



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**EXTENSIÓN LA MANÁ**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS-CIYA**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL ANÁLISIS DE  
EFICIENCIA MECÁNICA EN LA TURBINA PELTON EN  
MICROGENERACIÓN HIDRÁULICA.**

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

**AUTORES:**

Lema Neto Mayra Elizabeth

Oto Toaquiza Erika Fernanda

**TUTOR:**

Ing. Morales Cevallos José Williams

**LA MANÁ-ECUADOR**

**FEBRERO-2023**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotras, Lema Neto Mayra Elizabeth con cédula de ciudadanía 0550666291 y Oto Toaquiza Erika Fernanda con cédula de ciudadanía 0504523465, declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: “IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL ANÁLISIS DE EFICIENCIA MECÁNICA EN LA TURBINA PELTON EN MICROGENERACIÓN HIDRÁULICA”, siendo el Ing. Morales Cevallos José Williams Mg., tutor del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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



Lema Neto Mayra Elizabeth

C.I. 0550666291



Oto Toaquiza Erika Fernanda

C.I. 0504523465

## **AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

En calidad de Tutor del trabajo de investigación sobre el título:

“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL ANÁLISIS DE EFICIENCIA MECÁNICA EN LA TURBINA PELTON EN MICROGENERACIÓN HIDRÁULICA” de Lema Neto Mayra Elizabeth y Oto Toaquiza Erika Fernanda de la carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho informe investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aporte 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 – CIYA de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná designe, para su correspondiente estudio y calificación.

La Maná, diciembre del 2022

A handwritten signature in blue ink, enclosed in a yellow oval. The signature appears to read "JOSE WILLIAMS MORALES C" with a stylized flourish at the end.

Ing. Morales Cevallos José Williams Mg.

C.I. 0502675424

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN**

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 extensión La Maná, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas – CIYA por cuanto los postulantes: Lema Neto Mayra Elizabeth con cédula de ciudadanía 0550666291 y Oto Toaquiza Erika Fernanda con cédula de ciudadanía 0504523465 con el título de proyecto de investigación: “IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL ANÁLISIS DE EFICIENCIA MECÁNICA EN LA TURBINA PELTON EN MICROGENERACIÓN HIDRÁULICA”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del proyecto.

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

La Maná, febrero del 2023

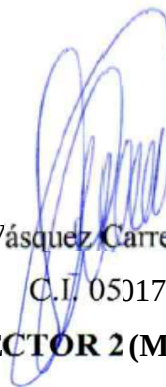
Para constancia firman:



PhD. Morales Tamayo Yoandrys

C.I. 1756958797

**LECTOR 1 (PRESIDENTE)**



M.Sc. Vásquez Carrera Paco Jovanni

C.I. 0501758767

**LECTOR 2 (MIEMBRO)**



M.Sc. Hidalgo Osorio William Armando

C.I. 0502657885

**LECTOR 3 (SECRETARIO)**

## **AGRADECIMIENTO**

*En la culminación de esta etapa tan importante en mi vida personal damos comienzo a nuevas metas por alcanzar en nuestras vidas profesionales. Agradezco este trabajo principalmente a Dios por haberme guiado en este recorrido, a mis padres, mis hermanas por siempre demostrarme su amor y preocupación en todas las etapas de mi vida.*

*A todos los docentes de la Universidad Técnica de Cotopaxi a mi tutor de tesis por haberme compartido sus conocimientos.*

*A todas las personas quienes de una u otra forma aportaron con su granito de arena para que esta meta sea una realidad.*

**Erika**

## **AGRADECIMIENTO**

*Primeramente, doy gracias a Dios por haberme permitido tener la familia que tengo por guiarme la cual han sido el pilar importante para salir adelante y poder culminar mis metas.*

*Segundo lugar agradezco a mis familiares y conocidos por esas palabras de aliento que me alentaron a seguir pese a los tropiezos que tuve en la vida.*

*Gracias a la Universidad Técnica de Cotopaxi, Docentes y sobre todo a mi tutor de tesis por brindarme la confianza y abrirme las puertas para obtener nuevos conocimientos cada día.*

**Mayra**

## **DEDICATORIA**

*Dedico la culminación de esta etapa y este proyecto primeramente a Dios en segundo lugar a mis padres Manuel Oto y María Toaquiza, a mis hermanas quienes me brindaron su apoyo incondicional en este recorrido quienes fueron la motivación principal de cada acción que realice, por haber sembrado en mí el deseo de superación y enseñarme a valorar lo que tengo, de esa manera apoyaron sobremanera al logro de esta anhelada meta.*

***Erika***

## **DEDICATORIA**

*La gloria y el éxito se forma atreves del desarrollo y el esfuerzo de cada ser humano con el objetivo de alcanzar tan anhelado triunfo.*

*El presente trabajo dedico primeramente a Dios a mis padres, Wilson Lema y mi madre Mayra Neto porque me inculcaron buenos valores, me apoyaron en los momentos difíciles y gracias a ellos he podido llegar a culminar con éxito mi carrera.*

*A mi hermana y hermanos por acompañarme en las noches de desvelo y ser mi mayor inspiración en salir adelante.*

*A mis abuelitos Gerardo Neto y Melida Falcon por ser la motivación e inspiración para ser mejor cada día que estuvieron conmigo dándome ánimos para seguir con mis estudios.*

**Mayra**

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS – CIYA

**TÍTULO:** IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL ANÁLISIS DE EFICIENCIA MECÁNICA EN LA TURBINA PELTON EN MICROGENERACIÓN HIDRÁULICA

**Autores:**

Lema Neto Mayra Elizabeth

Oto Toaquiza Erika Fernanda

### RESUMEN

El presente trabajo de titulación está orientado a obtener el rendimiento mecánico de una turbina Pelton ya que en la actualidad es la más utilizada en micro generación hidroeléctrica y existe poca información enfocada a su rendimiento mecánico por lo cual se vio la necesidad de implementar un módulo didáctico que permita analizar este rendimiento. El diseño de la turbina se realizó en un software CAD, los sensores seleccionados permitieron monitorear las variables físicas (presión, caudal, torque y velocidad angular) que se encuentran inmersas en el sistema, en donde se realizaron una serie de cálculos que determinaron el rango de cada uno de ellos. La programación se lo realizó en el microcontrolador Arduino utilizando las librerías Nextion.h, ModbusRtu.h y HX711.h, las cuales permitieron adquirir los datos para monitorear estas variables, las que se enviaron por comunicación serial al HMI Nextion en la cual se graficó las curvas de Rendimiento vs RPM, para determinar el rendimiento máximo y mínimo que tiene la turbina Pelton se lo realizó en 2 diferentes metodologías (practico y teórico teniendo un porcentaje de error máximo del 3%, en donde el rendimiento mínimo fue de 49% con las condiciones de altura de caída de 55 metros, un torque de 2 Nm y el rendimiento máximo fue de 62% con las condiciones de altura de caída de 60 metros y un torque de 3,6 Nm.

**Palabras clave:** turbina Pelton, rendimiento mecánico, variables físicas y adquisición de datos.

## **ABSTRACT**

This degree work is oriented to obtain the mechanical efficiency of a Pelton turbine since it is currently the most used in micro hydroelectric generation and there is little information focused on its mechanical performance, so it was necessary to implement a didactic module that allows analyzing this performance. The design of the turbine was done in a CAD software, the selected sensors allowed to monitor the physical variables (pressure, flow, torque and angular velocity) that are immersed in the system, where a series of calculations were performed to determine the range of each one of them. The programming was done in the Arduino microcontroller using the Nextion.h, ModbusRtu.h and HX711. h, which allowed to acquire the data to monitor these variables, which were sent by serial communication to the Nextion HMI in which the Performance vs RPM curves were plotted, to determine the maximum and minimum performance of the Pelton turbine was performed in 2 different methodologies (practical and theoretical having a maximum error rate of 3%, where the minimum efficiency was 49% with a drop height of 55 meters, a torque of 2 Nm and the maximum efficiency was 62% with a drop height of 60 meters and a torque of 3.6 Nm.

**Keywords:** Pelton turbine, mechanical performance, physical variables and data acquisition.

## **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 al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: “IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL ANÁLISIS DE EFICIENCIA MECÁNICA EN LA TURBINA PELTON EN MICROGENERACIÓN HIDRÁULICA” presentado por: Mayra Elizabeth Lema Neto y Erika Fernanda Oto Toaquiza egresado de la Carrera de: Electromecánica, perteneciente a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, 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 aval para los fines académicos legales.

La Maná, Febrero del 2023

Atentamente,



Mg. Ramón Amores Sebastián Fernando  
**DOCENTE DEL CENTRO DE IDIOMAS**  
**C.I: 050301668-5**

## ÍNDICE GENERAL

|                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------|-----|
| AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN .....                     | III |
| APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN .....                           | IV  |
| RESUMEN .....                                                         | IX  |
| ABSTRACT .....                                                        | X   |
| ÍNDICE GENERAL .....                                                  | XII |
| INDICE DE FIGURAS .....                                               | XVI |
| ÍNDICE DE TABLAS .....                                                | XIX |
| 1. INFORMACIÓN GENERAL .....                                          | 1   |
| 2. RESUMEN DEL PROYECTO .....                                         | 2   |
| 3. CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....                        | 2   |
| 3.1. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO .....                                 | 2   |
| 4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO .....                                   | 3   |
| 5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....                                 | 3   |
| 5.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....                                 | 3   |
| 5.2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA .....                                  | 4   |
| 6. OBJETIVOS .....                                                    | 4   |
| 6.1. OBJETIVO GENERAL .....                                           | 4   |
| 6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                                      | 4   |
| 7. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS ..... | 5   |
| 8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA .....                            | 6   |
| 8.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....                           | 6   |
| 8.2. FUNDAMENTACIÓN LEGAL .....                                       | 6   |
| 8.3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....                                     | 7   |
| 8.3.1. Formas de energía .....                                        | 7   |
| 8.3.2. Variables que intervienen en el proceso .....                  | 8   |
| 8.3.3. Micro Centrales Hidráulicas de generación. ....                | 13  |
| 8.3.4. Turbina Hidráulica .....                                       | 14  |

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| Se clasifican de acuerdo al cambio de presión en el rodete: ..... | 14 |
| 8.3.5. Turbinas Pelton.....                                       | 16 |
| 8.3.6. Equipo controlador del módulo .....                        | 24 |
| 8.3.7. Sensor.....                                                | 26 |
| 8.3.8. Bomba centrífuga .....                                     | 27 |
| 9. METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL .....                       | 28 |
| LOCALIZACIÓN .....                                                | 28 |
| 9.1. TIPOS DE INVESTIGACIÓN.....                                  | 28 |
| 9.1.1. Investigación bibliográfica.....                           | 28 |
| 9.1.2. Investigación experimental .....                           | 28 |
| 9.1.3. Investigación aplicada.....                                | 28 |
| 9.2. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....                         | 29 |
| 9.2.1. La observación en el laboratorio .....                     | 29 |
| 9.2.2. Técnica de análisis de datos .....                         | 29 |
| 9.2.3. Hipótesis del proyecto .....                               | 29 |
| 9.2.4. Pregunta científica .....                                  | 29 |
| 9.3. DECLARACIÓN DE VARIABLES .....                               | 29 |
| 9.3.1. Variable independiente .....                               | 29 |
| 9.3.2. Variable dependiente .....                                 | 30 |
| 9.4. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS .....                           | 30 |
| 9.4.1. Selección de la turbina Pelton .....                       | 30 |
| 9.4.2. Selección del equipo controlador .....                     | 31 |
| 9.4.3. Selección de la bomba .....                                | 32 |
| 9.4.4. Selección de la tubería de succión.....                    | 34 |
| 9.4.5. Selección de la tubería de descarga .....                  | 34 |
| 9.4.6. Selección del sensor de presión.....                       | 35 |
| 9.4.7. Selección del sensor de caudal .....                       | 37 |
| 9.4.8. Selección del sensor de fuerza.....                        | 39 |
| 9.4.9. Selección del sensor de velocidad .....                    | 40 |
| 9.4.10. Selección del variador de frecuencia .....                | 42 |
| 9.4.11. Selección del HMI .....                                   | 43 |
| 9.5. DISEÑO ELÉCTRICO.....                                        | 44 |
| 9.6. DISEÑO ELECTRÓNICO .....                                     | 44 |

|         |                                                                   |    |
|---------|-------------------------------------------------------------------|----|
| 9.7.    | IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO DIDÁCTICO .....                         | 45 |
| 10.     | ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS .....                                  | 46 |
| 10.1.   | RENDIMIENTO A UNA ALTURA DE 50 METROS Y UN TORQUE DE 2 Nm .....   | 48 |
| 10.1.1. | Análisis Teórico.....                                             | 48 |
| 10.1.2. | Análisis Práctico .....                                           | 50 |
| 10.2.   | RENDIMIENTO A UNA ALTURA DE 50 METROS Y UN TORQUE DE 2,5 Nm ..... | 51 |
| 10.2.1. | Análisis Teórico.....                                             | 51 |
| 10.2.2. | Análisis Práctico .....                                           | 51 |
| 10.3.   | RENDIMIENTO A UNA ALTURA DE 50 METROS Y UN TORQUE DE 3 Nm .....   | 52 |
| 10.3.1. | Análisis Teórico.....                                             | 52 |
| 10.3.2. | Análisis Práctico .....                                           | 53 |
| 10.3.3. | Cuadro de resumen a 50 metros de altura .....                     | 54 |
| 10.4.   | RENDIMIENTO A UNA ALTURA DE 55 METROS Y UN TORQUE DE 2 Nm .....   | 55 |
| 10.4.1. | Análisis Teórico.....                                             | 55 |
| 10.4.2. | Análisis Práctico .....                                           | 56 |
| 10.5.   | RENDIMIENTO A UNA ALTURA DE 55 METROS Y UN TORQUE DE 2,5 Nm ..... | 57 |
| 10.5.1. | Análisis Teórico.....                                             | 57 |
| 10.5.2. | Análisis Práctico .....                                           | 57 |
| 10.6.   | RENDIMIENTO A UNA ALTURA DE 55 METROS Y UN TORQUE DE 3,6 Nm ..... | 58 |
| 10.6.1. | Análisis Teórico.....                                             | 58 |
| 10.6.2. | Análisis Práctico .....                                           | 59 |
| 10.6.3. | Cuadro de resumen a 55 metros de altura .....                     | 59 |
| 10.7.   | RENDIMIENTO A UNA ALTURA DE 60 METROS Y UN TORQUE DE 2 Nm .....   | 60 |
| 10.7.1. | Análisis Teórico.....                                             | 60 |
| 10.7.2. | Análisis Práctico .....                                           | 62 |
| 10.8.   | RENDIMIENTO A UNA ALTURA DE 60 METROS Y UN TORQUE DE 2,5 Nm ..... | 62 |
| 10.8.1. | Análisis Teórico.....                                             | 62 |
| 10.8.2. | Análisis Práctico .....                                           | 63 |
| 10.9.   | RENDIMIENTO A UNA ALTURA DE 60 METROS Y UN TORQUE DE 3,5 Nm ..... | 64 |
| 10.9.1. | Análisis Teórico.....                                             | 64 |
| 10.9.2. | Análisis Práctico .....                                           | 64 |
| 10.9.3. | Cuadro de resumen a 60 metros de altura .....                     | 65 |
| 10.10.  | ANÁLISIS DE EFICIENCIA A UN TORQUE DE 2 Nm .....                  | 66 |

|          |                                                       |    |
|----------|-------------------------------------------------------|----|
| 10.11.   | ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA A UN TORQUE DE 2,5 Nm ..... | 66 |
| 10.12.   | ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA A UN TORQUE DE 3,5 Nm ..... | 67 |
| 10.13.   | ANÁLISIS TEÓRICO A UNA ALTURA DE 38 METROS.....       | 67 |
| 10.14.   | ANÁLISIS TEÓRICO A UNA ALTURA DE 47 METROS.....       | 69 |
| 10.14.1. | Análisis de la eficiencia 38 m y 47 m de altura.....  | 70 |
| 11.      | PRESUPUESTO DEL PROYECTO.....                         | 70 |
| 11.1.    | COSTOS INDIRECTOS .....                               | 71 |
| 11.2.    | COSTOS DE MANO DE OBRA.....                           | 71 |
| 11.3.    | PRESUPUESTO TOTAL.....                                | 72 |
| 12.      | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....                  | 73 |
| 12.1.    | CONCLUSIONES .....                                    | 73 |
| 12.2.    | RECOMENDACIONES:.....                                 | 74 |
| 13.      | REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....                      | 75 |
| 14.      | ANEXOS .....                                          | 78 |

## INDICE DE FIGURAS

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1</b> Velocidad angular como vector .....               | 9  |
| <b>Figura 2</b> Principio de Bernoulli .....                      | 10 |
| <b>Figura 3</b> Esquema típico hidroeléctrico .....               | 13 |
| <b>Figura 4</b> Rodete de una turbina Mishell Banki.....          | 15 |
| <b>Figura 5</b> Rodete de una turbina Francis .....               | 15 |
| <b>Figura 6</b> Rodete de una turbina axial .....                 | 16 |
| <b>Figura 7</b> Rodete de una turbina Pelton.....                 | 16 |
| <b>Figura 8</b> Curva característica.....                         | 17 |
| <b>Figura 9</b> Sistema de inyección de una turbina Pelton .....  | 18 |
| <b>Figura 10</b> Turbina Pelton de 6 inyectores .....             | 18 |
| <b>Figura 11</b> Turbina Pelton de 2 inyectores .....             | 18 |
| <b>Figura 12</b> Cámara de distribución.....                      | 19 |
| <b>Figura 13</b> Partes del inyector.....                         | 19 |
| <b>Figura 14</b> Tobera.....                                      | 20 |
| <b>Figura 15</b> Aguja .....                                      | 20 |
| <b>Figura 16</b> Deflector .....                                  | 20 |
| <b>Figura 17</b> Partes de un equipo regulador de velocidad ..... | 21 |
| <b>Figura 18</b> Rodete.....                                      | 21 |
| <b>Figura 19</b> Rodete.....                                      | 22 |
| <b>Figura 20</b> Alabes.....                                      | 22 |
| <b>Figura 21</b> Carcasa .....                                    | 22 |
| <b>Figura 22</b> Conjunto de una turbina Pelton .....             | 23 |
| <b>Figura 23</b> Sistema de frenado .....                         | 23 |
| <b>Figura 24</b> Eje de la turbina .....                          | 24 |
| <b>Figura 25</b> Arduino.....                                     | 24 |
| <b>Figura 26</b> Variador de frecuencia .....                     | 25 |
| <b>Figura 27</b> Proceso de ondulación PWM .....                  | 25 |
| <b>Figura 28</b> Pantalla HMI.....                                | 26 |
| <b>Figura 29</b> Sensores.....                                    | 27 |
| <b>Figura 30</b> Bomba centrífuga.....                            | 27 |
| <b>Figura 31</b> Ubicación del proyecto.....                      | 28 |
| <b>Figura 32</b> Diseño de la turbina Pelton en CAD .....         | 31 |

|                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 33</b> Medidas de diseño de la turbina Pelton.....                                  | 31 |
| <b>Figura 34</b> Arduino mega .....                                                           | 32 |
| <b>Figura 35</b> Arduino mega .....                                                           | 33 |
| <b>Figura 36</b> Sensor de presión .....                                                      | 35 |
| <b>Figura 37</b> Sensor de presión .....                                                      | 37 |
| <b>Figura 38</b> Sensor de caudal .....                                                       | 37 |
| <b>Figura 39</b> Sensor de caudal .....                                                       | 38 |
| <b>Figura 40</b> Sensor de fuerza.....                                                        | 39 |
| <b>Figura 41</b> Conexión del sensor de fuerza al arduino .....                               | 40 |
| <b>Figura 42</b> Sensor de velocidad .....                                                    | 40 |
| <b>Figura 43</b> Conexión del sensor de velocidad al arduino .....                            | 41 |
| <b>Figura 44</b> Variador de frecuencia .....                                                 | 42 |
| <b>Figura 45</b> HMI .....                                                                    | 43 |
| <b>Figura 46</b> Esquema eléctrico de encendido.....                                          | 44 |
| <b>Figura 47</b> Esquema electrónico .....                                                    | 44 |
| <b>Figura 48</b> Implementación del módulo didáctico .....                                    | 45 |
| <b>Figura 49</b> Portada del HMI.....                                                         | 47 |
| <b>Figura 50</b> Pantalla secundaria del HMI.....                                             | 47 |
| <b>Figura 51</b> Datos ingresados y generados para el caso 1.....                             | 50 |
| <b>Figura 52</b> Rendimiento de la turbina a una altura de 50 metros y 2 Nm .....             | 50 |
| <b>Figura 53</b> Datos ingresados y generados para el caso 2.....                             | 52 |
| <b>Figura 54</b> Rendimiento de la turbina Pelton a una altura de 50 metros a 2,5 Nm.....     | 52 |
| <b>Figura 55</b> Datos ingresados y generados para el caso 3.....                             | 53 |
| <b>Figura 56</b> Rendimiento de la turbina Pelton a una altura de 50 metros con 3 Nm.....     | 54 |
| <b>Figura 57</b> Datos ingresados y generados caso 4.....                                     | 56 |
| <b>Figura 58</b> Rendimiento de la turbina Pelton a 55 metros de altura y 2 Nm de torque..... | 57 |
| <b>Figura 59</b> Datos ingresados y generados caso 5.....                                     | 58 |
| <b>Figura 60</b> Rendimiento de la turbina Pelton a 55 metros y un torque de 2,5 Nm .....     | 58 |
| <b>Figura 61</b> Datos ingresados y generados caso 6.....                                     | 59 |
| <b>Figura 62</b> Rendimiento de la turbina Pelton a 55 metros y con un torque de 3,6 Nm.....  | 59 |
| <b>Figura 63</b> Datos ingresados y generados caso 7 .....                                    | 62 |
| <b>Figura 64</b> Rendimiento de la turbina Pelton a 60 metros de altura y 2 Nm de torque..... | 62 |
| <b>Figura 65</b> Datos ingresados y generados caso 8.....                                     | 63 |

|                  |                                                                             |    |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 66</b> | Rendimiento de la turbina Pelton a 60 metros y un torque de 2,5 Nm .....    | 63 |
| <b>Figura 67</b> | Datos ingresados y generados caso 9 .....                                   | 64 |
| <b>Figura 68</b> | Rendimiento de la turbina Pelton a 55 metros y con un torque de 3,6 Nm..... | 65 |
| <b>Figura 69</b> | Rendimiento de a 2 Nm.....                                                  | 66 |
| <b>Figura 70</b> | Rendimiento a 2,5 Nm .....                                                  | 66 |
| <b>Figura 71</b> | Rendimiento a 3,5 Nm .....                                                  | 67 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1</b> Beneficiarios del proyecto .....                                                  | 3  |
| <b>Tabla 2</b> Actividades y sistemas de tareas en relación a los objetivos .....                | 5  |
| <b>Tabla 3</b> Clasificación de las centrales hidroeléctricas según su potencia .....            | 13 |
| <b>Tabla 4</b> Clasificación de las minicentrales hidroeléctricas según su caída .....           | 13 |
| <b>Tabla 5</b> Ventajas y desventajas de una turbina Pelton .....                                | 16 |
| <b>Tabla 6</b> Variable independiente .....                                                      | 30 |
| <b>Tabla 7</b> Variable dependiente .....                                                        | 30 |
| <b>Tabla 8</b> Características de la turbina Pelton .....                                        | 31 |
| <b>Tabla 9</b> Características del arduino mega.....                                             | 32 |
| <b>Tabla 10</b> Características de la bomba de agua.....                                         | 33 |
| <b>Tabla 11</b> Características del sensor de presión .....                                      | 36 |
| <b>Tabla 12</b> Identificación de los cables del sensor de presión.....                          | 36 |
| <b>Tabla 13</b> Características del sensor de caudal .....                                       | 38 |
| <b>Tabla 14</b> Identificación de los cables del sensor de caudal.....                           | 38 |
| <b>Tabla 15</b> Características del sensor de fuerza.....                                        | 39 |
| <b>Tabla 16</b> Identificación de los cables del sensor de fuerza .....                          | 39 |
| <b>Tabla 17</b> Características del sensor de velocidad .....                                    | 41 |
| <b>Tabla 18</b> Identificación de cada señal del sensor de velocidad .....                       | 41 |
| <b>Tabla 19</b> Dimensiones del variador de frecuencia.....                                      | 42 |
| <b>Tabla 20</b> Características del variador de frecuencia .....                                 | 42 |
| <b>Tabla 21</b> Características del HMI .....                                                    | 43 |
| <b>Tabla 22</b> Parámetros de evaluación .....                                                   | 48 |
| <b>Tabla 23</b> Resumen del estudio del rendimiento mecánico de la turbina Pelton a 50 metros .. | 54 |
| <b>Tabla 24</b> Resumen del estudio del rendimiento mecánico de la turbina Pelton a 55 metros .. | 60 |
| <b>Tabla 25</b> Resumen del estudio del rendimiento mecánico de la turbina Pelton a 60 metros .. | 65 |
| <b>Tabla 26</b> Costos directos .....                                                            | 70 |
| <b>Tabla 27</b> Costos indirectos .....                                                          | 71 |
| <b>Tabla 28</b> Costos directos .....                                                            | 71 |
| <b>Tabla 29</b> Presupuesto total.....                                                           | 72 |

## ÍNDICE DE ECUACIONES

|                      |    |
|----------------------|----|
| Ecuación ( 1 ).....  | 8  |
| Ecuación ( 2 ).....  | 8  |
| Ecuación ( 3 ).....  | 9  |
| Ecuación ( 4 ).....  | 9  |
| Ecuación ( 5 ).....  | 10 |
| Ecuación ( 6 ).....  | 10 |
| Ecuación ( 7 ).....  | 10 |
| Ecuación ( 8 ).....  | 11 |
| Ecuación ( 9 ).....  | 11 |
| Ecuación ( 10 )..... | 11 |
| Ecuación ( 11 )..... | 12 |
| Ecuación ( 12 )..... | 12 |
| Ecuación ( 13 )..... | 12 |
| Ecuación ( 14 )..... | 24 |
| Ecuación ( 15 )..... | 26 |
| Ecuación ( 16 )..... | 35 |

## 1. INFORMACIÓN GENERAL

### **Título del Proyecto:**

“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL ANÁLISIS DE EFICIENCIA MECÁNICA EN LA TURBINA PELTON EN MICROGENERACIÓN HIDRÁULICA”

|                                                   |                                                                                                                          |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Fecha de inicio:</b>                           | Noviembre del 2022                                                                                                       |
| <b>Fecha de finalización:</b>                     | Febrero del 2023                                                                                                         |
| <b>Lugar de ejecución:</b>                        | Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná                                                                        |
| <b>Unidad académica que auspicia:</b>             | Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas CIYA                                                                   |
| <b>Carrera que auspicia:</b>                      | Ingeniería Electromecánica                                                                                               |
| <b>Proyecto de investigación vinculado:</b>       | La transferencia tecnológica sustentable como eje fundamental para el desarrollo socio económico y la vinculación social |
| <b>Tutor del Proyecto:</b>                        | Ing. Morales Cevallos José Williams                                                                                      |
| <b>Postulante:</b>                                | Srta. Lema Neto Mayra Elizabeth<br>Srta. Oto Toaquiza Erika Fernanda                                                     |
| <b>Área de conocimiento:</b>                      | Ingeniería, Industria y Construcción                                                                                     |
| <b>Línea de investigación:</b>                    | Procesos Industriales                                                                                                    |
| <b>Sub líneas de investigación de la carrera:</b> | Diseño, construcción y mantenimiento de elementos, prototipos y sistemas electromecánicos                                |
| <b>Núcleo Disciplinar:</b>                        | Desarrollo de tecnología y procesos de fabricación                                                                       |

## **2. RESUMEN DEL PROYECTO**

El presente trabajo de titulación está orientado a obtener la eficiencia mecánica de una turbina Pelton ya que en la actualidad es la más utilizada en micro generación hidroeléctrica y existe poca información enfocada a su eficiencia mecánica por lo cual se vio la necesidad de implementar un módulo didáctico que permita analizar la eficiencia. El diseño de la turbina se realizó en un software CAD SOLID WORKS, los sensores seleccionados permitieron monitorear las variables físicas (presión, caudal, torque y velocidad angular) que se encuentran inmersas en el sistema, en donde se realizaron una serie de cálculos que determinaron el rango de cada uno de ellos. La programación se lo realizó en el microcontrolador Arduino utilizando las librerías Nextion.h, ModbusRtu.h y HX711.h, las cuales permitieron adquirir los datos para monitorear estas variables, las que se enviaron por comunicación serial al HMI Nextion en la cual se graficó las curvas de la Eficiencia vs RPM, para determinar la eficiencia máxima y mínima que tiene la turbina Pelton se lo realizó en 2 diferentes metodologías práctico y teórico teniendo un porcentaje de error máximo del 3%, en donde la eficiencia mínima fue de 49% con las condiciones de altura de caída de 55 metros, un torque de 2 Nm y la eficiencia máxima fue de 62% con las condiciones de altura de caída de 60 metros y un torque de 3,6 Nm.

