



**Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi**

## **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

### **UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**

#### **TESIS DE GRADO:**

#### **TEMA:**

**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE LAS TURBINAS HIDRÁULICAS PELTON Y KAPLAN, CONTROLADO Y MONITOREADO A TRAVÉS DE UN ORDENADOR MEDIANTE EL PROGRAMA LABVIEW PARA EL LABORATORIO DE ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EN EL PERIODO 2015-2016”**

Tesis de grado previa a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico.

#### **AUTORES:**

Caizaguano Hidalgo Ismael Bladimir  
Sangucho Sánchez Cristian Aníbal

#### **DIRECTOR DE TESIS:**

Mg. C. Ing. Álvaro Santiago Mullo Quevedo

#### **ASESOR METODOLÓGICO:**

Dr. Galo Patricio Terán Ortiz

**Latacunga – Ecuador**

**2016**



## AUTORÍA

Los criterios emitidos en el presente proyecto de Tesis “**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE LAS TURBINAS HIDRÁULICAS PELTON Y KAPLAN, CONTROLADO Y MONITOREADO A TRAVÉS DE UN ORDENADOR MEDIANTE EL PROGRAMA LABVIEW PARA EL LABORATORIO DE ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EN EL PERIODO 2015-2016**”, como también ideas, análisis, conclusiones, recomendaciones, ejecución del proyecto, uso bibliográfico, anexos y demás son de exclusiva responsabilidad de los autores dado la respectiva cita y validez por uso de información de los mismos.

---

Caizaguano Hidalgo Ismael Bladimir

C.I. 1804111431

**POSTULANTE**

---

Sangucho Sánchez Cristian Aníbal

C.I. 0503960684

**POSTULANTE**



## AVAL DE DIRECTOR DE TESIS

En calidad de Director de investigación sobre el tema:

**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE LAS TURBINAS HIDRÁULICAS PELTON Y KAPLAN, CONTROLADO Y MONITOREADO A TRAVÉS DE UN ORDENADOR MEDIANTE EL PROGRAMA LABVIEW PARA EL LABORATORIO DE ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EN EL PERIODO 2015-2016”**, de los señores estudiantes; CAIZAGUANO HIDALGO ISMAEL BLADIMIR y SANGUCHO SÁNCHEZ CRISTIAN ANÍBAL, postulantes de la Carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho informe investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aporte científicos-técnicos necesarios para ser sometidos a la **Evaluación de Tribunal de Validación de la Tesis** que el Honorable Consejo Académico de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, 19 de abril 2016

EL DIRECTOR

---

Mg. C. Ing. Álvaro Santiago Mullo Quevedo  
C.I. 0502768542  
**DIRECTOR DE TESIS**



## AVAL DEL ASESOR METODOLÓGICO

En calidad de **Asesor Metodológico** de Trabajo de Investigación sobre el Tema:  
**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE LAS TURBINAS HIDRÁULICAS PELTON Y KAPLAN, CONTROLADO Y MONITOREADO A TRAVÉS DE UN ORDENADOR MEDIANTE EL PROGRAMA LABVIEW PARA EL LABORATORIO DE ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EN EL PERIODO 2015-2016”**, de los señores estudiantes CAIZAGUANO HIDALGO ISMAEL BLADIMIR y SANGUCHO SÁNCHEZ CRISTIAN ANÍBAL, postulantes de la Carrera de Ingeniería Electromecánica.

### **CERTIFICO QUÉ:**

Una vez revisado el documento entregado a mi persona, considero que dicho informe investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aporte científicos-técnicos necesarios para ser sometidos a la **Evaluación de Tribunal de Validación de la Tesis** que el Honorable Consejo Académico de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, 19 de abril 2016

---

Dr. Galo Patricio Terán Ortiz  
C.I. 0500676101  
**ASESOR METODOLÓGICO DE TESIS**



## CERTIFICADO DE IMPLEMENTACIÓN

En calidad de coordinador de la carrera de Ingeniería en Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, certifico que mediante la Tesis, con el tema:

**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE LAS TURBINAS HIDRÁULICAS PELTON Y KAPLAN, CONTROLADO Y MONITOREADO A TRAVÉS DE UN ORDENADOR MEDIANTE EL PROGRAMA LABVIEW PARA EL LABORATORIO DE ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EN EL PERIODO 2015-2016.”**

Los señores Caizaguano Hidalgo Ismael Bladimir, con C.I. 1804111431 y Sangucho Sánchez Cristian Aníbal, con C.I. 0503960684 realizan la implementación de un banco de pruebas para análisis de eficiencia de las turbinas hidráulicas Pelton y Kaplan, para el laboratorio de la Carrera de Ingeniería en Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga, 19 de abril 2016

---

Mg. C. Ing. Edwin Homero Moreano Martínez  
C.I. 0502607500  
**COORDINADOR DE CARRERA  
INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco principalmente a Dios por brindarme salud y vida, permitiéndome llegar a estas instancias y poder extender un fraterno agradecimiento a:*

*Mi familia por formar parte primordial en mi vida ya que son mi apoyo y motivación para seguir delante en mi vida cotidiana.*

*A la Universidad Técnica de Cotopaxi, por darme la oportunidad de continuar con mis estudios, a los Docentes que con aprecio impartieron sus conocimientos y experiencias para alcanzar un mejor desarrollo intelectual.*

*A mis amigos y compañeros de aula por su incondicional apoyo, a Danny Quillupangui (+) por sus consejos y por compartir momentos inolvidables de una gran amistad.*

***Ismael Bladimir.***

## **AGRADECIMIENTO**

*Quiero agradecer primeramente a Dios por brindarme salud y vida y sobretodo fortaleza en el transcurso de mi vida.*

*Agradezco a mis padres por apoyarme y permitir cumplir con los objetivos que me he planteado durante toda mi carrera y vida cotidiana.*

*En esta oportunidad quiero también dirigir mi inmensa gratitud a la Universidad Técnica de Cotopaxi y docentes en general por la formación recibida en estos años y por encaminarme a prepararme de una manera profesional y ética.*

***Cristian Aníbal.***

## DEDICATORIA

*Dedico principalmente este trabajo investigativo a Dios por sus bendiciones a mi familia y a mi persona.*

*Dedico este trabajo también con mucho cariño a:*

*Mis abuelitos Carlos e Hilda por su amor y por cuidarme en mi infancia y por inculcarme disciplina y buenos valores, a mi madre Olga por darme la vida, a mis tías hermanas Zaira, Sandra, Lizet y tíos hermanos Roberto, Edgar, Wilman por sus consejos motivación y por apoyarme siempre y compartir una infancia dichosa llena de alegrías.*

*A mi padre Francisco y su esposa por apoyarme en el transcurso de mi preparación, por su perseverancia a que me prepare, a mis hermanos por formar parte de esta linda familia, a mis sobrinos y primos por llenar de alegría mi vida.*

***Ismael Bladimir.***

## DEDICATORIA

*El presente trabajo investigativo lo dedico en primer lugar a Dios quien con su sabiduría guía diariamente mi camino.*

*A mis padres Aníbal y Mercedes que con sus consejos y apoyo incondicional son la razón de mis éxitos.*

*A mis hermanos Johana, John, Steven y Verónica, a mis hijos Cristofer y Leonel y de igual forma a mi compañera de vida Jenny.*

*A todos ellos va dedicado este trabajo investigativo por enseñarme a nunca rendirme y seguir adelante en el desarrollo de mis metas con su principal interés de llegar a ser una persona de bien los quiero mucho.*

***Cristian Aníbal.***

## INDICE GENERAL

AUTORÍA.....	ii
AVAL DE DIRECTOR DE TESIS .....	iii
AVAL DEL ASESOR METODOLÓGICO .....	iv
CERTIFICADO DE IMPLEMENTACIÓN.....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
DEDICATORIA .....	viii
DEDICATORIA .....	ix
INDICE GENERAL .....	x
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT.....	xix
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	xx
INTRODUCCIÓN .....	xxi

### CAPITULO I

#### 1. MARCO TEÓRICO

1.1.ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	1
1.2.ENERGÍA HIDRÁULICA .....	2
1.3.MÁQUINA HIDRÁULICA.....	2
1.4.TURBOMÁQUINA.....	3
1.4.1.Clasificación de las turbomáquinas según la compresibilidad del fluido .....	3
1.4.2.Clasificación de las turbomáquinas según el sentido de intercambio de energía.	4
1.4.3.Clasificación de las turbomáquinas según la dirección del flujo .....	5
1.5.TURBINAS HIDRÁULICAS.....	6
1.5.1.Turbina Pelton.....	8

1.5.2.Turbina Francis .....	10
1.5.3.Turbina Kaplan.....	11
1.5.4.Turbina Michell-Banki.....	12
1.5.5.Partes de una turbina hidráulica .....	14
1.6.BOMBA CENTRÍFUGA .....	15
1.6.1.Partes de una bomba centrífuga .....	16
1.7.VARIADOR DE FRECUENCIA .....	17
1.8.ALTERNADOR DE IMANES PERMANENTES .....	18
1.8.1.Partes de un alternador de imanes permanentes .....	19
1.9.SOFTWARE LABVIEW .....	19
1.10.SENTRON PAC3100.....	20
1.11.CONVERTIDOR RS232/RS485 .....	21
1.12.TRANSFORMADORES .....	22
1.12.1.Transformador elevador de tensión.....	22
1.12.2.Transformador de corriente de medida TC .....	22
1.13.CONTACTOR .....	23
1.13.1.Partes de un contactor .....	23
1.14.ACSESORIOS DEL BANCO DE PRUEBAS .....	24
1.14.1.Tanque de almacenamiento .....	24
1.14.2.Tubería de presión.....	25
1.14.3.Válvulas de bola o esfera .....	25
1.14.4.Manómetro .....	25
1.14.5.Breaker .....	25
1.14.6.Selector eléctrico rotativo.....	26
1.15.DEFINICIONES DE CÁLCULOS METODOLÓGICOS .....	26
1.15.1.Frecuencias esperadas .....	26
1.15.2.Chi-Cuadrado (estadístico de prueba) .....	26
1.15.3.Niveles de significancia o margen de error .....	27
1.15.4.Grados de libertad .....	27

