecnología de llenado de aceite de silicona y el núcleo encapsulado en una pieza de trabajo, la señal de salida es de voltaje, los rangos de medida y precisión varían mucho en función de la aplicación.

Características del sensor de presión seleccionado:

No llevar-orificios de presión, no cavidades estructura plana.

Diversas formas de salida de la señal, voltaje, corriente, señales de frecuencia.

De alta precisión, de alta resistencia.

Higiénico, anti-fouling.

Alta precisión, alta estabilidad.

Protección contra la corrosión.

RS232 transmisor de presión OEM.



**Figura 4. 10.** Sensor de presión Dp-100.

**Fuente:** [48].

#### **4.6.10. Sensor de Caudal**

Los sensores de caudal para líquidos funcionan por ejemplo sobre la base de ultrasonidos, esta medición sin contacto tiene la ventaja que los sensores no están expuestos a golpes de ariete y medios sólidos, un sensor de flujo se encuentra ubicado en una línea de la tubería y para su medición consta de una válvula, un rotor y un sensor de efecto hall, cuando el rotor se mueve el sensor de efecto hall mide sus revoluciones haciendo que emita pulsos los mismos que permitirán determinar la cantidad de caudal que pasa por el sensor a través de su programación.

Características del sensor de caudal seleccionado:

Voltaje: 4.5V a 24V.

Intensidad Máxima: 15mA (5V DC).

Rango de Flujo: 1~200 Litros/min.

Capacidad de Carga: =10mA (DC 5V).

Temperatura Operativa: <80°C.

Temperatura del Líquido: <120°C.

Humedad Operativa: 35%~90%RH.

Presión de Agua: =1.75MPa.



**Figura 4. 11.** Sensor de caudal.

**Fuente:** [49].

#### **4.6.11. Sensor de Velocidad**

Los sensores de velocidad están diseñados como una alternativa a los tradicionales encoders, estos sensores son insensibles a la suciedad, golpes o vibraciones. Las ruedas de medida pueden ser adaptadas a cualquier geometría de la máquina (diámetro exterior, interior, número de impulsos, etc). El sensor emite una luz infrarroja que va entre el emisor y el receptor cuando se interrumpe esta luz el voltaje de salida lógico cambia a 0 y cuando la luz esta con normalidad arroja a la salida un 1 lógico.

Características del sensor de velocidad seleccionado:

Alimentación: 3.3-12VDC.

Chip principal: LM393.

Número de pines: 4.

Formato de salida: 0 y 1.

LED indicador de alimentación.

Dimensiones: 3,8 x 1,3 x 1,2 cm.



**Figura 4. 12.** Sensor de velocidad.

**Fuente:** [50].

#### 4.6.12. Tuberías y accesorios

Las tuberías y los accesorios conducen el caudal del agua a las turbinas Pelton y Francis que permitirán generar voltaje según los requerimientos que se establezca.

Lista de tuberías y accesorios seleccionados:

**Tabla 4. 4.** Tuberías y accesorios.

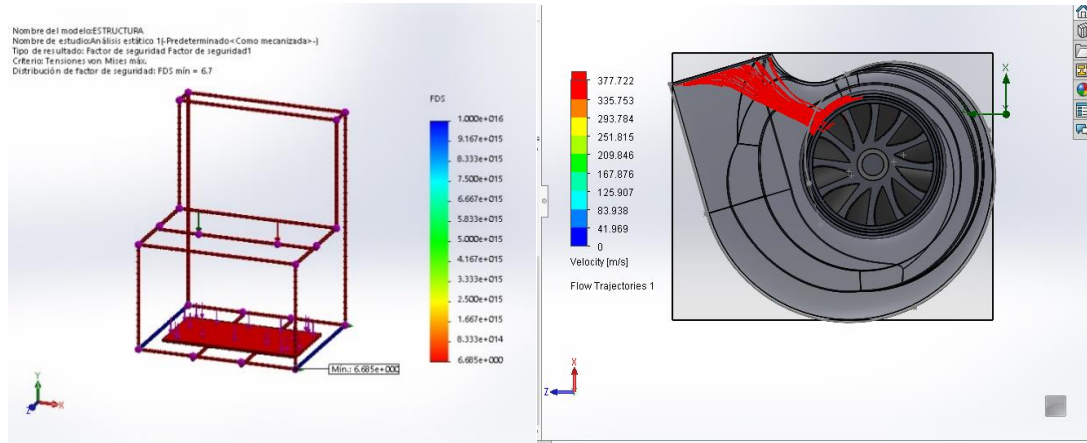
Descripción	Cantidad
Tubo PVC 1"	1m
Tubo PVC 1 $\frac{1}{2}$ "	2m
Codo 1"	5
Codo 1 $\frac{1}{2}$ "	4
Unión U 1 $\frac{1}{2}$ "	3
Neplo corrido 1 $\frac{1}{2}$ "	4
Abrazaderas	4
Neplo HG $\frac{1}{2}$ " X 4"	2

#### 4.6.13. Software SolidWorks

Para la simulación de la eficiencia de las turbinas Pelton y Francis se las realizó en el software SolidWorks una herramienta versátil, es su capacidad de ser asociativo, variacional y



paramétrico principal diferencia con respecto a otros programas de forma bidireccional con todas sus aplicaciones, en el cual a través de las variables presión, caudal, toque y velocidad Se logra obtener datos específicos de las turbinas hidráulicas además con la ayuda del software se determinó las tensiones, factor de seguridad, desplazamiento y deformación de la estructura del módulo.



**Figura 4. 13.** Estructura y turbina en SolidWorks.

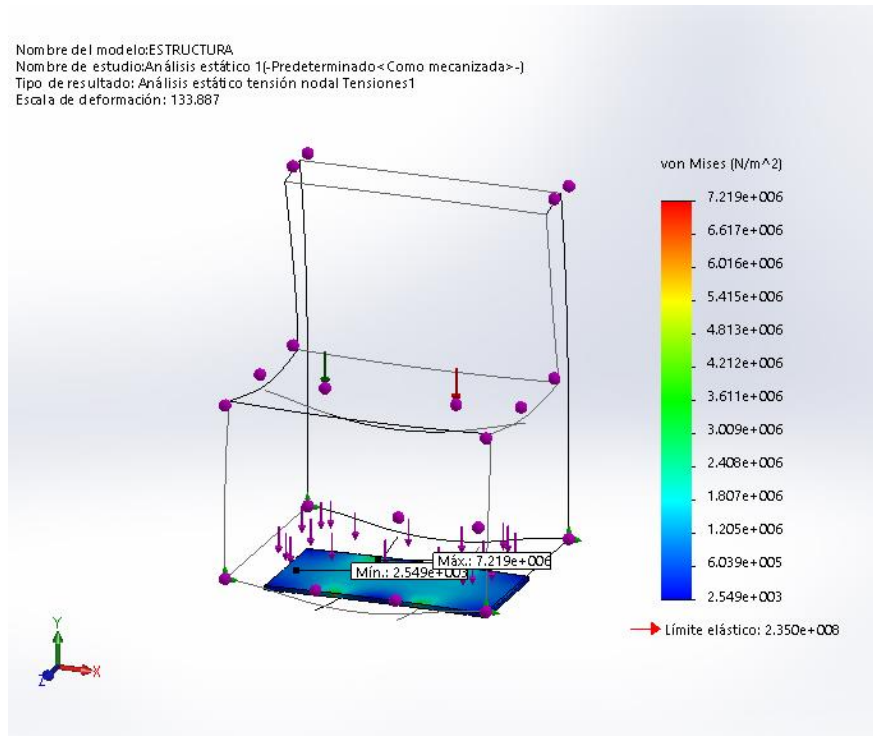
## 5.- ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se detalla los resultados y análisis realizados a las dos turbinas Pelton y Francis con la ayuda del software SolidWorks el cual nos ayuda a la comparación de los datos prácticos con los simulados, exponiendo las variables altura, caudal, velocidad, torque y presión los cuales serán necesarios para los datos requeridos para el análisis de la eficiencia de cada una de las turbinas.

### 5.1. Análisis de la estructura del módulo

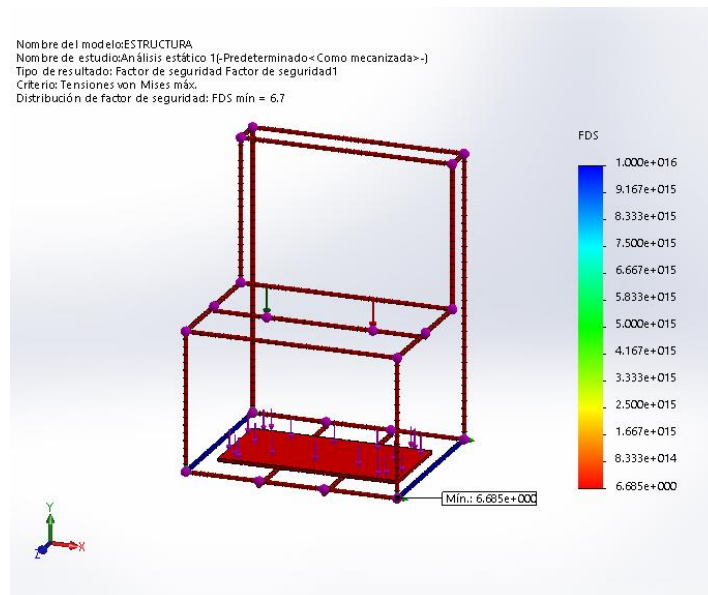
En la estructura del módulo se analiza las tensiones, factor de seguridad, desplazamiento y deformaciones unitarias el material a utilizar es tubo de 1plg y acero ST37 con la ayuda del software SolidWorks.

En la figura 5.1 se muestra el análisis estático tensión nodal Von Mises en el que muestra las tensiones de una mínima de  $2.549e+003 \text{ N/m}^2$  a una máxima de  $7.219e+006 \text{ N/m}^2$ .