## **3. CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.1. Justificación del proyecto**

La turbina de tipo hidráulica es una maquinaria que proporciona el convertimiento de la energía hidráulica, que provoca una corriente de agua de las presas, en energía mecánica, y posteriormente mediante generadores a energía eléctrica.

Mediante la ejecución de este proyecto de investigación se determinarán las variables físicas que intervienen en un sistema de micro generación eléctrica utilizando fuentes de energía renovable como la hidráulica, siendo éstas la velocidad, presión, caudal, altura, torque, potencia hidráulica, potencia mecánica y la eficiencia que son aplicadas en una turbina Pelton, estas variables se determinarán mediante cálculos matemáticos así como también se las obtendrá por medio de los diferentes sensores distribuidos a lo largo del módulo didáctico para una posterior comparación, aquí radica la importancia que los profesionales apegados a la rama de generación eléctrica conozcan profundamente estos parámetros técnicos permitiendo conocer las características operativas de funcionamiento de una micro central eléctrica y el funcionamiento de una turbina Pelton.

Dentro del laboratorio de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná no existe un módulo didáctico de micro generación hidráulica que permita determinar y visualizar la eficiencia mecánica de una turbina Pelton, para lo cual se planteó su implementación utilizando los diferentes tipos de sensores que permitan la obtención de datos técnicos para el desarrollo de su análisis, esto hace mención al comportamiento mecánico de una central de generación hidráulica iniciando con una simulación de caída de agua que recirculará para realizar el movimiento de la turbina.

#### 4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

A continuación, en la tabla 1 se presentan los beneficiarios directos e indirectos del proyecto de investigación.

**Tabla 1** Beneficiarios del proyecto

| <b>Beneficiarios directos</b>                                                                                     | <b>Beneficiarios indirectos</b>                                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión “La Maná” | Universidad Técnica de Cotopaxi y Empresas de la región que se dedican a la generación eléctrica. |

**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

#### 5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

##### 5.1.Planteamiento del problema

En la actualidad el uso de energía obtenida a base de la combustión de hidrocarburos está generando grandes problemas al medio ambiente debido a las emisiones de gases de efecto invernadero, y los efectos que esto genera en el clima, por tal razón se busca la necesidad de investigar y reemplazar la energía basada en la combustión de hidrocarburos por energías renovables que sean amigables con el medioambiente, para lo cual, una de las alternativas que se posee es la energía eléctrica obtenida a partir de la energía cinética del agua comúnmente conocida como energía hidroeléctrica.

El crecimiento de la demanda energética y el desabastecimiento de la misma en las distintas zonas lejanas con poca accesibilidad de sus localidades, poblaciones y viviendas dispersas, bajo poder adquisitivo de los habitantes, poca infraestructura vial, entre otros, esto conlleva al estudio de alternativas viables como es la ejecución de proyectos locales de micro generación eléctrica utilizando recursos renovables como el agua, por lo tanto, es necesario que el

profesional tenga conocimientos sólidos en el diseño de micro centrales hidráulicas iniciando por el estudio de la eficiencia de la turbina Pelton, para lo cual, con la implementación del módulo didáctico se busca que el estudiante tenga como herramienta para reforzar los conocimientos teóricos del funcionamiento de una central hidroeléctrica.

## **5.2. Delimitación del problema**

Inexistencia de un módulo didáctico de micro generación hidráulica que permita determinar y visualizar la eficiencia mecánica de una turbina Pelton.

## **6. OBJETIVOS**

### **6.1. Objetivo General**

Implementar un módulo didáctico de micro generación hidráulica mediante la incorporación de una turbina Pelton para el análisis de su eficiencia mecánica.

### **6.2. Objetivos específicos**

- Investigar el principio de funcionamiento de un sistema de micro generación hidráulica mediante un estudio técnico a las variables físicas de interés.
- Construir el módulo didáctico de micro generación hidráulica utilizando los instrumentos de medición y los equipos eléctricos o electrónicos.
- Establecer las expresiones matemáticas que tienen relación al cálculo de la eficiencia mecánica de una turbina Pelton.
- Adquirir los datos de las variables físicas que intervienen en el sistema de micro generación hidráulica para la obtención de las curvas de la eficiencia de la turbina Pelton.

## 7. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS

**Tabla 2** Actividades y sistemas de tareas en relación a los objetivos

| <b>Objetivos</b>                                                                                                                                                             | <b>Actividades</b>                                                                                         | <b>Resultados de las actividades</b>                                                                       | <b>Descripción (técnicas e instrumentos)</b>                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Investigar el principio de funcionamiento de un sistema de micro generación hidráulica mediante un estudio técnico a las variables físicas de interés.                       | Recolección de datos e información técnica en proyectos de titulación, artículos científicos, entre otros. | Marco teórico con la obtención de la información técnica acerca de micro centrales de generación.          | Investigación bibliográfica<br><br>Análisis documental      |
| Construir el módulo didáctico de micro generación hidráulica utilizando los instrumentos de medición y los equipos eléctricos o electrónicos.                                | Selección de los instrumentos y equipos eléctricos o electrónicos.                                         | Implementación de los sensores y equipos eléctricos / de controlen el módulo didáctico                     | Investigación bibliográfica<br><br>Investigación de campo   |
| Establecer las expresiones matemáticas que tienen relación al cálculo de la eficiencia mecánica de una turbina Pelton.                                                       | Identificación de expresiones matemáticas relacionadas con el rendimiento mecánico.                        | Ejecución de una memoria de cálculo que establece de la eficiencia de la turbina Pelton de manera teórica. | Análisis documental<br>Investigación de campo<br>Ecuaciones |
| Adquirir los datos de las variables físicas que intervienen en el sistema de micro generación hidráulica para la obtención de las curvas de eficiencia de la turbina Pelton. | Medición y obtención de los valores técnicos enviados por los diferentes sensores implementados.           | Curva de rendimiento de la turbina Pelton de manera práctica.                                              | Investigación de campo<br><br>Mediciones                    |

**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

## **8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.**

### **8.1. Antecedentes de la investigación**

Los fabricantes de equipos didácticos para laboratorios de manera actual tienen modulares en catálogos para desarrollar pruebas de ejecución sobre turbinas Pelton, la empresa Edibon viene realizando este tipo de módulos que conlleva a la medición del rendimiento de la turbina, determinando sus curvas en función de las revoluciones en donde están presentes las variables físicas como: presión, caudal, torque y velocidad, estos valores pueden ser visualizados en una pantalla HMI que se encuentra montada en el equipo. (EDIBON, 2017)

En la tesis “DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN PROTOTIPO DE UNA PICOCENTRAL HIDRAULICA PARA USO RURAL” (2015) Previo la obtención del título de Ingeniero Electromecánico el autor Néstor Germán Tenorio Zurita desarrolló una micro central eléctrica en una zona rural utilizando una turbina Pelton que alcanzó una velocidad de 1730 RPM para un caudal de 3,8 lt/s y un rendimiento del 79% , de esta manera se aprovechó los recursos naturales que existen en el Ecuador para la generación de energía eléctrica en sitios lejanos donde no llega la electricidad residencial, para la ejecución de este tipo de proyectos a gran escala se requiere el conocimiento previo del funcionamiento de una turbina Pelton mediante un módulo didáctico. (Zurita, 2015)

En el informe de Proyecto de Graduación “DISEÑO DE UN MODELO DE MICRO TURBINA HIDRAULICA PORTATIL” (2017) Previo la obtención del título de Ingeniero Eléctrico los autores Dolling Oscar Raúl y Daroni Sergio desarrollaron un módulo de micro turbina Pelton que permite acoplarse a un generador asincrónico y adaptarse a las redes de riego existentes a través de elementos de fijación a los bordes de canales de agua, este proyecto se implementó en una vivienda que no posee electricidad residencial, para medir sus variables de campo se utiliza el Software FluidFlow, adicional la turbina mantuvo un rendimiento del 81%, nuevamente recae la importancia de generar un módulo didáctico para el desarrollo de este tipo de proyectos en beneficio de la sociedad. (Oscar, 2017)

### **8.2. Fundamentación legal**

El Consejo de Evaluación, Acreditación y Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior (CEAACES), dentro del artículo 172 de la Ley Orgánica de Educación Superior, menciona que es un organismo público de carácter técnico que desarrolla procesos de

investigación 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. (Asamblea Nacional del Ecuador, 2010)

### **8.3.Fundamentación teórica**

Dentro de las variables que tienen relación con el objeto de estudio se tienen los siguientes:

#### **8.3.1. Formas de energía**

- **Energía eléctrica**

La energía eléctrica se genera por el movimiento de electrones positivos y negativos al interior de los materiales que son conductores, para que exista este transporte de electrones para encender cualquier material eléctrico es necesario tener un generador o una fuente de energía para que impulse el movimiento de los electrones en un sentido dado. (Álvarez, 2021)

El principio de conservación de la energía indica que la energía no se crea ni se destruye, sino que tan solo se transforma, en donde la energía eléctrica puede transformarse en energía luminosa, mecánica y térmica, una de las ventajas principales que tiene la energía eléctrica es su forma de transportarse ya que es de forma sencilla y rápida, uno de sus inconvenientes es su forma de almacenamiento esto provoca que la oferta tenga que ser igual a la demanda. (Caizaguano & Sangucho, 2016)

- **Energía hidráulica**

Se genera a partir de una caída de agua a una determinada altura para producir energía eléctrica. La energía potencial a través de la caída de agua se convierte en energía cinética, permitiendo el movimiento de las turbinas para generar energía mecánica tipo de energía se encuentra disponible en una cascada o mediante la construcción de presas. (Maria, 2018)

- **Energía potencial**

Este tipo de energía es utilizado para la generación de un trabajo en función a la posición que mantienen un cuerpo, es decir puede ser denotada como una energía que se almacena dentro de un proceso. (ABC, 2011)

- **Energía cinética**

La energía cinética es aquella energía que posee cualquier cuerpo en movimiento, esta energía dependerá de la masa y de la velocidad que presente el mismo, para que un cuerpo regrese a su estado de reposo se debe aplicar un trabajo, pero con sentido contrario, es decir una energía cinética, pero con sentido negativo. (ABC, 2011)

### 8.3.2. Variables que intervienen en el proceso

#### 8.3.2.1. Fuerza

La fuerza tiene magnitud y dirección lo que le convierte en un vector, una fuerza es aquella que se le proporciona a un cuerpo que se encuentra en estado de reposo para que tenga una aceleración. (Velasco, 2020)

$$F = m \times a \quad \text{Ecuación ( 1 )}$$

En donde:

- F: Fuerza (N)
- m: Masa del cuerpo (kg)
- a: Aceleración del cuerpo ( $\text{m/s}^2$ )

#### 8.3.2.2. Velocidad angular

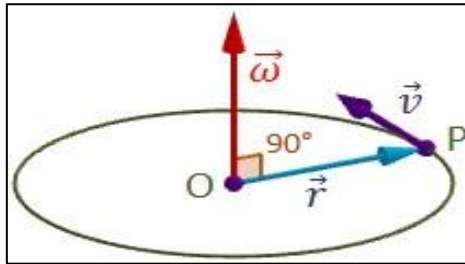
La velocidad angular es una medida de la velocidad de rotación. Se define como el ángulo girado por unidad de tiempo, su unidad de medida en el Sistema Ingles es el radian por segundo ( $\text{rad/s}$ ) y en mecánica se representa en revoluciones por minuto (RPM), se tiene una representación en la figura 1. (Díaz, 2021)

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad \text{Ecuación ( 2 )}$$

En donde:

- $\omega$ : Módulo de la velocidad angular ( $\text{rad/s}$ ).
- $\Delta\theta$  Módulo del ángulo (rad).
- $\Delta t$ : Tiempo (s)

**Figura 1** Velocidad angular como vector



**Fuente:** (Bancallan, 2017)

### 8.3.2.3. Torque

Es la capacidad que tiene al aplicar una fuerza a un objeto a una cierta distancia, los parámetros que intervienen en el torque son: la distancia, la fuerza y el ángulo de aplicación de la fuerza.

$$\tau = F \times d \times \sin \theta \quad \text{Ecuación ( 3 )}$$

En donde:

- $\tau$ : Distancia al punto de giro (m).
- $F$ : Fuerza que aplica (N).
- $\theta$ : Ángulo de aplicación de la fuerza:

El torque tiende a ser positivo en una condición que se refiere a que si el cuerpo de interés tiende a realizar su giro en un sentido anti horario, por otra parte, será negativo si la misma gira en sentido contrario. (Díaz, 2021)

### 8.3.2.4. Presión

La presión es la fuerza que se aplica en un área determinada, es más apropiado usar la presión que la fuerza. La unidad de la presión es el Pascal.

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{Ecuación ( 4 )}$$

En donde:

- $A$ : Área de la superficie en donde se ejerce la presión ( $\text{m}^2$ ).
- $P$ : Presión (Pa).
- $F$ : Fuerza que ejerce (N).

Otra representación que maneja la variable física como es la presión es como la energía en función del volumen como lo menciona la definición del trabajo. (Olmo, 2011)

$$P = \frac{F}{A} = \frac{F \times d}{A \times d} = \frac{W}{V} = \frac{ENERGIA}{VOLUMEN} \quad \text{Ecuación ( 5 )}$$

### 8.3.2.5. Presión hidrostática

La presión hidrostática es la que se encuentra en el interior de toda masa líquida donde todos sus puntos tienen similares valores de temperatura y otras propiedades, el valor de la presión que ejerce el peso del fluido sobre una superficie dada. (Bancallan, 2017)

$$p = \rho * g * h \quad \text{Ecuación ( 6 )}$$

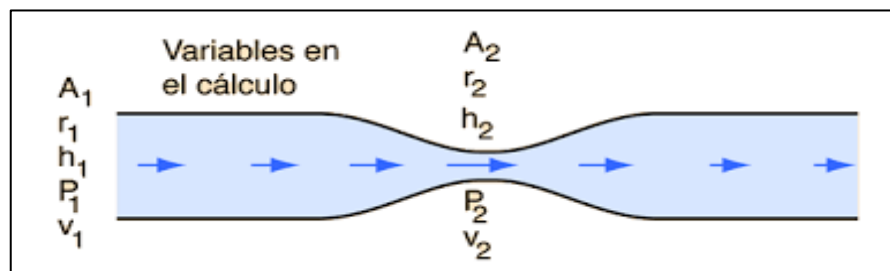
En donde:

- $p$  = Presión Hidrostática (Pa).
- $\rho$  = Densidad ( $\text{kg/m}^3$ ).
- $g$  = Gravedad ( $\text{m/s}^2$ ).
- $h$  = Altura (m).

### 8.3.2.6. Ecuación de Bernoulli

El principio de Bernoulli, indica el movimiento de un fluido a lo largo de un conducto y expresa que en un fluido ideal permanecerá constante durante su recorrido, este principio se representa en la figura 2. (Peron, 2021)

**Figura 2** Principio de Bernoulli



**Fuente:** (Peron, 2021)

La ecuación de Bernoulli consta de los siguientes parámetros que se describen a continuación.

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \text{Constante} \quad \text{Ecuación ( 7 )}$$

En donde:

- $P$ : Presión del fluido (Pa)
- $\rho$  : Densidad del fluido ( $\text{kg/m}^3$ )

- $v$ : Velocidad de flujo del fluido (m/s)
- $g$ : Gravedad (m/s<sup>2</sup>).
- $h$ : Altura sobre un nivel de referencia (m)

### 8.3.2.7. Ecuación de continuidad

La ecuación de continuidad es un caso más de la conservación de la masa en donde indica que el caudal de entrada debe ser el mismo que la salida, es decir debe ser constante a lo largo de toda su conducción, dado que el causal es el producto de la superficie de una sección del conducto por la velocidad con que fluye el fluido tenemos la siguiente ecuación:

$$Q_1 = Q_2 \quad \text{Ecuación ( 8 )}$$

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 \quad \text{Ecuación ( 9 )}$$

En donde:

- $A$ : Área de la tubería (m<sup>2</sup>)
- $Q$  : Caudal del fluido (m<sup>3</sup>/s)
- $v$ : Velocidad de flujo del fluido (m/s)

### 8.3.2.8. Caudal.

El caudal es la cantidad de fluido que pasa por un sitio en un tiempo determinado, también se lo llama caudal volumétrico. El caudal viene expresado por la ecuación de la continuidad. (Javier, 2005)

$$Q = v \cdot s \quad \text{Ecuación ( 10 )}$$

En donde:

- $Q$  : Caudal del fluido (m<sup>3</sup>/s)
- $v$ : Velocidad de flujo del fluido (m/s)
- $s$ : Área de la tubería (m<sup>2</sup>).

Para que un fluido se pueda trasladar entre dos puntos diferentes de un conducto, debe existir una desigualdad de energía entre dos puntos, esto ocasiona que exista perdidas por rozamiento en el conducto, las perdidas dependen de los siguientes factores que son:

- Velocidad

- Rugosidad
- El régimen laminar o turbulento
- Viscosidad

#### 8.3.2.9. Potencia mecánica.

La potencia mecánica es aquella fuerza que es transmitida entre dos elementos sólidos como son los engranajes y mide la rapidez con la que se realiza un trabajo en un tiempo determinado y su fórmula viene dada por:

$$P = F \cdot d \cdot \omega \quad \text{Ecuación ( 11 )}$$

- $P$ : Potencia mecánica (J/s)
- $F$ : Fuerza resultante (N)
- $d$ : Distancia al punto de giro (m)
- $\omega$ : Módulo de la velocidad angular (rad/s).

#### 8.3.2.10. Potencia hidráulica.

La potencia hidráulica es la energía que se genera entre el movimiento y la presión de un líquido, como por ejemplo esta potencia se utiliza para generar energía mecánica y transformarla en energía eléctrica y su fórmula viene dada por:

$$P = g \cdot d \cdot H \cdot Q \quad \text{Ecuación ( 12 )}$$

En donde:

- $P$ : Potencia Hidráulica (J/s= Watt).
- $d$ : Densidad del agua (1000 kg/m<sup>3</sup>).
- $g$ : Gravedad (9,8 m/s<sup>2</sup>).
- $H$ : Altura (m)
- $Q$ : Caudal (m<sup>3</sup>/s).

Multiplicando por el eficiencia:

$$P = 9,8 \cdot n \cdot H \cdot Q \quad \text{Ecuación ( 13 )}$$

En donde:

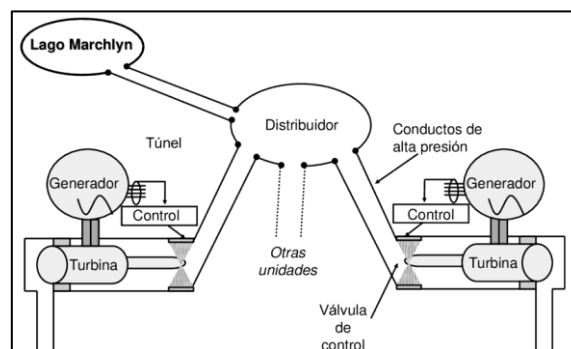
- $P$ : Potencia de la mini central (J/s= Watt).
- $n$ : Rendimiento de la turbina (%).

- H: Altura de salto de agua (m)
- Q: Caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

### 8.3.3. Micro Centrales Hidráulicas de generación.

Las centrales hidroeléctricas son todas aquellas instalaciones que aprovechan la energía del agua mediante un desnivel para producir energía mecánica al mover una turbina y esta a su vez mueve a un generador para transformarla en energía eléctrica, en la figura 3 se tiene un esquema típico de una hidroeléctrica. (Meléndez, 2017)

**Figura 3** Esquema típico hidroeléctrico



**Fuente:** (Meléndez, 2017)

#### 8.3.3.1. Clasificación de las mini centrales por la potencia.

Las mini centrales hidroeléctricas se clasifican por su potencia instalada:

**Tabla 3** Clasificación de las centrales hidroeléctricas según su potencia

| Potencia en kW | Tipo            |
|----------------|-----------------|
| 0-40           | Pequeña central |
| 40-400         | Mediana central |
| 400-4000       | Gran central    |

**Fuente:** (Yara, 2014)

**Tabla 4** Clasificación de las minicentrales hidroeléctricas según su caída

| Potencia (kW) | Baja (m) | Media (m)      | Alta (m)  |
|---------------|----------|----------------|-----------|
| Micro         | $H < 14$ | $14 < H < 80$  | $H > 80$  |
| Mini          | $H < 21$ | $21 < H < 120$ | $H > 120$ |
| Pequeña       | $H < 27$ | $27 < H < 140$ | $H > 140$ |

**Fuente:** (Yara, 2014)

### 8.3.3.2. Clasificación de las mini centrales por la presa.

Existen dos tipos básicos de minicentrales hidroeléctricas:

- Centrales de agua fluyente
- Centrales de pie de presa

### 8.3.4. Turbina Hidráulica.

Una turbina hidráulica es una turbomáquina que aprovecha un salto de agua que pasa por el rodete de la turbina para realizar un movimiento de rotación y así transformar la energía hidráulica en energía mecánica que está a su vez se transfiere por su eje hasta un generador y así producir energía eléctrica. Las turbinas instaladas en las mini centrales hidroeléctricas tienen el mismo principio y funcionamiento que las turbinas instaladas en las grandes centrales hidroeléctricas, es por eso que para su selección se debe tener en cuenta varios factores como se detalla a continuación. (Zurita, 2005)

#### 8.3.4.1. Criterios para la elección del tipo de turbina.

Las turbinas hidráulicas se seleccionan mediante los siguientes parámetros:

- **Velocidad de embalamiento:** se refiere a la velocidad máxima que puede adquirir el eje de unión Turbina – Generador.
- **Problemas de cavitación:** esto se refiere a la cantidad de aire presente en la tubería debido a las vibraciones, ruidos y golpeteos.
- **La caída de agua:** este parámetro menciona a la altura de caída de agua desde la presa hasta el cuarto de máquinas.
- **Velocidad de rotación:** es la velocidad nominal que puede adquirir el eje de unión Turbina – Generador.
- **Costo:** la cantidad de dinero para realizar la inversión en una central hidroeléctrica.
- **El caudal:** es la cantidad de agua que se desplaza en una tubería en unidad de tiempo.

#### 8.3.4.2. Clasificación de las turbinas.

Se clasifican de acuerdo al cambio de presión en el rodete:

- **Turbinas de acción** son aquellas turbinas que mantienen el fluido a una presión constante al momento que pasan por el rodete
- **Turbinas de reacción** son aquellas turbinas que sufren un cambio de presión en el fluido al momento que pasan por el rodete.

Por el diseño de rodete:

- **Turbinas Michell Banki.**

La turbina Michel Banki representada en la figura 4, funciona con flujo transversal, el rodete se encuentra formado por alabes curvos, esta turbina tiene un rendimiento del 80%, la maquina trabaja a baja velocidad y a bajas alturas, pero elevados caudales. (Caiza, 2022)

**Figura 4** Rodete de una turbina Mishell Banki



**Fuente:** (Caiza, 2022)

- **Turbinas Francis.**

La fabricación de la turbina Francis es una de las más complejas por lo cual su costo es alto y su rendimiento va desde el 83% hasta el 90%, está diseñada para trabajar a altas velocidades y son capaces de operar en rangos de desnivel que van desde los 2 metros hasta los cientos de metros, en la figura 5 se tiene una representación gráfica. (Caiza, 2022)

**Figura 5** Rodete de una turbina Francis



**Fuente:** (Caiza, 2022)

- **Turbina axial.**

La construcción de una turbina axial requiere de herramientas especializadas por lo tanto su costo de fabricación es alto, posee un rendimiento de operación del 90% y trabaja con saltos de agua pequeños, pero con grandes caudales. En (Caiza, 2022)

**Figura 6** Rodete de una turbina axial



**Fuente:** (Caiza, 2022)

### 8.3.5. Turbinas Pelton.

La turbina Pelton representada en la figura 7, es una de las más eficientes, el rendimiento máximo de esta turbina es del 85%, su flujo es tangencial lo cual permite el movimiento de su rodete conformado por varias cucharetas está diseñada para trabajar a bajas velocidades y bajo caudal, pero con grandes saltos de agua. (Criollo, 2011)

**Figura 7** Rodete de una turbina Pelton



**Fuente:** (Barbol, 2015)

#### 8.3.5.1. Ventajas y Desventajas.

En la tabla 5 se presentan las ventajas y desventajas de la utilización de una turbina Pelton.