## CAPITULO II

### 2. METODOLOGÍA, PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

2.1.CARACTERÍSTICAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI ...	28
2.1.1.Antecedentes históricos .....	28
2.1.2.Misión.....	29
2.1.3.Visión... ..	29
2.2.ASPECTOS HISTÓRICOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA.....	29
2.2.1.Misión.....	30
2.2.2.Visión... ..	30
2.2.3.Objetivo de la Carrera de Ingeniería Electromecánica.....	30
2.3.DISEÑO METODOLÓGICO .....	31
2.3.1.Enfoque de la investigación .....	31
2.3.2.Tipos de investigación.....	31
2.3.3.Métodos de investigación.....	32
2.3.4.Técnicas de investigación.....	32
2.3.5.Instrumentos de investigación .....	33
2.4.POBLACIÓN Y MUESTRA .....	33
2.5.ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS .....	34
2.6.VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS .....	42
2.6.1.Planteo de hipótesis .....	43
2.6.2.Cálculo de la frecuencia esperada de sus alternativas .....	44
2.6.3.Cálculo del Chi-Cuadrado .....	45
2.6.4.Niveles de significancia o margen de error .....	45
2.6.5.Cálculos de grados de libertad .....	46

## CAPITULO III

### 3. DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1.TEMA.....	47
---------------	----

3.2.PRESENTACIÓN.....	47
3.3.JUSTIFICACIÓN.....	48
3.4.OBJETIVOS.....	49
3.4.1.Objetivo general.....	49
3.4.2.Objetivos específicos.....	49
3.5.ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD .....	49
3.5.1.Factibilidad técnica .....	49
3.5.2.Factibilidad económica .....	50
3.5.3.Factibilidad operacional.....	50
3.6.DESARROLLO DE LA PROPUESTA .....	50
3.6.1.Selección de los elementos del banco de pruebas .....	50
3.6.2.Construcción e implementación de los elementos del banco de pruebas .....	58
CONCLUSIONES .....	74
RECOMENDACIONES .....	75
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	76
BIBLIOGRAFÍA.....	80
- CITADAS.....	80
-CONSULTADAS .....	81
-BIBLIOGRAFÍA EN LINEA .....	81
ANEXOS .....	82

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1. 1</b> Turbina de vapor.....	3
<b>FIGURA 1. 2</b> Bomba centrífuga con y sin difusor radial .....	4
<b>FIGURA 1. 3</b> Turbomáquina motora (Turbina Pelton).....	4
<b>FIGURA 1. 4</b> Turbomáquina generadora (ventilador).....	5
<b>FIGURA 1. 5</b> Turbina de hélice .....	5
<b>FIGURA 1. 6</b> Turbomáquinas de flujo radial.....	6
<b>FIGURA 1. 7</b> Turbina Pelton .....	8
<b>FIGURA 1. 8</b> Heptágono regular .....	9
<b>FIGURA 1. 9</b> Turbina Francis.....	10
<b>FIGURA 1. 10</b> Turbina Kaplan.....	11
<b>FIGURA 1. 11</b> Diseño del distribuidor .....	12
<b>FIGURA 1. 12</b> Turbina Michell-Banki.....	12
<b>FIGURA 1. 13</b> Turbina Pelton y sus componentes de funcionamiento .....	14
<b>FIGURA 1. 14</b> Bomba centrífuga y sus partes.....	16
<b>FIGURA 1. 15</b> Alternador de imanes permanentes .....	19
<b>FIGURA 1. 16</b> Sentron PAC3100 .....	20
<b>FIGURA 1. 17</b> Transformador elevador de tensión.....	22
<b>FIGURA 1. 18</b> Transformador de corriente de medida.....	23
<b>FIGURA 1. 19</b> Simbología de un contactor .....	24
<b>FIGURA 3. 1</b> Tanque de almacenamiento .....	51
<b>FIGURA 3. 2</b> Bomba centrífuga .....	51
<b>FIGURA 3. 3</b> Variador de frecuencia .....	52
<b>FIGURA 3. 4</b> Caja de protecciones .....	53
<b>FIGURA 3. 5</b> Tuberías y accesorios .....	53
<b>FIGURA 3. 6</b> Manómetro .....	54
<b>FIGURA 3. 7</b> Chumaceras de piso P205.....	54
<b>FIGURA 3. 8</b> Alternadores de imanes permanentes .....	55
<b>FIGURA 3. 9</b> Lámina de acrílico .....	55
<b>FIGURA 3. 10</b> Cargas .....	56

<b>FIGURA 3. 11</b>	Sentron Pac3100 .....	56
<b>FIGURA 3. 12</b>	Contactador de 10A.....	57
<b>FIGURA 3. 13</b>	Transformador de corriente .....	57
<b>FIGURA 3. 14</b>	Convertidor RS232/RS485 .....	58
<b>FIGURA 3. 15</b>	Cable USB 232 .....	58
<b>FIGURA 3. 16</b>	Rodete de la turbina Pelton.....	59
<b>FIGURA 3. 17</b>	Eje de la turbina Pelton.....	59
<b>FIGURA 3. 18</b>	División del número de álabes en el rodete.....	60
<b>FIGURA 3. 19</b>	Álabe o cuchara de la turbina Pelton.....	61
<b>FIGURA 3. 20</b>	Soldeo del álabe en el rodete .....	61
<b>FIGURA 3. 21</b>	Carcaza de la turbina Pelton.....	62
<b>FIGURA 3. 22</b>	Turbina Kaplan.....	62
<b>FIGURA 3. 23</b>	Rodete del bastidor .....	63
<b>FIGURA 3. 24</b>	Bastidor de distribución de fluido .....	63
<b>FIGURA 3. 25</b>	Carcaza o voluta de la turbina Kaplan.....	64
<b>FIGURA 3. 26</b>	Cortes del armazón.....	64
<b>FIGURA 3. 27</b>	Cortes del armazón.....	65
<b>FIGURA 3. 28</b>	Estructura o armazón del banco de pruebas .....	65
<b>FIGURA 3. 29</b>	Implementación de la Bomba centrífuga, Tanque de almacenamiento y tanque de realimentación de la turbina Kaplan. ....	66
<b>FIGURA 3. 30</b>	Implementación de las carcasas de las turbinas Pelton y Kaplan.....	66
<b>FIGURA 3. 31</b>	Implementación de los alternadores de 24V/500W .....	67
<b>Figura 3. 32</b>	Implementación de las turbinas Pelton y Kaplan .....	67
<b>FIGURA 3. 33</b>	Implementación de tubería de presión, manómetro y llaves de paso .....	68
<b>FIGURA 3. 34</b>	Implementación de la plancha MDF .....	68
<b>FIGURA 3. 35</b>	Implementación de dispositivos electrónicos .....	69
<b>FIGURA 3. 36</b>	Instalador LabVIEW 2013 .....	69
<b>FIGURA 3. 37</b>	Instalador LabVIEW 2013 .....	70
<b>FIGURA 3. 38</b>	Ejecución del programa LabVIEW .....	71

<b>FIGURA 3. 39</b> Pantalla de programación LabVIEW .....	72
<b>FIGURA 3. 40</b> Cuerpo del programa .....	72
<b>FIGURA 3. 41</b> Subprogramas VI .....	73
<b>FIGURA 3. 42</b> Registros de memoria de medida .....	73

## **INDICE DE TABLAS**

<b>TABLA 1. 1</b> Clasificación de las turbinas hidráulicas .....	7
<b>TABLA 1. 2</b> Ventajas a grandes alturas de salto (1000m) .....	13
<b>TABLA 1. 3</b> Ventajas a alturas medias de salto (400m) .....	13
<b>TABLA 2. 1</b> Población involucrada .....	34
<b>TABLA 2. 2</b> Resumen de la pregunta N° 1 .....	35
<b>TABLA 2. 3</b> Resumen de la pregunta N° 2 .....	36
<b>TABLA 2. 4</b> Resumen de la pregunta N° 3 .....	37
<b>TABLA 2. 5</b> Resumen de la pregunta N° 4 .....	38
<b>TABLA 2. 6</b> Resumen de la pregunta N° 5 .....	39
<b>TABLA 2. 7</b> Resumen de la pregunta N° 6 .....	40
<b>TABLA 2. 8</b> Resumen de la pregunta n° 7 .....	41
<b>TABLA 2. 9</b> Tabla general de frecuencias y porcentajes .....	42
<b>TABLA 2. 10</b> Tabla general de frecuencias .....	44
<b>Tabla 2. 11</b> Resultados del cálculo del Chi-Cuadrado .....	45
<b>TABLA 3. 1</b> Características de la bomba a utilizarse en el banco de pruebas .....	51
<b>TABLA 3. 2</b> Características del variador de frecuencia .....	52

## **INDICE DE GRÁFICOS**

<b>GRÁFICO 2. 1</b> Representación gráfica del resumen de la pregunta N° 1 .....	35
<b>GRÁFICO 2. 2</b> Representación gráfica del resumen de la pregunta N° 2 .....	36
<b>GRÁFICO 2. 3</b> Representación gráfica del resumen de la pregunta N° 3 .....	37
<b>GRÁFICO 2. 4</b> Representación gráfica del resumen de la pregunta N° 4 .....	38
<b>GRÁFICO 2. 5</b> Representación gráfica del resumen de la pregunta N° 5 .....	39