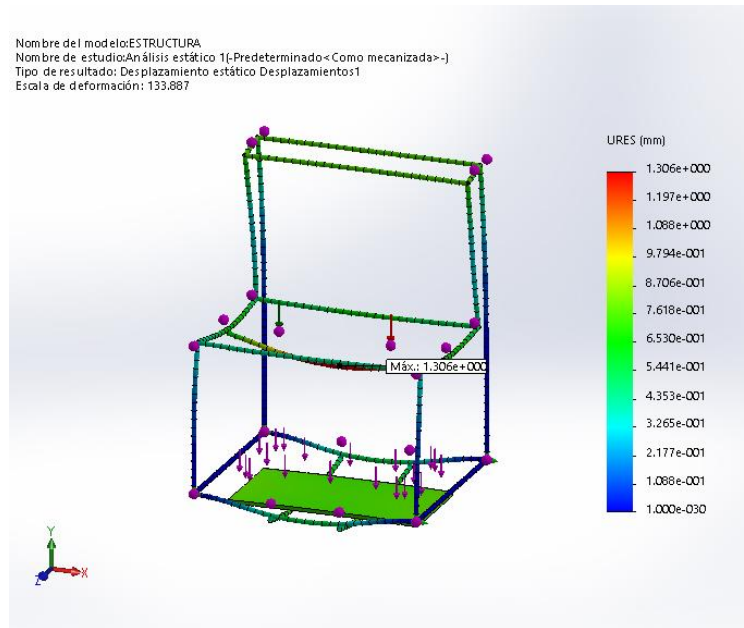
**Figura 5. 1.** Análisis de tensión de la estructura del módulo.

En la figura 5.2 se muestra el análisis del factor de seguridad de la estructura en el que muestra el factor mínimo de 6.685e +00 FDS y el factor máximo de 1.000e+016 FDS.



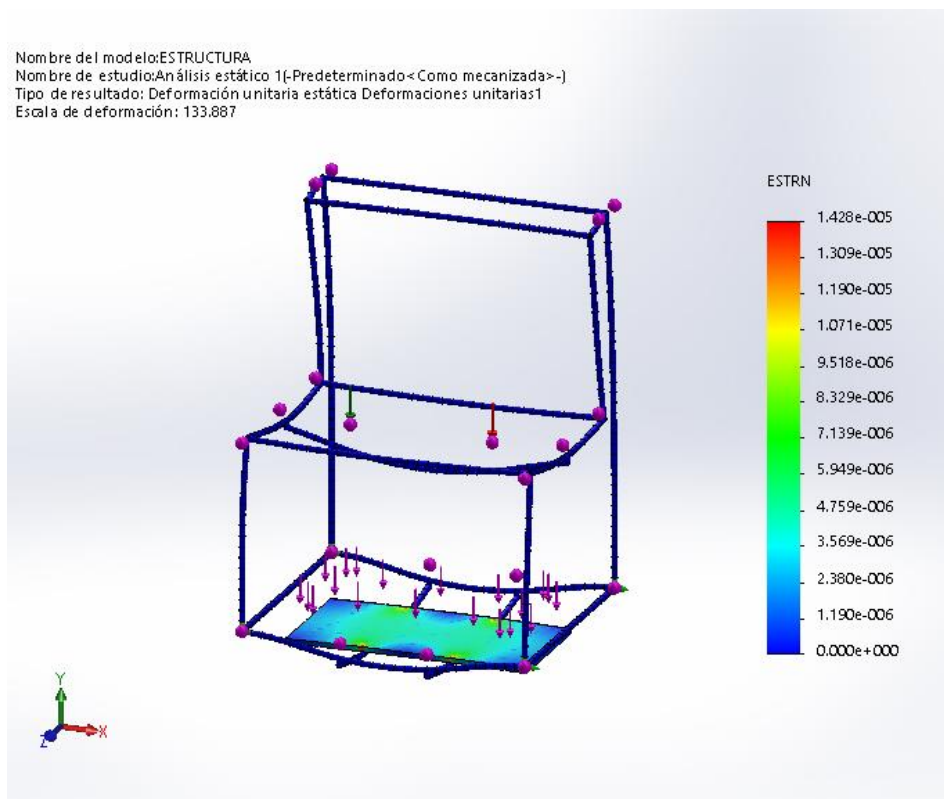
**Figura 5. 2.** Análisis del factor de seguridad de la estructura del módulo.

En la figura 5.3 se muestra el análisis del desplazamiento de la estructura en el que muestra el desplazamiento mínimo de 1.000e-030 mm y el desplazamiento máximo de 1.306e-00 mm.



**Figura 5. 3.** Análisis del desplazamiento de la estructura del módulo.

En la figura 5.4 se muestra el análisis de deformaciones unitarias de la estructura en el que muestra la deformación mínima de  $0.000e+000$  ESTRN y la deformación máxima de  $1.428e-005$ .



**Figura 5. 4.** Análisis de deformaciones unitarias de la estructura del módulo.

## 5.2. Análisis de las turbinas Pelton y Francis por software

Para determinar la eficiencia mecánica en SolidWorks se ingresan las condiciones iniciales en las cuales van las turbinas a trabajar y así determinar la eficiencia mecánica de las turbinas Pelton y Francis.

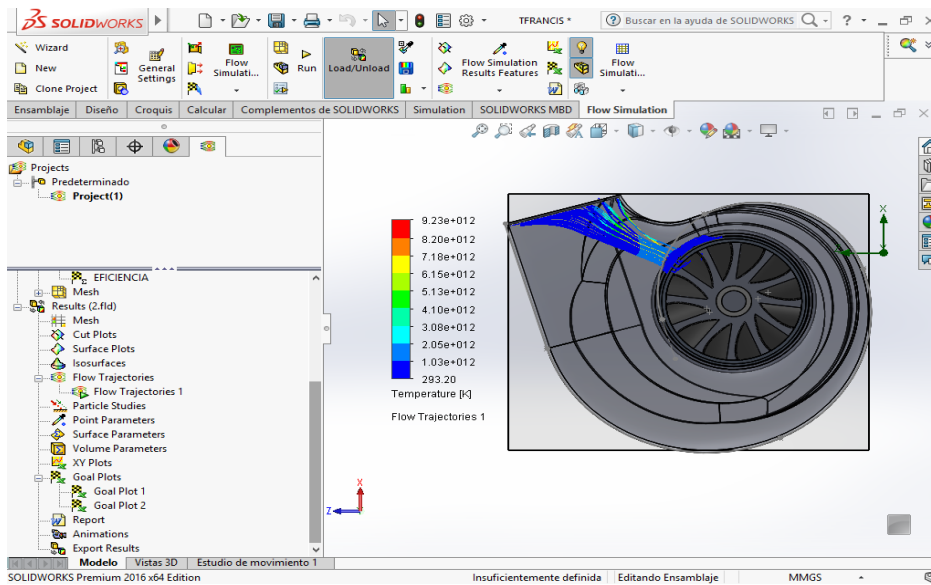


Figura 5. 5. Simulación turbina Francis.

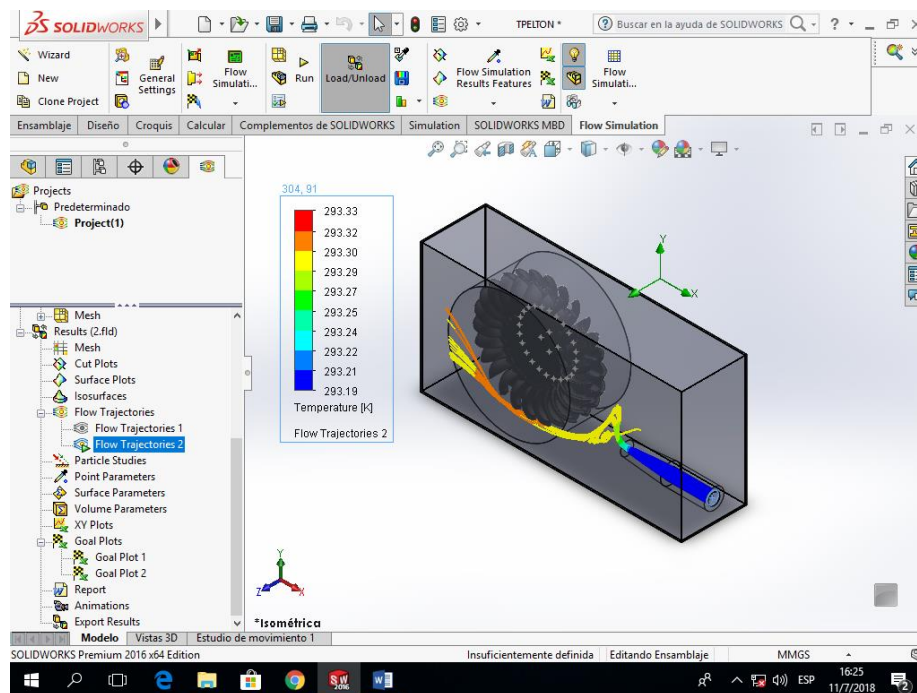


Figura 5. 6. Simulación turbina Pelton.

### Condiciones Iniciales a 50 metros

Static Pressure:	501000 Pa
Temperature:	300.10 K

En la tabla 5.1 se encuentra las condiciones de frontera a las cuales se simulo el trabajo de la turbina Pelton y Francis para encontrar la eficiencia mecánica.

**Tabla 5. 1.** Condiciones de Frontera.

<b>Type</b>	Inlet Volume Flow
<b>Coordinate system</b>	Face Coordinate System
<b>Reference axis</b>	X
<b>Flow parameters</b>	Flow vectors direction: Normal to face Volume flow rate: 0.0004 m <sup>3</sup> /s Fully developed flow: No
<b>Thermodynamic parameters</b>	Temperature: 300.10 K
<b>Turbulence parameters</b>	Boundary layer parameters

En la tabla 5.2 se indica los resultados obtenidos de la simulación, es decir la eficiencia mecánica que tiene la turbina pelton al trabajar a una altura de 50 metros, la cual tiene un rendimiento de la turbina de 50,9 %.