**Tabla 5** Ventajas y desventajas de una turbina Pelton

| VENTAJAS                                                       | DESVENTAJAS                                                                                                                                                  |
|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Su estructura es robusta y no contamina ni el agua ni el aire. | Los emplazamientos se encuentran a largas distancias de la población lo que aumenta la dificultad de transportarla y aumenta sus costos de puesta en marcha. |
| Su costo de fabricación y exportación son bajos.               |                                                                                                                                                              |
| Su mantenimiento es sencillo y de bajo costo.                  |                                                                                                                                                              |

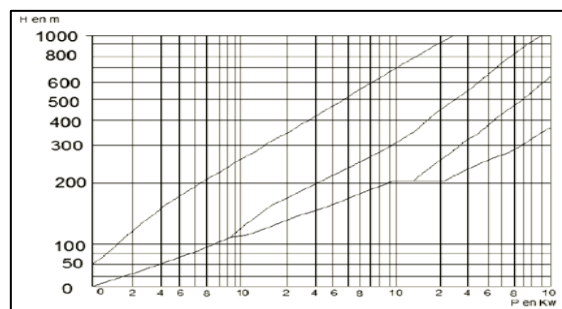
|                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Su rendimiento es alto.</p> <p>Trabaja a bajas velocidades y con poco caudal.</p> <p>Utiliza saltos de agua altos, alrededor de 200 metros y mayores.</p> <p>Pueden ser instalados con su eje en posición ya sea horizontal o vertical.</p> | <p>Para grandes caudales se debe aumentar el número de inyectores.</p> <p>Su altura mínima para su funcionamiento es de 20 metros.</p> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**Fuente:** (Yara, 2014)

### 8.3.5.2. Principios de funcionamientos de una turbina Pelton.

Su principio se basa en transformar la energía hidráulica en energía mecánica, esta se logra a través de su inyector que aprovecha la energía de presión en energía cinética, esto hace que la turbina Pelton sea turbina de acción, al chocar el chorro de agua con las cucharas produce una fuerza de reacción que permite el movimiento del rotor que se encuentra conectado a un generador eléctrico. El inyector debe tener un regulador de velocidad que permita cerrar o abrir más el orificio de salida del inyector, consiguiendo así variar el caudal de agua a fin de mantener constante la velocidad del rotor. (Álvarez, 2021)

**Figura 8** Curva característica



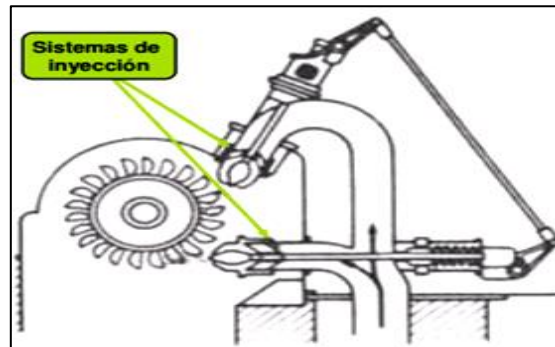
**Fuente:** (Álvarez, 2021)

### 8.3.5.3. Componentes de una turbina Pelton

Los componentes esenciales de una turbina Pelton, son:

- **El distribuidor**

Está formado por uno o más inyectores, cada inyector está formado por varios elementos mecánicos, en la figura 9 se tiene una representación gráfica. (Criollo & Quezada, 2011)

**Figura 9** Inyección Pelton

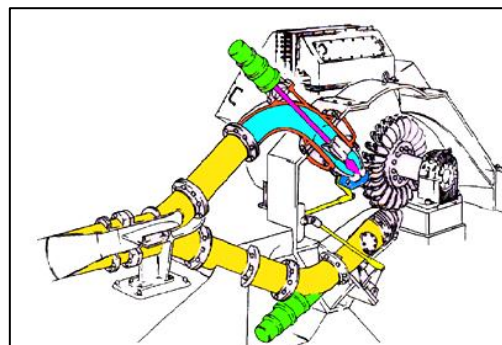
**Fuente:** (Criollo & Quezada, 2011)

Su funcionamiento es dirigir el chorro de agua hacia las cucharas y regular la salida del caudal en el inyector para mantener constante la velocidad del rodete. En las turbinas Pelton de eje vertical están hasta 6 inyector que proyectaran chorros de agua hacia el rodete, el número de inyector puede depender de la potencia y de las condiciones del salto de agua (Álvarez, 2021)

**Figura 10** Turbina Pelton de 6 inyectores

**Fuente:** (Pérez Sánchez, 2017)

En las turbinas Pelton que cuentan con ejes horizontales los inyectores van solo dos.

**Figura 11** Turbina Pelton de 2 inyectores

**Fuente:** (Pérez Sánchez, 2017)

- **Cámara de distribución**

La cámara de distribución es aquella que permite distribuir el caudal a cada uno de los inyectores, esta está unida por bridas a la tubería forzada. (Alcoser & Henry, 2018)

**Figura 12** Cámara de distribución



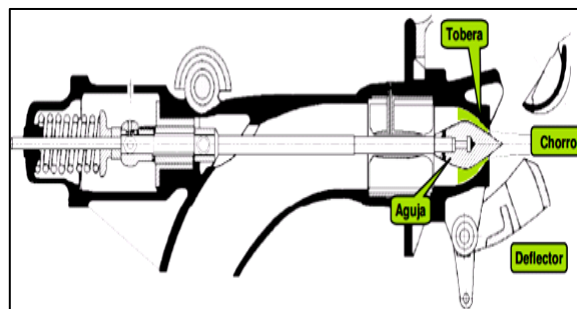
**Fuente:** (Alcoser & Henry, 2018)

- **Inyector**

Es un elemento que convierte la energía de presión en energía cinética y permite regular el chorro de agua que va dirigido al rodete y está compuesto por:

- Deflector
- Aguja
- Tobera
- Equipo regulador de velocidad

**Figura 13** Partes del inyector



**Fuente:** (Caizaguano & Sangucho, 2016)

- **Tobera**

La tobera es la encargada de dirigir el chorro de agua en forma tangencial hacia el rotor, se encuentra ubicada al final de la cámara de distribución y tiene un diámetro que está entre los 5 y 30 cm. (Alcoser & Henry, 2018)

**Figura 14** Tobera



**Fuente:** (Velasco, 2020)

- **Aguja**

Este elemento se ubica en la parte interna de la tobera, consta de un desplazamiento longitudinal en dos sentidos y es guiado por cojinetes. (Velasco, 2020)

**Figura 15** Aguja

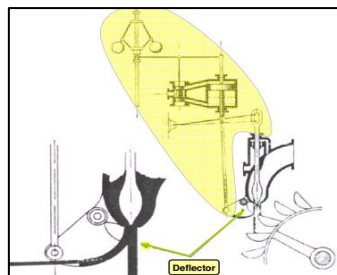


**Fuente:** (Velasco, 2020)

- **Deflector**

El deflector actúa en forma de pantalla que sirve para interferir en la trayectoria del chorro de agua entre la tobera y el rodete y sirve para evitar el golpe de ariete y el embalamiento de la turbina. (Díaz, 2021)

**Figura 16** Deflector

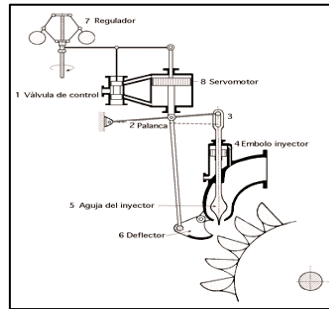


**Fuente:** (Díaz, 2021)

- **Regulador de velocidad**

Es un conjunto de servomecanismos que permiten mantener constante la frecuencia en 60 Hz en cualquiera de sus circunstancias, ya sea que este o no con carga, en la figura 17 se tienen las partes de un equipo regulador de velocidad. (Díaz, 2021)

**Figura 17** Partes de un equipo regulador de velocidad



**Fuente:** (Díaz, 2021)

- **Rodete pelton**

Es el mecanismo en donde la energía cinética se transforma en energía mecánica y está compuesto por dos partes fundamentales que son:

- Alabes [también llamados cucharas, cazoletas o cangilones]
- Rueda motriz

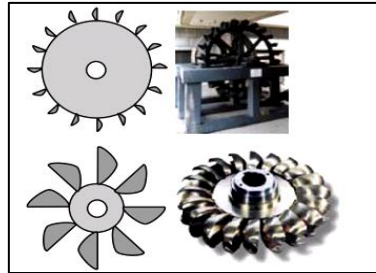
**Figura 18** Rodete pelton



**Fuente:** (EDIBON, 2017)

- **Rueda motriz**

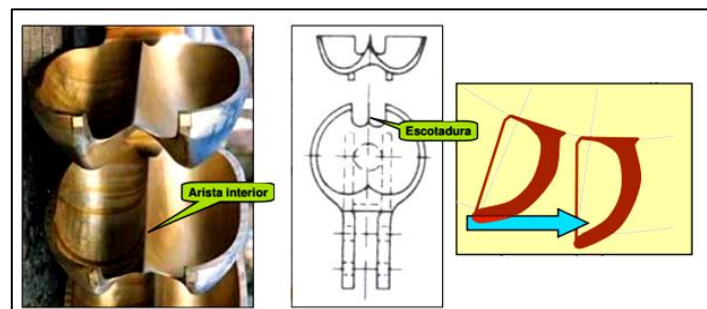
La rueda motriz se encuentra unida al eje, este se encuentra mecanizada para ser soporte de los cangilones.

**Figura 19** Rodete

**Fuente:** (Gebellí Carrasco, 2020)

- **Álabes**

En los álabes choca el chorro de agua para generar el movimiento rotatorio, los alabes tienen forma de doble cuchareta con una arista inferior afilada y situada en dirección perpendicular hacia el eje. Cada alabe lleva en su extremo una escotadura en forma de W que permite que sus aristas se encuentren en forma perpendicular respecto al eje. (Bancallan, 2017)

**Figura 20** Alabes

**Fuente:** (Bancallan, 2017)

- **Carcasa**

Es la protección metálica que tiene la turbina para evitar que el agua salpique al exterior y que proteja a todos los elementos en caso de emergencia. (Maria, 2018)

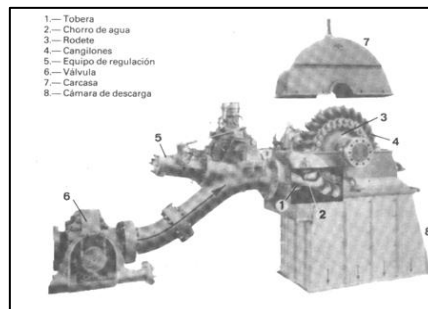
**Figura 21** Carcasa

**Fuente:** (Maria, 2018)

- **Cámara de descarga**

La cámara de descarga es por donde se desfogó el agua después de haber movido el rotor, esta tiene un colchón de agua que ayuda a evitar que exista deterioro en la cámara de descarga, en la figura 22 se tienen las partes principales de una turbina Pelton en donde se puede observar la cámara de descarga. (Meléndez, 2017)

**Figura 22** Conjunto de una turbina Pelton

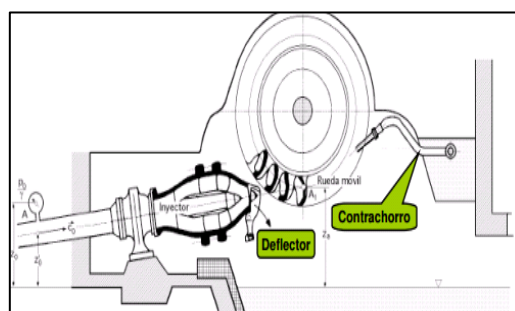


**Fuente:** (Meléndez, 2017)

- **El sistema de frenado**

El sistema de frenado es el que permite parar completamente la turbina, esto se puede realizar con circuitos de contra chorro a parte del deflector que ayuda detener el flujo del chorro para que no llegue a los álabes. (Moral, 2020)

**Figura 23** Sistema de frenado



**Fuente:** (Moral, 2020)

- **Eje de la turbina**

Se encuentra unida al rodete y está sobre cojinetes los cuales ayudan a transmitir el movimiento de rotación al eje del alternador para generar energía eléctrica, al eje pueden estar conectados una o varias turbinas y un solo generador. (Peron, 2021)

**Figura 24** Eje de la turbina



**Fuente:** (Peron, 2021)

#### 8.3.5.4. Rendimiento mecánico de una turbina Pelton.

El rendimiento mecánico de la turbina Pelton es la potencia mecánica sobre la potencia hidráulica.

$$n = \frac{P_{\text{mecánica}}}{P_{\text{hidráulica}}} \quad \text{Ecuación ( 14 )}$$

En donde:

- $n$  : rendimiento (%)
- $P_{\text{mecánica}}$ : Potencia mecánica (W)
- $P_{\text{hidráulica}}$ : Potencia hidráulica (W).

#### 8.3.6. Equipo controlador del módulo

##### 8.3.6.1. Arduino

Arduino es un equipo electrónico que utiliza un código abierto basada en hardware libre y software flexibles y fáciles de usar. Los circuitos se pueden armar de forma manual o adquirirlas de forma completas, ya que arduino tiene una variedad de sensores que ya consta con su circuito de acondicionamiento listo para ser utilizado. (Arduino, 2016)

**Figura 25** Arduino



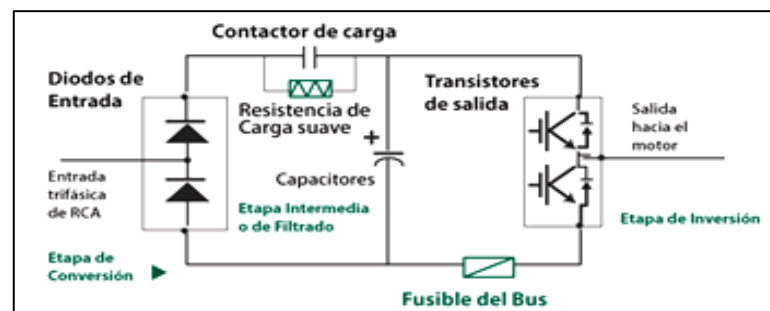
**Fuente:** (Arduino, 2016)

### 8.3.6.2. Variador de frecuencia

Los variadores de frecuencia son aquellos instrumentos que permite controlar la velocidad rotacional de un motor, los variadores de frecuencia funcionan con corriente alternar lo que permite modificar la frecuencia de alimentación la cual se suministra hacia el motor. (Dioses, 2020)

El variador de frecuencia debe ser alimentado por corriente alterna el cual será convertido en corriente continua por un puente de diodos que viene incluido en el mismo variador, el voltaje pasa por un banco de capacitores que permite reducir las variaciones de la señal, una vez reducidas las variaciones de la señal este voltaje pasa por un inversor el cual está compuesta por transistores IGBT los cuales envían una oda cuadrada de voltaje de corriente directa a una frecuencia constante y su valor promedio tiene la forma de onda senoidal de la frecuencia que se aplica al motor. (Dioses, 2020)

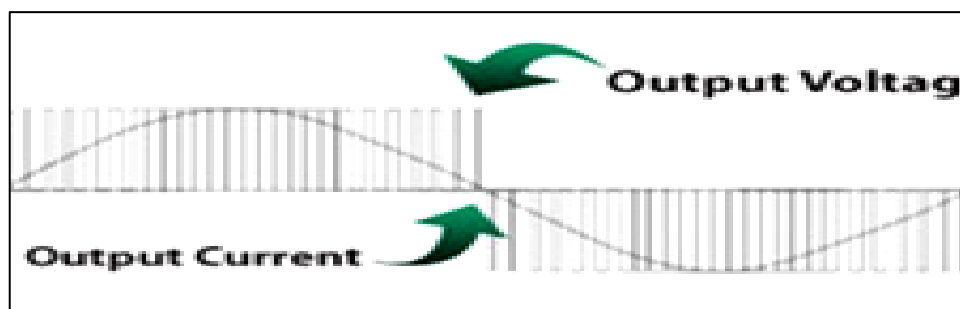
**Figura 26** Variador de frecuencia



**Fuente:** (Dioses, 2020)

Los transistores tienen un proceso denominado PWM que es la conmutación de los mismo mediante una modulación por ancho de pulso.

**Figura 27** Proceso de ondulación PWM



**Fuente:** (Dioses, 2020)

Si se tiene un control sobre la frecuencia es posible obtener un control en la velocidad del motor, para lo cual se aplica la ecuación 15. (Caiza, 2022)

$$N_m = \frac{120 \times f}{P} \quad \text{Ecuación ( 15 )}$$

En donde:

- $N_m$  : velocidad mecánica (rpm)
- $f$ : Frecuencia de alimentación (Hz)
- $P$ : Número de polos.

### 8.3.6.3. Pantalla HMI

Las siglas “HMI” tiene referencia a “Interfaz hombre máquina”, es un equipo que contiene una pantalla que permite comunicarse con la máquina o un sistema, esta interacción su utiliza generalmente en la parte industrial. Estas pantallas muestran datos en tiempo real y permiten al usuario controlar las máquinas con una interfaz gráfica de usuario. (Alibaba, 2008)

**Figura 28** Pantalla HMI



**Fuente:** (Alibaba, 2008)

### 8.3.7. Sensor

Un sensor es un dispositivo que tiene la función de detectar magnitudes físicas o químicas que pueden ser denominadas “variables de instrumentación”, y convertirlas en magnitudes que se midan de manera eléctrica. Estas magnitudes físicas pueden ser: presión, distancia, temperatura, intensidad lumínica, humedad, fuerza, inclinación, desplazamiento, torsión, movimiento, entre otros. Por otra parte, una magnitud eléctrica puede ser: una resistencia (como tienen los RTD de temperatura), una capacidad (como tienen los sensores de humedad), un voltaje (como tienen las termocuplas), una corriente (como tienen los fototransistores). Los sensores en todos los momentos están en contacto con la variable a medir, esto hace que el sensor proporcione una

de sus propiedades físicas de tal manera que se adapte a la señal que realiza la medición para que pueda ser interpretada por otro elemento o dispositivo. (AMG Kits, 2013)

**Figura 29** Sensores



**Fuente:** (AMG Kits, 2013)

### 8.3.8. Bomba centrífuga

Una bomba centrífuga es aquella que transforma la energía mecánica en energía cinética o de presión, esta transformación la realiza el impulsor de la bomba. El fluido ingresa por el centro del rodete hacia los alabes los cuales conducen el fluido y por efecto de la fuerza centrífuga este es impulsado hacia el exterior. (Sanchez Serrano, 2018)

**Figura 30** Bomba centrífuga



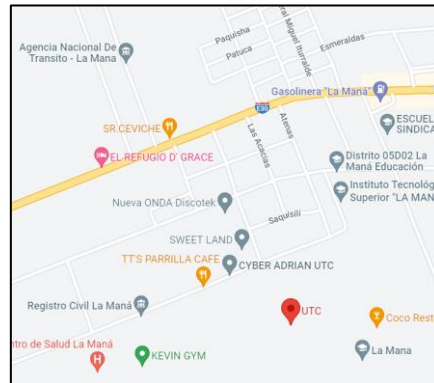
**Fuente:** (Sanchez Serrano, 2018)

## 9. METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

### Localización

El proyecto tiene lugar en los laboratorios de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión “La Maná”, en la provincia de Cotopaxi, cantón La Maná.

**Figura 31** Ubicación del proyecto



**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

### 9.1. Tipos de investigación

#### 9.1.1. Investigación bibliográfica

Este tipo de investigación permite utilizar las diferentes fuentes bibliográficas para la identificación de las variables físicas que inciden en los sistemas de micro generación hidroeléctrica, así como también la información sobre las curvas de funcionamiento de una turbina Pelton al momento de agregar valores de caudal contribuyendo de esa manera a la investigación planteada.

#### 9.1.2. Investigación experimental

En la investigación planteada se hace uso de un conjunto de actividades metódicas y técnicas para obtener información y datos necesarios sobre el módulo didácticos de la turbina Pelton. Se obtiene el rendimiento mecánico por medio de la adquisición de variables físicas (presión, caudal, torque y velocidad angular), las cuales se modifican con el fin de describir y analizar lo que ocurre en determinadas condiciones de prueba.

#### 9.1.3. Investigación aplicada

Con el presente proyecto de investigación se pretende ampliar el conocimiento sobre turbinas Pelton, mediante la actualización del laboratorio de la Carrera de Ingeniería Electromecánica al

implementar un módulo didáctico para obtener el rendimiento mecánico de una turbina Pelton bajo diversas condiciones y poder observar cada una de las curvas a través de una pantalla HMI.

## **9.2. Técnica de recolección de datos**

### **9.2.1. La observación en el laboratorio**

Para la obtención de datos necesarios para implementar el módulo de pruebas, se necesita aplicar la técnica de observación y obtener estos experimentalmente mediante el funcionamiento de la turbina Pelton bajo los parámetros de modificación de presión y caudal, observar minuciosa y detalladamente los datos presentados por los diferentes instrumentos de medida del módulo.

### **9.2.2. Técnica de análisis de datos**

Para analizar los datos obtenidos de manera experimental, se utiliza la técnica gráfica, la cual ayuda a determinar la relación que existe entre los resultados obtenidos con la aplicación del módulo didáctico y los resultados obtenidos mediante las pruebas manuales.

### **9.2.3. Hipótesis del proyecto**

Mediante la implementación de un módulo didáctico de micro generación hidráulica permitirá visualizar y analizar la eficiencia mecánica de una turbina Pelton.

### **9.2.4. Pregunta científica**

¿Cuál es el rendimiento mecánico de una turbina Pelton a distintos valores de caudal y presión en micro generación hidráulica?

## **9.3. Declaración de variables**

- Variable Independiente:

Implementación de un módulo didáctico de micro generación hidráulica.

- Variable Dependiente:

Análisis del rendimiento mecánico de la turbina Pelton.

### **9.3.1. Variable independiente**

En la tabla 6 se presenta la variable independiente con su definición, indicadores, técnicas e instrumentos utilizados en el presente proyecto.

**Tabla 6** Variable independiente

| Definición                                                                            | Indicadores        | Ítem              | Técnicas     | Instrumentos |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------|--------------|--------------|
| Es un equipo de pruebas que permite analizar el comportamiento de una turbina Pelton. | Equipo controlador | -                 | Programación | Software     |
|                                                                                       | Presión            | Psi               | Medición     | Manómetro    |
|                                                                                       | Caudal             | m <sup>3</sup> /s | Medición     | Caudalímetro |

Fuente: (Lema & Oto,2023)

### 9.3.2. Variable dependiente

En la tabla 7 se presenta la variable dependiente del proyecto con su definición, indicadores, ítems, técnicas e instrumentos.

**Tabla 7** Variable dependiente

| Definición                                                                                                                     | Indicadores | Ítem | Técnicas              | Instrumentos         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------|-----------------------|----------------------|
| El rendimiento de la turbina Pelton se define como el cociente entre la energía producida por la misma y la energía disponible | Rendimiento | %    | Cálculo<br>Simulación | Ecuación<br>Software |
|                                                                                                                                | Velocidad   | rpm  | Cálculo<br>Simulación | Ecuación<br>Software |

Fuente: (Lema & Oto,2023)

## 9.4. Descripción de los elementos

### 9.4.1. Selección de la turbina Pelton

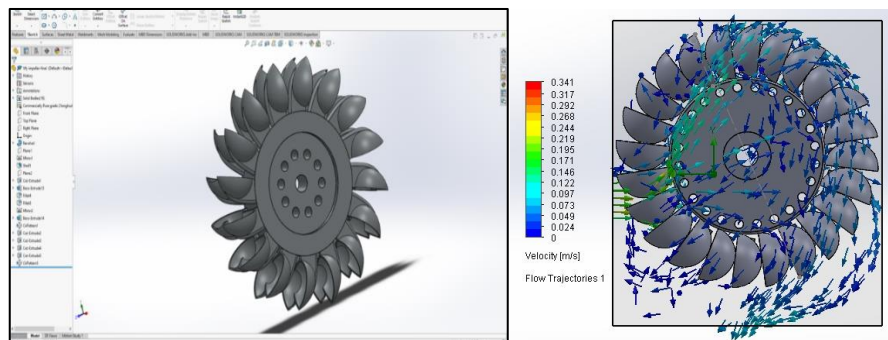
La turbina hidráulica Pelton de GEMSTONE tiene un diámetro exterior de 270 mm, con 24 cubetas de la copa (material Nylon lleno de vidrio), ancho de 61mm y una altura de la copa de 48 mm. La tasa es sostenida por cerradura con enclavamiento por pernos de acero inoxidable y con tuercas de nylon. Cada vaso está apoyado de manera única por el otro y bloqueado en el hueco de 2 piezas de superficie baja que permite que las costillas estén dentro y salgan de la hidrodinámica necesaria para velocidades rápidas. El agujero del eje es de 1 pulgada de diámetro. Cada rueda viene con un vidrio llenó el jet de nylon. Esta turbina es la ideal para un generador de 6 pares de polos, ya que este tipo de generador funciona a una velocidad de 600 RPM.

**Tabla 8** Características de la turbina Pelton

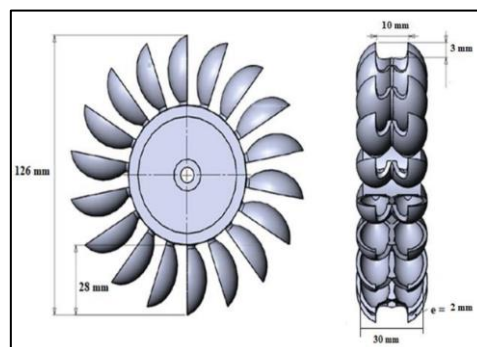
|                             |                 |                                                                                    |
|-----------------------------|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Tipo de turbina</b>      | Pelton          |  |
| <b>Velocidad</b>            | 600 rpm         |                                                                                    |
| <b>Material</b>             | Fibra de vidrio |                                                                                    |
| <b>Número de cucharetas</b> | 24              |                                                                                    |
| <b>Caudal</b>               | 1800 l/h        |                                                                                    |
| <b>Altura</b>               | 60 metros       |                                                                                    |
| <b>Radio del tambor</b>     | 270 mm          |                                                                                    |

**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

En la figura 32 se tiene el diseño de la turbina Pelton utilizando un software CAD.

**Figura 32** Diseño de la turbina Pelton en CAD

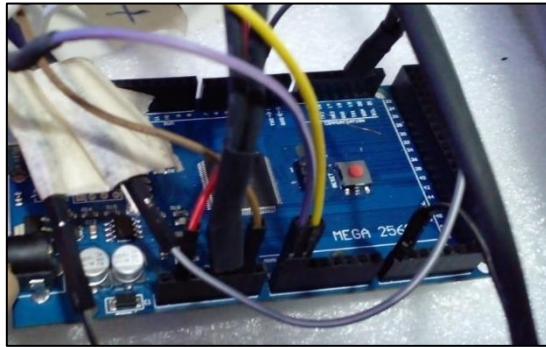
**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

**Figura 33** Medidas de diseño de la turbina Pelton

**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

#### 9.4.2. Selección del equipo controlador

El equipo controlador del módulo didáctico es el arduino mega 2560 visualizado en la figura 34, es una placa electrónica basada en el Atmega2560 que contiene pines de entradas y salidas de tipo analógicas y digitales muy utilizado para el control de procesos.