<b>GRÁFICO 2. 6</b>	Representación gráfica del resumen de la pregunta N° 6.....	40
<b>GRÁFICO 2. 7</b>	Representación gráfica del resumen de la pregunta n° 7 .....	41



**TEMA: “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE LAS TURBINAS HIDRÁULICAS PELTON Y KAPLAN, CONTROLADO Y MONITOREADO A TRAVÉS DE UN ORDENADOR MEDIANTE EL PROGRAMA LABVIEW PARA EL LABORATORIO DE ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EN EL PERIODO 2015-1016.”**

### **AUTORES:**

- Caizaguano Hidalgo Ismael Bladimir
- Sangucho Sánchez Cristian Aníbal

## **RESUMEN**

El proyecto se refiere al diseño, construcción e implementación de un banco de pruebas para análisis de eficiencia de las turbinas hidráulicas Pelton y Kaplan, que a pequeña escala se puede conocer los principios de generación eléctrica aprovechando el recurso hídrico. Con la ayuda del banco de pruebas se logra manipular, analizar y visualizar las partes principales del mismo y el comportamiento de las variables de funcionamiento a través de una conexión entre el banco de pruebas y un ordenador. La eficiencia de cada turbina es analizada por las revoluciones obtenidas de la presión de caudal otorgado por la bomba de agua a cada una de las turbina, así como también por los valores de las variables medidas en el dispositivo electrónico Sentron PAC y observadas en el ordenador por medio del software LabVIEW plataforma que proporciona una interfaz gráfica de visualización de curvas operativas del proceso de generación eléctrica.

Descriptores: turbinas hidráulicas, generación de energía, eficiencia.



**TOPIC: “DESIGN, CONSTRUCTION AND IMPLEMENTATION OF A TEST BED FOR ANALYSIS OF EFFICIENCY OF TURBINES PELTON AND KAPLAN HYDRAULIC TURBINE CONTROLLED AND MONITORED BY A COMPUTER USING THE LABVIEW PROGRAM FOR ELECTROMECHANIC LABORATORY AT TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI IN THE ACADEMIC PERIOD 2015-1016”**

**AUTHORS:**

- Caizaguano Hidalgo Ismael Bladimir
- Sangucho Sánchez Cristian Aníbal

**ABSTRACT**

The research concerns the design, construction and implementation of a test bed for efficiency analysis of Pelton and Kaplan hydraulic turbines, which it can know to the small-scale the power generation taking advantage of water resources. With the help of the test bed it achieves manipulate, analyze and visualize the main parts and the performance of the operation variables through a connection between the test and computer. The efficiency of each turbine is analyzed by revolutions obtained volume of pressure given by the water pump to each turbines, also by the values of the measured variables in the electronic device Sentron PAC and observed on the computer through LabVIEW software platform that provides a graphical interface for viewing operational curves of the electricity generation process.

Keywords: hydraulic turbines, energy generation, efficiency.



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi

CENTRO CULTURAL DE IDIOMAS

## AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro Cultural de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal CERTIFICO que: La traducción del resumen de tesis al Idioma Inglés presentado por los Sres. Caizaguano Hidalgo Ismael Bladimir y Sangucho Sánchez Cristian Aníbal Egresados de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas en la carrera de Electromecánica: cuyo título versa “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE LAS TURBINAS HIDRÁULICAS PELTON Y KAPLAN, CONTROLADO Y MONITOREADO A TRAVÉS DE UN ORDENADOR MEDIANTE EL PROGRAMA LABVIEW PARA EL LABORATORIO DE ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EN EL PERIODO 2015-2016”, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

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

Latacunga, 19 de abril 2016.

Atentamente,

---

Lic. M. Sc. Sonia Jimena Castro Bungacho  
C.C. 0501974729  
**DOCENTE CARRERA DE INGLÉS**

## INTRODUCCIÓN

A nivel mundial la evolución de la tecnología y el desarrollo de la humanidad datan de la época de los griegos que al inicio del siglo XIX instalaron la primera turbina hidráulica para bombear agua. La energía hidráulica tuvo mucha importancia durante la revolución industrial convirtiéndose en un recurso indispensable en la vida cotidiana del ser vivo mejorando los procesos de producción. En la actualidad existen una variedad de procesos para generar energía eléctrica priorizando el aprovechamiento de recursos naturales en las cuales se destacan, el agua (energía hidroeléctrica), sol (energía solar), viento (energía eólica), las cuales son energías renovables y limpias ya que no producen contaminación ambiental.

La generación de energía eléctrica a través de un recurso hídrico ha sido la de mayor acogida y debido a esa gran aceptación es primordial adquirir los conocimientos teóricos y prácticos del comportamiento de los principales elementos que interactúan en dichos procesos de generación. Por ello el diseño, construcción e implementación de un banco de pruebas para análisis de eficiencia de las turbinas hidráulicas Pelton y Kaplan repotenciará tecnológicamente los laboratorios de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

El sistema de funcionamiento del banco de pruebas es un circuito cerrado, que opera con una bomba centrífuga la cual toma el agua a través del tubo de aspiración del tanque de almacenamiento y dependiendo de las revoluciones y potencia del motor de la bomba, aumenta la presión del fluido en las tuberías las cuales están acopladas a inyectores que direccionan el chorro para impactar en las cucharas o hélices de las turbinas haciéndolas girar conjuntamente con el eje del generador obteniendo un voltaje que va a ser aprovechado por la carga.

Las turbinas Pelton y Kaplan disponen de carcazas para evitar la salpicadura de agua que por efectos de gravedad regresa al tanque de almacenamiento logrando un proceso cíclico y repetitivo. Para la visualización del comportamiento de las variables

de funcionamiento que se genera se utiliza la plataforma grafica del software LabVIEW.

La investigación está distribuida en tres etapas que sustentan los siguientes conocimientos.

**CAPÍTULO I**, contiene fundamentos teóricos de generación eléctrica así como también detalla los elementos principales que conforman el banco de pruebas con el fin de orientar a una correcta selección y diseño de dichos componentes.

**CAPÍTULO II**, contiene metodologías, técnicas e instrumentos de investigación primordiales para el análisis e interpretación de resultados de las encuestas realizadas a la población involucrada, con el fin de establecer la factibilidad del banco de pruebas gracias a la verificación de la hipótesis.

**CAPITULO III**, contiene detalles del diseño, construcción e implementación del banco de pruebas, así como características de los componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos, además contiene una guía de prácticas para su correcta aplicación.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se estudia conceptos básicos sobre la construcción de bancos de pruebas para las turbinas hidráulicas utilizando como principal recurso energía hidráulica renovable para la producción de energía eléctrica, de la misma manera se conceptualiza el funcionamiento de los componentes de dicho sistema obteniendo así una fundamentación teórica elemental necesaria para el análisis a realizarse, el cual será de gran aporte para la tecnificación del laboratorio de la institución así como también servirá de ayuda para el desarrollo intelectual de docentes y estudiantes.

### 1.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Según, (BETANCOURT J. Marcelo, 2007), manifiesta que:

Al energizar el circuito de una instalación eléctrica, se debe tener precauciones de mantener la válvula de compuerta cerrada, para evitar el salto de amperaje en el motor de la bomba, con la válvula cerrada la bomba arranca limitada. **Pág. 76**

Según, (UCHUARY J. Angel D, 2013), manifiesta que:

Los bancos de pruebas para ensayos de bombas, permiten reproducir en un ambiente controlado las condiciones reales en las que operan las máquinas hidráulicas, tuberías y demás accesorios. **Pág. 72**

Según, (PORRAS O. Edwin R, 2011), concluye que:

Un banco de pruebas es una plataforma para experimentación de proyectos de gran desarrollo. Los bancos de pruebas brindan una forma de comprobación rigurosa, transparente y repetible de teorías científicas, elementos computacionales y otras nuevas tecnologías. **Pág. 21**

## **1.2. ENERGÍA HIDRÁULICA**

Según, (MANTILLA M. Julián A, 2012), manifiesta que:

La energía hidráulica se refiere al aprovechamiento de la energía potencial que se tiene en el agua (por diferencia de altura) buscando una caída de agua desde cierta altura a un nivel inferior, la que luego se transforma en energía mecánica (rotación de un eje), con el uso de una rueda hidráulica o turbina. Esta energía se puede utilizar directamente para mover unas pequeñas maquinarias. La cantidad de potencia y energía disponible en el agua de un río o una quebrada, está en relación directa a la altura o caída disponible, así como de la cantidad de agua que se trasiega (caudal).

**Pág. 18**

## **1.3. MÁQUINA HIDRÁULICA**

Una máquina hidráulica es un dispositivo capaz de convertir energía hidráulica en energía mecánica; pueden ser motrices (Turbinas), o generatrices (Bombas), modificando la energía total de la vena fluida que las atraviesa.

En una máquina hidráulica, el agua intercambia energía con un dispositivo mecánico de revolución que gira alrededor de su eje de simetría; éste mecanismo lleva un o varias ruedas (rodetes o rotores), provistas de álabes, de forma que entre ellos existen unos espacios libres o canales por los que circula el agua. **Pág. 18**

## 1.4. TURBOMÁQUINA

Según, (GONZÁLEZ P. José, 2006), define que:

Las turbomáquinas son equipos diseñados para conseguir un intercambio energético entre un fluido (que pasa a través de una forma continua) y un eje de rotación por medio del efecto dinámico de una o varias coronas de álabes (fijos y/o móviles). Los nombres que reciben las coronas fijas y/o móviles son respectivamente, rotor (rodete, impulsor o hélice, según el tipo de la máquina) y estator (voluta o carcasa, según el caso).