**Tabla 5. 2.** Resultados del Análisis a 50 metros.

Goal Name	Unit	Value	Delta
<b>GG Av Velocity 1</b>	[m/s]	1,96444026	0,044702258
<b>GG Torque (Z) 1</b>	[N*m]	8,017032389	3,510072318
<b>GG Efficiency</b>	%	50,9	3.510072318

### 5.3. Análisis turbinas Francis

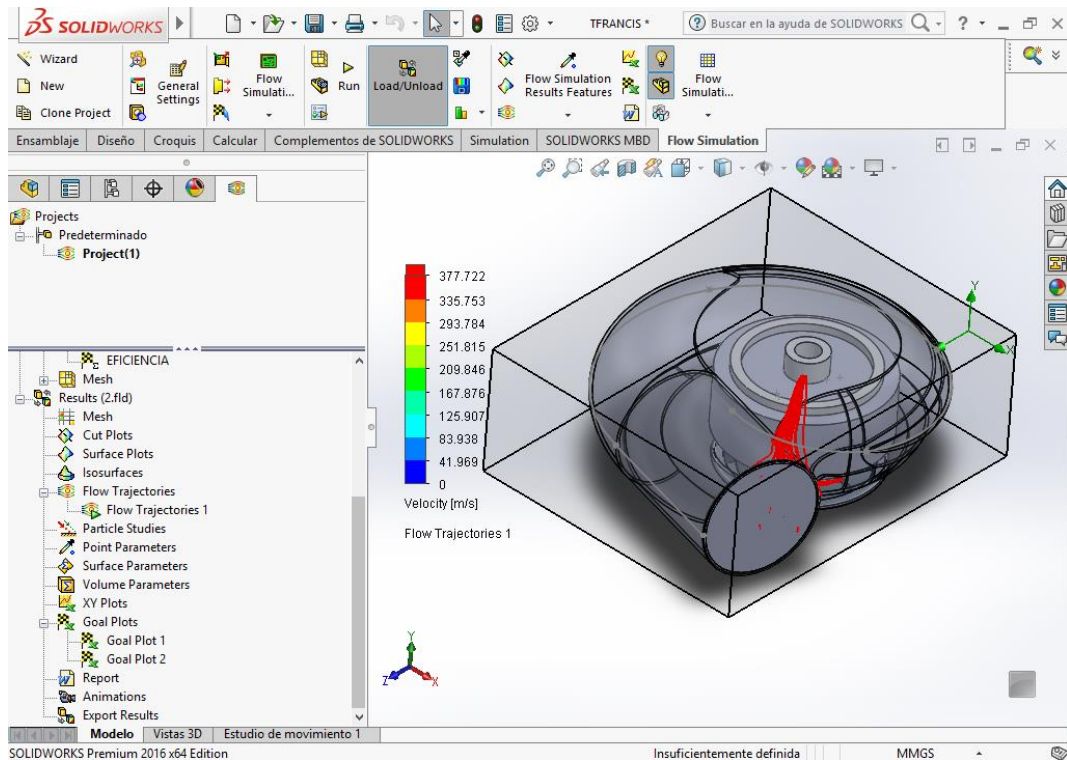
En la taba 5.3 se indica los resultados obtenidos de la simulación, es decir la eficiencia mecánica que tiene la turbina Francis caudal de 25 litros/min, generando un torque 0,49 Nm y una eficiencia máxima del 78,6%

**Tabla 5. 3.** Resultados del Análisis a un caudal de 16 litros/min.

Goal Name	Unit	Value	Delta
GG Av Velocity 1	[m/s]	8529856,358	1195605,765
GG Torque (Y) 1	[N*m]	2,84706E+15	2,29691E+14
EFICIENCIA	[%]	57,972	60397204967

#### 5.4. Análisis de velocidades de las turbinas Pelton y Francis

En las figuras 5.7 y 5.8 se presentan la simulación de velocidades de las turbinas, la turbina Francis con un mínimo de 0 y un máximo 377.722 m/s a un caudal de 25 litros/min, generando un torque 0,49 Nm, La turbina Pelton con un mínimo de 0 a un máximo de 5.478 a una altura de 50 metros, generando un torque 2,45 Nm y una máxima de 62%.



**Figura 5. 7.** Simulación de velocidad turbina Francis.

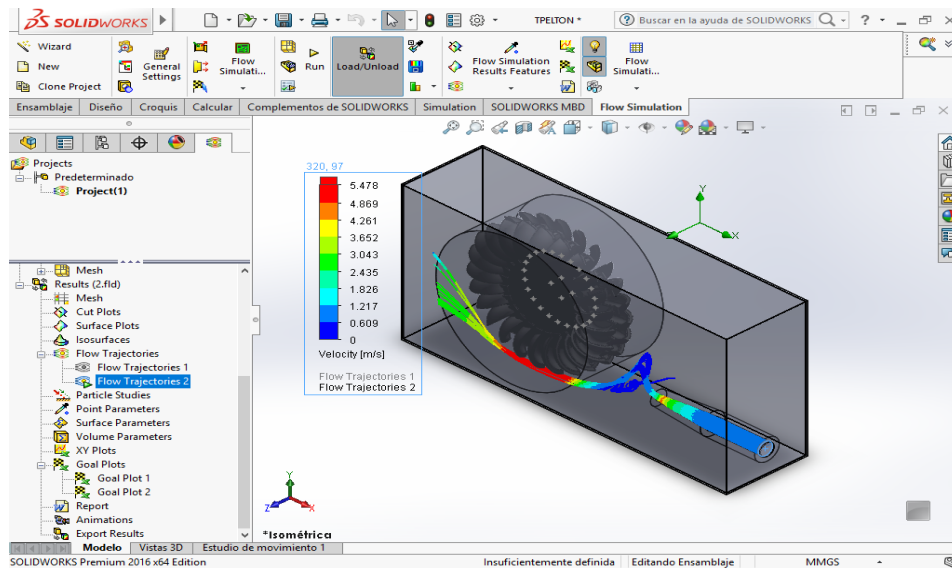


Figura 5. 8.Simulación de velocidad turbina Pelton.

### 5.5. Análisis de presión de las turbinas Pelton y Francis

En las figuras 5.9 y 5.10 se presentan la simulación de presiones de las turbinas, la turbina Francis con un mínimo de  $-1.34 \times 10^2$  Pa y un máximo  $3.02 \times 10^2$  Pa a un caudal de 25 litros/min, generando un torque 0,49 Nm, La turbina Pelton con un mínimo de 76632.95 Pa a un máximo de 16494.58 Pa a una altura de 50 metros, generando un torque 2,45 Nm

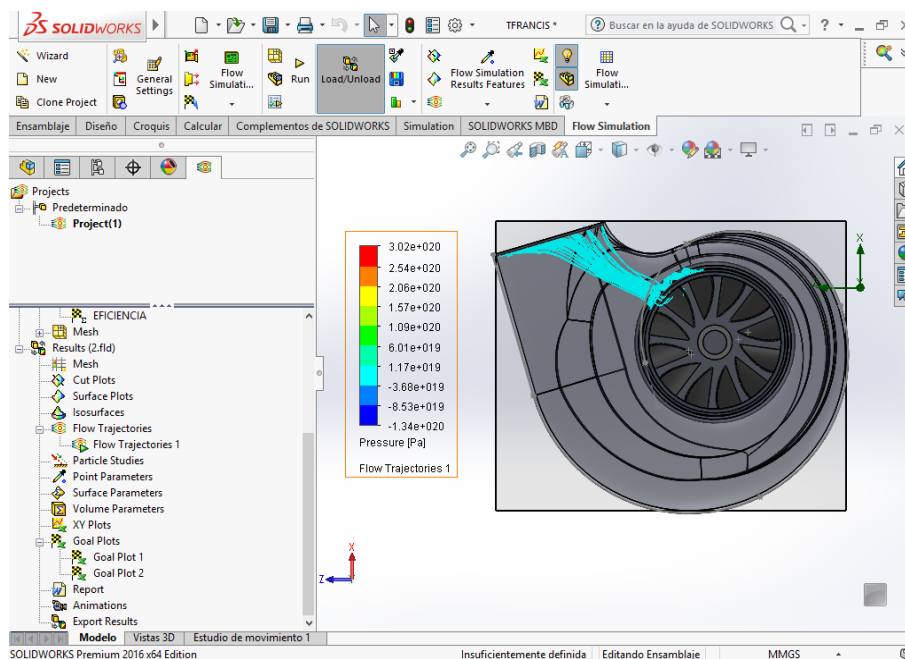
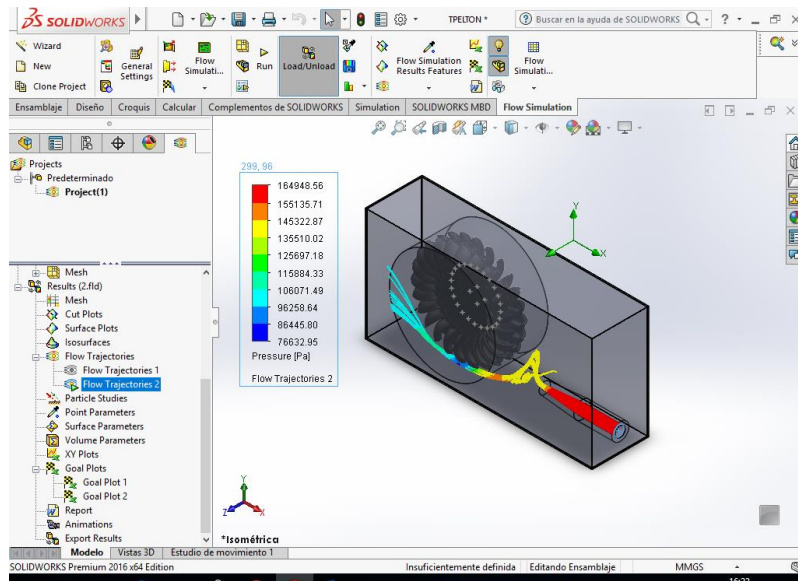


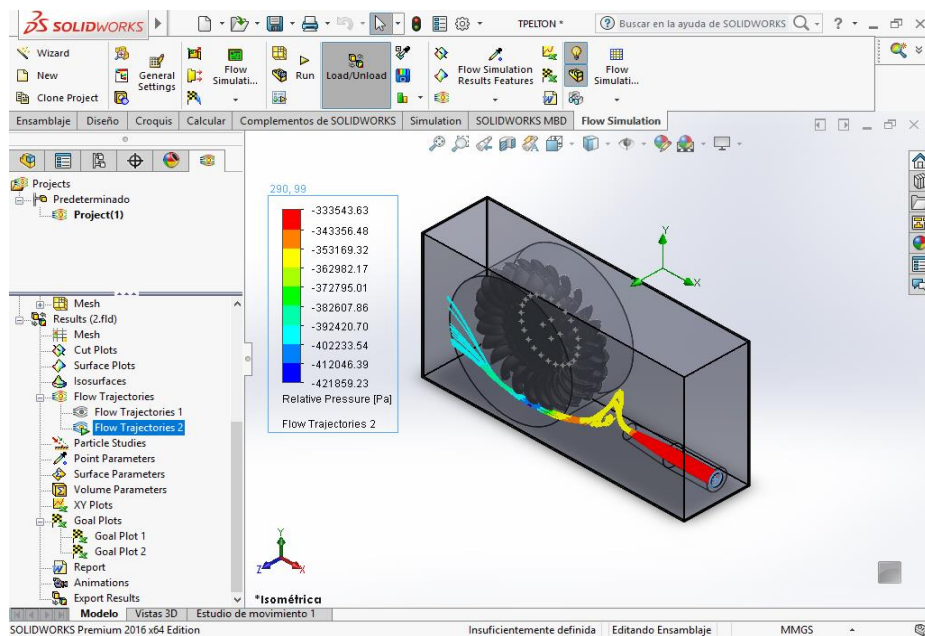
Figura 5. 9. Simulación de velocidad turbina Pelton.