**Figura 34** Arduino mega

**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

En la tabla 9 se observa todas las características del arduino mega

**Tabla 9** Características del arduino mega

| Características                     | Función         |
|-------------------------------------|-----------------|
| Microcontrolador                    | ATmega2560      |
| Voltaje de operación                | 5 VDC           |
| Voltaje de entrada                  | 7 – 12 VDC      |
| Voltajes de entrada mínimo y máximo | 6 – 20 VDC      |
| Pines de entrada y salida digital   | 54 (15 son PWM) |
| Pines de entrada analógica          | 16              |
| Corriente CC por cada Pin           | 20 mA           |
| Memoria flash                       | 256 k           |
| Velocidad de reloj                  | 16 MHz          |
| Dimensiones                         | 102 mm x 53 mm  |
| Peso:                               | 37 gr           |

**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

#### 9.4.3. Selección de la bomba

Para la selección de este equipo se considera los variables como son el caudal y el tipo de líquido que se va a desplazar, para lo cual se aplica la ecuación 12 para determinar la potencia necesaria con los siguientes datos:

- $d: 1000 \text{ kg/m}^3$

- $g$ : 9,81 m/s<sup>2</sup>
- $Q$ :  $5 \times 10^{-4}$  m<sup>3</sup>/s
- $h$ : 60 metros

$$P_{teorica} = 1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot (5 \times 10^{-4}) \frac{m^3}{s} \cdot 60m$$

$$P_{teorica} = 294,3 \text{ Watt} \cdot \frac{1HP}{745,7Watt}$$

$$P_{teorica} = 0,39 \text{ HP}$$

$$P_{REAL} = \frac{P_{teorica}}{\text{Eficiencia de la Bomba}}$$

$$P_{REAL} = \frac{0,39 \text{ HP}}{0,6}$$

$$P_{REAL} = 0,66 \text{ HP}$$

Como no existe en el mercado bombas eléctricas de agua de 0,66 HP se selecciona la bomba de  $\frac{3}{4}$  HP.

**Figura 35** Arduino mega



**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

En la tabla 10 se observa todas las características de la bomba de agua

**Tabla 10** Características de la bomba de agua

| Características | Función                                   |
|-----------------|-------------------------------------------|
| Marca           | Paolo                                     |
| Aplicaciones    | Tanque de reserva, jardines de riego, etc |

|                               |                   |
|-------------------------------|-------------------|
| Modelo                        | PBP65             |
| Potencia                      | $\frac{3}{4}$ HP  |
| Tensión                       | 220 Vac trifásica |
| Velocidad                     | 3450 RPM          |
| Máxima profundidad de succión | 8 metros          |
| Flujo máximo                  | 55 l/min          |
| Altura máxima                 | 45 metros         |

Fuente: (Lema & Oto,2023)

#### 9.4.4. Selección de la tubería de succión

Área del tramo de la tubería de succión de 2 pulgadas.

$$A_1 = \frac{\pi D_1^2}{4}$$

$$A_1 = \frac{\pi(0,0508)^2}{4}$$

$$A_1 = 2,0268 \times 10^{-3} m^2$$

Velocidad del fluido en la tubería de succión de 2 pulgadas.

$$v_1 = \frac{Q}{A_1}$$

$$v_1 = \frac{5 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}}{2,0268 \times 10^{-3} m^2}$$

$$v_1 = 0,25 \frac{m}{s}$$

#### 9.4.5. Selección de la tubería de descarga

Área del tramo de la tubería de salida de  $\frac{1}{2}$  pulgada.

$$A_2 = \frac{\pi D_2^2}{4}$$

$$A_2 = \frac{\pi(0,0127)^2}{4}$$

$$A_2 = 1,267 \times 10^{-4} m^2$$

Velocidad del fluido en la tubería de descarga de ½ pulgada.

$$v_2 = \frac{Q}{A_2}$$

$$v_2 = \frac{5 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}}{1,267 \times 10^{-4} m^2}$$

$$v_2 = 3.95 \frac{m}{s}$$

#### 9.4.6. Selección del sensor de presión

El sensor de presión se selecciona mediante la siguiente formula.

$$Presión = d \cdot g \cdot h \quad \text{Ecuación ( 16 )}$$

En donde:

- *Presion*: Es la Presión de la bomba en Pascales (Pa).
- *d*: Es la Densidad del fluido que es agua y esta es de 1000 kg/m³
- *g*: Es la Gravedad y su unidad es de 9,81 m/s²
- *h*: 60 metros

$$Presion = 1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 60m$$

$$Presion = 588600 Pa \times \frac{0,000014503 PSI}{1 Pa}$$

$$Presion = 8,54 PSI$$

Se selecciona un sensor de presión de 15 PSI.

**Figura 36** Sensor de presión



**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

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.

En la tabla 11 se observa todas las características de funcionamiento del sensor de presión.

**Tabla 11** Características del sensor de presión

| CARACTERÍSTICAS                    | DESCRIPCIÓN                               |
|------------------------------------|-------------------------------------------|
| Entrada:                           | 0-15 psi (Presión Manométrica)            |
| Salida:                            | 0.5-4.5 V                                 |
| Precisión:                         | +/-1%                                     |
| Rosca:                             | 1/8 " NPT                                 |
| Conector de cableado:              | Packard unidad plug-in está incluido      |
| Capacidad de sobrecarga:           | 2-4 veces                                 |
| Temperatura De trabajo:            | -40-+ 120 ° C                             |
| compensación de Temperatura        | -20-+ 80 ° C;                             |
| Clase de protección:               | IP67                                      |
| Resistencia A los golpes:          | 1000g                                     |
| Anti-Shock:                        | $\leq \pm 0.01\%$ FS (X, Y, z, 200 Hz/g); |
| Tiempo Resistencia de aislamiento: | > 500VDC 100mΩ;                           |
| Peso:                              | 55 gramos                                 |

**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

En la tabla 12 se encuentra la identificación de cada color de cable que sale del sensor de presión

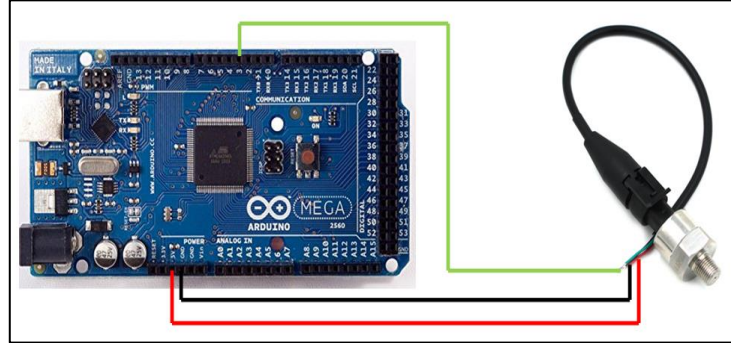
**Tabla 12** Identificación de los cables del sensor de presión

| COLOR | FUNCION         |
|-------|-----------------|
| ROJO  | + 5 V           |
| NEGRO | Tierra          |
| VERDE | Salida de señal |

**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

En la figura 34 se aprecia el esquema eléctrico entre el sensor de presión y el equipo controlador seleccionado “arduino”.

**Figura 37** Sensor de presión



**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

#### 9.4.7. Selección del sensor de caudal

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 que a través de la programación podemos determinar el valor del caudal que pasa por el sensor. El inyector de la turbina Pelton GEMSTONE resiste un caudal de 15 litros/minuto, por lo cual se ve la necesidad de implementar un sensor de caudal que resista el doble de su capacidad.

$$Q = Q_{INYECTOR} \times 2$$

$$Q = 15 \frac{LITROS}{MINUTO} \times 2$$

$$Q = 30 \frac{LITROS}{MINUTO}$$

**Figura 38** Sensor de caudal



**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

En la tabla 13 se observa todas las características de funcionamiento del sensor de caudal.

**Tabla 13** Características del sensor de caudal

| CARACTERISTICAS          | FUNCION          |
|--------------------------|------------------|
| Rango de Flujo:          | 1~30 Litros/min. |
| Voltaje:                 | 4.5V a 24V.      |
| Intensidad Máxima:       | 15mA (5V DC).    |
| 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          |

**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

En la tabla 14 se encuentra la identificación de cada color de cable que sale del sensor de caudal.

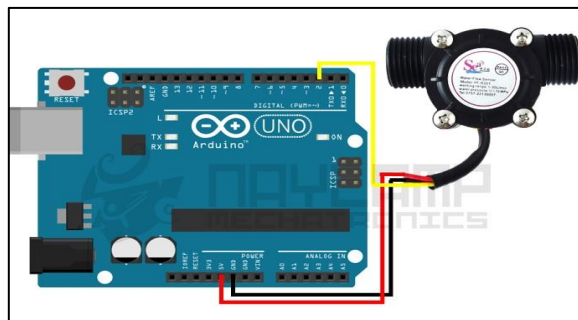
**Tabla 14** Identificación de los cables del sensor de caudal

| COLOR    | FUNCION         |
|----------|-----------------|
| Rojo     | + 5 V           |
| Negro    | Tierra          |
| Amarillo | Salida de señal |

**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

En la figura 34 se puede observar la forma de conexión entre el sensor de caudal y el equipo controlador seleccionado “arduino”.

**Figura 39** Sensor de caudal



**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

#### 9.4.8. Selección del sensor de fuerza

Para poder medir el torque que existe en el eje de la turbina se implementa un sensor que mida la fuerza que se le aplica al eje, este sensor tendrá una capacidad de 5 kg y al momento de medir emite pulsos de voltaje lo cual permitirá medir la magnitud. Este módulo permite trabajar de forma rápida y sencilla que posee celdas de carga la cual mide fuerza en kilogramos, tiene un circuito integrado HX-711 (amplificador) que facilita la interfaz entre el microcontrolador. El HX-711 posee 2 hilos de entrada y salida que permite realizar la comunicación de cualquier microcontrolador.

**Figura 40** Sensor de fuerza



**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

En la tabla 15 se observa todas las características de funcionamiento del sensor de fuerza.

**Tabla 15** Características del sensor de fuerza

| CARACTERISTICAS         | FUNCION                |
|-------------------------|------------------------|
| Interfaz:               | Salida digital serial. |
| Voltaje de operación:   | 2,7- 5 volts.          |
| Corriente de operación: | < 1,5mA.               |
| Canales de entrada:     | 2                      |

**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

En la tabla 16 se encuentra la identificación de cada color de cable que sale del sensor de fuerza.

**Tabla 16** Identificación de los cables del sensor de fuerza

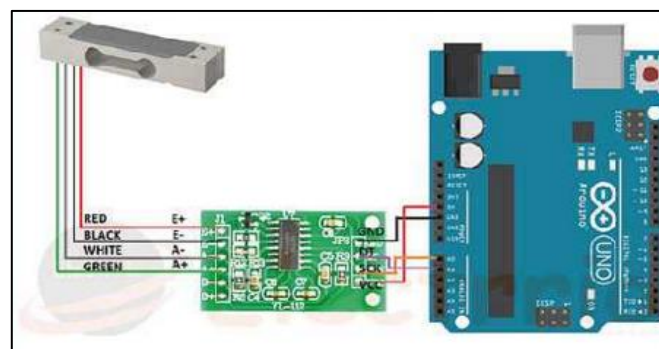
| COLOR | FUNCION          |
|-------|------------------|
| Rojo: | Voltaje continuo |

|            |                  |
|------------|------------------|
| Negro:     | Tierra           |
| Blanco:    | Señal de entrada |
| Verde:     | Señal de salida  |
| Amarrillo: | Tierra física    |

**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

En la figura 41 se puede observar la forma de conexión entre el sensor de fuerza y el equipo controlador seleccionado “arduino”.

**Figura 41** Conexión del sensor de fuerza al arduino

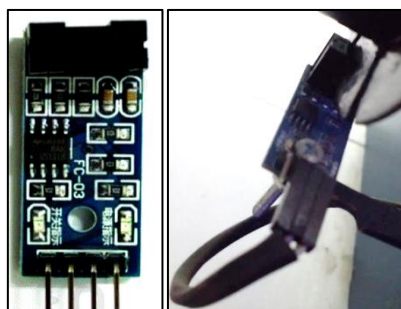


**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

#### 9.4.9. Selección del sensor de velocidad

Este sensor de velocidad permite medir la velocidad mediante pulsos que son registrados dentro de un contador que es detectado cuando un objeto pasa por su ranura, este sensor es compatible con micro controladores como Arduino Este sensor actúa como un encoder con una interfaz muy sencilla. 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

**Figura 42** Sensor de velocidad



**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

Para determinar la potencia de salida debemos medir la velocidad angular que posee el eje de la turbina, por lo cual se implementó un Encoder el cual permitirá medir de forma física, por cada giro que del eje este sensor emitirá pulsos los cuales permitirá transformar la señal y poder observar atreves de la pantalla HMI.

En la tabla 17 se observa todas las características de funcionamiento del sensor de velocidad FC-03.

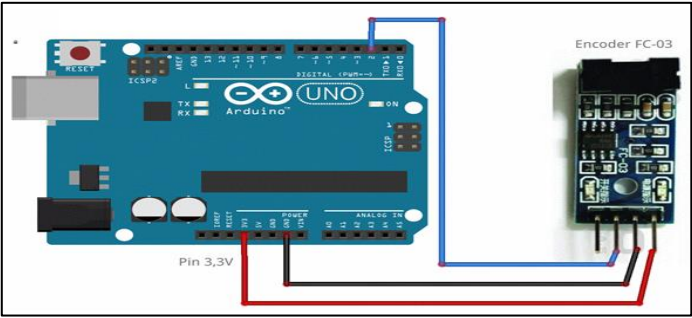
**Tabla 17** Características del sensor de velocidad

| CARACTERISTICA     | FUNCION    |
|--------------------|------------|
| Alimentación:      | 3.3-12VDC. |
| Chip principal:    | LM393.     |
| Número de pines:   | 4.         |
| Formato de salida: | 0 y 1.     |

**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

En la figura 43 se puede observar la forma de conexión entre el sensor de velocidad y el equipo controlador seleccionado “arduino”.

**Figura 43** Conexión del sensor de velocidad al arduino



**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

En la tabla 18 se presenta el color con su respectivo significado del sensor de velocidad FC-030.

**Tabla 18** Identificación de cada señal del sensor de velocidad

| COLOR | FUNCION |
|-------|---------|
| Rojo  | 5 Vcc   |
| Negro | Tierra  |

|          |                 |
|----------|-----------------|
| Amarillo | Salida de señal |
|----------|-----------------|

**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

#### 9.4.10. Selección del variador de frecuencia

Para seleccionar el variador de frecuencia se debe tener en cuenta la alimentación y la potencia que se desea. En este caso la bomba trabaja con una alimentación trifásica y tiene una potencia de  $\frac{3}{4}$  HP por lo cual se seleccionó un variador de frecuencia de la marca INSTECH-230 que permite manejar hasta la potencia de HP.

**Tabla 19** Dimensiones del variador

|             |        |
|-------------|--------|
| Alto        | 132 mm |
| Ancho       | 68 mm  |
| Profundidad | 102 mm |

**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

**Figura 44** Variador de frecuencia



**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

En la tabla 20 se observa todas las características del variador de frecuencia.

**Tabla 20** Características del variador de frecuencia

| Descripción               | Valor                 |
|---------------------------|-----------------------|
| Voltaje                   | 220V trifásico        |
| Potencia                  | 3 HP                  |
| Corriente                 | 6,5 A                 |
| Máxima entrada de voltaje | Red trifásica 230 Vac |
| Frecuencia de Salida      | 0,5-500 Hz            |
| Frecuencia de operación   | 60Hz                  |

|                         |         |
|-------------------------|---------|
| Método de refrigeración | Natural |
| Tipo de Comunicación    | RS-485  |

**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

#### 9.4.11. Selección del HMI

La pantalla Nextion es una de las nuevas actualizaciones ya que reemplaza el LCD tradicional y el tubo LED, tiene un único puerto serie para hacer la comunicación entre hombre-máquina. Tiene una programación fácil de realizar ya que viene con componentes de botón, texto, barra de progreso, control deslizante, panel de instrumentos y gráficos, todo esto sirve para que el diseño de su interfaz sea más fácil de realizar y reducir su tiempo de trabajo.

En la tabla 21 se observa todas las características del HMI.

**Tabla 21** Características del HMI

| Descripción             | Valor                   |
|-------------------------|-------------------------|
| Tensión de Alimentación | 4,75 VDC                |
| Corriente de operación  | 510 mA                  |
| Dimensiones             | 181 mm x 108 mm         |
| Resolución              | 800 x 480 pixeles       |
| Color                   | 16 bit 565, 64 K, 65536 |
| Memoria Flash           | 16 MB                   |
| Puerto serial           | TTL                     |
| Memoria RAM             | 3584 byte               |

**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

**Figura 45** HMI

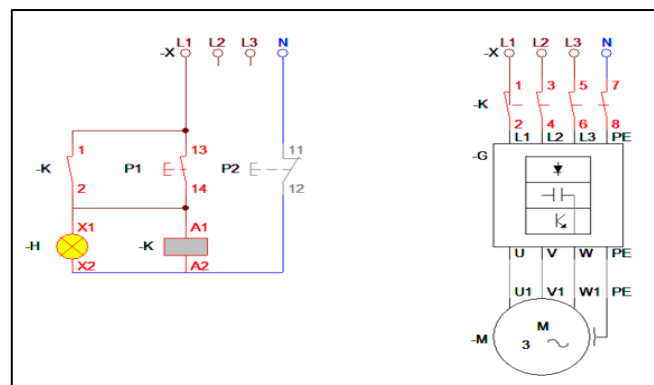


**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

### 9.5.Diseño eléctrico

El diseño eléctrico se lo realizó en el software Cade-Simu, este software permite realizar circuitos eléctricos y poder verificar si su diseño es el correcto o si se encuentra en falla. En la ilustración 41 podemos observar el funcionamiento del circuito de control y de potencia, el cual consta de un contactor, 2 pulsadores uno para energizar (P1) y otra para apagar (P2) el sistema, un variador de frecuencia y un motor trifásico, en donde presionamos el pulsador P1 el cual permite que se active la bobina (K) del contactor y así este se enclave para que se energice la lámpara (H) y el variador de frecuencia (G) el cual permitirá encender o apagar el motor trifásico.

**Figura 46** Esquema eléctrico de encendido

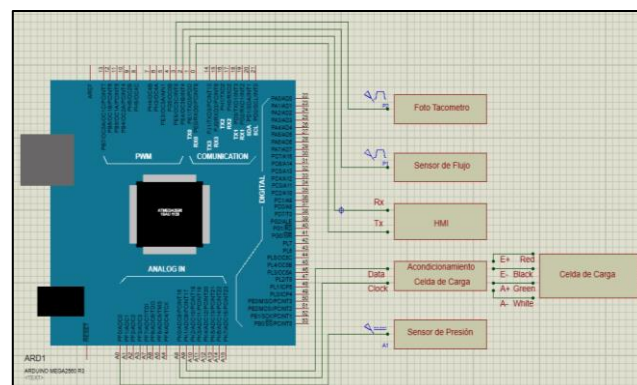


**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

### 9.6.Diseño electrónico

El diseño electrónico se lo realizó en el software Proteus 8.0 el cual permite realizar simulaciones de los componentes electrónicos en donde se puede determinar la polaridad de cada uno de los sensores y así no tener fallas al momento de conectar de forma real al arduino.

**Figura 47** Esquema electrónico



**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

- El Arduino está alimentado con 5V, en sus entradas de alimentación.
- El Sensor de presión está conectado al pin analógico A0, ya que el sensor envía una señal analógica (0-5) V.
- El Acondicionamiento de la celda de carga está conectada en los pines analógicos A8 (Clock), A9 (Data), utilizando las librerías de celda de carga, posteriormente el acondicionamiento está conectado a la celda de carga E+(Red), E-(Black), A+(Green), A-(White).
- La pantalla HMI está conectado en los pines de comunicación serial 1, pin0 Rx (Tx HMI), pin1 Tx (Rx HMI), permitiendo así la comunicación entre Arduino y HMI (Envío de datos a HMI Nextion).
- El Sensor de flujo está conectado en el pin digital 2 utilizando la librería función interrupciones, que permite obtener el caudal.
- El Foto tacómetro está conectado en el pin digital 3 utilizando la librería función interrupciones, que permite obtener la velocidad de la turbina.

### 9.7. Implementación del módulo didáctico

En la figura 48 se tienen los diferentes sensores y equipos electrónicos implementados en el módulo didáctico.

**Figura 48** Implementación del módulo didáctico



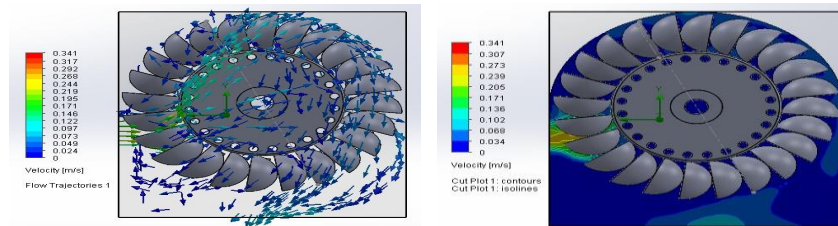
**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

## 10. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

### Software SolidWorks

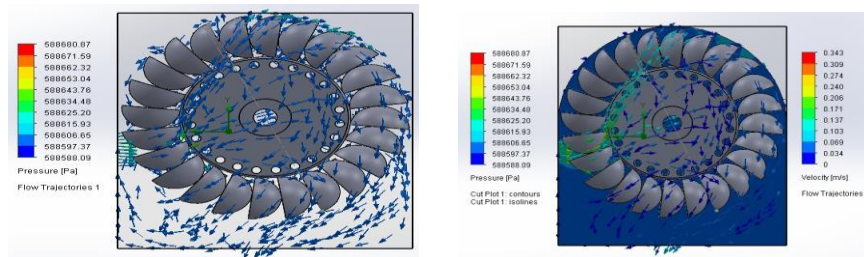
Para la simulación de la eficiencia de la turbina Pelton se las realizo en el software SolidWorks una herramienta versátil, es su capacidad de ser asociativo, variacional y paramétrico principal diferencia con respecto a otros programas de forma bidireccional con todas sus aplicaciones, en el cual a través de las variables altura, presión, caudal, toque, velocidad y eficiencia.

**Figura 49** Simulación de la Turbina Pelton y la trayectoria de flujos



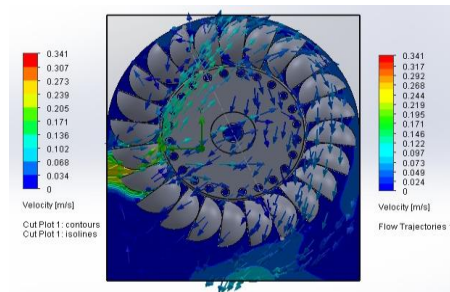
**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

**Figura 50** Simulación de presión de sistema de fluido y la velocidad de la trayectoria de fluido



**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

**Figura 51** Simulación del flujo y fluido del corte

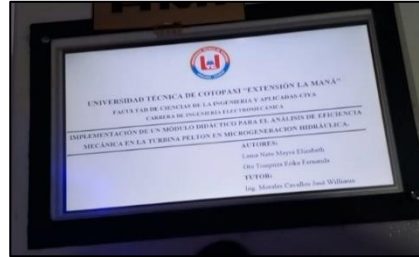


**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

En la programación de la interfaz HMI se desarrolló la portada que incluye el nombre de la institución, la facultad a la que pertenece, carrera a la que auspicia, el nombre del proyecto de

titulación, el nombre de las postulantes y el nombre del tutor como se visualiza en la siguiente figura 49.

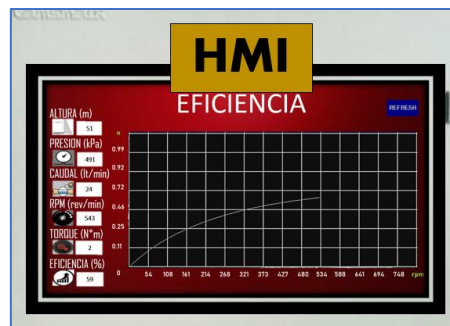
**Figura 52** Portada del HMI



**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

Adicional se tiene la pantalla secundaria en donde se obtienen las diferentes gráficas de la eficiencia mecánica de la turbina Pelton visualizado en la figura 50.

**Figura 53** Pantalla secundaria del HMI



**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

A continuación, se presenta de manera teórica la resolución de expresiones matemáticas que conllevan a determinar la eficiencia de la turbina Pelton con distintos casos de nivel de altura, así como también el rendimiento en forma de gráficas que se determinaron mediante las mediciones constantes en el módulo didáctico.

Se realiza un evaluación teórica y práctica acerca de la eficiencia mecánica de la turbina Pelton, para lo cual se realiza un estudio a 50 metros de altura con distintos valores de torque, el primero a 2 Nm, el segundo a 2,5 Nm y el tercero a 3 Nm, también se desarrolló el estudio a una altura de 55 metros de igual manera a tres diferentes valores de torque que son 2, 2,5 y 3,6 Nm, para finalizar se evaluó a 60 metros de altura con 2, 2,5 y 3,5 Nm de torque.

**Tabla 22** Parámetros de evaluación

| <b>Altura</b>          | 51 metros |     |     | 56 metros |     |     | 60 metros |     |     |
|------------------------|-----------|-----|-----|-----------|-----|-----|-----------|-----|-----|
| <b>Torque (Nm)</b>     | 2         | 2,5 | 3   | 2         | 2,5 | 3,6 | 2         | 2,5 | 3,5 |
| <b>Velocidad (rpm)</b> | 541       | 440 | 352 | 572       | 492 | 382 | 696       | 639 | 446 |

Fuente: (Lema & Oto,2023)

| <b>Altura</b>          | 44 metros |     |     | 57 metros |     |     | 61 metros |     |     |
|------------------------|-----------|-----|-----|-----------|-----|-----|-----------|-----|-----|
| <b>Torque (Nm)</b>     | 70        | 74  | 78  | 70        | 74  | 76  | 70        | 74  | 76  |
| <b>Velocidad (rpm)</b> | 246       | 248 | 250 | 342       | 343 | 345 | 340       | 344 | 346 |

Fuente: (Lema & Oto,2023)

## 10.1. Eficiencia a una altura de 51 metros y un torque de 2 Nm

### 10.1.1. Análisis Teórico

- **Cálculo de la presión**

La presión se determina mediante la aplicación de la ecuación 6 con los siguientes datos:

- $\rho = 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)}.$
- $g = 9,8 \text{ (m/s}^2\text{)}.$
- $h = 51 \text{ (m)}.$

$$Presión = 1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 50m$$

$$Presión = 490,5 \text{ kPa}$$

Se obtuvo una presión de 490,5 kPa a partir de una altura de 50 m, este valor será constante para todos los niveles de torque evaluados a este valor de altura.

- **Potencia hidráulica<sup>3</sup>**

La potencia hidráulica se calcula mediante la aplicación de la ecuación 12 con los siguientes datos:

- $\rho = 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)}.$
- $g: 9,8 \text{ (m/s}^2\text{)}.$
- $H: 50 \text{ (m)}$
- $Q: 4 \times 10^{-4} \text{ (m}^3\text{/s)}.$

$$P_{hidraulica} = 1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot (4 \times 10^{-4}) \frac{m^3}{s} \cdot 50 \text{ m}$$

$$P_{hidraulica} = 196,2 \text{ Watt} \cdot \frac{1HP}{745,7Watt} = 0,2631 \text{ HP}$$

Se obtuvo una potencia hidráulica de 0,2631 HP.

#### • **Potencia mecánica**

La potencia mecánica se calcula mediante la aplicación de la ecuación 11 con los siguientes datos:

- $T: 2 \text{ (Nm)}$
- $\omega: 541 \text{ (rpm)} = 56,65 \text{ (rad/s)}$

$$P_{mecanica} = 2 \text{ Nm} \cdot 56,65 \frac{rad}{s}$$

$$P_{mecanica} = 113,3 \text{ Watt} \cdot \frac{1HP}{745,7Watt}$$

$$P_{mecanica} = 0,1518 \text{ HP}$$

Se obtuvo una potencia mecánica de 0,1518 HP.