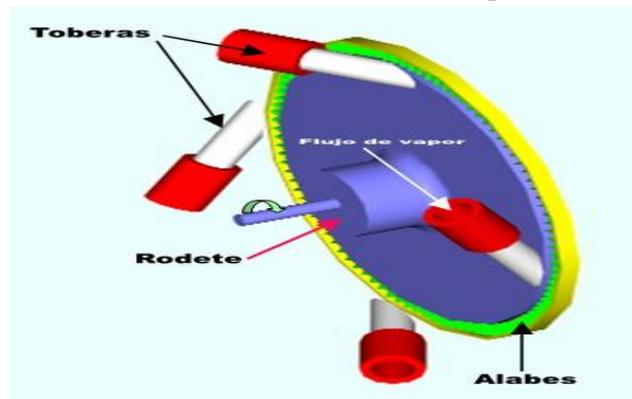
Según la página web, ([http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F\\_DE\\_T-164.htm](http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F_DE_T-164.htm)), las turbomáquinas se clasifican mediante los siguientes criterios:

### 1.4.1. Clasificación de las turbomáquinas según la compresibilidad del fluido

- **Turbomáquinas térmicas**

Cuando el fluido experimenta una variación de la densidad en su paso a través de la máquina, es decir el fluido se considera compresible. Como por ejemplo turbinas de vapor, turbinas de gas (Figura 1.1).

FIGURA 1.1 Turbina de vapor

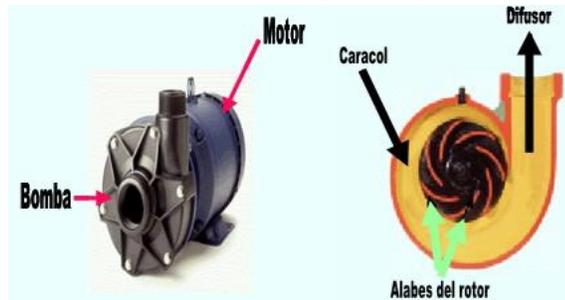


FUENTE: ([http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F\\_DE\\_T-164.htm](http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F_DE_T-164.htm), Fig. 4.2)

- **Turbomáquinas hidráulicas**

Su diseño se hace sin tener en cuenta la variación de la densidad o del volumen específico a través de la máquina. En estas turbomáquinas el fluido de trabajo no necesariamente es agua, como ejemplo se tiene una bomba, una turbina hidráulica, un ventilador (Figura 1.2).

**FIGURA 1. 2** Bomba centrífuga con y sin difusor radial



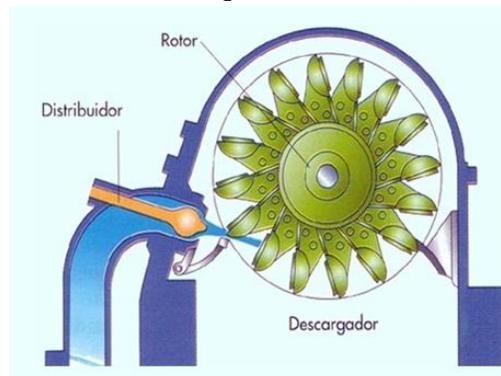
FUENTE: ([http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F\\_DE\\_T-164.htm](http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F_DE_T-164.htm), Fig. 4.3)

#### 1.4.2. *Clasificación de las turbomáquinas según el sentido de intercambio de energía*

- **Turbomáquinas motoras**

En ellas el fluido cede energía a la máquina disminuyendo la energía del fluido en su paso por la máquina. Producen potencia expandiendo el fluido hasta una presión más baja. Como ejemplos se tiene una turbina de vapor, de gas, hidráulicas (Figura 1.3).

**FIGURA 1. 3** Turbomáquina motora (Turbina Pelton)



FUENTE: ([http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/f\\_de\\_t-164.htm](http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/f_de_t-164.htm), fig. 4.6).

- **Turbomáquinas generadoras**

En ellas la máquina comunica energía al fluido. La energía aumenta en su paso por la máquina. Absorben potencia para incrementar la presión del fluido. Como ejemplo de estas turbomáquinas se tiene, bombas, Compresores, ventiladores (Figura 1.4).

**FIGURA 1.4** Turbomáquina generadora (ventilador)



FUENTE: ([http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/f\\_de\\_t-164.htm](http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/f_de_t-164.htm), fig. 4.7-4.8).

### **1.4.3. Clasificación de las turbomáquinas según la dirección del flujo**

- **Turbomáquinas de flujo axial**

Cuando la trayectoria del flujo atraviesa la máquina es paralela al eje de rotación. Como ejemplo de estas turbomáquinas se tiene, compresos axial, motor de propulsión, turbina de hélice (Figura 1.5).

**FIGURA 1.5** Turbina de hélice

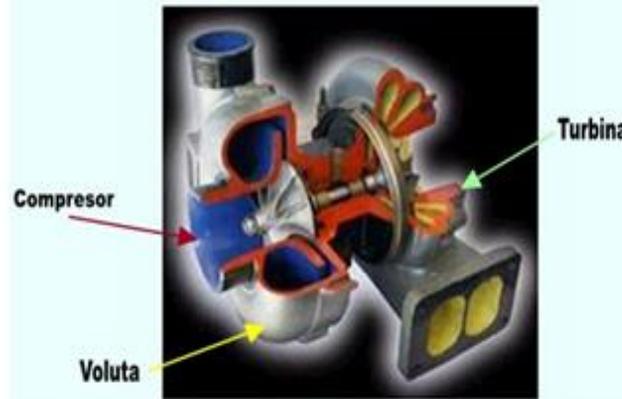


FUENTE: ([http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/f\\_de\\_t-164.htm](http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/f_de_t-164.htm), fig. 4.10).

- **Turbomáquina de flujo radial**

Cuando la trayectoria del flujo está en un plano perpendicular al eje de rotación, Como ejemplo de estas turbomáquinas se tiene, la bomba centrífuga, el soplador centrífugo, compresor centrífugo (Figura 1.6).

**FIGURA 1.6** Turbomáquinas de flujo radial



FUENTE: ([http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/f\\_de\\_t-164.htm](http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/f_de_t-164.htm), fig. 4.11).

## 1.5. TURBINAS HIDRÁULICAS

Según, (BETANCOURT J. Marcelo, 2007) manifiesta que:

La turbina hidráulica es el componente principal de una central hidroeléctrica, donde se transforma la energía contenida en el agua, en energía mecánica. Comparada con una rueda de agua, una turbina hidráulica logra mayores velocidades rotacionales y eficiencias de conversión que la hace más apropiada para la generación de electricidad.

Las turbinas están compuestas por elementos fijos y de regulación que dirigen el agua hacia una rueda móvil cuya potencia mecánica se transmite a un eje motor, el rendimiento de las turbinas por lo general varían por su número de revoluciones.

Las turbinas hidráulicas se clasifican en turbinas de acción y turbinas de reacción, como se muestra en la (Tabla 1.1).

**TABLA 1. 1** Clasificación de las turbinas hidráulicas

<b>CLASIFICACIÓN DE TURBINAS HIDRÁULICAS</b>	
TURBINAS DE ACCIÓN	Pelton - Michel-Banki.
TURBINAS DE REACCIÓN	Francis - Kaplan

**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian.

- **Turbina de acción**

Las turbinas de acción utilizan únicamente la velocidad del flujo de agua para girar. El agua entra sin presión (presión atmosférica) y cambia solamente la dirección más no de aceleración. En ella la presión estática permanece constante entre la entrada y salida del rodete.

La turbina de acción es más económica que la turbina de reacción, es de simple fabricación y mantenimiento, así mismo es menos susceptible a daños por la arena u otros materiales en el agua. Sin embargo, tiene menor eficiencia, gira a velocidades menores y no es muy apropiada para sitios con caídas de caudal bajo.

- **Turbina de reacción**

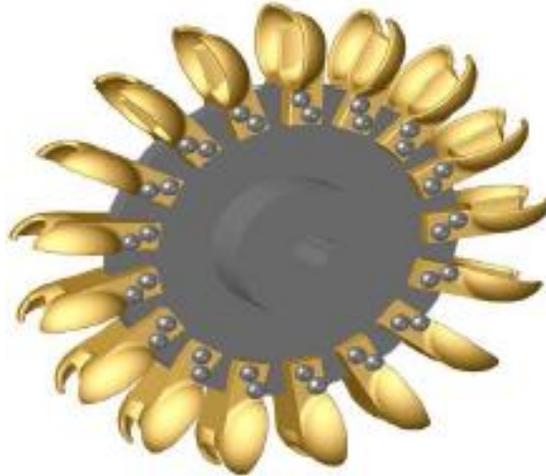
Las turbinas de reacción emplean tanto la presión como la velocidad del agua. El agua entra a presión en los conductos móviles del rodete, el agua cambia de dirección y aceleración, en ella la presión estática disminuye entre la entrada y salida del rodete. La fabricación de la turbina de reacción es más sofisticada que las turbinas de acción porque tienen aspas más grandes y perfiladas. El costo adicional de producción se compensa con una mayor eficiencia y un simple mantenimiento.

Los tipos de turbinas hidráulicas de acción y reacción utilizadas más comúnmente en generación de energía eléctrica con recursos renovables son las que se detallan a continuación:

### 1.5.1. Turbina Pelton

La turbina Pelton (Figura 1.7), es una turbina de acción. Consta de un disco circular que tiene montados en su periferia unas paletas en forma de doble cuchara y de un inyector que dirige y regula el chorro de agua que incide sobre las cucharas, y que provoca así el movimiento de giro de la turbinas. Se usa cuando la caída de agua es grande (alrededor de 80m) y el caudal relativamente pequeño. La eficiencia está entre el 84 y 92%.