**Figura 5. 10.** Simulación de velocidad turbina Pelton.

### 5.6. Análisis de la presión relativa de la turbinas Pelton

En las figuras 5.11 se presentan la simulación de presión relativa de, la turbina Pelton con un mínimo de -421859.23 Pa a un máximo de -333543.63 Pa a una altura de 50 metros, generando un torque 2,45 Nm y una máxima del 62%.



**Figura 5. 11.** Simulación de velocidad turbina Pelton.



## 5.7. Análisis Práctico

En el análisis práctico, el módulo se le activa a las condiciones de torque (2,45 Nm), y velocidad angular de (533RPM), a una altura de 50m por lo cual se observa la curva de rendimiento de la turbina Pelton que tiene un rendimiento de 52%.

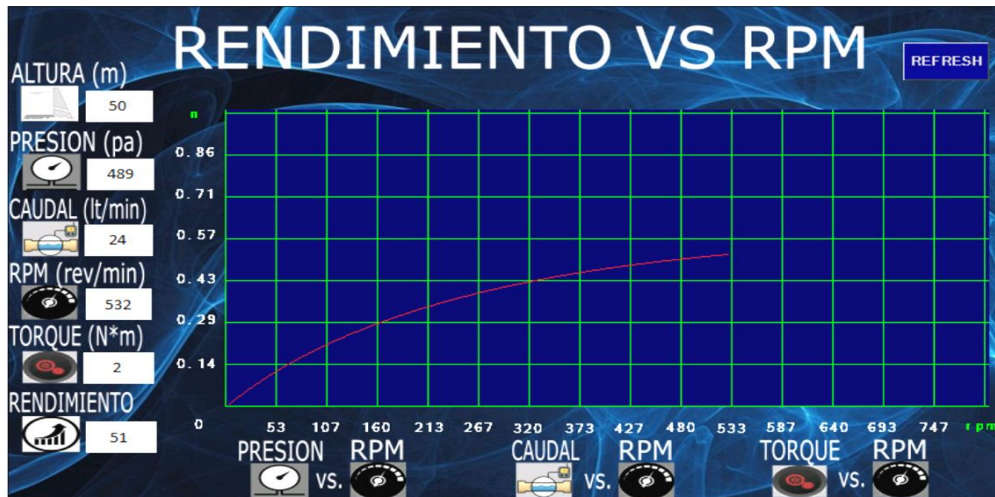


Figura 5. 12. Curva práctica turbina Pelton.

En el análisis práctico, el módulo se le activa a las condiciones de un caudal de 15 a 27 lt/min y de torque (2,9 Nm), y velocidad angular de (564 RPM), por lo cual se observa la curva de rendimiento de la turbina Francis que tiene un rendimiento de 49% a un 58%.

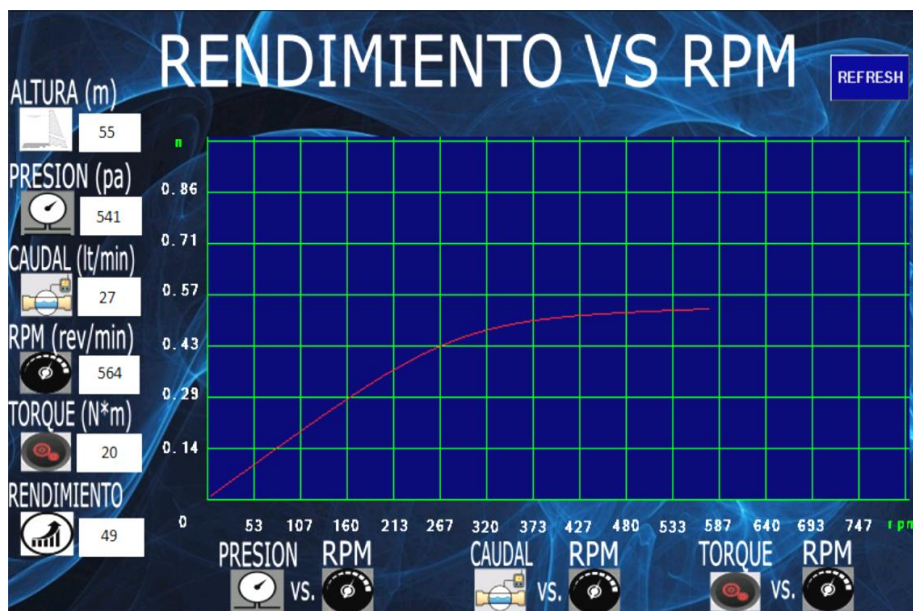
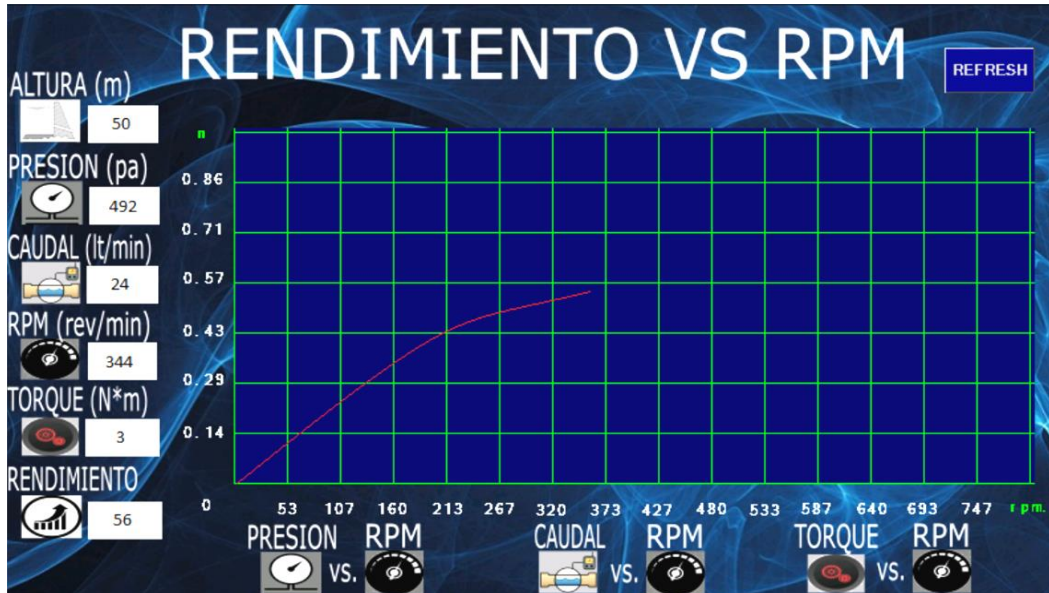


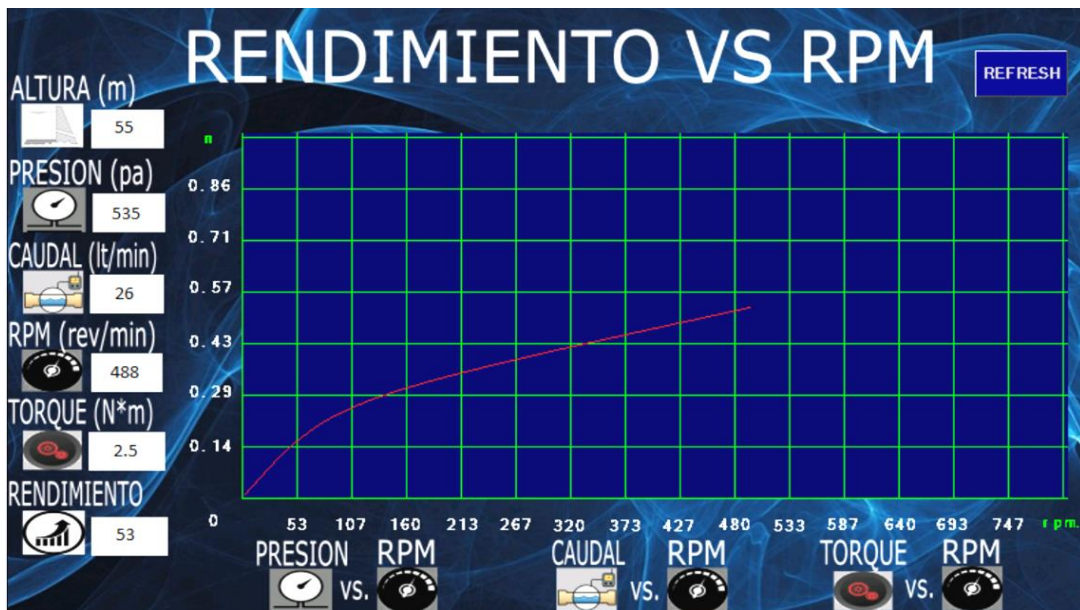
Figura 5. 13. Simulación de velocidad turbina Francis.

En el análisis práctico en otras condiciones, el módulo se le activa a las condiciones de torque (3 Nm), y velocidad angular de (340RPM), por lo cual se observa la curva de rendimiento de la turbina Pelton que tiene un rendimiento de 55%.



**Figura 5. 14.** Curva de rendimiento turbina Pelton con otras condiciones.

En el análisis práctico, el módulo la turbina Francis se le activa a las condiciones de un caudal de 26 lt/min y un torque de (2,5Nm), y velocidad angular de (488RPM), por lo cual se observa la curva de rendimiento de la turbina Francis que tiene un rendimiento de 53%.