#### • **Eficiencia**

El rendimiento se determina mediante la aplicación de la ecuación 10 con los siguientes datos:

- $P \text{ hidráulica: } 0,2631 \text{ (HP)}$
- $P \text{ mecánica: } 0,1518 \text{ (HP)}.$

$$n_T = \frac{0,1518 \text{ HP}}{0,2631 \text{ HP}} = 0,57$$

$$n_T = 0,57 \times 100\% = 57 \%$$

Mediante el estudio teórico evaluado a una altura de 50 metros, con un caudal de 24 lt/min y torque de 2 Nm, se obtuvo una presión de 490,5 kPa, una potencia mecánica de 0,1518 HP, potencia hidráulica de 0,26 HP y una eficiencia del 57 %.

### 10.1.2. Análisis Práctico

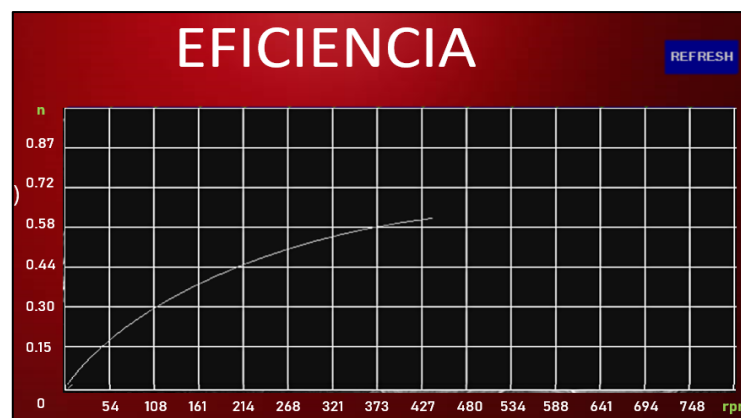
En la parte práctica, es necesario determinar el torque de 2 Nm y la velocidad angular que brinda la turbina de 543 rpm e inmediatamente se puede visualizar la curva de la eficiencia de la turbina en la figura 51 cuyo valor es de 59%.

**Figura 54** Datos ingresados y generados para el caso 1

|                 |     |
|-----------------|-----|
| ALTURA (m)      | 51  |
| PRESION (kPa)   | 491 |
| CAUDAL (lt/min) | 24  |
| RPM (rev/min)   | 543 |
| TORQUE (N*m)    | 2   |
| EFICIENCIA (%)  | 59  |

**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

**Figura 55** Eficiencia de la turbina a una altura de 51 metros y un torque de 2 Nm



**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

## 10.2. Eficiencia a una altura de 51 metros y un torque de 2,5 Nm

### 10.2.1. Análisis Teórico

- **Potencia mecánica**

Aplicando los siguientes datos en la ecuación 11 se tiene:

- T: 2,5 (Nm)
- $\omega$ : 352 (rpm) = 46,08 (rad/s)

$$P_{mecanica} = 2,5 \text{ Nm} \cdot 46,08 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$P_{mecanica} = 115,2 \text{ Watt} \cdot \frac{1 \text{ HP}}{745,7 \text{ Watt}} = 0,1544 \text{ HP}$$

Se obtuvo una potencia mecánica de 0,1544 HP.

- **Eficiencia**

La eficiencia se determina mediante la aplicación de la ecuación 10:

$$n_T = \frac{0,1544 \text{ HP}}{0,26 \text{ HP}} = 0,594$$

Mediante el estudio teórico evaluado a una altura de 50 metros, con un caudal de 24 lt/min, un torque de 2,5 Nm, una presión de 490,5 kPa, una potencia hidráulica de 0,26 HP se obtuvo una potencia mecánica de 0,1544 HP y una eficiencia del 59,4 %.

### 10.2.2. Análisis Práctico

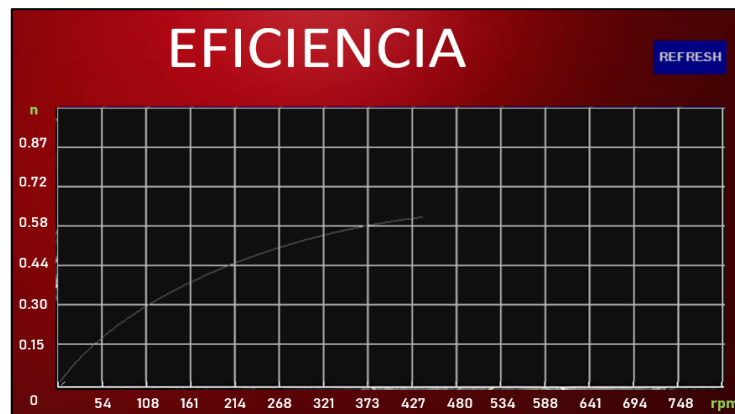
En el análisis práctico, se insertan en la pantalla HMI del módulo los valores de torque que es de 2,5 Nm y velocidad angular que es de 441 rpm visualizados en la figura 53, constatándose la curva de eficiencia de la turbina Pelton con un valor de 61% observado en la figura 54.

**Figura 56** Datos ingresados y generados para el caso 2



**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

**Figura 57** Eficiencia de la turbina Pelton a una altura de 51 metros y un torque de 2,5 Nm



**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

### 10.3. Eficiencia a una altura de 51 metros y un torque de 3 Nm

#### 10.3.1. Análisis Teórico

- **Potencia mecánica**

La potencia mecánica se calcula con la aplicación de la ecuación 11.

- T: 3 (Nm)
- $\omega$ : 352 (rpm) = 36,86 (rad/s)

$$P_{mecanica} = 2,5 \text{ Nm} \times 36,86 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$P_{mecanica} = 92,15 \text{ Watt} \times \frac{1HP}{745,7Watt}$$

$$P_{mecanica} = 0,1235 \text{ HP}$$

Se obtuvo una potencia mecánica de 0,1235 HP.

- **Eficiencia**

La eficiencia se determina mediante la aplicación de la ecuación 10 con los siguientes datos:

- P mecánica: 0,2631 (HP)
- P hidráulica: 0,1235 (HP).

$$n_T = \frac{0,1235 \text{ HP}}{0,2631 \text{ HP}} = 0,4695$$

$$n_T = 0,4695 \times 100\% = 46,95 \%$$

Mediante el estudio teórico evaluado a una altura de 50 metros, con un caudal de 24 lt/min, un torque de 3 Nm, una presión de 490,5 kPa, una potencia hidráulica de 0,26 HP se obtuvo una potencia mecánica de 0,1235 HP y una eficiencia del 46,95 %.

### 10.3.2. Análisis Práctico

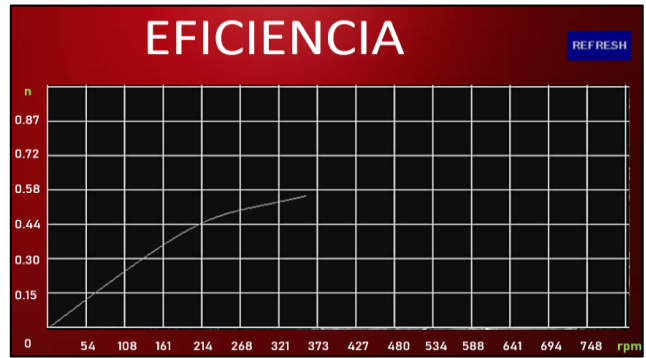
Para la parte práctica, se ingresan las variables de torque a 3 Nm y una velocidad angular de 355 rpm, en la figura 55 se presenta la curva de eficiencia de la turbina Pelton cuyo valor es de 45%.

**Figura 58** Datos ingresados y generados para el caso 3

|                 |     |
|-----------------|-----|
| ALTURA (m)      | 51  |
| PRESION (kPa)   | 491 |
| CAUDAL (lt/min) | 24  |
| RPM (rev/min)   | 355 |
| TORQUE (N*m)    | 3   |
| EFICIENCIA (%)  | 45  |

**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

**Figura 59** Eficiencia de la turbina Pelton a una altura de 51 metros con un torque de 3 Nm



**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

### 10.3.3. Cuadro de resumen a 51 metros de altura

En la tabla 23 se tiene un breve resumen la eficiencia mecánica de la turbina Pelton a 50 metros de altura, determinándose que, por medio de los cálculos desarrollados y los datos obtenidos de la práctica del módulo, el rendimiento tiene ligeras variaciones del 1% hasta el 3%, siendo tolerable. La turbina Pelton forzada a trabajar bajo las mismas condiciones de altura, presión, caudal y potencia hidráulica tiene una mejor eficiencia cuando se aplica un torque de 2,5 Nm de 59,4 % en cálculos y 61 % en la práctica del módulo.

**Tabla 23** Resumen del estudio de la eficiencia mecánica de la turbina Pelton a 51 metros

|                            |                                                             |        |           |        |           |        |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| <b>Altura</b>              | 51 metros                                                   |        |           |        |           |        |
| <b>Presión</b>             | 490,5 kPa                                                   |        |           |        |           |        |
| <b>Caudal</b>              | $4 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} = 24 \text{ lt/min}$ |        |           |        |           |        |
| <b>Potencia hidráulica</b> | 0,2631 HP                                                   |        |           |        |           |        |
| <b>Torque</b>              | 2 Nm                                                        |        | 2,5 Nm    |        | 3 Nm      |        |
| <b>Potencia mecánica</b>   | 0,1518 HP                                                   |        | 0,1544 HP |        | 0,1235 HP |        |
| <b>Eficiencia</b>          | Teoría                                                      | Módulo | Teoría    | Módulo | Teoría    | Módulo |
|                            | 57 %                                                        | 59 %   | 59,4 %    | 61 %   | 46,95 %   | 45 %   |

**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

#### 10.4. Eficiencia a una altura de 56 metros y un torque de 2 Nm

##### 10.4.1. Análisis Teórico

- **Cálculo de presión**

La presión se determina mediante la aplicación de la ecuación 6 con los siguientes datos:

- $\rho = 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)}.$
- $g = 9,8 \text{ (m/s}^2\text{)}.$
- $h = 56 \text{ (m)}.$

$$Presion = 1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 55m$$

$$Presion = 539,55 \text{ kPa}$$

Se obtuvo una presión de 539,55 kPa a partir de la altura simulada de 55 m.

- **Potencia hidráulica**

La potencia hidráulica se calcula mediante la aplicación de la ecuación 12 con los siguientes datos:

- $\rho = 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)}.$
- $g: 9,8 \text{ (m/s}^2\text{)}.$
- $H: 55 \text{ (m)}$
- $Q: 4,5 \times 10^{-4} \text{ (m}^3\text{/s)}.$

$$Phidraulica = 1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot (4,5 \times 10^{-4}) \frac{m^3}{s} \cdot 55m$$

$$Phidraulica = 242,8 \text{ Watt} \cdot \frac{1HP}{745,7Watt} = 0,33 \text{ HP}$$

Se obtuvo una potencia hidráulica de 0,33 HP.

- **Potencia mecánica**

La potencia mecánica se calcula mediante la aplicación de la ecuación 11 con los siguientes datos:

- $T: 2 \text{ (Nm)}$
- $\omega: 572 \text{ (rpm)} = 59,9 \text{ (rad/s)}$

$$P_{mecanica} = 2 \text{ Nm} \times 59,9 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$P_{mecanica} = 119,8 \text{ Watt} \times \frac{1 \text{ HP}}{745,7 \text{ Watt}} = 0,161 \text{ HP}$$

Se obtuvo una potencia mecánica de 0,161 HP.

- **Eficiencia**

- P mecánica: 0,161 (HP)
- P hidráulica: 0,33 (HP).

$$n_T = \frac{0,161 \text{ HP}}{0,33 \text{ HP}} = 0,4878$$

$$n_T = 0,4878 \times 100\% = 48,78 \%$$

Mediante el estudio teórico para el caso 2 evaluado a una altura de 55 metros, con un flujo volumétrico de 26 ltrs/min y torque de 2 Nm, se determinó una presión de 540 kPa, una potencia mecánica de 0,161 HP, potencia hidráulica de 0,33 HP y una eficiencia del 48,78 %.

#### 10.4.2. Análisis Práctico

**Figura 60** Datos ingresados y generados caso 4

|                 |     |
|-----------------|-----|
| ALTURA (m)      | 56  |
| PRESION (kPa)   | 539 |
| CAUDAL (lt/min) | 26  |
| RPM (rev/min)   | 575 |
| TORQUE (N*m)    | 2   |
| EFICIENCIA (%)  | 49  |

**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

Para la parte práctica, se ingresan las variables de torque de 2 Nm, y velocidad angular de 575 rpm como se observa en la figura 57, mientras que en la figura 58 se presenta la curva con una eficiencia de la turbina Pelton cuyo valor es de 49%.

**Figura 6149** Eficiencia de la turbina Pelton a 56 metros de altura y 2 Nm de torque



Fuente: (Lema & Oto,2023)

## 10.5. Eficiencia a una altura de 56 metros y un torque de 2,5 Nm

### 10.5.1. Análisis Teórico

- **Potencia mecánica**

- T: 2,5 (Nm)
- $\omega$ : 492 (rpm) = 51,52 (rad/s)

$$P_{mecanica} = 2,5 \text{ Nm} \cdot 51,52 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$P_{mecanica} = 128,8 \text{ Watt} \cdot \frac{1 \text{ HP}}{745,7 \text{ Watt}}$$

$$P_{mecanica} = 0,173 \text{ HP}$$

Se obtuvo una potencia mecánica de 0,173 HP.

- **Eficiencia**

- P mecánica: 0,173 (HP)
- P hidráulica: 0,33 (HP).

$$n_T = \frac{0,173 \text{ HP}}{0,33 \text{ HP}} = 0,523$$

Mediante el estudio teórico evaluado a una altura de 55 metros, se obtuvo una potencia mecánica de 0,173 HP y una eficiencia del 52,3 %.

### 10.5.2. Análisis Práctico

En la figura 59 se tienen los datos ingresados y generados para el caso 5.

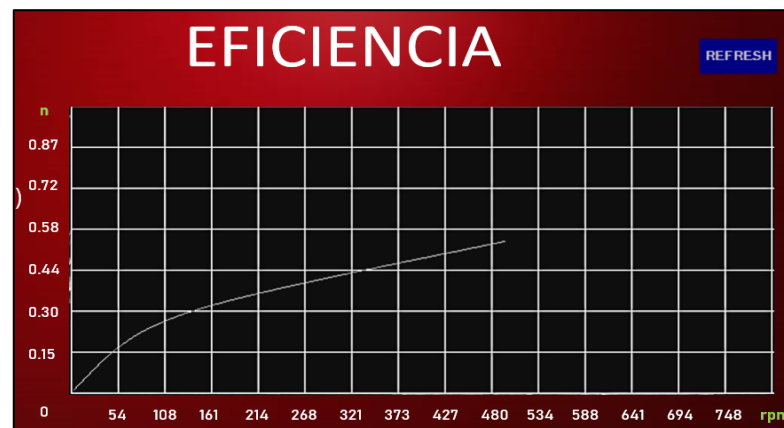
**Figura 62** Datos ingresados y generados caso 5



**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

Al módulo se ingresan las variables físicas de torque a 2,5 Nm y una velocidad angular de 491 rpm como se observa en la figura 59, y en la figura 60 se presenta la curva con una eficiencia de la turbina Pelton cuyo valor es de 53%.

**Figura 63** Eficiencia de la turbina Pelton a 56 metros y un torque de 2,5 Nm



**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

## 10.6. Eficiencia a una altura de 55 metros y un torque de 3,6 Nm

### 10.6.1. Análisis Teórico

- **Potencia mecánica**

$$P_{mecanica} = 3,6 \text{ Nm} \times 40 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$P_{mecanica} = 144 \text{ Watt} \times \frac{1 \text{ HP}}{745,7 \text{ Watt}} = 0,193 \text{ HP}$$

Se obtuvo una potencia mecánica de 0,193 HP.

- **Eficiencia**

$$n_T = \frac{0,193 \text{ HP}}{0,33 \text{ HP}} = 0,585$$

$$n_T = 0,585 \times 100\% = 58,5 \%$$

Con un torque de 3,6 Nm a las mismas condiciones de trabajo se tiene una eficiencia del 58,5%

### 10.6.2. Análisis Práctico

**Figura 64** Datos ingresados y generados caso 6



**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

Al módulo se coloca un torque a 3,6 Nm y una velocidad angular de 370 rpm, por lo cual se observa la curva de la eficiencia de la turbina Pelton que tiene una eficiencia de 58 %

**Figura 65** Eficiencia de la turbina Pelton a 56 metros y con un torque de 3,6 Nm



**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

### 10.6.3. Cuadro de resumen a 56 metros de altura

En la tabla 24 se tiene un breve resumen de la eficiencia mecánica de a turbina Pelton a 55 metros de altura.

**Tabla 24** Resumen del estudio de la eficiencia mecánica de la turbina Pelton a 56 metros

|                            |                                                               |        |          |        |        |        |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------|--------|----------|--------|--------|--------|
| <b>Altura</b>              | 56 metros                                                     |        |          |        |        |        |
| <b>Presión</b>             | 539,55 kPa                                                    |        |          |        |        |        |
| <b>Caudal</b>              | $4,5 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} = 27 \text{ lt/min}$ |        |          |        |        |        |
| <b>Potencia hidráulica</b> | 0,33 HP                                                       |        |          |        |        |        |
| <b>Torque</b>              | 2 Nm                                                          |        | 2,5 Nm   |        | 3,6 Nm |        |
| <b>Potencia mecánica</b>   | 0,161 HP                                                      |        | 0,173 HP |        | 0,193  |        |
| <b>Eficiencia</b>          | Teoría                                                        | Módulo | Teoría   | Módulo | Teoría | Módulo |
|                            | 48,78 %                                                       | 49 %   | 52,3 %   | 53 %   | 58,5 % | 59 %   |

**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

Se determina que, por medio de los cálculos desarrollados y los datos obtenidos de la práctica del módulo, La eficiencia tiene ligeras variaciones del 1% hasta el 2%, siendo tolerable. La turbina Pelton forzada a trabajar bajo las mismas condiciones de altura, presión, caudal y potencia hidráulica tiene una mejor eficiencia cuando se aplica un torque de 3,6 Nm de 58,5 % en cálculos y 59 % en la práctica del módulo.

## 10.7. Eficiencia a una altura de 60 metros y un torque de 2 Nm

### 10.7.1. Análisis Teórico

#### • Cálculo de presión

La presión se determina mediante la aplicación de la ecuación 6 con los siguientes datos:

- $\rho = 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ .
- $g = 9,8 \text{ (m/s}^2\text{)}$ .
- $h = 60 \text{ (m)}$ .

$$Presion = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 60 \text{ m}$$

$$Presion = 588,6 \text{ kPa}$$

Se obtuvo una presión de 588,6 kPa a partir de la altura simulada de 60 m.

- **Potencia hidráulica**

La potencia hidráulica se calcula mediante la aplicación de la ecuación 12 con los siguientes datos:

- $\rho = 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)}.$
- $g: 9,8 \text{ (m/s}^2\text{)}.$
- $H: 60 \text{ (m)}$
- $Q: 4,83 \times 10^{-4} \text{ (m}^3\text{/s)}.$

$$Phidraulica = 1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot (4,83 \times 10^{-4}) \frac{m^3}{s} \cdot 60m$$

$$Phidraulica = 284,3 \text{ Watt} \cdot \frac{1HP}{745,7Watt}$$

$$Phidraulica = 0,381 \text{ HP}$$

Se obtuvo una potencia hidráulica de 0,381 HP.

- **Potencia mecánica**

- $T: 2 \text{ (Nm)}$
- $\omega: 696 \text{ (rpm)} = 72,9 \text{ (rad/s)}$

$$Pmecanica = 2 \text{ Nm} \cdot 72,9 \frac{rad}{s}$$

$$Pmecanica = 145,8 \text{ Watt} \cdot \frac{1HP}{745,7Watt}$$

$$Pmecanica = 0,196 \text{ HP}$$

Se obtuvo una potencia mecánica de 0,196 HP.

- **Eficiencia**

- $P \text{ mecánica: } 0,196 \text{ (HP)}$
- $P \text{ hidráulica: } 0,381 \text{ (HP)}.$

$$n_T = \frac{0,196 \text{ HP}}{0,381 \text{ HP}} = 0,513$$

$$n_T = 0,513 \cdot 100\% = 51,3 \%$$

Mediante el estudio teórico evaluado a una altura de 60 metros, un torque de 2 Nm, se obtuvo una eficiencia del 51,3 %.

### 10.7.2. Análisis Práctico

Para la parte práctica, al módulo se ingresan las variables físicas de torque de 2 Nm, y velocidad angular de 564 rpm como se muestra en la figura 63, por otra parte, en la figura 64 se presenta la curva de una eficiencia de la turbina Pelton cuyo valor es de 49%.

**Figura 66** Datos ingresados y generados caso 7

|                 |     |
|-----------------|-----|
| ALTURA (m)      | 60  |
| PRESION (kPa)   | 590 |
| CAUDAL (lt/min) | 30  |
| RPM (rev/min)   | 670 |
| TORQUE (N*m)    | 2.0 |
| EFICIENCIA (%)  | 53  |

**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

**Figura 6750** Eficiencia de la turbina Pelton a 60 metros de altura y 2 Nm de torque



**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

## 10.8. Eficiencia a una altura de 60 metros y un torque de 2,5 Nm

### 10.8.1. Análisis Teórico

- Potencia mecánica**

- $\omega$ : 639 (rpm) = 66,9 (rad/s)

$$P_{mecanica} = 2,5 \text{ Nm} \cdot 66,9 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 0,22 \text{ HP}$$

Se obtuvo una potencia mecánica de 0,22 HP.

- **Eficiencia**

$$n_T = \frac{0,22 \text{ HP}}{0,381 \text{ HP}} = 0,577$$

Mediante el estudio teórico evaluado a una altura de 60 metros, se obtuvo una potencia mecánica de 0,22 HP y una eficiencia del 57,7 %.

### 10.8.2. Análisis Práctico

Al módulo didáctico se ingresan los valores de torque a 2,5 Nm y una velocidad angular de 628 rpm, en la figura 66 se presenta la curva de una eficiencia de la turbina Pelton cuyo valor es de 58%

**Figura 68** Datos ingresados y generados caso 8

|                 |     |
|-----------------|-----|
| ALTURA (m)      | 60  |
| PRESION (kPa)   | 590 |
| CAUDAL (lt/min) | 30  |
| RPM (rev/min)   | 639 |
| TORQUE (N*m)    | 2.5 |
| EFICIENCIA (%)  | 60  |

**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

**Figura 69** Eficiencia de la turbina Pelton a 60 metros y un torque de 2,5 Nm



**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

## 10.9. Eficiencia a una altura de 60 metros y un torque de 3,5 Nm

### 10.9.1. Análisis Teórico

- **Potencia mecánica**

- T: 3,5 (Nm)
- $\omega$ : 446 (rpm) = 46,7 (rad/s)

$$P_{mecanica} = 3,5 \text{ Nm} \times 45,44 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$P_{mecanica} = 163,45 \text{ Watt} \times \frac{1 \text{ HP}}{745,7 \text{ Watt}}$$

$$P_{mecanica} = 0,22 \text{ HP}$$

Se obtuvo una potencia mecánica de 0,22 HP.

- **Eficiencia**

- P mecánica: 0,22 (HP)
- P hidráulica: 0,381 (HP).

$$n_T = \frac{0,22 \text{ HP}}{0,381 \text{ HP}} = 0,575$$

$$n_T = 0,575 \times 100\% = 57,5 \%$$

Con un torque de 3,5 Nm a las mismas condiciones de trabajo se tiene una eficiencia del 57,5%

### 10.9.2. Análisis Práctico

**Figura 70** Datos ingresados y generados caso 9

|                 |     |
|-----------------|-----|
| ALTURA (m)      | 60  |
| PRESION (kPa)   | 591 |
| CAUDAL (lt/min) | 30  |
| RPM (rev/min)   | 447 |
| TORQUE (N*m)    | 3.5 |
| EFICIENCIA (%)  | 61  |

**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

Al módulo se coloca un torque a 3,5 Nm y una velocidad angular de 447 rpm, por lo cual se observa la curva de la eficiencia de la turbina Pelton que tiene una eficiencia de 61 %.

**Figura 71** Eficiencia de la turbina Pelton a 55 metros y con un torque de 3,6 Nm



**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

### 10.9.3. Cuadro de resumen a 60 metros de altura

En la tabla 25 se tiene un breve resumen de la eficiencia mecánica de la turbina Pelton a 60 metros de altura.

**Tabla 25** Resumen del estudio de la eficiencia mecánica de la turbina Pelton a 60 metros

|                            |                                                                |        |         |        |         |        |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------|--------|---------|--------|---------|--------|
| <b>Altura</b>              | 60 metros                                                      |        |         |        |         |        |
| <b>Presión</b>             | 588,6 kPa                                                      |        |         |        |         |        |
| <b>Caudal</b>              | $4,83 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} = 29 \text{ lt/min}$ |        |         |        |         |        |
| <b>Potencia hidráulica</b> | 0,381 HP                                                       |        |         |        |         |        |
| <b>Torque</b>              | 2 Nm                                                           |        | 2,5 Nm  |        | 3,5 Nm  |        |
| <b>Potencia mecánica</b>   | 0,196 HP                                                       |        | 0,22 HP |        | 0,22 HP |        |
| <b>Eficiencia</b>          | Teoría                                                         | Módulo | Teoría  | Módulo | Teoría  | Módulo |
|                            | 51,3 %                                                         | 53 %   | 57,7 %  | 60 %   | 57,5 %  | 61 %   |

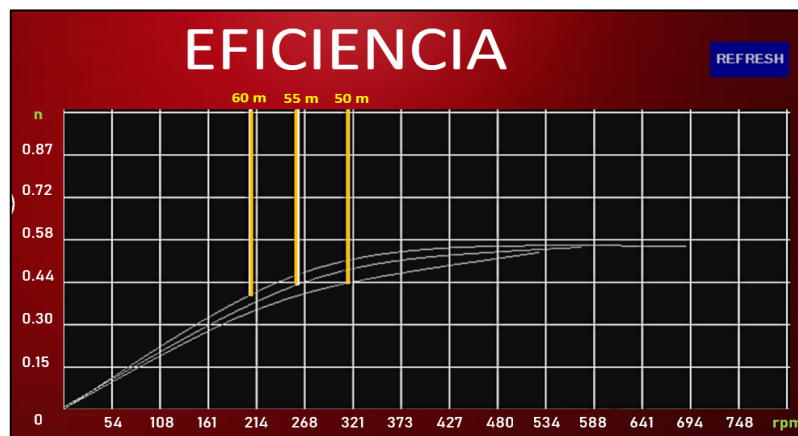
**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

Se determina que, por medio de los cálculos desarrollados y los datos obtenidos de la práctica del módulo, con una eficiencia tiene ligeras variaciones del 1% hasta el 3%, siendo tolerable. La turbina Pelton forzada a trabajar bajo las mismas condiciones de altura, presión, caudal y potencia hidráulica tiene una mejor eficiencia cuando se aplica un torque de 3,5 Nm de 57,5 % en cálculos y 61 % en la práctica del módulo.