**FIGURA 1. 7** Turbina Pelton



**FUENTE:** (BETANCOURT, Marcelo, Diseño de un módulo interactivo de generación hidráulica de energía eléctrica, PEREIRA, 2007, Pág.20)

- **Diseño de la turbina Pelton**

En el diseño de la turbina Pelton demostrativa se tomará como referencia el heptágono regular inscrito en una circunferencia, el mismo que es un polígono regular cuyos lados y ángulos son iguales.

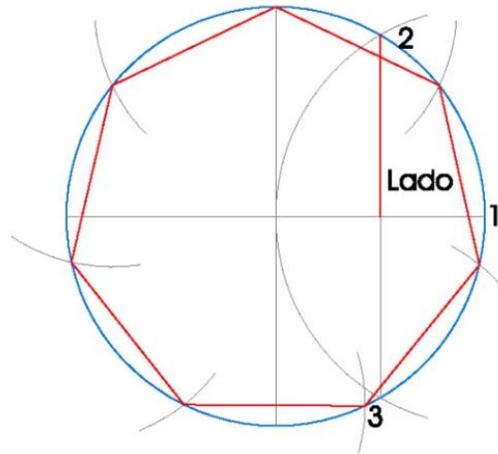
La construcción del rodete tiene referencia con el impeler de la bomba centrífuga con el propósito de lograr que la turbina sea lo más eficiente.

Con la dimensión seleccionada del diámetro del rodete se traza el heptágono inscrito en una circunferencia siguiendo el procedimiento geométrico propuesto.

Según la página web,

(<https://educacionplasticayvisualeso.wordpress.com/2013/02/13/poligonos-inscritos-circunferencias/>), el heptágono regular se construye de la siguiente manera (Figura 1.8).

**FIGURA 1.8** Heptágono regular



**FUENTE:** (<https://educacionplasticayvisualeso.wordpress.com/2013/02/13/poligonos-inscritos-circunferencias/>)

- Se dibuja la circunferencia con el diámetro requerido.
- Se dibuja sus dos diámetros perpendiculares horizontal y vertical.
- Hacer centro en el punto 1 con el radio de la circunferencia obteniendo los puntos 2 y 3.
- Uniendo los puntos 2 y 3 se obtiene el lado de heptágono regular inscrito.
- Con el lado obtenido se traza los vértices en la circunferencia.
- Finalmente se une los puntos de los vértices y se tiene el heptágono inscrito en la circunferencia.

Los vértices encontrados son el número y ubicación de los álabes o cucharas, donde se puede determinar el valor total de los ángulos internos en el rodete de la turbina Pelton utilizando la ecuación 1.1.

$$\sum \alpha_i = (n - 2) * 180^\circ \quad (\text{Ec. 1.1})$$

Dónde:

$\alpha_i$  = Ángulos interiores

$n$  = Número de lados

$180^\circ$  = ángulo entre dos cuadrantes de la circunferencia

El ángulo interno en cada vértice donde se encuentra la cuchara de la turbina se determina utilizando la ecuación 1.2.

$$\alpha_i = \frac{\sum \alpha_i}{n} \quad (\text{Ec. 1.2})$$

### 1.5.2. *Turbina Francis*

La turbina Francis (Figura 1.9), es una turbina de reacción, es la más utilizada en centrales grandes. Se caracteriza por que recibe el flujo de agua en dirección radial, orientándolo hacia la salida en dirección axial. Es más conveniente usar esta turbina cuando los saltos de agua están entre 15 y 150m. Estas tienen una eficiencia de conversión entre el 90 y 94%.

**FIGURA 1.9** Turbina Francis

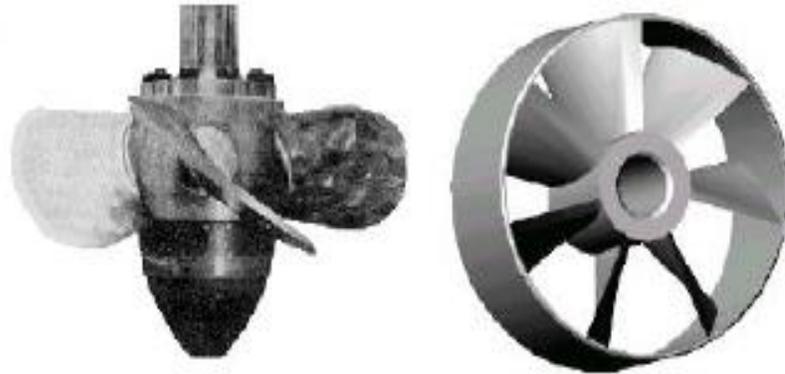


**FUENTE:** (UCHUARY, Ángel, Rehabilitación de un banco de pruebas para estudio de bombas centrifugas, LOJA, 2013, Pág.13)

### 1.5.3. Turbina Kaplan

La turbina Kaplan (Figura 1.10), Es una turbina de reacción, es de tipo hélice. Se compone básicamente de una cámara de entrada que puede ser abierta o cerrada, un distribuidor fijo, un rodete con cuatro o cinco palas fijas en forma de hélice de barco. Se puede usar esta turbina para caudales grandes y saltos de agua menores a 50m. Las turbinas Kaplan se consideran con eficiencia del 93-95%.

**FIGURA 1. 10** Turbina Kaplan



**FUENTE:**(TENORIO, Nestor, Diseño e implementación de un Prototipo de una Picocentral Hidráulica para uso Rural, LATACUNGA, 2005, Pág.16)

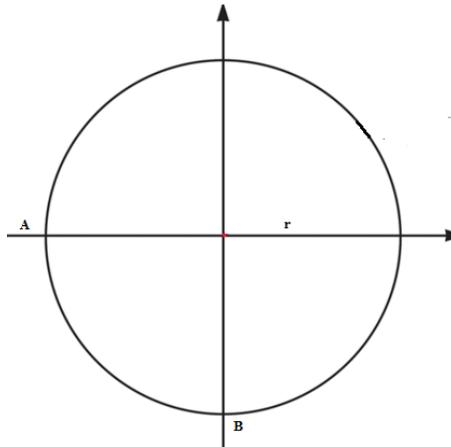
- **Diseño de la turbina Kaplan**

La turbina Kaplan está diseñada con un ventilador axial de flujo de cuatro hélices o palas donde el movimiento del flujo es a través del rotor. La característica de los ventiladores de flujo axial es que se utilizan para mover grandes cantidades de flujo. La construcción del álabe o hélice en el ventilador tiene forma de perfil de ala y de paso variable.

La turbina Kaplan tiene un distribuidor de fluido, tomándose en cuenta el número de y ángulos de las palas o hélices. Para realizar un distribuidor eficiente en el ventilador axial a utilizarse como turbina Kaplan se tiene el siguiente proceso:

El ventilador axial tiene 4 palas o hélices por ende el distribuidor contara con la misma cantidad de divisiones en el mixed (Figura 1.11).

**FIGURA 1. 11** Diseño del distribuidor

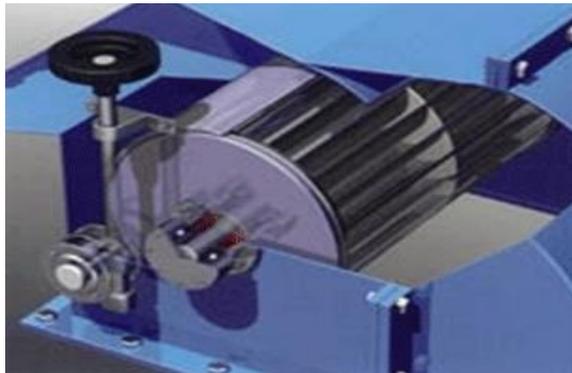


FUENTE:( <http://www.prepa5.unam.mx/wwwP5/profesor/publicacionMate/12VIII.pdf>)

#### **1.5.4. Turbina Michell-Banki**

La turbina Michell-Banki (Figura 1.12), es una turbina de accion, consta de un inyector de seccion rectangular, de un álabe longitudinal y un rodete de forma cilíndrica. Se usa para caídas bajas y medianas (10-80m). la eficiencia se considera que alcanza del 70 al 80%,.

**FIGURA 1. 12** Turbina Michell-Banki



FUENTE:(VÁSQUEZ, José, Micro-hidroeléctrica tipo Michell-Banki funcionamiento mantenimiento y componentes, GUATEMAL, 2007, Pág.23)

Las ventajas que tienen las turbinas hidráulicas a ciertas diferencias de altura entre cada una de ellas se puede observar en las siguientes (Tablas 1.2 y 1.3).