**Figura 5. 15.** Curva de rendimiento turbina Francis en otras condiciones.

## 5.8. Análisis de la eficiencia mecánica de la turbina Pelton a una altura de 50 metros

En este se casó se trabajó en mimas condiciones, a una altura de (**50 m**), una presión de (**489 kPa**) y un torque de (**2 Nm**), en donde se determinó que la eficiencia varia por décimas, esto se debe que al momento de simular y realizar la programación no se utiliza todos los decimales, además tomando en cuenta que la turbina Pelton está diseñada para trabajar a una altura de 60 metros.

**Tabla 5. 4.** Rendimiento a 50 metros turbina Pelton.

<b>RENDIMIENTO</b>	<b>VALOR %</b>
PRÁCTICA	52
SIMULADO	50,9

## 5.9. Análisis de la eficiencia mecánica de la turbina Francis a un caudal de 16 a 27 lt/s.

En este se casó se trabajó en mimas condiciones, a un caudal de (16 a 27 lt/s), una velocidad angular de (564RPM) y un torque de (2 Nm), en donde se determinó que la eficiencia varia de un 49 a un 58 %.

**Tabla 5. 5.** Rendimiento a un caudal de 16 a 27 lt/s turbina Francis.

<b>RENDIMIENTO</b>	<b>VALOR %</b>
PRÁCTICA	49% - 59%
SIMULADO	59.3% - 60%

## 6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS

### 6.1. Presupuesto

En la siguiente propuesta tecnológica tenemos que tener en cuenta el presupuesto con el que contamos para la ejecución del mismo, determinar los costos directos e indirectos a través de

esto realizar un análisis de que tan factible resulta hacer este producto al mercado teniendo en cuenta los módulos ya existentes.

### 6.1.1. Directos

Los costos directos son los que se pueden asociar directamente a la producción de un solo producto y que debe figurar en nuestro proyecto como se detalla en la tabla 6.1:

**Tabla 6. 1.** Costos directos.

<b>Recursos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor total(\$)</b>
Bomba de agua 3.6 HP BARNES	1	595
Turbina Pelton	1	250
Turbina Francis	1	100
Variador de frecuencia	1	600
Arduino MEGA	1	28
Pantalla HMI	1	30
Sensor de peso	2	21
Sensor de presión	2	50
Sensor de velocidad	2	25
Sensor de caudal	2	15
Tanque reservorio	1	10
Estructura del módulo	1	80
Tuberías y accesorios	1	50
<b>Total</b>		1,854

### 6.1.2 Indirectos

Los costos indirectos son aquellos que afectan al proceso productivo en general de uno o más productos dependiendo el caso por lo que no se puede asignar directamente para el proyecto sin usar algún criterio de asignación como se detalla en la tabla 6.2:

**Tabla 6. 2.** Costos indirectos.

<b>Recursos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor total(\$)</b>
Materiales para la construcción	1	25
Mano de obra	1	200
Transporte	1	15
Alimentación	1	60
Suministros de oficina	1	18
<b>Total</b>		318

Una vez detallados los costos directos e indirectos los sumamos como se observa en la tabla 6.3:

**Tabla 6. 3.** Costos directos e indirectos más el IVA.

<b>Detalle</b>	<b>Valor total(\$)</b>
Costos directos	1,854
Costos indirectos	318
<b>Total</b>	2,172

## **6.2. Análisis de impactos**

### **6.2.1. Impacto económico**

Una vez determinados los costos directos e indirectos del proyecto basado en turbinas analizamos el costo beneficio de módulos que realizan la misma función didáctica en el ámbito internacional ya que en lo nacional no existe una empresa o productores independientes de estos equipos dedicados al análisis de rendimiento de turbinas Pelton y Francis en tiempo real, nuestro módulo es rentable y beneficioso, por lo tanto es factible considerando que el Valor Actual Neto (VAN) obtenido es de 8.132, 13 dólares americanos y la Tasa Interna de Retorno (TIR) obtenida es del 130% haciendo de nuestro equipo tecnológico muy económico y factible en el mercado local, el cálculo correspondiente al TIR y VAN claramente se puede observar en el anexo IV.

### **6.2.2. Impacto práctico**

La implementación de un módulo práctico de las turbinas Pelton y Francis para el laboratorio de Energías Renovables permite analizar y comparar las curvas de rendimiento de cada una de las turbinas y determinar cuál es más eficiente en las mismas condiciones de trabajo y variables de operación que se designe a través de la programación realizada con la finalidad de contribuir y fomentar el desarrollo de prácticas con módulos que se operen en tiempo real y modificar sus variables dependiendo el análisis que se requiere visualizar.

### **6.2.3. Impacto tecnológico**

La implementación del módulo práctico de turbinas Pelton y Francis permite observar las curvas de rendimiento en tiempo real que a través de una programación transforma las variables mecánicas a eléctricas para la comparación de eficiencia y el análisis entre las dos turbinas, aportando con la formación del estudiante facilitándole de lo último en tecnología, materiales y módulos de investigación acorde a los estándares de calidad de educación en nuestro país.

### **6.2.4. Impacto ambiental**

El modulo práctico de turbinas Pelton y Francis está enfocado en energías alternativas que nos provee la naturaleza en este caso nuestro principal recurso es el agua lo cual hace del módulo libre de contaminación ambiental que afecte el área del laboratorio de Energías Renovables, Universidad o el lugar donde se lo utilice.

## **7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **7.1. Conclusiones**

- A través de información se ha determinado que las turbinas Pelton tienen un excelente rendimiento entre 0,3 y 1,00 del caudal máximo, Francis es bueno solamente en un intervalo reducido, entre 0,6 y 1,00 del caudal máximo.
- El máximo rendimiento de una turbina Pelton es del 85% a comparación del rendimiento de una turbina Francis es del 90% siendo estas una de las más eficientes.
- Se construyó un módulo didáctico que permite simular una altura de caída de agua para la turbina Pelton y un caudal para la turbina Francis, al que se desea determinar la eficiencia mecánica de las turbina Pelton y Francis para esto se usó un variador de frecuencia SINAMICS V20 que permite variar la presión y caudal de una bomba

centrífuga de 3.6 HP la cual nos da una simulación altura de 60 metros de caída de agua y un caudal de 16lt/s a 27lt/s.

- Se determinó la curva de rendimiento mecánico, mediante la implementación de sensores de caudal FL 1258 (60 lt/min), velocidad (encoder FC-03), presión Dp-100 (3 PSI) y sensores de fuerza (5kg) HX-711. Con todas estas variables de la turbina Pelton y Francis se logró determinar las curvas en diferentes condiciones de altura y torque.
- A través de pruebas de la eficiencia mecánica de la turbina Pelton y Francis en casos diferentes, en cada uno de estos se realizó un estudio individual con diferentes torques y caudales.
- En la turbina Pelton la eficiencia mínima es del 51% a una altura de 50 metros, generando un torque 3,2 Nm y una máxima del 62% a 60 metros y un torque de 5,6 Nm.
- En la turbina Francis se determinó una eficiencia mínima es del 48% a una caudal de 16 litros/min, generando un torque 2,8 Nm y una eficiencia máxima del 58% a un caudal de 25 litros/min y un torque de 4,8 Nm.

## **7.2. Recomendaciones**

- Es necesario ampliar la investigación a otras turbomáquinas que permitan el análisis de rendimiento como son las turbinas Kaplan y Michell Banki que permita acondicionar un laboratorio de energías renovables.
- Los módulos permiten analizar la energía mecánica de una conservación de energía, es necesario incorporar un generador y analizar la eficiencia de la conversión de energía mecánica a eléctrica y poder estudiar sus variables.

## 8. REFERENCIAS

- [1] A. O. Couto, «La electricidad conceptos fenomenos y magnitudes electricas,» de La electricidad , Galicia , consellería de educación , 2013, p. 3.
- [2] M. Crane, «Producción y distribución de energía eléctrica,» de Industrias basadas en recurso naturales , Londres, Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo , 2014, p. 2.
- [3] L. Merino, «Energías renovables para todos,» de Energías renovables, Malaga , Haya Editora , 2014, pp. 2-3.
- [4] S. d. e. -. R. d. Argentina, «Conceptos sobre energía,» Energía, vol. 1, nº 1, p. 4, 2013.
- [5] H. Hamburg, «Engineering mechanics and fluid mechanics,» Empresa , 4 2 2018. [En línea]. Available: [https://www.gunt.de/images/download/hydroturbines\\_spanish.pdf](https://www.gunt.de/images/download/hydroturbines_spanish.pdf). [Último acceso: 3 Junio 2018].
- [6] C. Q. Xavier Criollo, «DISEÑO DE UNA MINI CENTRAL DE ENERGIA HIDROELECTRICA EN LA,» UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA, CUENCA, 2011.
- [7] A. Marchegiani, Turbinas Pelton, Comahue: Universidad , 2014.
- [8] Y. Gozáles, «Máquinas Hidráulicas,» Instituto Politécnico Ncional , 20 1 2018. [En línea]. Available: [http://gonzalezpyadira.mex.tl/858690\\_11--Turbina-Pelton-.html](http://gonzalezpyadira.mex.tl/858690_11--Turbina-Pelton-.html). [Último acceso: 4 Abril 2018].
- [9] J. d. A. y. M. Asuaje, Turbomáquinas hidráulicas, Suiza : CT-3411, 2015.
- [10] S. P. y. C. Renedo, Mecánica de fluidos y Máquinas Hidráulicas 2, Mexico: Creative Commons BY.NC-SA 3.0, 2017.
- [11] M. Bentancourt, Módulo de generación hidráulica de energía eléctrica, Pereira : Juan López, 2012.
- [12] «Diseño y contrucción de una turbina Pelton,» Fragmento de un proyecto, [En línea]. Available:



<http://kimerius.com/app/download/5780662731/Dise%C3%B1o+y+construcci%C3%B3n+de+una+turbina+Pelton+2.pdf>. [Último acceso: 4 5 2018].