### 10.10. Análisis de eficiencia a un torque de 2 Nm

Se observó que las curvas de eficiencia son similares, ya que las condiciones iniciales son las mismas. Al aumentar altura de caída se observó mayor velocidad angular en cada una de las alturas determinadas, siendo la altura de 60 m más eficiente en relación a la de 55 m y 50 m, bajo las condiciones de igualdad de torque de 2 Nm. En la figura 69 se observan las 3 curvas de eficiencia en función a un torque constante de 2 Nm pero diferentes alturas como 60 m, 55 m y 50 m.

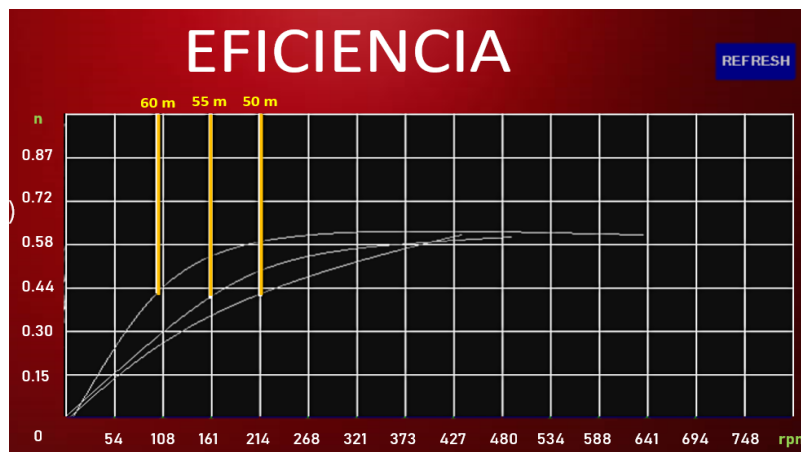
**Figura 72** Torque de 2 Nm



Fuente: (Lema & Oto,2023)

### 10.11. Análisis de la eficiencia a un torque de 2,5 Nm

**Figura 73** Torque de 2,5 Nm



Fuente: (Lema & Oto,2023)

Se observó que las curvas de eficiencia tienen su grado de diferencia, en este estudio de igual manera se presentó que al aumentar altura de caída hay mayor velocidad angular, en donde se puede evidenciar que a una altura de 60 m se tiene una mayor cantidad de eficiencia en relación

a la altura de 55 y 50 m. En la figura 70 se observan las 3 curvas de eficiencia en función a un torque constante de 2,5 Nm pero diferentes alturas como 60 m, 55 m y 50 m.

### 10.12. Análisis de la eficiencia a un torque de 3,5 Nm

Se observó que las curvas de eficiencia en donde se comienza a variar una de la otra, esto se debe que ante un torque más alto el rendimiento aumenta, pero la velocidad angular disminuye, a pesar de ello sigue siendo la altura de 60 m la de mayor eficiencia con ligeras diferencias en 3 % aproximadamente. En la figura 69 se observan las 3 curvas de eficiencia en función a un torque constante de 3,5 Nm pero diferentes alturas como 60 m, 55 m y 50 m.

**Figura 74** Torque de 3,5 Nm



**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

### 10.13. Análisis teórico a una altura de 38 metros

- **Cálculo de presión**

Con los siguientes datos se obtiene el cálculo de la presión:

- $\rho = 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)}.$
- $g = 9,8 \text{ (m/s}^2\text{)}.$
- $h = 38 \text{ (m)}.$

$$Presion = 1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 38 m$$

$$Presion = 372,78 \text{ kPa}$$

Se obtuvo una presión de 372,78 kPa a partir de la altura simulada de 38 m.

- **Potencia hidráulica**

La potencia hidráulica se calcula con los siguientes datos:

- $\rho = 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)}.$
- $g: 9,8 \text{ (m/s}^2\text{)}.$
- $H: 38 \text{ (m)}$
- $Q: 4 \times 10^{-4} \text{ (m}^3\text{/s)}.$

$$Phidraulica = 1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot (4 \times 10^{-4}) \frac{m^3}{s} \cdot 38 \text{ m}$$

$$Phidraulica = 149,12 \text{ Watt} \cdot \frac{1HP}{745,7Watt}$$

$$Phidraulica = 0,2 \text{ HP}$$

Se obtuvo una potencia hidráulica de 0,2 HP.

- **Potencia mecánica**

- $T: 2 \text{ (Nm)}$
- $\omega: 386 \text{ (rpm)} = 40,42 \text{ (rad/s)}$

$$Pmecanica = 2 \text{ Nm} \cdot 40,42 \frac{rad}{s}$$

$$Pmecanica = 80,84 \text{ Watt} \cdot \frac{1HP}{745,7Watt}$$

$$Pmecanica = 0,10 \text{ HP}$$

Se obtuvo una potencia mecánica de 0,127 HP.

- **Eficiencia**

- $P \text{ mecánica: } 0,10 \text{ (HP)}$
- $P \text{ hidráulica: } 0,2 \text{ (HP)}.$

$$n_T = \frac{0,10 \text{ HP}}{0,2 \text{ HP}} = 0,541$$

$$n_T = 0,541 \cdot 100\% = 54,1 \%$$

Mediante el estudio teórico evaluado a una altura de 38 metros, un torque de 2 Nm, se obtuvo una eficiencia del 58,9 %.

#### 10.14. Análisis teórico a una altura de 47 metros

- **Cálculo de presión**

Con los siguientes datos se obtiene el cálculo de la presión:

- $\rho = 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)}.$
- $g = 9,8 \text{ (m/s}^2\text{)}.$
- $h = 47 \text{ (m)}.$

$$Presion = 1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 47 \text{ m}$$

$$Presion = 461,07 \text{ kPa}$$

Se obtuvo una presión de 461,07 kPa a partir de la altura simulada de 47 m.

- **Potencia hidráulica**

La potencia hidráulica se calcula con los siguientes datos:

- $\rho = 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)}.$
- $g: 9,8 \text{ (m/s}^2\text{)}.$
- $H: 47 \text{ (m)}$
- $Q: 4 \times 10^{-4} \text{ (m}^3\text{/s)}.$

$$Phidraulica = 1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot (4 \times 10^{-4}) \frac{m^3}{s} \cdot 47 \text{ m}$$

$$Phidraulica = 184,43 \text{ Watt} \cdot \frac{1HP}{745,7Watt}$$

$$Phidraulica = 0,25 \text{ HP}$$

Se obtuvo una potencia hidráulica de 0,25 HP.

- **Potencia mecánica**

- $T: 2 \text{ (Nm)}$
- $\omega: 536 \text{ (rpm)} = 56,12 \text{ (rad/s)}$

$$Pmecanica = 2 \text{ Nm} \cdot 56,12 \frac{rad}{s}$$

$$P_{mecanica} = 112,24 \text{ Watt} \cdot \frac{1HP}{745,7Watt}$$

$$P_{mecanica} = 0,15 \text{ HP}$$

Se obtuvo una potencia mecánica de 0,127 HP.

- **Eficiencia**

- P mecánica: 0,15 (HP)
- P hidráulica: 0,25 (HP).

$$n_T = \frac{0,15 \text{ HP}}{0,25 \text{ HP}} = 0,6$$

$$n_T = 0,6 \cdot 100\% = 60 \%$$

Mediante el estudio teórico evaluado a una altura de 47 metros, un torque de 2 Nm, se obtuvo una eficiencia del 60 %.

#### 10.14.1. Análisis de la eficiencia 38 m y 47 m de altura

Las condiciones que se registraron mediante los cálculos a dos alturas, una de 38 m y la otra de 47 m, se puede evidenciar que la altura de 47 m presenta una mayor cantidad de eficiencia de un 6% adicional en relación a las condiciones de 38 m, de esta manera se puede determinar que, a mayor altura y menor cantidad de torque, mayor eficiencia de la turbina Pelton se va a obtener.

## 11. PRESUPUESTO DEL PROYECTO

El presupuesto del proyecto tiene algunos detalles económicos tomados en cuenta los cuales son: materiales indirectos, materiales directos y mano de obra. En la tabla 26 se detallan los costos directos.

**Tabla 26** Costos directos

| Detalle                             | Cantidad | Valor Unitario | Valor Total |
|-------------------------------------|----------|----------------|-------------|
| Materiales para estructura metálica | 1        | \$ 100,00      | \$ 100,00   |
| Tanque reservorio                   | 1        | \$ 30,00       | \$ 30,00    |
| Bomba de agua                       | 1        | \$200,00       | \$200,00    |
| Tubería                             | 1        | \$ 5,00        | \$ 5,00     |
| Sensor de presión                   | 1        | \$ 12,00       | \$ 12,00    |

|                        |   |           |           |
|------------------------|---|-----------|-----------|
| Sensor de caudal       | 1 | \$ 15,00  | \$ 15,00  |
| Sensor de velocidad    | 1 | \$15,00   | \$15,00   |
| Sensor de fuerza       | 1 | \$ 20,00  | \$ 20,00  |
| Variador de frecuencia | 1 | \$ 200,00 | \$ 200,00 |
| Contactor              | 1 | \$ 15,00  | \$ 15,00  |
| Luz piloto             | 1 | \$2,00    | \$2,00    |
| Arduino                | 1 | \$ 25,00  | \$ 25,00  |
| Cables de conexión     | 1 | \$ 5,00   | \$ 5,00   |
| Pulsador de encendido  | 1 | \$ 2,00   | \$ 2,00   |
| Pulsador de apagado    | 1 | \$2,00    | \$2,00    |
| Pantalla HMI           | 1 | \$ 60,00  | \$ 60,00  |
| <b>TOTAL</b>           |   |           | \$ 708,00 |

**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

### 11.1. Costos indirectos

En la tabla 27 se describe un listado de los costos directos utilizados para la implementación del módulo didáctico para el análisis de eficiencia mecánica en la turbina Pelton en micro generación hidráulica.

**Tabla 27** Costos indirectos

| Detalle      | Cantidad | Valor Unitario | Valor Total |
|--------------|----------|----------------|-------------|
| Transporte   | 30       | \$ 2,50        | \$ 75,00    |
| Alimentación | 30       | \$ 4,00        | \$ 120,00   |
| <b>TOTAL</b> |          |                | \$ 195,00   |

**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

### 11.2. Costos de mano de obra

En la tabla 28 se describen los costos de mano de obra del proyecto.

**Tabla 28** Costos directos

| Detalle                          | Cantidad | Valor Unitario | Valor Total |
|----------------------------------|----------|----------------|-------------|
| Armado de la estructura metálica | 1        | \$ 100,00      | \$ 100,00   |

|                                         |   |          |           |
|-----------------------------------------|---|----------|-----------|
| Programación del arduino                | 1 | \$ 50,00 | \$ 50,00  |
| Programación del HMI                    | 1 | \$ 50,00 | \$ 50,00  |
| Programación del variador de frecuencia | 1 | \$ 50,00 | \$ 50,00  |
| <b>TOTAL</b>                            |   |          | \$ 250,00 |

**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

### 11.3. Presupuesto total

En la tabla 29 se describe el presupuesto total del proyecto de titulación considerando los costos indirectos, costos directos y mano de obra.

**Tabla 29** Presupuesto total

| <b>Detalle</b>        | <b>Valor Total</b> |
|-----------------------|--------------------|
| Costos indirectos     | \$ 195,00          |
| Costos directos       | \$ 708,00          |
| Costo de mano de obra | \$ 250,00          |
| <b>TOTAL</b>          | \$ 1153,00         |

**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

Para el desarrollo del proyecto denominado “Implementación del módulo didáctico para el análisis de eficiencia mecánica en la turbina Pelton en micro generación hidráulica es necesario un presupuesto de mil ciento cincuenta y tres dólares americanos (\$ 1153,00)

## 12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 12.1. Conclusiones

- Se determinaron las diferentes variables que tienen incidencia de manera directa dentro de los sistemas de generación eléctrica, específicamente en el análisis mecánico de una turbina Pelton, estos son: altura, presión, caudal, velocidad angular, torque, potencia hidráulica, potencia mecánica y rendimiento.
- Se realizó una selección de equipos como: un variador de frecuencia ISTECH-230b que permite variar la presión y caudal de una bomba centrífuga de  $\frac{3}{4}$  de HP, la misma que permite simular una altura de 50, 55 y 60 metros de caída de agua, un encoder FC-03 que permite medir las rpm de la turbina, un sensor de presión, un caudalímetro, y una celda de carga para medir el torque proporcionado por la turbina.
- Se determinó la eficiencia mecánica de la turbina Pelton de manera teórica, aplicando diferentes expresiones matemáticas, en donde se partió de datos de altura (50, 55 y 60 metros) y torque (2, 2,5 y 3,5 Nm) en donde se obtuvieron resultados de presión, caudal, potencia hidráulica, potencia mecánica y finalmente el rendimiento, en donde se realizó una comparación con los datos obtenidos de los diferentes sensores que se colocaron en el módulo didáctico.
- Se realizó el estudio la eficiencia mecánica de la turbina Pelton en 3 diferentes casos, en cada uno de ellos se realizó un estudio particular con diferentes torques, obteniendo como resultados que la eficiencia mínima es de 49% con las condiciones de altura de caída de 55 metros y un torque de 2 Nm y que la eficiencia máxima es de 62% con las condiciones de altura de caída de 60 metros y un torque de 3,6 Nm.

### **12.2. Recomendaciones:**

- Realizar una simulación de flujo utilizando un software para la obtención de la eficiencia mecánica de una turbina Pelton a las condiciones establecidas en el proyecto para su comparación.
- Implementar un sistema de generación eléctrica que permita determinar la eficiencia total de un sistema de micro generación eléctrica.
- Si se visualiza un inadecuado funcionamiento en el módulo, es recomendable que se revise la bomba eléctrica, efectuando un mantenimiento preventivo, es decir de limpieza.

### 13. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ABC, D. (2011). Definicion ABC. Recuperado el 11 de 04 de 2017, se obtuvo de Definicion ABC: <http://www.definicionabc.com/tecnologia/energia-potencial.php>
- Alibaba. (2008). Alibaba. Recuperado el 17 de 04 de 2017, se obtuvo de Alibaba: <https://spanish.alibaba.com/p-detail/dp100-absolute-pressure-transmitter-air-pressure-sensor-absolute-pressure-gauge-with-cheap-price-high-quality-and-60198557530.html>
- AMG Kits. (2013). AMG Kits. Recuperado el 17 de Abril de 2017, se obtuvo de AMG Kits: <http://www.amgkits.com/sensores/112-sensor-de-velocidad-infrarrojo-fc-03.html>
- Arduino. (2016). Arduino. Recuperado el 17 de Abril de 2017, se obtuvo de Arduino: <http://arduino.cl/que-es-arduino/>
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2010). Ley organica de educacion superior. Quito.
- Barbol. (Julio de 2003). La Web de Fisica. Recuperado el 11 de 04 de 2017, se obtuvo de La Web de Fisica: <http://www.lawebdefisica.com/dicc/bernoulli/>
- CEAACES. (2015). Modelo genérico de evaluación del entorno de aprendizaje de carreras presenciales y semipresenciales de las universidades y escuelas politecnicas del ecuador. Quito.
- CELEC EP. (2015). CELEC EP. Recuperado el 14 de 10 de 2017, se obtuvo de CELEC EP: <https://www.celec.gob.ec/generacion/hidraulicos.html>
- Cetronic. (2015). Cetronic. Recuperado el 15 de Abril de 2017, se obtuvo de Cetronic: <http://www.cetronic.es/sqlcommerce/disenos/plantilla1/seccion/producto/DetalleProducto.jsp?idIdioma=&idTienda=93&codProducto=151346009&cPath=1343>
- Community, E. 1. (2015). Element 14 community. Recuperado el 17 de 04 de 2017, se obtuvo de Element 14 Community: <https://www.element14.com/community/community/arduino/blog/2016/02/22/nextion-hmi-display-a-user-interface-that-is-simple-and-easy-to-use>
- Cortez, C. (2002). El mundo de la fisica. Recuperado el 12 de 04 de 2017, se obtuvo de El mundo de la fisica: <https://elmundodelafisica.wikispaces.com/Potencia>
- Definicion ABC. (2010). Definicion ABC. Recuperado el 11 de 04 de 2017, se obtuvo de Definicion ABC: <http://www.definicionabc.com/general/energia-cinetica.php>

Dolling Oscar, D. S. (Sf). ELPAH . Recuperado el 21 de 07 de 2017, se obtuvo de Elpah : <http://www.fi.unsj.edu.ar/departamentos/DptoCivil/gcuencas/pdf/papers/paper%20turbina.pdf>

EcuRed. (2015). EcuRed. Recuperado el 17 de 04 de 2017, se obtuvo de EcuRed: [https://www.ecured.cu/Bomba\\_centro%20de%20agua](https://www.ecured.cu/Bomba_centro%20de%20agua)

EcuRed. (sf). EcuRed. Recuperado el 11 de 04 de 2017, se obtuvo de EcuRed: [https://www.ecured.cu/Ecuaci%C3%B3n\\_de\\_Bernoulli](https://www.ecured.cu/Ecuaci%C3%B3n_de_Bernoulli)

EDIBON. (2017). Turbina Pelton controlada desde Computador con SCADA. EDIBON , 16.

FisicaLab. (2013). FisicaLab. Recuperado el 11 de 04 de 2017, se obtuvo de FisicaLab: <https://www.fisicalab.com/apartado/velocidad#contenidos>

ISTECH. (2017). ISTECH-230.

Javier, H. (2005). Universo Formulas. Recuperado el 23 de 07 de 2017, se obtuvo de Universo Formulas: <http://www.universoformulas.com/fisica/cinematica/velocidad-angular/>

Monica Gonzales. (05 de 10 de 2010). La Guia Fisica. Recuperado el 11 de 04 de 2017, se obtuvo de La Guia Fisica: <http://fisica.laguia2000.com/dinamica-clasica/fuerzas/fuerza-en-fisica>

NATIONAL INSTRUMENTS. (2009). National instruments. Recuperado el 12 de 09 de 2017, se obtuvo de National instruments: <http://www.ni.com/white-paper/52134/es/>

NAYLAMP MECHATRONICS. (2009). Naylamp mechatronics. Recuperado el 13 de 09 de 2017, se obtuvo de Naylamp mechatronics: [http://www.naylampmechatronics.com/blog/37\\_Comunicaci%C3%B3n-RS485-con-Arduino.html](http://www.naylampmechatronics.com/blog/37_Comunicaci%C3%B3n-RS485-con-Arduino.html)

Olmo, N. (2011). HyperPhysics. Recuperado el 11 de 04 de 2017, se obtuvo de HyperPhysics: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/press.html>

QuimiNet. (16 de Junio de 2011). QuimiNet. Recuperado el 17 de 04 de 2017, se obtuvo de QuimiNet: <https://www.quiminet.com/articulos/que-es-un-variador-de-frecuencia-y-como-es-que-functiona-60877.htm>

Raul. (09 de 05 de 2012). Twenergy. Recuperado el 11 de 04 de 2017, se obtuvo de Twenergy: <https://twenergy.com/a/que-es-la-energia-hidraulica-426>

Roberto. (01 de 02 de 2012). Twenergy. Recuperado el 10 de 04 de 2017, se obtuvo de <https://twenergy.com/a/que-es-la-energia-electrica-381>

Softwarw CAD\_SIMU. Diseño eléctrico.

Valcarce, A. (2014). Torque y momento de torsion. chile: universidad polotecnica catolica de chile.

Valdez, K. (2009). Fisica. obtenido de fisica: <http://colegioriobambakatyvaldez.blogspot.com/2013/07/ecuacion-de-continuidad-aerodinamica.html>

Villa, J. (2016). Monografias. Recuperado el 17 de Abril de 2017, se obtuvo de Monografias: <http://www.monografias.com/trabajos82/curvas-caracteristicas-turbina-pelton/curvas-caracteristicas-turbina-pelton.shtml>

WordPress. (2014). Arduino. Recuperado el 08 de 09 de 2017, se obtuvo de Arduino: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/category/modbus/>

Xavier Criollo, C. Q. (2011). Diseño de una mini central de energia hidroelectrica en la. cuenca: universidad politecnica salesiana.

Yara, A. (22 de Octubre de 2014). Turbina Pelton. Recuperado el 13 de 04 de 2017, se obtuvo de Turbina Pelton: <http://turbina-pelton-angy-yara.blogspot.com/>

Zurita, N. G. (2005). Diseño e implementación de un prototipo de una picocentral hidráulica para uso rural. latacunga: ESPE.

## 14. ANEXOS

|     |                                             |                                                                                     |
|-----|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 1/1 | Anexo 1. Hoja de vida de los investigadores |  |
|-----|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|

**▣ DATOS PERSONALES**

|                             |                           |                                                                                     |
|-----------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Nombres                     | Mayra Elizabeth           |  |
| Apellidos                   | Lema Neto                 |                                                                                     |
| Lugar y fecha de nacimiento | 19 de Noviembre del 2000  |                                                                                     |
| Cédula de ciudadanía        | 0550666291                |                                                                                     |
| Estado civil                | Soltera                   |                                                                                     |
| Dirección domiciliaria      | Cotopaxi-Pujili           |                                                                                     |
| Teléfonos de contacto       | 0969454409                |                                                                                     |
| Email                       | Mayra.lema6291@utc.edu.ec |                                                                                     |

**Estudios Realizados**

|             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Primarios   | Escuela "Dr. Pablo Herrera"                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Secundarios | Unidad educativa "Pujili"                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Superiores  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                     |
|             | <b>CURSOS DE CAPACITACION:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Instalaciones eléctricas domiciliarias.</li> <li>IV congreso internacional de investigación científica UTC-La Maná 2019.</li> <li>Curso de auxiliar en domótica.</li> <li>VII Congreso Internacional de Investigación Científica – 202.</li> </ul> |

**Idiomas**

- Español
- Inglés

□ **DATOS PERSONALES**

|                                    |                          |
|------------------------------------|--------------------------|
| <b>Nombres</b>                     | Erika Fernanda           |
| <b>Apellidos</b>                   | Oto Toaquiza             |
| <b>Lugar y fecha de nacimiento</b> | 18 de Octubre del 1999   |
| <b>Cédula de ciudadanía</b>        | 0504523465               |
| <b>Estado civil</b>                | Soltera                  |
| <b>Dirección domiciliaria</b>      | Cotopaxi-La Maná.        |
| <b>Teléfonos de contacto</b>       | 0985401781               |
| <b>Email</b>                       | erika.oto3465@utc.edu.ec |



**Estudios Realizados**

|                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Primarios</b>   | Escuela de educación básica intercultural “Consejo Provincial de Cotopaxi”                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Secundarios</b> | Unidad educativa “Rafael Vascones Gómez”                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Superiores</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                            |
|                    | <b>CURSOS DE CAPACITACIÓN:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalaciones eléctricas domiciliarias.</li> <li>• IV congreso internacional de investigación científica UTC-La Maná 2019.</li> <li>• Curso de auxiliar en domótica.</li> <li>• VII Congreso Internacional de Investigación Científica – 2023.</li> </ul> |

**Idiomas**

- Español
- Inglés

1/1

## Anexo 2. Hoja de vida del tutor



## JOSE WILLIAMS MORALES CEVALLOS



## Datos Personales

**Dirección:** AV. ANTONIA VELA 18-28 y BENJAMÍN TERÁN  
**Teléfono (s):** 032807978 - 032804019 - 0985346678  
**Cédula de identidad:** 0502675424  
**Correo electrónico:** pepewmoralesc@yahoo.com  
**Ciudad / Provincia / País:** LATACUNGA / COTOPAXI / ECUADOR

## Instrucción Formal

|            |                                                |                            |
|------------|------------------------------------------------|----------------------------|
| ( 2 AÑOS ) | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI                | CUARTO NIVEL - MAESTRIA    |
| ( 5 AÑOS ) | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI                | TERCER NIVEL               |
| ( 6 AÑOS ) | COLEGIO TÉCNICO INDUSTRIAL RAMÓN BARBA NARANJO | SECUNDARIA                 |
| ( 6 AÑOS ) | ESCUELA FISCAL ISIDRO AYORA                    | PRIMARIA /BÁSICA ELEMENTAL |

## CERTIFICADO DE IDIOMAS

**Certificado:** IDIOMA INGLÉS B1  
**Otorgada por:** Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi  
**Año:** 2021

## Certificaciones Por Competencias Laborales

**Certificado:** PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES: ENERGÍA ELÉCTRICA  
**Otorgada por:** M&V INGENIEROS / MINISTERIO DE TRABAJO  
**Certificado:** PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES: CONSTRUCCIÓN Y OBRAS PÚBLICAS

Otorgada por: M&V INGENIEROS / MINISTERIO DE TRABAJO

**Vocación / Subactividades:**

**Oficio:** ELÉCTRICOS

**Descripción:** INSTALACION DE PUERTAS ELECTRONICAS

**Oficio:** SOLDADOR

**Descripción:** TRABAJOS DE SOLDADOR

**Oficio:** ELÉCTRICOS

**Descripción:** TAREAS DE ELECTROMECHANICA

**Oficio:** SOLDADOR

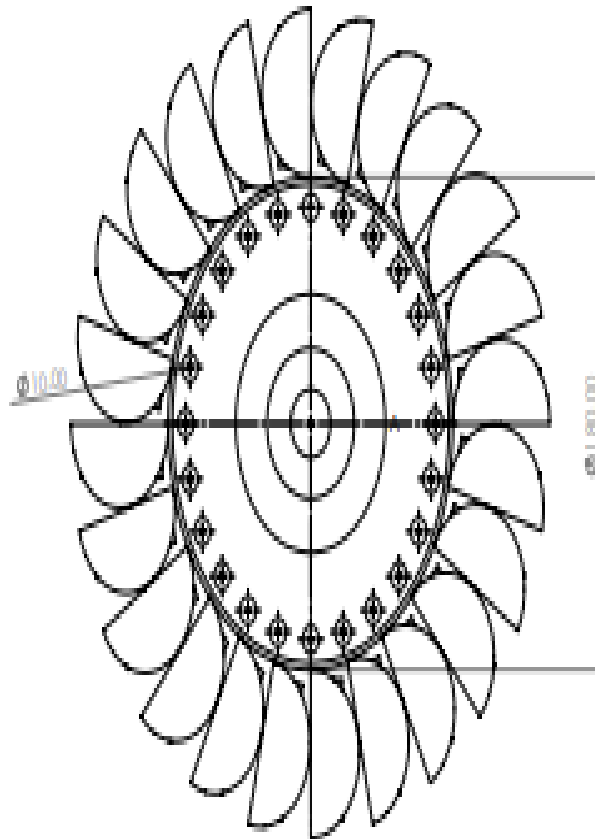
**Descripción:** INSPECCIÓN DE SOLDADURA CON ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