**TABLA 1. 2** Ventajas a grandes alturas de salto (1000m)

<b>PELTON</b>	<b>FRANCIS</b>
Mas robustas	Menor peso
Menos peligro de erosión de los álabes	Mayor rendimiento máximo
Reparación mas sencilla	Aprovechar mayor desnivel, debido al tubo de aspiración
Regulación de presión y velocidad mas fácil	Alternador más económico
Infraestructura mas sencilla	Dimensiones en planta de la central más reducidas

**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian.

**TABLA 1. 3** Ventajas a alturas medias de salto (400m)

<b>FRANCIS</b>	<b>KAPLAN</b>	<b>CON HÉLICES DE PALAS FIJAS</b>
Mayor economía en la turbina	Mejores rendimientos a cargas parciales	Buen rendimiento máximo
Menor coste de excavacion y cimientos	Mejores rendimientos con alturas de saltos variables	Más baratas que las Kaplan
Mejores rendimientos a cargas parciales que las hélices de palas fijas	Menos obra de fábrica que las hélices de palas fijas	Gran admisión con saltos pequeños
Menor peligro de cavitación	Alternador mas barato	Alternador mas barato

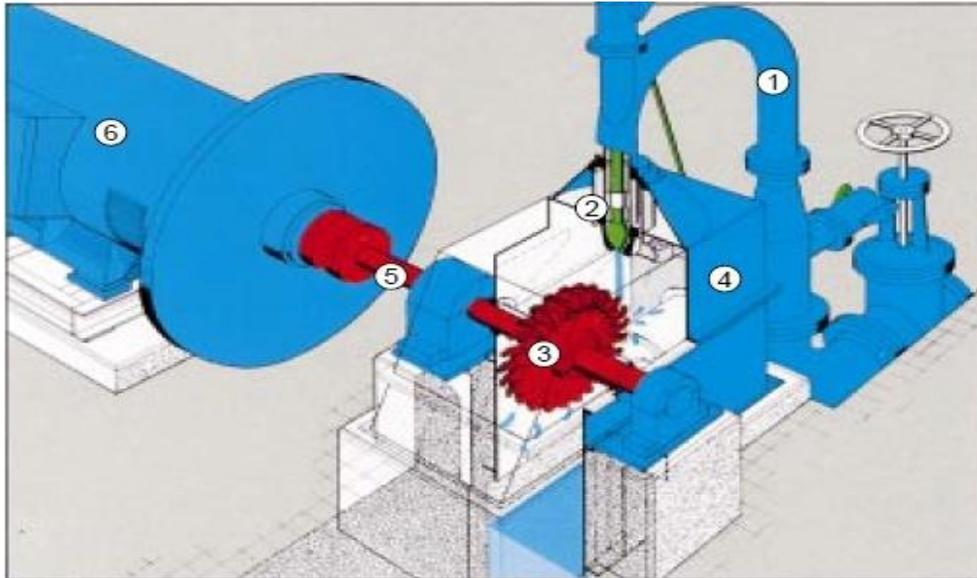
**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian.

Las propiedades mencionadas anteriormente no deberán considerarse como absolutas, sino más bien como las más probables con alturas de salto.

### 1.5.5. Partes de una turbina hidráulica

Los elementos esenciales que conforman una turbina hidráulica son:

**FIGURA 1.13** Turbina Pelton y sus componentes de funcionamiento



FUENTE:(EVE mini hidráulica en el país Vasco, Bilbao, Noviembre 1995, Pág.24)

- 1- Tubería de distribución
- 2- Inyector
- 3- Rodete o rotor
- 4- Carcasa
- 5- Eje de la turbina
- 6- Generador

- **Tubería de distribución**

Encargada de transmitir el caudal desde la bomba hacia el rodete de la turbina, a través de tuberías de presión.

- **Inyector**

Es el encargado de distribuir, dirigir y regular el caudal proveniente de la tubería de distribución hacia el rodete de la turbina.

- **Rodete o rotor**

Es una pieza maciza circular fabricada fundamentalmente en fundición de acero y sirve de soporte de los álabes.

- **Carcasa**

Puede ser fija o móvil y está encargada de proteger los elementos móviles de la turbina como también prevenir fugas de caudal.

- **Eje de la turbina**

En él se encuentra ensamblado el rodete conjuntamente con los álabes es el encargado de transmitir la energía mecánica hacia el generador.

- **Generador**

Está constituido de dos partes el rotor y el estator y es el encargado de aprovechar la energía mecánica a través del eje de la turbina y transformarla en energía eléctrica.

## **1.6. BOMBA CENTRÍFUGA**

Según, (FERNANDEZ D. Pedro, 2005) define que:

La bomba centrífuga es una máquina que emplea la fuerza centrífuga para desarrollar un aumento de presión en el movimiento de líquidos a una altura y tiempos determinados. Una bomba centrífuga transforma la energía mecánica de un impulsor rotativo en energía cinética y potencial requerida. La acción del bombeo es la adición de energías cinética y potencial de un líquido con el fin de moverlo de un punto a otro. Esta energía hará que el líquido efectúe un trabajo, tal como circular por una tubería o subir a una mayor altura. En una bomba que funcione a cierta velocidad y maneje un volumen definido de líquido, la energía que se aplica transfiere al líquido, esta energía es la misma para cualquier líquido sin que importe su densidad. Por lo

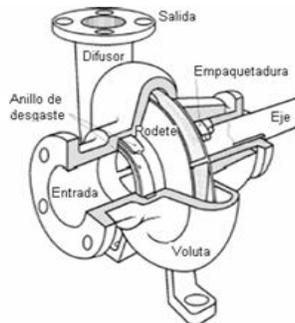
tanto, la carga o energía de la bomba se debe expresar en metros (m), para un sistema de bombeo se debe recordar que:

- La carga se puede medir en diversas unidades como metros de líquido, presión en Pa, milímetros de mercurio, entre otras unidades.
- Las lecturas de presión y de carga pueden ser manométricas o absolutas (la diferencia entre presión manométrica y absoluta varía de acuerdo con la presión atmosférica según sea la altitud).
- Nunca se debe permitir que la presión en cualquier sistema que maneje líquidos caiga por debajo de la presión de vapor del líquido.

### 1.6.1. Partes de una bomba centrífuga

Las partes de una bomba son las que se especifican a continuación y se muestran en la (Figura 1.14).

**FIGURA 1.14** Bomba centrífuga y sus partes



FUENTE:(BETANCOURT, Marcelo, Diseño de un módulo interactivo de generación hidráulica de energía eléctrica, PEREIRA, 2007, Pág.24)

- **Tubería de aspiración**

Constituye prácticamente la brida de aspiración que contiene la bomba centrífuga.

- **Impulsor o rodete**

Es el corazón de la bomba, debido a que es quien recibe el líquido y le imparte una velocidad de la cual depende la carga producida por la bomba.

El rodete va unido solidariamente al eje y es la parte móvil de la bomba. La elevación del líquido se produce por la reacción del eje y el rodete sometido al movimiento convirtiendo la energía dinámica en energía de presión.

- **Voluta**

La voluta o carcasa es la encargada de convertir la energía de velocidad impartida al líquido por el impulsor en energía de presión. Además protege de las partes móviles y guía el líquido hacia la descarga de fluido.

- **Eje**

El eje de una bomba centrífuga es el soporte de todos los elementos que giran en ella, transmitiendo además el movimiento que le imparte el eje del motor.

En el caso de una bomba centrífuga horizontal, el eje es una sola pieza a lo largo de la bomba; pero en las bombas de pozo profundo existe un eje de impulsores y después una serie de ejes de transmisión unidos por un acople que completan la longitud necesaria desde la última carcasa hasta el cabezal de descarga.

El rendimiento hidráulico de una bomba centrífuga incluye tres factores básicos que son:

- La capacidad (expresada en unidad de volumen por unidad de tiempo, como gpm).
- La carga total (expresada en unidades de longitud del líquido que bombea).
- Velocidad a la cual funciona la bomba (expresada en rpm).

## **1.7. VARIADOR DE FRECUENCIA**

Según, (SEVILLANO C. Fernando , 2010), define que:

Los variadores de frecuencia son dispositivos electrónicos, que permiten el control

completo de motores eléctricos de inducción; los hay de C.C. (variación de la tensión), y de C.A. (variación de la frecuencia); los más utilizados son los de motor trifásico de inducción y rotor sin bobinar (jaula de ardilla). También se les suele denominar inversores (inverter) o variadores de velocidad.

Regula la frecuencia del voltaje aplicado al motor, logrando modificar su velocidad. Sin embargo, simultáneamente con el cambio de frecuencia, debe variarse el voltaje aplicado al motor para evitar la saturación del flujo magnético con la elevación de la corriente que dañaría el motor.

La ventaja principal de los variadores es que disminuye los consumos de energía eléctrica en los procesos que controla dándonos así disminución de costos de operación. El variador de frecuencia permite energizar, proteger y variar la velocidad de un motor.

Los variadores electrónicos se basan en una conmutación de dispositivos electrónicos para generar corriente de frecuencia y amplitud variable. Las veces que este se encienda y apague se llama frecuencia expresada en Hertz (Hz). Los variadores antiguos una frecuencia de 50-60 Hz, los actuales llegan hasta 750 Hz son denominados de alta frecuencia.

Las ventajas del variador de frecuencia son dos:

- Ahorra el consumo de energía limitando la corriente que llega al motor evitando sobrecalentamientos en el mismo.
- Prolonga la vida útil del motor gracias a las limitaciones de corriente.

## **1.8. ALTERNADOR DE IMANES PERMANENTES**

Según, (MANTILLA M. Julián A, 2012), manifiesta que:

Un alternador de imanes permanentes (Figura 1.15), es un generador que ha sido diseñado específicamente para aplicaciones de micro hidroeléctricas que están

diseñadas a bajas potencias y bajas revoluciones. Este generador opera sin escobillas y sus bobinados están encapsulados en una resina poliepóxido. El generador tiene como misión transformar en energía eléctrica la energía mecánica suministrada por una turbina.

**FIGURA 1. 15** Alternador de imanes permanentes



**FUENTE:** (<http://www.evolvegreen.ca>)

### ***1.8.1. Partes de un alternador de imanes permanentes***

Un alternador de imanes permanentes cuenta con un eje esencial para el giro del rotor, cojinetes de bolas para dar un rendimiento fiable y proporcionar facilidad en la adquisición de piezas de repuesto. Cuenta con una caja de conexiones que contiene un rectificador, terminales de cableado para conectar la carga y una derivación para hacer mediciones con un multímetro.