- [13] P. F. Díaz, Bombas centrífugas y volumétricas, Cantabria : Santander , 2014.
- [14] J. Gallardo, «Sistemas de bombeo,» Revista Aguas para el Desarrollo, 28 7 2012. [En línea]. Available: <http://avias-aguassubterranas.blogspot.com/2010/07/revista-aguas-para-el-desarrollo-nov.html>. [Último acceso: 4 5 2018].
- [15] F. Serillano, «Electricidad - Electrónica,» de Sistemas de regulación y control automático , España , Grupo E33A, 2013, pp. 1-2.
- [16] S. Hidráulica, Valvulería para agua fría, Barcelona: Standar Hidráulica, 2015.
- [17] «skf,» Empresa , 1 4 2015. [En línea]. Available: <http://www.skf.com/ar/industry-solutions/wind-energy/applications/main-shaft/index.html>. [Último acceso: 15 5 2018].
- [18] msm, «Guía de la industria,» Empresa , 6 1 2017. [En línea]. Available: <http://www.guiadelaindustria.com/empresa/msm-mecanizados-san-miguel-fabrica-de-ejes-y-puntas-de-ejes-para-acoplados-agricolas-solo-recibimos-consultas-por-este-medio-no-dude-en-enviarnos-su-inquietud-que-en-breve-sera-respondida-/25707>. [Último acceso: 16 5 2018].
- [19] P. Bio, «VALVULAS,» 1 2 2013. [En línea]. Available: <http://procesosbio.wikispaces.com/Valvulas>. [Último acceso: 16 6 2018].
- [20] J. C. López, Cojinetes, Colombia : Proyectos ingeniería mecánica , 2014.
- [21] Mecanismo1bach, «Cojinetes,» Wordpress, 2 5 2018. [En línea]. Available: <https://mecanismos1bach.wordpress.com/otros-elementos/elementos-de-friccion-cojinetes/>. [Último acceso: 16 6 2018].
- [22] J. A. Larios, Diseño, montaje de un prototipo de una microcentral hidroeléctrica, Santiago - Chile : Universidad de Chile, 2012.
- [23] G. Solari, Ficha técnica turbinas Pelton, Lima : ITDG publicaciones , 2014.

- [24] J. Gallego, Caracterización de una turbina del tipo Francis, Medellín: Universidad EAFIT, 2013.
- [25] Coverweb, «Eternoo machinery,» Empresa , 1 1 2014. [En línea]. Available: <http://es.eternoohydro.com/>. [Último acceso: 28 6 2018].
- [26] I. M. -. W. Santana, Diseño de una turbina Hidráulica, Managua : Universidad UNIRUPAP, 2012.
- [27] H. tech, «Ingenierias SAS,» Empresa, 15 2 2013. [En línea]. Available: <http://hydro-tech.com.co/web/turbinas/>. [Último acceso: 26 6 2018].
- [28] Equipo2Fae, «Plantas Hidroeléctricas,» Documentos , 20 4 2017. [En línea]. Available: <https://equipo2fae.wordpress.com/turbinas-francis/>. [Último acceso: 27 6 2018].
- [29] I. Suescún, Centrales Hidráulicas, Colombia: Universidad UNAL, 2013.
- [30] I. Paraguay, «Turbina Francis,» Rama estudiantil de la UCSA, 1 1 2012. [En línea]. Available: <https://ramaucsa.wordpress.com/2011/01/14/turbinas-francis-i/>. [Último acceso: 26 6 2018].
- [31] E. Paz, «Turbomáquinas hidráulicas,» Slideplayer , 28 5 2014. [En línea]. Available: <https://slideplayer.es/slide/1075580/>. [Último acceso: 27 6 2018].
- [32] V. Yepez, «Turbina Francis,» Politécnica de Valencia , 16 1 2017. [En línea]. Available: <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/turbina-francis/>. [Último acceso: 26 6 2018].
- [33] «Verka,» Sistemas de energía , 14 8 2017. [En línea]. Available: <http://www.verka.com.br/turbina-francis>. [Último acceso: 27 7 2018].
- [34] A. Marchegiani, Cavitacion, Comahue : Universidad , 2014.
- [35] S. Morales, «Etapas de pequeñas centrales,» 7 4 2018. [En línea]. Available: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/rt/printerFriendly/39757/53963>. [Último acceso: 28 6 2018].

- [36] EDIBON, «Turbina Pelton controlada desde Computador con SCADA,» EDIBON, p. 16, 2017.
- [37] D. -. Puruncajas, Central picohidroeléctrica, Latacunga : UTC, 2014.
- [38] Asamblea Nacional del Ecuador, LEY ORGANICA DE EDUCACION SUPERIOR, Quito, 2010.
- [39] e-Reding, «Manual para el diseño de una red hidráulica,» ETSI , 23 2 2012. [En línea]. Available: <http://bibing.us.es/proyectos/acerca/>. [Último acceso: 10 7 2018].
- [40] barnes, «barnes WDM,» Empresa , 1 1 2018. [En línea]. Available: <http://www.barnes.com.co/>. [Último acceso: 28 7 2018].
- [41] L. Ferrada, Diseño de una turbina, Chile , 2012.
- [42] D. Direct, «Direct Industry,» Empresa , 1 1 2018. [En línea]. Available: <http://www.directindustry.es/fabricante-industrial/turbina-pelton-120168.html>. [Último acceso: 28 7 2018].
- [43] G. solutions, «GrabCad,» Stratasys, 1 1 2018. [En línea]. Available: <https://grabcad.com/library/francis-turbine--1>. [Último acceso: 24 6 2018].
- [44] Supermarket, «Inverter Drive,» Empresa , 1 2 2018. [En línea]. Available: <https://inverterdrive.com/group/AC-Inverter-Drives-400V/Siemens-V20-6SL3210-5BE25-5CV0/>. [Último acceso: 25 6 2018].
- [45] makerlab, «Makerlab electronics,» Empresa , 1 2 2018. [En línea]. Available: <https://www.makerlab-electronics.com/product/arduino-mega-2560-r3/>. [Último acceso: 25 6 2018].
- [46] Banggood, «Banggood,» Empresa , 1 2 2018. [En línea]. Available: [https://www.banggood.com/pt/3\\_2-Inch-Nextion-HMI-Intelligent-Smart-USART-UART-Serial-Touch-TFT-LCD-Screen-Module-p-1105286.html](https://www.banggood.com/pt/3_2-Inch-Nextion-HMI-Intelligent-Smart-USART-UART-Serial-Touch-TFT-LCD-Screen-Module-p-1105286.html). [Último acceso: 25 6 2018].

- [47] CyD, «cdtecnologia,» Empresa , 1 2 2018. [En línea]. Available: <http://cdtecnologia.net/sensores/321-sensor-de-peso-hx711.html>. [Último acceso: 1 2 2018].
- [48] S. s. comperi, «Zipy,» Empresa , 1 2 2018. [En línea]. Available: [https://www.zipy.ro/p/ali/ultisolar-pressure-sensor-transmitter-dc-5v-g1-4-0-1-2-mpa-0-174-psi-for-water-gas-oil/32836819441/..](https://www.zipy.ro/p/ali/ultisolar-pressure-sensor-transmitter-dc-5v-g1-4-0-1-2-mpa-0-174-psi-for-water-gas-oil/32836819441/) [Último acceso: 1 2 2018].
- [49] Silicio.MX, «Sensor de flujo de agua,» Empresa , 1 2 2018. [En línea]. Available: <http://silicio.mx/sensor-de-flujo-de-agua-3-4>. [Último acceso: 12 6 2018].
- [50] Androminarobot, «Encode arduino,» Empresa , 1 2 2018. [En línea]. Available: <http://androminarobot.blogspot.com/2016/07/>. [Último acceso: 14 6 2018].

**ANEXOS**

**ANEXO I**  
**MANUAL DE**  
**MANTENIMIENTO**  
**Y GUÍA DE**  
**PRÁCTICA**

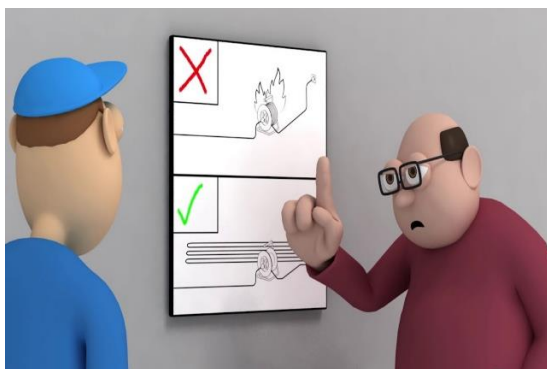
El Manual de Operación y Mantenimiento del módulo para prácticas de análisis de rendimiento de las turbinas Pelton y Francis, es el instrumento más importante que garantizará la seguridad de los usuarios al realizar las prácticas respectivas. El propósito de este documento es el de proporcionar una guía detallada para llevar a cabo la correcta manipulación de los elementos antes, durante y después de la operación.

### 1. Detalles del módulo de turbinas Pelton y Francis

El módulo que está a disposición de docentes y estudiantes en el laboratorio de Energías renovables de la carrera de Ingeniería Electromecánica, tiene como objetivo determinar el rendimiento de las turbinas Pelton y Francis para el análisis de eficiencia de cada una de ellas, permitiéndole al usuario interactuar directamente con los instrumentos de medición para observar el comportamiento de las turbinas y modificar las variables de operación de acuerdo a las condiciones que se necesite.

### 2. Normas de seguridad

- Estar bajo la supervisión y asesoramiento de un docente entendido en el tema.
- El módulo tiene un sistema de interruptor de perilla de marcha y paro para el encendido y apagado en el momento de suscitarse una emergencia y también nos permite abrir o interrumpir el circuito eléctrico para el funcionamiento, a la vez existe un sistema de freno en las turbinas para mayor seguridad.



**Figura I.1.** Supervisión de un docente.

### 3. Elementos de control

- Como elemento de control tendremos a un contactor trifásico que está conectado a un interruptor de perilla para el arranque del sistema que está ubicado en la parte frontal del tablero el mismo que va a activar la luz piloto que indica si esta encendido o apagado el sistema.
- La Válvula de bola que está conectada a la tubería, que permitirá el control manual del caudal de agua a cada una de las turbinas accionándolas al mismo tiempo o por separado.
- El Variador de Frecuencia ubicado en la parte frontal del tablero, ayuda a incrementar o disminuir las revoluciones por minuto (RPM) de la Bomba Centrífuga, permitiendo experimentar la velocidad con la que va a girar para los diferentes casos de prácticas.
- Luz piloto verde para verificar si el módulo está en marcha o paro.