1/1

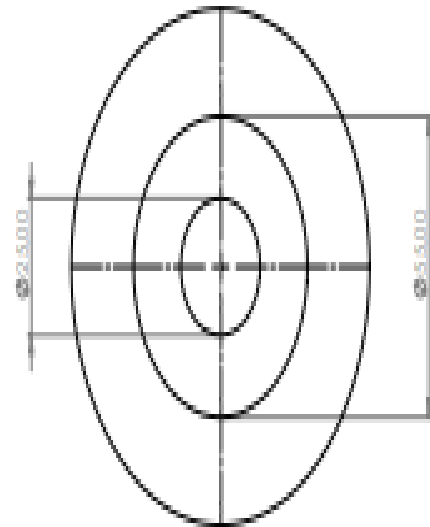
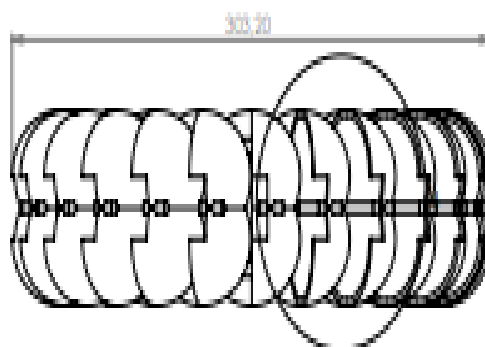
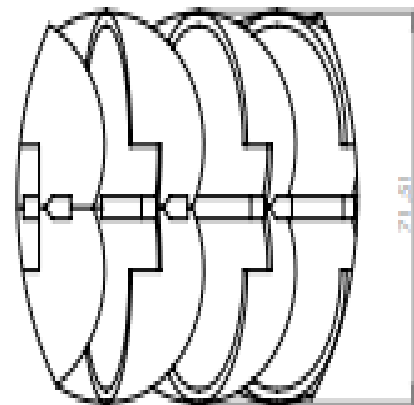
## Anexo 3. Diseño de Planos



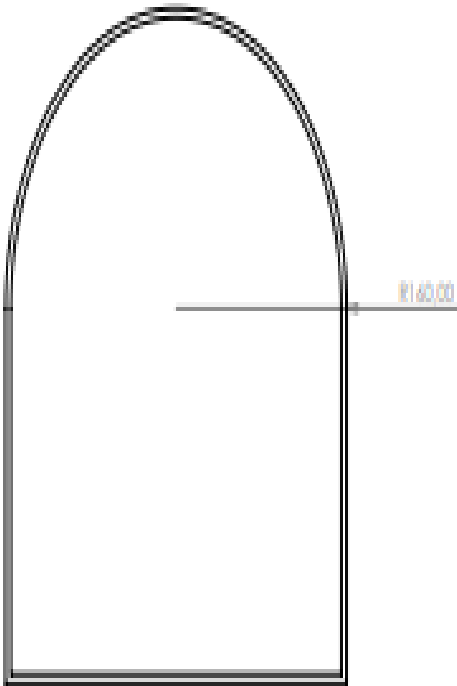
VISTA FRONTAL



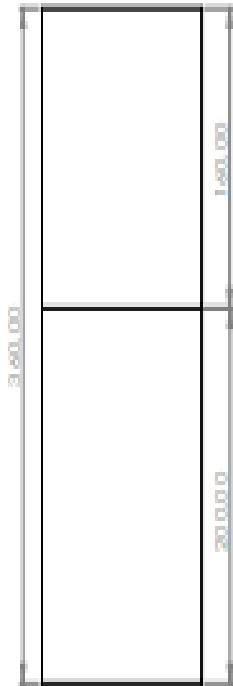
VISTA SUPERIOR

DETALLE A  
ESCALA 1:1

VISTA FRONTAL



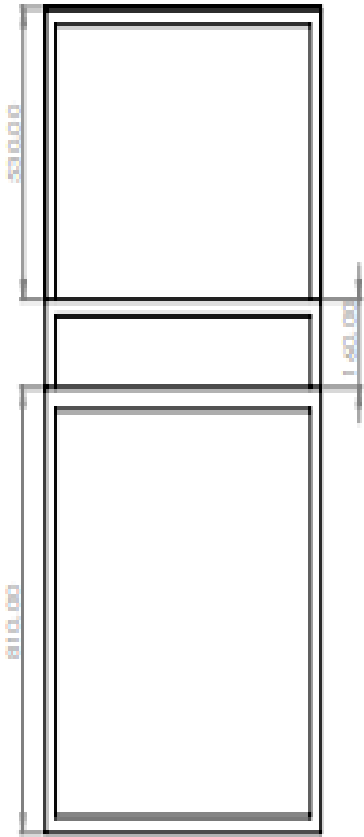
VISTA LATERAL IZQUIERDA



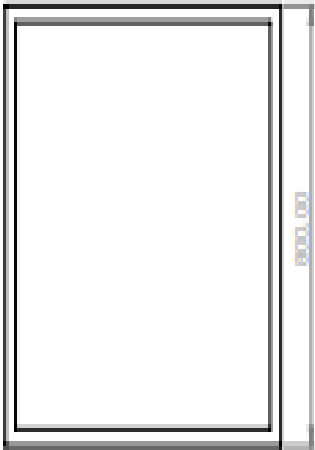
VISTA SUPERIOR



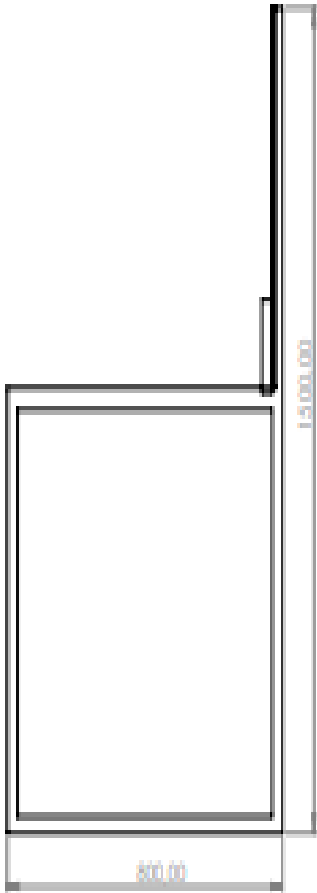
VISTA FRONTAL

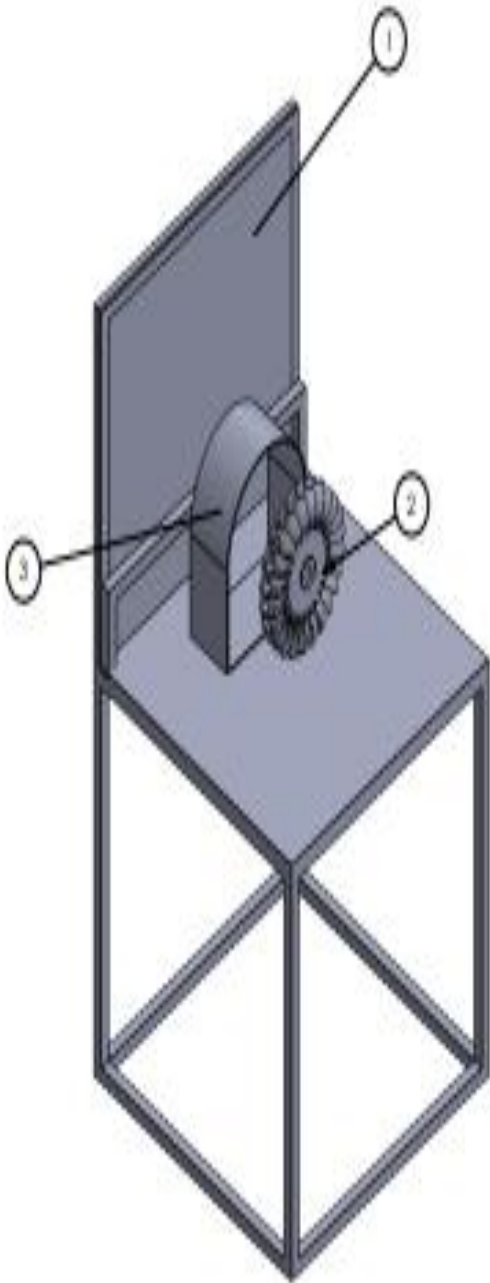


VISTA SUPERIOR



VISTA LATERAL IZQUIERDA





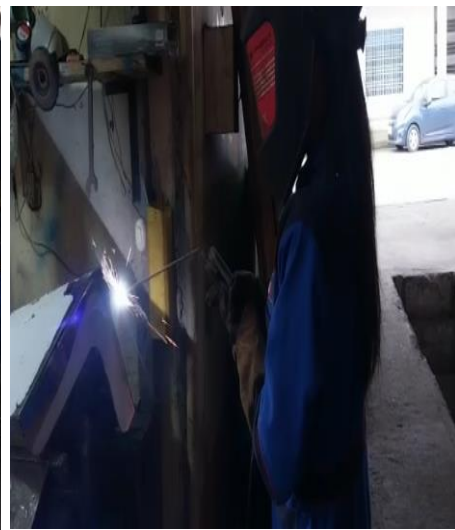
1/1

## Anexo 4. Estudio de diseño y construcción



1/1

## Anexo 5. Construcción del módulo



1/1

**Anexo 6. Datos técnicos del sensor de caudal****DESCRIPCIÓN****ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

Un sensor de flujo o caudalímetro es un instrumento para la medición de caudal o gasto volumétrico de un fluido. El caudal es la cantidad de líquido o fluido (volumen) que circula a través de una tubería por unidad de tiempo, por lo general se expresa en: litros por minutos (l/m), litros por hora (l/h), metros cúbicos por hora (m³/h), etc.). Los caudalímetros suelen colocarse directamente en la tubería que transporta el fluido. También suelen llamarse medidores/sensores de caudal, medidores de flujo o flujómetros.

El sensor de flujo de agua de 1/2" **YF-S201** sirve para medir caudal de agua en tuberías de 1/2" de diámetro. También puede ser empleado con otros líquidos de baja viscosidad, como: bebidas gasificadas, bebidas alcohólicas, combustible, etc. Es un caudalímetro electrónico de tipo turbina. Compatible con sistemas digitales como Arduino, PIC, Raspberry Pi, PLCs. El sensor posee tres cables: rojo (VCC: 5VDC), negro (tierra) y amarillo (salida de pulsos del sensor de efecto Hall). Con la ayuda de este sensor podrás ingresar al mundo de la Domótica, monitoreando el consumo de agua en tu hogar, o puedes hacer un dispensador de volumen automatizado con la ayuda de una válvula adicional.

El funcionamiento del sensor es de la siguiente forma: el caudal de agua ingresa al sensor y hace girar una turbina, la turbina está unida a un imán que activa un sensor de efecto Hall, que a su vez emite un pulso eléctrico que puede ser leído por la entrada digital de un Arduino o PLC. El sensor de efecto Hall está aislado del agua, de manera que siempre se mantiene seco y seguro. Como el volumen de agua por cada pulso es fijo y de un valor conocido (promedio) podemos contar la cantidad de pulsos por unidad de tiempo (segundo o minuto), luego multiplicar el valor de volumen/pulso por la cantidad de pulsos y así determinar el caudal o flujo de agua. Se recomienda utilizar interrupciones por hardware en el Arduino para detectar o contar los pulsos del sensor. Tenga en cuenta que este no es un sensor de precisión por lo que la orientación, presión del agua y otras condiciones pueden afectar la medición. Se recomienda calibrar el sensor realizando mediciones con volúmenes conocidos. Calibrado puede llegar a tener una precisión de hasta 10%.

**FÓRMULA:** Flujo del agua en L/min = Pulsaciones del sensor (Hz) / 7.5

- Modelo: YF-S201
- Voltaje de operación: 5V - 18V DC
- Consumo de corriente: 15mA (5V)
- Capacidad de carga: 10mA (5 VDC)
- Salida: Onda cuadrada pulsante
- Rango de Flujo: 1-30L/min
- Volumen promedio por pulso: 2.25mL
- Pulsos por litro: 450
- Factor de conversión: 7.5
- Rosca externa: 1/2" NPS
- Presión de trabajo máx.: 1.75MPa (17 bar)
- Temperatura de funcionamiento: -25°C a 80°C
- Material: Plástico color negro

1/1

**Anexo 7. Datos técnicos del sensor de presión****DESCRIPCIÓN**

Los sensores de presión o transductores de presión son muy habituales en muchos procesos industriales. Su objetivo es transformar una magnitud física en una eléctrica, en este caso transforman una fuerza por unidad de superficie (presión) en un voltaje proporcional a la presión ejercida.

El Sensor de presión HK3022 trabaja en el rango de 0 a 0.5 MPa, un rango común para aplicaciones experimentales en neumática y sistemas de presión constante (agua, aceite, combustible). La salida del sensor es un voltaje analógico que varía linealmente desde 0.5V para 0 MPa hasta 4.5V para 0.8Mpa. Esta salida analógica es compatible con las entradas analógicas (ADC) de Arduino.

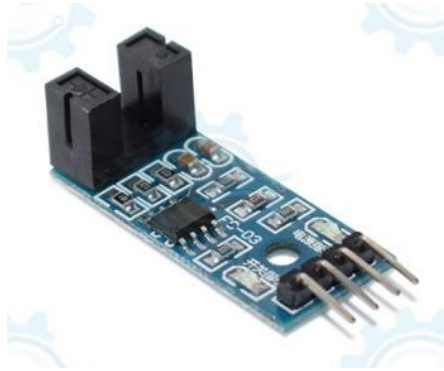
Entre las principales aplicaciones del sensor tenemos la medición de presión de agua en tuberías, medición de nivel de columna de agua por presión hidrostática, sistemas de presión constante (para dosificación). Fabricado en Acero inoxidable para asegurar robustez, sanidad y larga duración.

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

- Voltaje de operación: 5.0 VDC
- Voltaje de salida (analógica): 0.5 - 4.5 VDC
- Corriente de funcionamiento:  $\leq 10$  mA
- Rango de presión de trabajo: 0 - 0.5 MPa (0-5 Bar ó 0-72.5psi)
- Presión máx: 1.5 MPa
- Presión de ruptura: 3.0 MPa
- Tiempo de respuesta:  $\leq 2.0$  ms
- Error de medición:  $\pm 1$  %FSO
- Error por temperatura:  $\pm 3.5$  %FSO
- Temperatura de trabajo: 0-85°C
- Temperatura de almacenamiento: 0-100°C
- Rosca de conexión: Macho G1/4 (BSP: Rosca Whitworth para tubos cilíndrica)
- Fluido de trabajo: Gas, Aire comprimido, Agua, Aceite.
- Dimensiones: 26\*26\*60 mm
- Conexiones: Rojo (5V), Negro(tierra), Amarillo (Salida)

1/1

## Anexo 8. Datos técnicos del sensor de velocidad



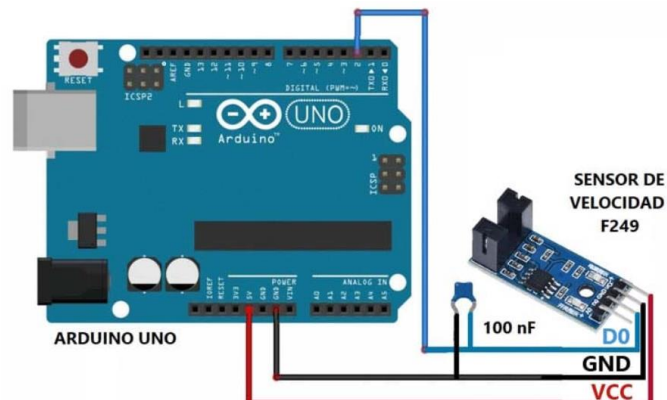
### DESCRIPCIÓN

El Sensor de Velocidad tipo U nos permite realizar mediciones de posición y velocidad de un motor a través de su sensor infrarrojo. Compatible con Microcontroladores PIC, Arduino.

Es ideal para medición de impulsos y velocidades, ya que cuenta con un Led Emisor y otro Receptor en cada costado del sensor, al interrumpirse el rayo de luz, el voltaje de salida lógico cambia a cero lógico (LOW), y cuando el rayo pasa con normalidad el módulo arroja una salida de uno lógico (HIGH).

### CARACTERÍSTICAS

- > Sensor: MOCH22A
- > Comparador Opamp: LM393
- > Voltaje de Operación: 3.3V – 5V DC
- > Salidas: Analógica y Digital TTL
- > Tipo de emisor: Fotodiodo IR
- > Longitud de onda del emisor: 950 nm (infrarrojo)
- > Tipo de detector: fototransistor
- > Dimensiones: 32mmx 14mm x 7 mm



1/1

**Anexo 9. Datos técnicos del HMI**

Nextion es una perfecta interfaz hombre-máquina (HMI) solución que proporciona un control y visualización de interfaz entre un ser humano y un proceso, la máquina, aplicación o dispositivo. Es la mejor solución para reemplazar el tradicional tubo Nixie LCD y LED.

Esta solución incluye hardware parte – una serie de placas de TFT y software – Nextion editor. TFT Nextion junta sólo utiliza un puerto serie para hacer la comunicación. Permiten deshacerse de los problemas de cableado. Notamos que la mayoría de los ingenieros pasan mucho tiempo en el desarrollo de aplicaciones, sino que obtiene resultados desagradables. En esta situación, el editor de Nextion tiene masa componentes tales como el botón, texto, la barra de progreso, deslizando, panel de instrumentos, etc., para enriquecer su interfaz de diseño. Y el drag-and-drop function garantiza que usted dedique menos tiempo en la programación, lo que reducirá el 99% de las cargas de trabajo de desarrollo. Con la ayuda de este editor WYSIWYG, diseño de interfaz gráfica de usuario es un pedazo de pastel.

Es fácil adaptar Nextion IHM a la familia de los proyectos existentes, sólo necesita proporcionar una UART.

NX8048T070 es un potente 7.0", HMI, que es miembro de la familia Nextion. Las características incluyen: La versión 7.0" TFT 800x480 pantalla táctil resistiva, Flash de 16M, 2KB de RAM, 65K colores.

Descripción:

La versión inglesa del kernel, utilice la versión inglesa del IDE

|                                  |                                               |
|----------------------------------|-----------------------------------------------|
| <b>Enlace Wiki</b>               | No                                            |
| <b>La resolución de pantalla</b> | 800*480                                       |
| <b>La interfaz de pantalla</b>   | Número de serie                               |
| <b>Tipo de pantalla</b>          | La pantalla táctil                            |
| <b>Controlador de pantalla</b>   | No                                            |
| <b>Interfaz de pantalla TFT</b>  | N/A                                           |
| <b>El tamaño de pantalla</b>     | 7.0"                                          |
| <b>El tamaño de la junta</b>     | 181*108mm                                     |
| <b>Ampliar</b>                   | Zócalo de la tarjeta SD<br>La pantalla táctil |
| <b>El peso</b>                   | 400                                           |

1/1

**Anexo 10. Datos técnicos del Arduino Mega****Descripción general**

La Mega 2560 es una placa electrónica basada en el ATmega2560. Cuenta con 54 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 15 se pueden utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertos serie de hardware), un oscilador de 16MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un conector ICSP, y un botón de reset. Contiene todo lo necesario para apoyar el microcontrolador; basta con conectarlo a un ordenador con un cable USB o a la corriente con un adaptador de CA a CC o una batería para empezar. La placa Mega 2560 es compatible con la mayoría de los shield para el Uno y las placas anteriores Duemilanove o Diecimila.

El Mega 2560 es una actualización de la Arduino Mega, al que sustituye. Usted puede encontrar aquí informaciones de garantía de su placa.

**Especificaciones técnicas**

|                                  |                                                     |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Microcontrolador                 | ATmega2560                                          |
| Tensión de trabajo               | 5V                                                  |
| Tensión de entrada (recomendada) | 7-12V                                               |
| Tensión de entrada (límite)      | 6-20V                                               |
| Pines Digitales I/O              | 54 (de los cuales 15 proporcionan salida PWM)       |
| Pines de entradas Analógicas     | 16                                                  |
| DC Corriente por Pin I/O         | 20 mA                                               |
| DC Corriente por Pin 3.3V        | 50 mA                                               |
| Memoria Flash                    | 256 KB de los cuales 8 KB se usan por el bootloader |
| SRAM                             | 8 KB                                                |
| EEPROM                           | 4 KB                                                |
| Velocidad del reloj              | 16 MHz                                              |
| Largo                            | 101.52 mm                                           |
| Ancho                            | 53.3 mm                                             |
| Peso                             | 37 g                                                |

1/1

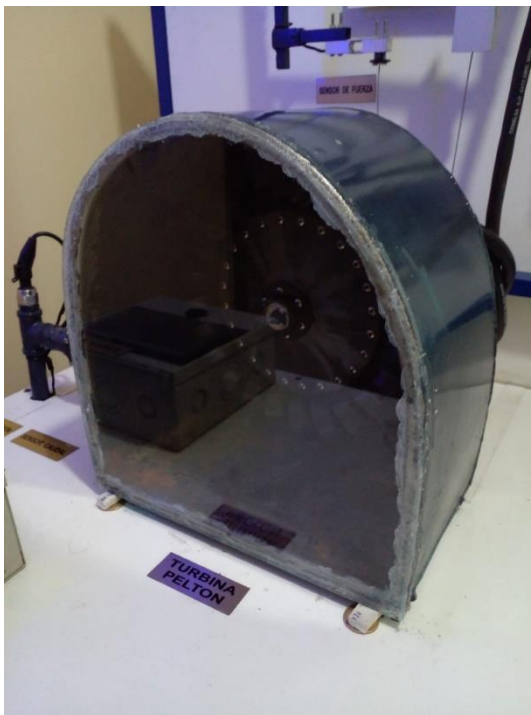
## Anexo 11. Datos técnicos variador de frecuencia


**IST230** Pocket Type 0.4kW-2.2kW  
 Low voltage Variable Frequency Drive


| Items                  |                                         | IST230                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Power Supply           | Rated voltage, Frequency                | 1PH/3PH AC 220V 50/60Hz; 3PH AC380V 50/60Hz                                                                                                                                                                                                                                    |
|                        | Voltage Range                           | 220V: 170V~240V; 380V:330V~440V                                                                                                                                                                                                                                                |
| Output                 | Voltage Range                           | 220V: 0~220V; 380V:0~380V                                                                                                                                                                                                                                                      |
|                        | Frequency Range                         | 0.10~400.00Hz                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Control method         |                                         | V/F control, Space vector control.                                                                                                                                                                                                                                             |
| Indication             |                                         | Operating status/Alarm definition/interactive guidance: eg, frequency setting, the output frequency/current, DC bus voltage, the temperature and so on.                                                                                                                        |
| Control Specifications | Output Frequency Range                  | 0.10Hz~400.00Hz                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                        | Frequency Setting Resolution            | Digital input : 0.1 Hz, analog input: 0.1% of maximum output frequency                                                                                                                                                                                                         |
|                        | Output Frequency Accuracy               | 0.1Hz                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|                        | V/F Control                             | Setting V/F curve to satisfy various load requirements.                                                                                                                                                                                                                        |
|                        | Torque Control                          | Auto increase: auto raise torque by loading condition; Manual increase:enable to set 0.0~20.0% of raising torque.                                                                                                                                                              |
|                        | Multifunctional Input Terminal          | Four multi-function input terminals, realizing functions including fifteen section speed control, program running, four-section acceleration/deceleration speed switch, UP/DOWN function and emergency stop and other functions                                                |
|                        | Multifunctional Output Terminal         | 1 multi-function output terminals for displaying of running, zerospeed, counter, external abnormality, program operation and other information and warnings.                                                                                                                   |
|                        | Acceleration/ deceleration Time Setting | 0~999.9s acceleration/deceleration time can be set individually.                                                                                                                                                                                                               |
| Other Functions        | PID Control                             | Built-in PID control                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                        | RS485                                   | Standard RS485 communication function (MODBUS)                                                                                                                                                                                                                                 |
|                        | Frequency Setting                       | Analog input:0 to 10V, 4 to 20mA can be selected; Digital input: Input using the setting dial of the operation panel or RS485or UP/DOWN.<br>Note: AVI terminals can be used to select an analog voltage input (0-10V) and analog current input (4-20mA) through the switch J2. |
|                        | Multi-speed                             | Four multifunction input terminals, 15 section speed can be set                                                                                                                                                                                                                |
|                        | Automatic voltage regulation            | Automatic voltage regulation function can be selected                                                                                                                                                                                                                          |
|                        | Counter                                 | Built-in 2 group of counters                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                        | Environment                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Environment            | Ambient Temperature                     | -10℃ to 40℃ (non-freezing)                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                        | Ambient Humidity                        | Max. 95% (non-condensing)                                                                                                                                                                                                                                                      |
|                        | Altitude                                | Lower than 1000m                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                        | Vibration                               | Max. 0.5G                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Structure              | Cooling Mode                            | Forced air cooling                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                        | Protective Structure                    | IP 20                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Installation           | Mode                                    | Wall-mounted or standard 35MM rail mounting                                                                                                                                                                                                                                    |

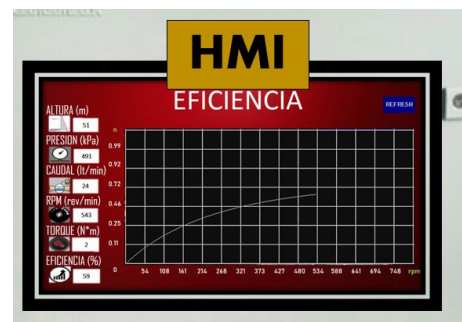
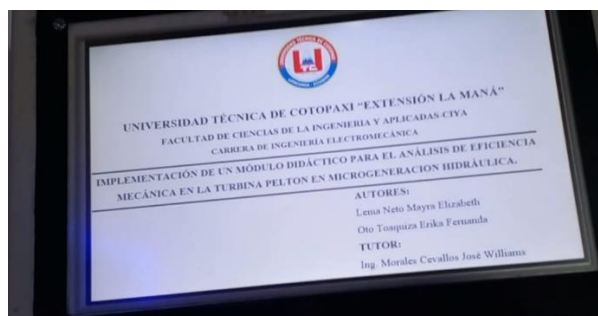
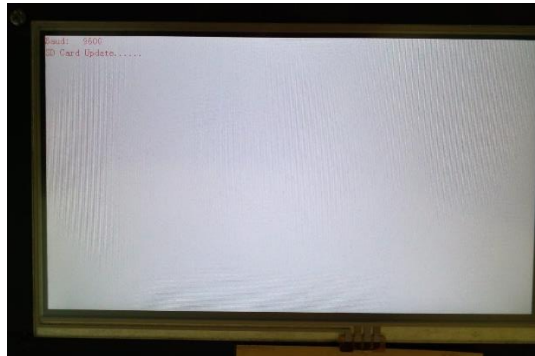
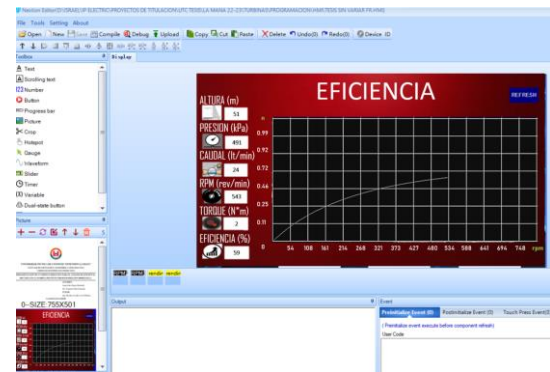
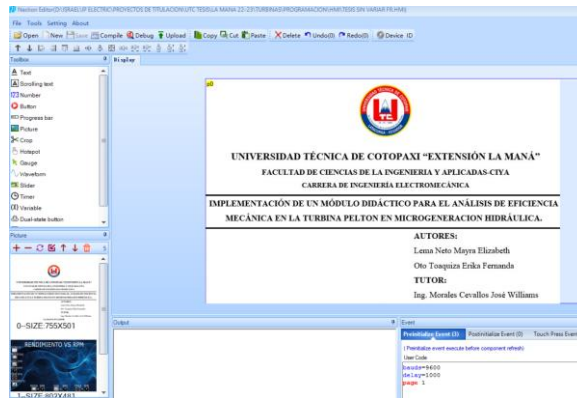
1/1

## Anexo 12. Implementación del módulo didáctico



1/1

## Anexo 13. Programación del HMI



1/1

**Anexo 14. Calibración de los sensores**

1/1

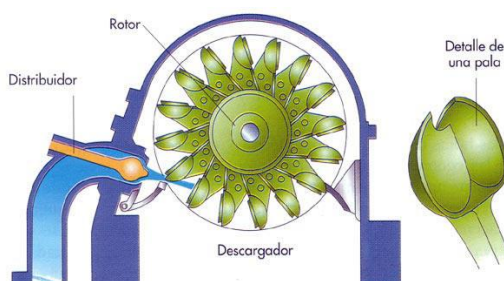
**Anexo 15. Encendido del módulo**

|     |                         |  |
|-----|-------------------------|--|
| 1/1 | Anexo 16. GUIA PRACTICA |  |
|-----|-------------------------|--|

|                                               |                                            |                                                                     |                  |        |            |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|--------|------------|
| FACULTAD:                                     | Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas      | CARRERA:                                                            | Electromecánica  |        |            |
| ASIGNATURA:                                   | Tecnologías de la construcción mecánica    | PERIODO LECTIVO:                                                    | OCTUBRE– FEBRERO | CICLO: | 8          |
| DOCENTE:                                      | Ing. José Williams Morales Cevallos Mg.    | PRÁCTICA N°:                                                        | 1                | FECHA: | 16/02/2023 |
| LABORATORIO DONDE SE DESARROLLARÁ LA PRÁCTICA |                                            | Laboratorio de la Universidad técnica de Cotopaxi extensión La Maná |                  |        |            |
| TEMA DE LA PRÁCTICA:                          | Curva de rendimiento de una turbina Pelton |                                                                     |                  |        |            |

**INTRODUCCIÓN:**

Una turbina hidráulica es la máquina destinada a transformar la energía hidráulica, de una corriente o salto de agua, en energía mecánica, y esta posteriormente a energía eléctrica, produciendo así una energía limpia y renovable. Mediante la ejecución de este proyecto de investigación se determinarán las variables físicas que intervienen en un sistema de micro generación eléctrica utilizando fuentes de energía renovable como la hidráulica, siendo éstas la velocidad, presión, caudal, altura, torque, potencia hidráulica, potencia mecánica y el rendimiento que son aplicadas en una turbina Pelton, estas variables se determinarán mediante cálculos matemáticos así como también se las obtendrá por medio de los diferentes sensores distribuidos a lo largo del módulo didáctico para una posterior comparación, aquí radica la importancia que los profesionales apegados a la rama de generación eléctrica conozcan profundamente estos parámetros técnicos permitiendo conocer las características operativas de funcionamiento de una micro central eléctrica y el funcionamiento de una turbina Pelton.