## **1.9. SOFTWARE LABVIEW**

Según la página web, (<http://www.esi2.us.es/~asun/LCPC06/TutorialLabview.pdf>) el Software LabVIEW:

Constituye un revolucionario sistema de programación gráfica para aplicaciones que involucra adquisición, control, análisis y presentación de datos.

Las ventajas que nos presenta este software son:

- Reduce el tiempo de desarrollo de las aplicaciones al menos de 4 a 10 veces.
- Dota de gran flexibilidad al sistema, permitiendo cambios y actualizaciones tanto del hardware como del software.
- Da la posibilidad a los usuarios de crear soluciones completas y complejas.
- Con un único sistema de desarrollo se integran las funciones de adquisición, análisis y presentación de datos.
- El sistema está dotado de un compilador gráfico para lograr la máxima velocidad de ejecución posible.

### 1.10. SENTRON PAC3100

Según la página web, (<http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/sistemas/medidor-multifuncion-pac3100.htm>):

El medidor multifuncional Siemens Sentron PAC3100 (Figura 1.16), es un instrumento compacto para la medición y visualización de diferentes parámetros de red con toma de corriente que puede conectarse en redes monofásicas o trifásicas. Este medidor multifuncional detecta los valores energéticos de consumidores individuales o derivaciones eléctricas. Además de tensión y corriente, permite medir la potencia activa, reactiva y aparente e indicar estos valores en la pantalla del dispositivo. Este medidor lleva integrado una interfaz RS485 que le permite una integración plena en las infraestructuras existentes.

**FIGURA 1. 16** Sentron PAC3100



**FUENTE:** (<http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/sistemas/medidor-multifuncion-pac3100.htm>)

Las características de este instrumento de medida son las siguientes:

- Se puede conectar directamente a una red de baja tensión.
- Para mediciones de corriente se puede utilizar transformadores de corriente.
- Tiene una gran pantalla grafica de cristal líquido para su lectura.
- Puede medir tensiones superiores si se usan transformadores de tensión.
- Para fines de comunicación se puede utilizar una interfaz integrada.
- Ofrece un manejo intuitivo para el usuario gracias a sus teclas de función.
- Tiene un sistema de protección para accesos no autorizados.

### **1.11. CONVERTIDOR RS232/RS485**

Según la página web.

([https://www.jmi.com.mx/productos\\_instrumentacion/C16485P\\_manual.pdf](https://www.jmi.com.mx/productos_instrumentacion/C16485P_manual.pdf)),

este dispositivo:

Este convertidor de señales no requiere de alimentación externa, toma las líneas del puerto RS232.

El control automático de envío de datos habilita el control RS-485 cuando hay datos del lado del puerto RS-232. El control de las señales es automático con velocidad de transmisión de datos 115.2 kbps (Kilobytes por segundo).

Sus características son:

- Pequeño y fácil de instalar con tecnología plug & play.
- No requiere alimentación externa toma la alimentación de las líneas del puerto RS-232.
- Punto a multipunto.
- Control automático de envío de datos.
- No requiere instalación de drivers.

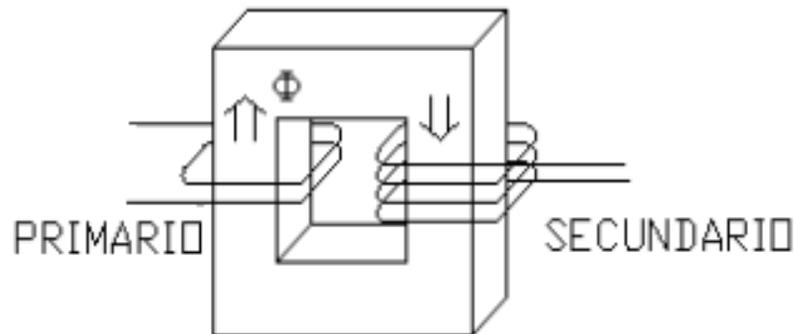
## 1.12. TRANSFORMADORES

### 1.12.1. Transformador elevador de tensión

Según, (MONTAÑO. Henry , 2011).

Los transformadores elevadores de tensión (Figura 1.17), es una máquina eléctrica estática capaz de convertir una corriente alterna en otra corriente de diferente tensión e intensidad. Un transformador está compuesto por un núcleo de hierro con dos arrollamientos o devanados separados y aislados entre sí, denominado primario y secundario. La conexión en el devanado primario establece un flujo magnético alterno dentro del núcleo, el cual atraviesa al secundario induciendo una fuerza electromotriz.

**FIGURA 1. 17** Transformador elevador de tensión



FUENTE: (<https://montanux.wikispaces.com/file/view/trafos+de+corriente.pdf>)

### 1.12.2. Transformador de corriente de medida TC

Los transformadores de corriente de medida TC (Figura 1.18), son dispositivos que alimentan una corriente proporcionalmente menor a la de un circuito. Estos dispositivos tienen como funciones, transformar la corriente y aislar los instrumentos de protección y medición conectados a un circuito. La corriente nominal por secundario está entre 1 o 5 amperios.

**FIGURA 1. 18** Transformador de corriente de medida



**FUENTE:** (<https://montanux.wikispaces.com/file/view/trafos+de+corriente.pdf>)

### **1.13. CONTACTOR**

Según la página web.

(<http://www.voltiosiesae.es/wp-content/uploads/2015/01/Introducci%C3%B3n-a-Automatismo.pdf>)

El Contactor (Figura 1.17), es un mecanismo cuya misión es de cerrar contactos, para permitir el paso de la corriente a través de ellos. Esto ocurre cuando la bobina del contactor recibe corriente eléctrica, comportándose como electroimán y atrayendo dichos contactos.

#### ***1.13.1. Partes de un contactor***

Las partes de un contactor (Figura 1.19), son:

- **Contactor principales 1-2, 3-4, 5-6**

Tienen por finalidad abrir o cerrar el circuito de fuerza o potencia.

- **Contactos auxiliares 13-14**

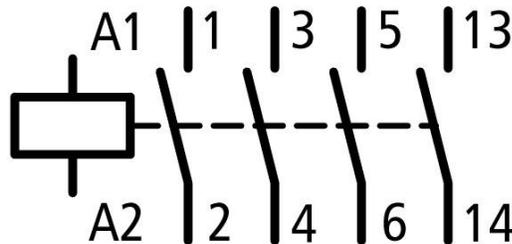
Se emplean en el circuito de mando o maniobras. Por este motivo soportarán menos intensidad que los principales.

- **Circuito electromagnético**

Consta de tres partes:

- 1.- El núcleo, en forma de E, y es la parte fija.
- 2.- La bobina: **A1-A2**
- 3.- La armadura, parte móvil.

**FIGURA 1. 19** Simbología de un contactor



FUENTE:(<http://www.voltiosiesae.es/wpcontent/uploads/2015/01/Introducci%C3%B3n-a-Automatismo.pdf>)

## 1.14. ACCESORIOS DEL BANCO DE PRUEBAS

Según, (GONZÁLEZ A. Ramón , 2012), los accesorios de un banco de pruebas de generación hidroeléctrica son:

### 1.14.1. Tanque de almacenamiento

Son estructuras de diversos materiales, por lo general de forma cilíndrica, y son utilizados para guardar y/o preservar líquidos a presión ambiente. Para calcular el volumen de un tanque se tiene que conocer la altura y el radio del tanque, sabiendo estos valores el volumen del tanque se determina con la ecuación 1.3.

$$V = \pi r^2 h [m^3] \quad (\text{Ec.1.3})$$

Dónde:

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

$r = \text{Radio } [m]$

$h = \text{Altura } [m]$

#### ***1.14.2. Tubería de presión***

Están diseñados para transportar fluidos a diferentes presiones de un lugar a otro.

Los materiales del cual se encuentran contruidos garantizan la calidad del fluido y además proporcionan seguridad en el transporte evitando fugas.

#### ***1.14.3. Válvulas de bola o esfera***

Mecanismo de llave de paso que sirve para regular el flujo de un fluido canalizado, se caracteriza porque su regulador interno tiene una forma de esfera perforada.

#### ***1.14.4. Manómetro***

Es un instrumento utilizado para la medición de la presión, generalmente determinando la diferencia de la presión entre el fluido y la presión local.

#### ***1.14.5. Breaker***

Es un aparato eléctrico que tiene como finalidad interrumpir o abrir un circuito cuando la corriente es superior a un valor determinado.

#### **1.14.6. Selector eléctrico rotativo**

El selector eléctrico rotativo tiene la función de abrir o cerrar contactos de acuerdo a una posición seleccionada de manera manual. Existen selectores rotativos de 2, 3, 4 y 5 posiciones y además algunos pueden contar con retorno automático.

### **1.15. DEFINICIONES DE CÁLCULOS METODOLÓGICOS**

Según la página web.

(<http://www.medwave.cl/link.cgi/Medwave/Series/MBE04/5266>).

#### **1.15.1. Frecuencias esperadas**

Las frecuencias esperadas se obtendrán de la distribución de frecuencias del total de los casos. Para el cálculo de las frecuencias esperadas utilizamos la ecuación 1.4.

$$Fe = \frac{Tf * Tc}{Tg} \quad (\text{Ec.1.4})$$

Dónde:

Fe = Frecuencia esperada.

Tf = Frecuencia observada.

Tc = Frecuencia tabulada.

Tg = Frecuencia esperada.