**Figura I.2.** Elementos de control.



## 1. Elementos de medición

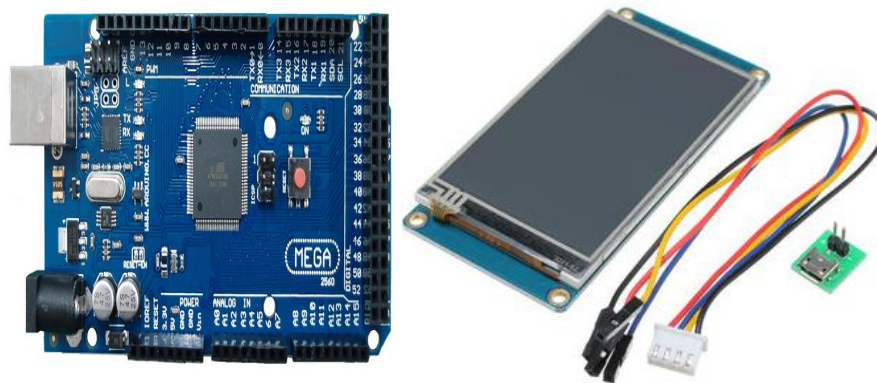
Se emplea para medir el comportamiento de magnitudes a través del transductor que transforma las señales mecánicas a electricas.



**Figura I.3.** Elementos de medición.

## 2. Elementos de programación y visualización

El arduino MEGA 2560 el mismo que fue programado para la visualización de datos en la pantalla HMI NEXTION de 7 pulgadas para mirar las curvas de eficiencia de cada una de las turbinas.



**Figura I.4.** Elementos de programación y visualización.

### 3. Elemento de almacenamiento

El elemento de almacenamiento de nuestro módulo de análisis es el que acopia la cantidad de agua suficiente que luego será utilizada en el sistema que fue diseñado para cada turbina una vez terminado este proceso recibe la misma cantidad de agua sin desperdiciar el líquido vital.



**Figura I.5.** Elemento de almacenamiento.

### 4. Elemento de conducción

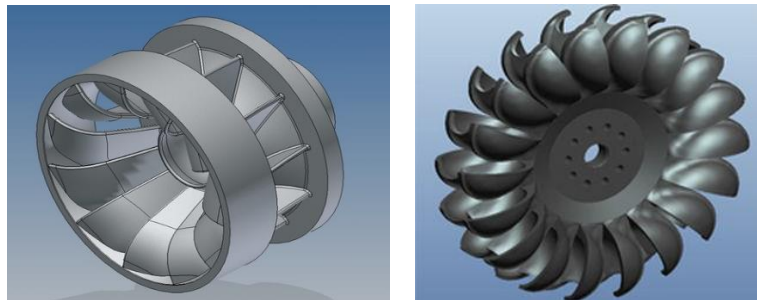
- Los elementos de conducción la conforman todos los elementos por donde va a circular el agua desde su inicio hasta su final en el proceso, las tuberías, codos, uniones, derivaciones y reductores que son de material PVC.
- La Bomba Centrífuga nos permitirá experimentar una caída de agua real que al llegar a la turbina tendrá la velocidad y fuerza necesaria para moverla.



**Figura I.6.** Elementos de conducción.

## 5. Elementos de generación para el análisis del rendimiento

- La cantidad de agua que impulsa la bomba pasara por los inyectores de cada turbina para girar y que transformará la energía cinética en energía mecánica.
- La energía mecánica que se genera en las turbina transmitirá sus valores de precio, caudal, torque y se visualizara las curvas de rendimiento en la pantalla HMI a través de la programación realizada.



**Figura I.7.** Elementos de generación.

## 6. Mantenimiento

- Realizar la limpieza del módulo revisando que este des energizado para mayor seguridad.
- Vaciar el recipiente almacenador a través de la válvula de bola colocada para este fin y realizar la respectiva limpieza.
- Engrasar los rodamientos trimestralmente o de acuerdo al uso al que va a ser sometido.
- Limpiar el módulo de trabajo una vez por semana para su conservación.
- Ubicarlo en un lugar seco y libre de polvo para su correcto funcionamiento y mantenibilidad.
- Manipular los elementos y equipos de la manera correcta y con la supervisión del profesor guía.
- Inspeccionar y verificar que los equipos del módulo se encuentren operando de la mejor manera si no dar el mantenimiento preventivo o correctivo adecuado si fuera este el caso.



**Figura I.8.** Mantenimiento.

## 7. Precauciones

Tener muy en cuenta los siguientes consejos para evitar accidentes o percances con el módulo y la correcta manipulación de los equipos y herramientas:



**Figura I.9.** Precauciones.

- Asegúrese que la fuente de energía donde va a ser conectada este en perfecto estado, que no tenga ninguna avería.
- No poner en marcha el banco de pruebas si el almacenamiento de agua se encuentra vacío ya que ocasiona daños a la bomba.
- Verificar que el nivel de agua del recipiente sea el indicado antes de poner en marcha el banco de pruebas.
- Verificar que la válvula se encuentre completamente abierta para poner en marcha el banco de pruebas.
- Realizar las prácticas siguiendo los procedimientos correctos que se encuentran en la guía de prácticas.

- Mantener el orden (no jugar) a el momento de realizar alguna práctica.

## 8. Simbología

Tener en cuenta las señales de prevención de riesgos que tiene el laboratorio de Energías Renovables teniendo en cuenta el peligro que podemos estar expuestos al no respetarlos.



Esta señal nos indica la restricción del paso a personas particulares que no formen parte del laboratorio.



El estudiante debe usar obligatoriamente el mandil para realizar cualquier tipo de prácticas.



Esta señal nos indica que estamos expuestos a un alto voltaje y que nos manejemos con los EPP adecuados y tener mucho cuidado.



Esta señal nos indica que en esa área es prohibido cualquier tipo de bebida o alimento.



Esta señal indica la restricción de realizar alguna actividad deportiva en esa área.



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## PRÁCTICA DE LABORATORIO

CARRERA	CÓDIGO DE LA ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA	IELMOP3	Energías Renovables

PRÁCTICA N°	LABORATORIO:	Energías Renovables	DURACIÓN (HORAS)
01	NOMBRE DE LA PRÁCTICA:	Análisis de rendimiento de las Turbinas Pelton y Francis	2

1	OBJETIVOS
	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Determinar la eficiencia de trabajo en tiempo real de las turbinas Pelton y Francis a través de las variables de operación.</li><li>➤ Modificar las variables de operación de acuerdo a los parámetros que se necesite o el docente establezca.</li></ul>

2	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA
	<h3>2.1. INTRODUCCIÓN</h3> <p>La turbina Pelton es uno de los tipos más eficientes de turbina hidráulica. Es una turbomáquina motora, de flujo tangencial (transversal), admisión parcial y de acción, las turbinas Pelton están diseñadas para explotar grandes saltos hidráulicos de bajo caudal, su eficiencia es del 88% aproximadamente.</p> <p>La turbina Francis se puede diseñar para un amplio rango de saltos y caudales, siendo capaces de operar en rangos de desnivel que van de los dos metros hasta varios cientos de metros. Esto, junto con su alta eficiencia, ha hecho que este tipo de turbina sea la más ampliamente usada en el mundo, principalmente para la producción de energía eléctrica en centrales, es una turbomáquina de reacción y su eficiencia es del 93 % aproximadamente.</p>

## 2.2. EQUIPO, INSTRUMENTOS Y MATERIALES NECESARIOS

CANTIDAD	ELEMENTO
1	Computadora con Solidworks para simulación y comparación de datos
1	Multímetro

## 2.3. MEDIDAS DE SEGURIDAD

Guía de un docente para la manipulación de los equipos.

Equipos de protección personal.

No poner en marcha el banco de pruebas si el almacenamiento de agua se encuentra vacío ya que ocasiona daños a la bomba.

El módulo opera con 220V.

No energizar el módulo sin haber revisado que todo este correcto.

## 2.4. TRABAJO PREPARATORIO

### 2.4.1. ACTIVIDADES A DESARROLLAR

Verificar el nivel de agua para poder poner en marcha el módulo.

Conectar el módulo al tomacorriente con energía de 220V y encenderlo a través del interruptor tipo perilla que lo tenemos en la parte frontal.

Modificar el variador de frecuencia de acuerdo a los parámetros que establezca el docente.

Ingresar las variables como altura, presión, caudal y torque para que el programa realizado cense las condiciones de operación y se pueda visualizar en la pantalla HMI las curvas de rendimiento en tiempo real de las turbinas.

Comparar las curvas obtenidas en el módulo con la simulación en solidworks.

Realizar una tabla entre los datos obtenidos en la simulación y los del módulo para verificar cual turbina es más eficiente y si varían los datos en el análisis de los dos métodos.