**Figura 75** Turbina Pelton**OBJETIVOS:**

- Conocer el principio de funcionamiento de una turbina Pelton.
- Determinar la curva de la eficiencia mecánica del módulo didáctico de Turbina Pelton
- Desarrollar un análisis de comparación con entre la parte teórica y práctica.

**MATERIALES:****REACTIVOS:**

Ninguna

**INSUMOS:**

- 50 litros de agua
- Energía eléctrica trifásica 220 Vac

**ANEXO 1****1. ¿Qué función cumple el tanque de reserva?**

El tanque de reserva almacena el agua y permite que nuestra turbina sea secuencial.

**2. ¿En qué consiste el variador de frecuencia?**

Que podemos controlar el caudal de nuestra turbina.

**3. ¿De cuantas cucharetas está construida la Turbina?**

Nuestra turbina tiene 24 cucharetas.

**4. ¿El sensor de fuerza que capacidad tiene que tener para emitir pulsos de voltaje?**

5kg

**5. ¿Cuántos tipos de sensores tenemos?**

Tenemos 4 tipos de sensores que son:

- Sensor de presión.
- Sensor de caudal.
- Sensor de fuerza.
- Sensor de velocidad.

**EQUIPOS:**

- Módulo didáctico de turbina Pelton
- Multímetro.
- Equipo de protección personal.

**MUESTRA:**

Ninguna

**INSTRUCCIONES:**

1. Tomar las medidas de seguridad dentro del laboratorio.
2. Realizar las mediciones de 220 Vac y 120 Vac con ayuda de un compañero.
3. Revisar fugas de agua en las tuberías o accesorios hidráulicos.
4. Verificar las conexiones eléctricas.

**ACTIVIDADES POR DESARROLLAR:**

1. En el tomacorriente trifásico, realizar una medición con el multímetro de tensión de 220 Vac entre línea – línea y una medición 120 Vac entre línea y neutro.



**Figura 76.** Mediciones con el multímetro

2. Realizar la conexión del enchufe eléctrico trifásico al tomacorriente que acabó de realizar las mediciones eléctricas.



**Figura 517.** Muestra del enclufe trifásico

3. Verificar que la fuente de alimentación de 5 Vac colocada en la parte interna del módulo didáctico este conectada mediante un enchufe de 120 Vac.



**Figura 528.** Conexión de la fuente de alimentación

4. En la parte del asiento del módulo se encuentra una tapa perteneciente al tanque reservorio, en donde se debe abrir para ingresar los 50 litros de agua que son necesario para su constante recirculación.



**Figura 539.** Tapa del tanque reservorio

5. Introducir un mínimo de 30 litros de agua y un máximo de 50 litros de agua. Nota: no encender el módulo didáctico si el tanque de almacenamiento de agua esta vacío, porque puede llegar a ocasionar daños a la bomba eléctrica.



**Figura 80.** Tanque reservorio y bomba eléctrica

6. En la parte superior derecha del módulo didáctico se tiene una botonera de dos pulsadores, una de color verde que es para el encendido del módulo y otra de color rojo que es para su apagado.



**Figura 81.** Botonera On/Off

7. Se procede al encendido del módulo presionando una sola vez el botón verde mencionado anteriormente.



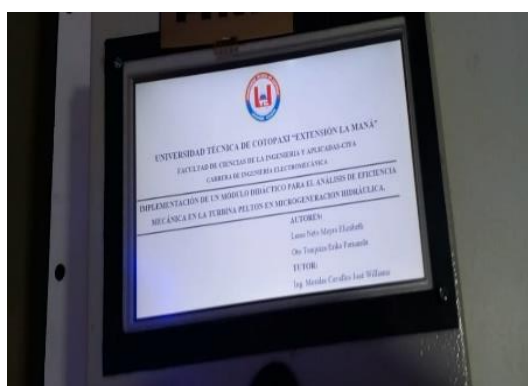
**Figura 8254.** Pulsador On

8. Verificar que el contactor que se encuentra en la parte derecha del módulo didáctico esté enclavado.



**Figura 83.** Enclavado del contactor

9. Verificar que la Pantalla HMI que se encuentra alojada en la parte izquierda del asiento del módulo didáctico esté encendida.



**Figura 84.** Encendido del HMI

10. Verificar que el Variador de Frecuencia que se encuentra en la parte derecha del módulo didáctico esté encendido.



**Figura 85.** Encendido del variador de frecuencia

11. Colocar el potenciómetro que tiene el Variador de Frecuencia en su parte inicial, es decir desplazarlos hacia la parte derecha (horario) hasta el tope.



**Figura 86.** Potenciómetro a la derecha

12. El Variador de Frecuencia posee un botón de color verde / rojo que debe ser pulsado una sola vez para el encendido de la bomba eléctrica o su apagado.



**Figura 557.** Pulsador de encendido en el variador de frecuencia

13. Proceder a encender la bomba eléctrica desde el variador de Frecuencia.



**Figura 568.** Encendido de la bomba eléctrica

14. Inmediatamente la bomba succionará el agua del tanque reservorio para provocar un chorro de agua hacia las paletas (cuchara) de la Turbina Pelton haciéndole desplazar de forma rotativa.



**Figura 579.** Movimiento rotatorio de la Turbina Pelton

### CONCLUSIONES:

- Se implementó el módulo didáctico que permite simular una altura de caída de agua, a la que se desea determinar la eficiencia mecánica de la turbina Pelton, para lo cual se utilizó un variador de frecuencia ISTECH-230b que permite variar la presión y caudal de una bomba centrífuga de  $\frac{3}{4}$  de HP, la misma que permite simular una altura de 50, 55 y 60 metros de caída de agua
- Se determinó la potencia hidráulica y mecánica, mediante la implementación de sensores de presión (15 PSI), caudal (60 lt/min), fuerza (5kg), velocidad (encoder FC-03), respectivamente, con los valores obtenidos de la medición de estos sensores se generó la curva de la eficiencia mecánica de la turbina Pelton en diferentes condiciones de altura y torque.
- Se realizó el estudio de la eficiencia mecánica de la turbina Pelton en 3 diferentes casos, en cada uno de ellos se realizó un estudio particular con diferentes torques, obteniendo como resultados que la eficiencia mínimo es de 49% con las condiciones de altura de caída de 55 metros y un torque de 2 Nm y que la eficiencia máximo es de 62% con las condiciones de altura de caída de 60 metros y un torque de 3,6 Nm.
- Se observó que a mayor torque la eficiencia mecaniza aumenta, pero la velocidad angular disminuye, para este estudio particular la eficiencia mecánica esto es lo más óptimo; Pero en el caso de ser un estudio de generación eléctrica esto sería perjudicial, ya que la velocidad angular es directamente proporcional a la frecuencia.

### RECOMENDACIONES:

- Realizar una simulación de flujo utilizando un software para la obtención de la eficiencia mecánica de una turbina Pelton a las condiciones establecidas en el proyecto para su comparación.
- Implementar un sistema de generación eléctrica que permita determinar el rendimiento total de un sistema de micro generación eléctrica.
- Si se observa un funcionamiento no adecuado se recomienda hacer un mantenimiento a la bomba centrífuga, ya que puede existir impurezas que se encuentren en la turbina haciendo que la bomba falle.

### FIRMAS

F: .....

**Nombre: Ing. Francisco Saul Alcocer Salazar**  
**ENCARGADO DE LABORATORIO**

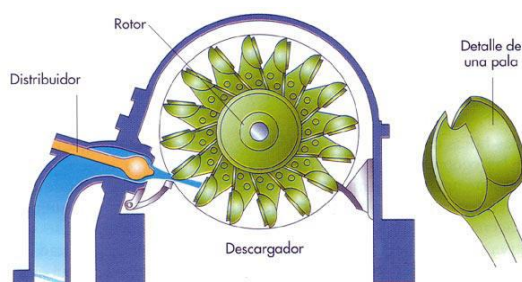
F: .....

**Nombre: PhD. Yoandrys Morales Tamayo**  
**DIRECTOR DE CARRERA**

|                                               |                                            |                                                                     |                 |        |            |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-----------------|--------|------------|
| FACULTAD:                                     | Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas      | CARRERA:                                                            | Electromecánica |        |            |
| ASIGNATURA:                                   | Tecnologías de la construcción mecánica    | PERIODO LECTIVO:                                                    | OCTUBRE–FEBRERO | CICLO: | 8          |
| DOCENTE:                                      | Ing. José Williams Morales Cevallos Mg.    | PRÁCTICA N°:                                                        | 2               | FECHA: | 16/02/2023 |
| LABORATORIO DONDE SE DESARROLLARÁ LA PRÁCTICA |                                            | Laboratorio de la Universidad técnica de Cotopaxi extensión La Maná |                 |        |            |
| TEMA DE LA PRÁCTICA:                          | Curva de rendimiento de una turbina Pelton |                                                                     |                 |        |            |

**INTRODUCCIÓN:**

Mediante la ejecución de este proyecto de investigación se determinarán las variables físicas que intervienen en un sistema de micro generación eléctrica utilizando fuentes de energía renovable como la hidráulica, siendo éstas la velocidad, presión, caudal, altura, torque, potencia hidráulica, potencia mecánica y la eficiencia que son aplicadas en una turbina Pelton, estas variables se determinarán mediante cálculos matemáticos así como también se las obtendrá por medio de los diferentes sensores distribuidos a lo largo del módulo didáctico.

**Figura 90. Turbina Pelton****OBJETIVOS:**

- Conocer el principio de funcionamiento de una turbina Pelton.
- Determinar la curva de la eficiencia mecánica del módulo didáctico de Turbina Pelton
- Desarrollar un análisis de comparación con entre la parte teórica y práctica.

**MATERIALES:****REACTIVOS:**

Ninguna  
Que

**INSUMOS:**

- 50 litros de agua
- Energía eléctrica trifásica 220 Vac

**ANEXO 2**

1. **¿En el HMI cuales son las variables que podemos visualizar?**  
Altura, presión, caudal, rpm, torque y el rendimiento.
2. **¿Cuál es la altura máxima que llega la turbinas Pelton?**  
La altura máxima es de 60.
3. **¿Cuál es el caudal mínimo para que las turbina Pelton de vueltas las cucharas?**  
El caudal mínimo que debe tener es de 30.
4. **¿Cuándo la altura tiende a ser de 50 m cuanto de caudal equivale?**  
El caudal es de 24.
5. **¿Que estamos calculando?**  
El rendimiento.

**EQUIPOS:**

- Módulo didáctico de turbina Pelton.
- Multímetro.
- Equipo de protección personal.

**MUESTRA:**

Ninguna

**INSTRUCCIONES:**

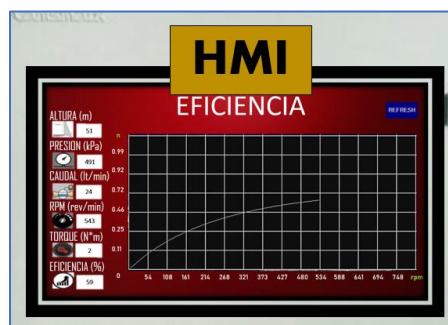
5. Tomar las medidas de seguridad dentro del laboratorio.
6. Realizar las mediciones de 220 Vac y 120 Vac con ayuda de un compañero.
7. Revisar fugas de agua en las tuberías o accesorios hidráulicos.
8. Verificar las conexiones eléctricas.

**ACTIVIDADES POR DESARROLLAR:****RESULTADOS OBTENIDOS:****Parámetros de evaluación****Tabla 1** Parámetros de evaluación

| Altura          | 50 metros |     |     | 55 metros |     |     | 60 metros |     |     |
|-----------------|-----------|-----|-----|-----------|-----|-----|-----------|-----|-----|
| Torque (Nm)     | 2         | 2,5 | 3   | 2         | 2,5 | 3,6 | 2         | 2,5 | 3,5 |
| Velocidad (rpm) | 532       | 430 | 344 | 564       | 488 | 370 | 685       | 628 | 434 |

**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

- En la pantalla HMI verificar la curva mecánica que presenta la Turbina Pelton y verificar los datos de las variables de altura, presión, caudal, RPM, torque y el rendimiento.

**Figura 91.** Movimiento rotatorio de la Turbina Pelton

### ANÁLISIS TEÓRICO

Eficiencia a una altura de 55 metros y un torque de 3,6 Nm

- **Potencia mecánica**

$$P_{mecanica} = 3,6 \text{ Nm} \times 40 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$P_{mecanica} = 144 \text{ Watt} \times \frac{1 \text{ HP}}{745,7 \text{ Watt}} = 0,193 \text{ HP}$$

Se obtuvo una potencia mecánica de 0,193 HP.

- **Eficiencia**

$$n_T = \frac{0,193 \text{ HP}}{0,33 \text{ HP}} = 0,585$$

$$n_T = 0,585 \times 100\% = 58,5 \%$$

Con un torque de 3,6 Nm a las mismas condiciones de trabajo se tiene una eficiencia del 58,5%

### ANÁLISIS PRÁCTICO

**Figura 92** Datos ingresados y generados caso 6

|                 |     |
|-----------------|-----|
| ALTURA (m)      | 56  |
| PRESION (kPa)   | 540 |
| CAUDAL (lt/min) | 26  |
| RPM (rev/min)   | 382 |
| TORQUE (N*m)    | 3.6 |
| EFICIENCIA (%)  | 59  |

**Fuente:** (Lema & Oto,2023)

Al módulo se coloca un torque a 3,6 Nm y una velocidad angular de 370 rpm, por lo cual se observa la curva de rendimiento de la turbina Pelton que tiene una eficiencia de 58 %.

**Figura 93** Eficiencia de la turbina Pelton a 56 metros y con un torque de 3,6 Nm



Fuente: (Lema & Oto,2023)

Resumen del estudio de la eficiencia mecánica de la turbina Pelton a 56 metros

|                     |                                                               |        |          |        |        |        |
|---------------------|---------------------------------------------------------------|--------|----------|--------|--------|--------|
| Altura              | 56 metros                                                     |        |          |        |        |        |
| Presión             | 539,55 kPa                                                    |        |          |        |        |        |
| Caudal              | $4,5 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} = 27 \text{ lt/min}$ |        |          |        |        |        |
| Potencia hidráulica | 0,33 HP                                                       |        |          |        |        |        |
| Torque              | 2 Nm                                                          |        | 2,5 Nm   |        | 3,6 Nm |        |
| Potencia mecánica   | 0,161 HP                                                      |        | 0,173 HP |        | 0,193  |        |
| Eficiencia          | Teoría                                                        | Módulo | Teoría   | Módulo | Teoría | Módulo |
|                     | 48,78 %                                                       | 49 %   | 52,3 %   | 53 %   | 58,5 % | 59 %   |

Fuente: (Lema & Oto,2023)

### CONCLUSIONES:

- Se implementó el módulo didáctico que permite simular una altura de caída de agua, a la que se desea determinar el rendimiento mecánico de la turbina Pelton, para lo cual se utilizó un variador de frecuencia ISTECH-230b que permite variar la presión y caudal de una bomba centrífuga de  $\frac{3}{4}$  de HP, la misma que permite simular una altura de 50, 55 y 60 metros de caída de agua
- Se determinó la potencia hidráulica y mecánica, mediante la implementación de sensores de presión (15 PSI), caudal (60 lt/min), fuerza (5kg), velocidad (encoder FC-03), respectivamente, con los valores obtenidos de la medición de estos sensores se generó la curva de rendimiento mecánico de la turbina Pelton en diferentes condiciones de altura y torque.
- Se realizó el estudio del rendimiento mecánico de la turbina Pelton en 3 diferentes casos, en cada uno de ellos se realizó un estudio particular con diferentes torques, obteniendo como resultados que el rendimiento mínimo es de 49% con las condiciones de altura de caída de 55 metros y un torque de 2 Nm y que el rendimiento máximo es de 62% con las condiciones de altura de caída de 60 metros y un torque de 3,6 Nm.

- Se observó que a mayor torque la eficiencia mecaniza aumenta, pero la velocidad angular disminuye, para este estudio particular de rendimiento mecánico esto es lo más óptimo; Pero en el caso de ser un estudio de generación eléctrica esto sería perjudicial, ya que la velocidad angular es directamente proporcional a la frecuencia.

### RECOMENDACIONES:

- Realizar una simulación de flujo utilizando un software para la obtención del rendimiento mecánico de una turbina Pelton a las condiciones establecidas en el proyecto para su comparación.
- Implementar un sistema de generación eléctrica que permita determinar el rendimiento total de un sistema de micro generación eléctrica.
- Si se observa un funcionamiento no adecuado se recomienda hacer un mantenimiento a la bomba centrífuga, ya que puede existir impurezas que se encuentren en la turbina haciendo que la bomba falle.

### FIRMAS

F: .....

**Nombre: Ing. Francisco Saul Alcocer Salazar**  
**ENCARGADO DE LABORATORIO**

F: .....

**Nombre: PhD. Yoandrys Morales Tamayo**  
**DIRECTOR DE CARRERA**

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                          |                   |                                         |           |                      |              |  |                 |                             |            |    |                  |                                          |    |                                                                      |                                                                                       |    |                                                                                                                                                  |                                                                                          |    |                                                                      |                                                                                         |    |                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-----------------------------------------|-----------|----------------------|--------------|--|-----------------|-----------------------------|------------|----|------------------|------------------------------------------|----|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|----|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 1/1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Anexo 17. Reporte Urkund                                                                                                                                                                                               |       |                   |                                         |           |                      |              |  |                 |                             |            |    |                  |                                          |    |                                                                      |                                                                                       |    |                                                                                                                                                  |                                                                                          |    |                                                                      |                                                                                         |    |                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                         |
| <div>Document Information</div> <table><tr><td>Analyzed document</td><td>TESIS UTC Lema y Oto_2.pdf (D158952249)</td></tr><tr><td>Submitted</td><td>2/18/2023 2:41:00 AM</td></tr><tr><td>Submitted by</td><td></td></tr><tr><td>Submitter email</td><td>yoandrys.morales@utc.edu.ec</td></tr><tr><td>Similarity</td><td>8%</td></tr><tr><td>Analysis address</td><td>yoandrys.morales.utc@analysis.urkund.com</td></tr></table> <div>Sources included in the report</div> <table><tr><td>SA</td><td><b>capitulo 2fff.docx</b><br/>Document capitulo 2fff.docx (D28340936)</td><td> 1</td></tr><tr><td>SA</td><td><b>PROYECTO DE TITULACION_ESPIN_SALAZAR pepisima 1 (1).docx</b><br/>Document PROYECTO DE TITULACION_ESPIN_SALAZAR pepisima 1 (1).docx (D33452474)</td><td> 20</td></tr><tr><td>SA</td><td><b>capitulo 2fff.docx</b><br/>Document capitulo 2fff.docx (D28011237)</td><td> 2</td></tr><tr><td>SA</td><td><b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / TESIS UTC Lema-Oto-..pdf</b><br/>Document TESIS UTC Lema-Oto-..pdf (D158830697)<br/>Submitted by: yoandrys.morales@utc.edu.ec<br/>Receiver: yoandrys.morales.utc@analysis.urkund.com</td><td> 1</td></tr></table> |                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                          | Analyzed document | TESIS UTC Lema y Oto_2.pdf (D158952249) | Submitted | 2/18/2023 2:41:00 AM | Submitted by |  | Submitter email | yoandrys.morales@utc.edu.ec | Similarity | 8% | Analysis address | yoandrys.morales.utc@analysis.urkund.com | SA | <b>capitulo 2fff.docx</b><br>Document capitulo 2fff.docx (D28340936) |  1 | SA | <b>PROYECTO DE TITULACION_ESPIN_SALAZAR pepisima 1 (1).docx</b><br>Document PROYECTO DE TITULACION_ESPIN_SALAZAR pepisima 1 (1).docx (D33452474) |  20 | SA | <b>capitulo 2fff.docx</b><br>Document capitulo 2fff.docx (D28011237) |  2 | SA | <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / TESIS UTC Lema-Oto-..pdf</b><br>Document TESIS UTC Lema-Oto-..pdf (D158830697)<br>Submitted by: yoandrys.morales@utc.edu.ec<br>Receiver: yoandrys.morales.utc@analysis.urkund.com |  1 |
| Analyzed document                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | TESIS UTC Lema y Oto_2.pdf (D158952249)                                                                                                                                                                                |                                                                                          |                   |                                         |           |                      |              |  |                 |                             |            |    |                  |                                          |    |                                                                      |                                                                                       |    |                                                                                                                                                  |                                                                                          |    |                                                                      |                                                                                         |    |                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                         |
| Submitted                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 2/18/2023 2:41:00 AM                                                                                                                                                                                                   |                                                                                          |                   |                                         |           |                      |              |  |                 |                             |            |    |                  |                                          |    |                                                                      |                                                                                       |    |                                                                                                                                                  |                                                                                          |    |                                                                      |                                                                                         |    |                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                         |
| Submitted by                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                          |                   |                                         |           |                      |              |  |                 |                             |            |    |                  |                                          |    |                                                                      |                                                                                       |    |                                                                                                                                                  |                                                                                          |    |                                                                      |                                                                                         |    |                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                         |
| Submitter email                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | yoandrys.morales@utc.edu.ec                                                                                                                                                                                            |                                                                                          |                   |                                         |           |                      |              |  |                 |                             |            |    |                  |                                          |    |                                                                      |                                                                                       |    |                                                                                                                                                  |                                                                                          |    |                                                                      |                                                                                         |    |                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                         |
| Similarity                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 8%                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                          |                   |                                         |           |                      |              |  |                 |                             |            |    |                  |                                          |    |                                                                      |                                                                                       |    |                                                                                                                                                  |                                                                                          |    |                                                                      |                                                                                         |    |                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                         |
| Analysis address                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | yoandrys.morales.utc@analysis.urkund.com                                                                                                                                                                               |                                                                                          |                   |                                         |           |                      |              |  |                 |                             |            |    |                  |                                          |    |                                                                      |                                                                                       |    |                                                                                                                                                  |                                                                                          |    |                                                                      |                                                                                         |    |                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                         |
| SA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>capitulo 2fff.docx</b><br>Document capitulo 2fff.docx (D28340936)                                                                                                                                                   |  1    |                   |                                         |           |                      |              |  |                 |                             |            |    |                  |                                          |    |                                                                      |                                                                                       |    |                                                                                                                                                  |                                                                                          |    |                                                                      |                                                                                         |    |                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                         |
| SA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>PROYECTO DE TITULACION_ESPIN_SALAZAR pepisima 1 (1).docx</b><br>Document PROYECTO DE TITULACION_ESPIN_SALAZAR pepisima 1 (1).docx (D33452474)                                                                       |  20 |                   |                                         |           |                      |              |  |                 |                             |            |    |                  |                                          |    |                                                                      |                                                                                       |    |                                                                                                                                                  |                                                                                          |    |                                                                      |                                                                                         |    |                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                         |
| SA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>capitulo 2fff.docx</b><br>Document capitulo 2fff.docx (D28011237)                                                                                                                                                   |  2  |                   |                                         |           |                      |              |  |                 |                             |            |    |                  |                                          |    |                                                                      |                                                                                       |    |                                                                                                                                                  |                                                                                          |    |                                                                      |                                                                                         |    |                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                         |
| SA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / TESIS UTC Lema-Oto-..pdf</b><br>Document TESIS UTC Lema-Oto-..pdf (D158830697)<br>Submitted by: yoandrys.morales@utc.edu.ec<br>Receiver: yoandrys.morales.utc@analysis.urkund.com |  1  |                   |                                         |           |                      |              |  |                 |                             |            |    |                  |                                          |    |                                                                      |                                                                                       |    |                                                                                                                                                  |                                                                                          |    |                                                                      |                                                                                         |    |                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                         |