### 2.4.2. METODOLOGÍA Y TÉCNICA EXPERIMENTAL

Para el análisis de rendimiento se utilizan las siguientes fórmulas de cada una de las variables:

$$Caudal = A.V$$

$$\text{Velocidad de giro de la turbina} = \frac{2 \cdot \pi \cdot l}{60}$$

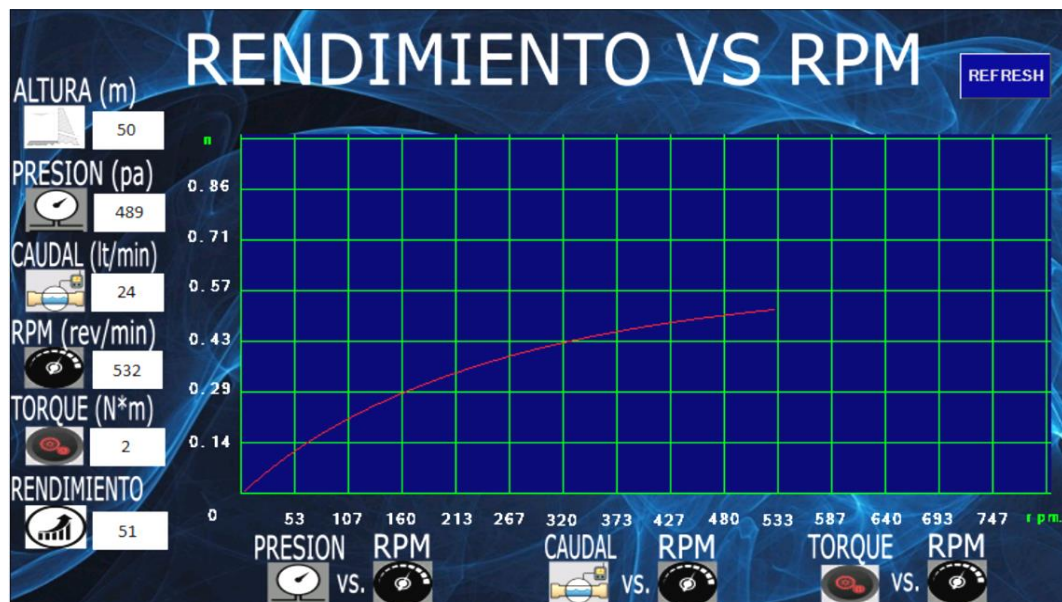
$$\text{Presion} = d \cdot g \cdot h$$

$$\text{Phidraulica} = d \cdot g \cdot Q \cdot h$$

$$\text{Pmecanica} = T \times \omega$$

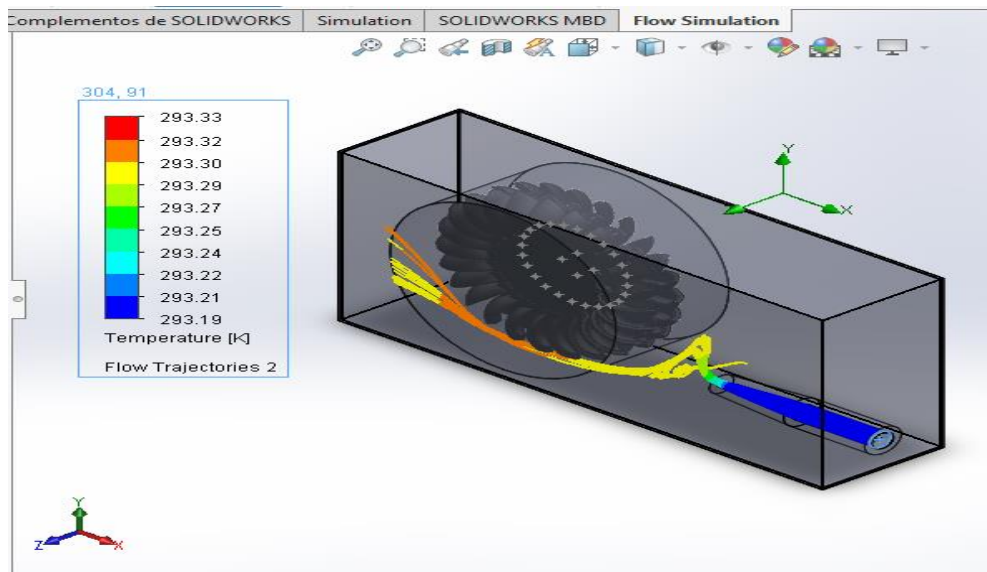
$$n_T = \frac{\text{Pmecanica}}{\text{Phidraulica}}$$

Las curvas de rendimiento obtenidas se detallan las variables de operación a diferentes condiciones como se miran en las siguientes figuras:

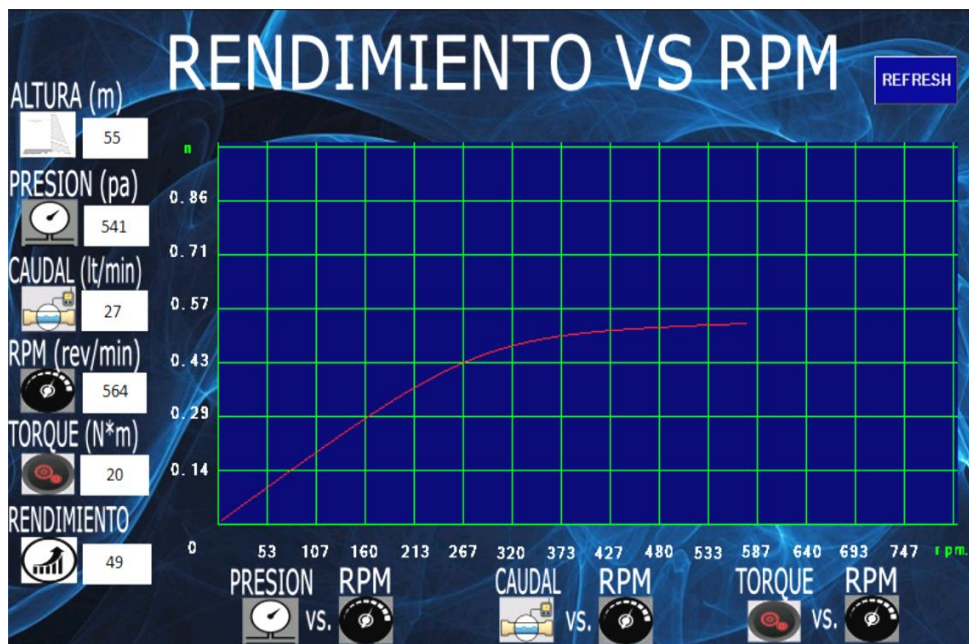


**Figura I.10.** Curva práctica turbina Pelton.

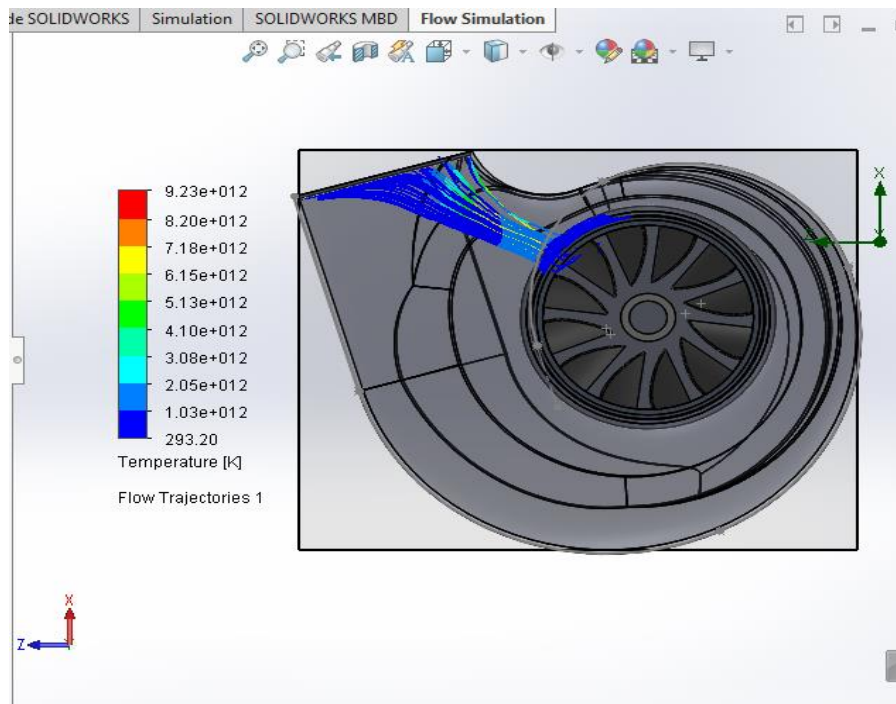




**Figura I.11.** Simulación turbina Pelton.



**Figura I.12.** Curva práctica turbina Francis.



**Figura I.13.** Simulación turbina Francis.

# ANEXO II

## PROGRAMACIÓN

**Sensor de velocidad**

```
#define TRIGGER_PIN 12
#define ECHO_PIN 11
#define MAX_DISTANCE 200 /Calibracion de distancia
/*Crear el objeto de la clase NewPing*/
NewPing sonar(TRIGGER_PIN, ECHO_PIN, MAX_DISTANCE);
void setup() {
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  delay(1000);
  int uS = sonar.ping_median();
  Serial.print("Distancia: ");
  Serial.print(uS / US_ROUNDTRIP_CM);
  Serial.println("cm");
}
```

**Sensor de presión**

```
int AnalogPin = 0;

int LEDpin = 6;

int ResRead;

int BrilloLED;

void setup()

{
```

```
Serial.begin(9600);

pinMode(LEDpin, OUTPUT);

}

void loop()

{

ResRead = analogRead(AnalogPin);

Serial.print("Lectura Analogica = ");

Serial.println(ResRead);

BrilloLED = map(ResRead, 0, 1023, 0, 255);

analogWrite(LEDpin, BrilloLED);

delay(100);

}
```

### **Sensor flujo de agua**

```
volatile int NumPulsos;

int PinSensor = 2;

float factor_conversion=7.5;

void ContarPulsos ()

{

NumPulsos++;

}
```

```
int ObtenerFrecuencia()
{
    int frecuencia;

    NumPulsos = 0;

    interrupts();

    delay(1000);

    noInterrupts();

    frecuencia=NumPulsos;

    return frecuencia;
}

void setup()
{
    Serial.begin(9600);

    pinMode(PinSensor, INPUT);

    attachInterrupt(0,ContarPulsos,RISING);
}

void loop ()
{
    float frecuencia

    float caudal_L_m
```

```
float caudal_L_h=caudal_L_m*60;

Serial.print ("FrecuenciaPulsos: ");

Serial.print (frecuencia,0);

Serial.print ("Hz\tCaudal: ");

Serial.print (caudal_L_m,3);

Serial.print (" L/m\t");

Serial.print (caudal_L_h,3);

Serial.println ("L/h");

}
```

# ANEXO III

## PLANOS



# ANEXO IV

TIR Y VAN

**ANEXO IV****TIR Y VAN****6-1**

<b>AÑO</b>	<b>FLUJO BENEFICIO</b>	<b>EGRESOS</b>	<b>FLUJO BENEFICIO</b>	
0	0	\$ 2.172,00	(\$ 2.172,00)	
1	3000	130	\$ 2.870,00	
2	3000	136,5	\$ 2.863,50	
3	3000	143	\$ 2.857,00	
4	3000	149,5	\$ 2.850,50	
5	3000	156	\$ 2.844,00	
	TASA	0,12	VAN	\$ 8.132,13
			TIR	130%