#### **1.15.2. Chi-Cuadrado (estadístico de prueba)**

Es una prueba que puede utilizarse incluso con datos medibles en una escala nominal. Para realizar este contraste se disponen los datos de una tabla de frecuencias. Para el cálculo de éste estadístico de prueba se utiliza la ecuación 1.5.

$$\chi^2 = \frac{(Fo_1 - Fe)^2}{Fe} \quad (\text{Ec.1.5})$$

Dónde:

$\chi^2$  = Chi-Cuadrado.

$Fo_1$  = Frecuencia observada.

$Fe$  = Frecuencia esperada.

### ***1.15.3. Niveles de significancia o margen de error***

Establece el límite de la región de rechazo de una hipótesis. Los valores más significativos son 0.05 y 0.01, tomando en cuenta los **parámetros de probabilidad** el cual se lo determina con la ecuación 1.6.

$$p = 1 - \text{nivel de significancia} \quad (\text{Ec.1.6})$$

Dónde:

p = Parámetros de probabilidad

### ***1.15.4. Grados de libertad***

Número mínimo de parámetros que se necesita especificar para determinar valores de variables dadas. Para el cálculo de los grados de libertad se utiliza la ecuación 1.7.

$$G = (h - 1)(k - 1) \quad (\text{Ec. 1.7})$$

Dónde:

G = grados de libertad.

h = número de filas.

k = número de alternativas.

## **CAPITULO II**

### **2. METODOLOGÍA, PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

#### **2.1. CARACTERÍSTICAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

##### ***2.1.1. Antecedentes históricos***

La Universidad Técnica de Cotopaxi, tuvo sus raíces en el año de 1992, como extensión universitaria cuyo aval fue proporcionado por la Universidad Técnica del Norte, siendo en enero de 1995, cuando mediante autorización del congreso y publicada en el Suplemento Nro. 618 de Registro Oficial del 24 de enero de 1995, mediante la cual se crea la Universidad Técnica de Cotopaxi.

La institución está asentada en la Parroquia Eloy Alfaro, sector San Felipe de la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi, fue creada para satisfacer la demanda de Educación Superior de la zona centro del país y cubrir las expectativas de la juventud estudiosa de nuestra provincia. Actualmente se encuentra formando profesionales en distintas Unidades Académicas como: CIYA, CEYPSA y HUMANÍSTICAS. Universidad con adecuados niveles de pertinencia y calidad, logrados a través de la concientización y difusión de la ciencia, cultura, arte y los conocimientos ancestrales. Contribuye con una acción transformadora en la lucha por alcanzar una sociedad más justa, equitativa y solidaria para que el centro de atención del estado sea siempre el humano.

### **2.1.2. Misión**

La Universidad Técnica de Cotopaxi, forma profesionales humanistas con pensamiento crítico y responsabilidad social, de alto nivel académico, científico y tecnológico con liderazgo y emprendimiento, sobre la base de los principios de solidaridad, justicia, equidad y libertad; genera y difunde el conocimiento, la ciencia, el arte y la cultura a través de la investigación científica y la vinculación con la sociedad para contribuir a la transformación económica-social del país.

### **2.1.3. Visión**

Ser un referente regional y nacional en la formación, innovación y diversificación de profesionales acorde al desarrollo del pensamiento, la ciencia, la tecnología, la investigación y la vinculación en función de la demanda académica y las necesidades del desarrollo local, regional y del país.

## **2.2. ASPECTOS HISTÓRICOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

Desde la creación de la Universidad ha existido la vinculación con los problemas sociales de la comunidad y el desarrollo técnico de la provincia dentro del ámbito cultural, agrario, científico. Parte de este desarrollo está el de incorporar a las industrias locales y nacionales profesionales técnicos de carácter científico, social y humanístico, es así que el 22 de julio de 2003 mediante Resolución del Honorable Consejo Universitario en sesión ordinaria crea para el período septiembre 2003 / febrero 2004 la apertura de la Especialidad de Ingeniería Electromecánica y otras, para cubrir las necesidades industriales.

La Ingeniería Electromecánica es una rama que nace con las expectativas del mundo contemporáneo para que el profesional aplique sus conocimientos en las

áreas de ciencias exactas, eléctrica, electrónica y mecánica con alto grado de compromiso social.

Bajo este modelo de estudios incorpora egresados al término de diez ciclos de duración de la Carrera, profesionales activos que han demostrado capacidad técnica y social a nivel industrial, es por ello que en la actualidad ocupan puestos operativos de mando, control y desarrollo de empresas públicas y privadas.

### ***2.2.1. Misión***

La Carrera de Ingeniería Electromecánica, forma profesionales con un alto nivel técnico – humanista, capaces de diseñar, construir, implementar y mantener máquinas y sistemas eléctricos, electrónicos y mecánicos para satisfacer las demandas del sector productivo de las medianas y grandes industrias del país, a través de una formación académica de calidad.

### ***2.2.2. Visión***

En el 2015 seremos una Carrera acreditada y líder a nivel nacional, con excelencia académica y formación integral, con profesionales críticos, solidarios y comprometidos con el cambio social; dotada de infraestructura física acorde con el avance científico tecnológico, capaz de dar solución a las demandas productivas, industriales y sociales del país, en un marco de cooperación nacional e internacional, lo que nos permitirá mantener una transferencia de conocimientos bidireccional con la sociedad.

### ***2.2.3. Objetivo de la Carrera de Ingeniería Electromecánica***

Formar profesionales en el área electromecánica, a través del diseño, construcción, operación, mantenimiento de máquinas, sistemas eléctricos,

mecánicos y electrónicos, para dar solución a las demandas productivas, industriales y sociales.

## **2.3. DISEÑO METODOLÓGICO**

### ***2.3.1. Enfoque de la investigación***

En el presente trabajo se realizará un análisis cuantitativo en busca de un adecuado control, monitoreo, visualización y un correcto plan de prácticas y mantenimiento del banco de pruebas, el cual ayuda a comparar la eficiencia entre las turbinas Pelton y Kaplan.

Este enfoque corrobora a analizar el proceso riguroso del banco de pruebas para resolver un problema, garantizando la producción del conocimiento como alternativa de solución viable dando credibilidad a los elementos de investigación en la recolección de información.

### ***2.3.2. Tipos de investigación***

- **Investigación experimental**

Según, (HERNÁNDEZ S. Roberto, FERNÁNDEZ C. Carlos & BAPTISTA L. Pilar, 2006), manifiesta que:

La investigación experimental se basa en manipulaciones tratamientos, estímulos o intervenciones directas e indirectas en variables con el fin de obtener un posible efecto partiendo de una causa, indicando así la evolución y el tratamiento experimental de la investigación.

Con la ayuda de esta investigación se analizará el control y manipulación del banco de pruebas con el fin de observar cambios en las variables eléctricas obtenidas.

### **2.3.3. *Métodos de investigación***

Según, (BERNAL. Cesar A, 2006), menciona que:

- **Método analítico**

El método analítico tiene como fin utilizar el razonamiento lógico de hechos particulares aceptados como válidos, partiendo de una hipótesis de un problema de investigación el cual sea de carácter general, este método tiene como principal propósito el formular conclusiones universales que se postulan como leyes.

- **Método inductivo**

El método inductivo es un proceso cognoscitivo que consiste en descomponer un objeto o sistema de investigación separando por partes un todo para analizar, estudiar, de forma individual con el fin de llegar a conclusiones que ayuden a comprobar la hipótesis elaborada en la investigación.

- **Método deductivo**

El método deductivo consiste en el análisis de los postulados, teoremas, leyes de aplicación universal de comprobada validez, está basado en el análisis general de un objeto o sistema de investigación con la finalidad de aplicar técnicas y leyes en hechos reales.

### **2.3.4. *Técnicas de investigación***

- **La observación**

Según, (ENDARA T. Lourdes, 1996), manifiesta que:

La observación es una técnica de recolección de datos que consiste en utilizar el sentido de la visión con el fin de observar y conocer las necesidades de problema de investigación y así determinar soluciones que requiere dicha investigación.

- **La encuesta**

Según, (LEIVA Z. Francisco, 2008).

La encuesta es una técnica de investigación que consiste en elaborar un listado de preguntas abiertas o cerradas para obtener información con el fin de definir si la investigación es aceptada o no por la población involucrada.

### **2.3.5. Instrumentos de investigación**

- **El cuestionario**

Según, (BERNAL. Cesar A, 2006).

El cuestionario es un instrumento básico de recolección de información que consiste en elaborar una serie de preguntas con el fin de obtener información de lo que se desea conocer, las preguntas pueden ser cerradas o abiertas dependiendo de la investigación a realizarse.

- **La medición**

(HERNÁNDEZ S. Roberto, FERNÁNDEZ C. Carlos & BAPTISTA L. Pilar, 2006).

La medición es el proceso de asignar números o marcadores a objetos, personas, estados o hechos, según las reglas específicas para representar la cualidad o cantidad de un atributo. Los instrumentos de medición son herramientas que se utilizan para llevar a cabo las observaciones de valores medidos.

## **2.4. POBLACIÓN Y MUESTRA**

La población comprendida en la investigación se realiza mediante el muestreo no probabilístico, debido a que la investigación comprende a un grupo investigador, la población seleccionada se encuentra directamente relacionada con las asignaturas que

están inmiscuidas en los procesos de elaboración del proyecto, en esencial el estudio de subestaciones eléctricas, máquinas eléctricas, control industrial, entre otras.

La población involucrada (Tabla 2.1), en la investigación del tema antes mencionado son los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi de los niveles séptimo, octavo y noveno, matriculados en el periodo académico Septiembre 2015 - Febrero 2016. Dando un total de 73 estudiantes por ende la encuesta es aplicada a toda la población.

**TABLA 2. 1** Población involucrada

<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>
1	Estudiantes de séptimo Ingeniería Electromecánica	26
2	Estudiantes de octavo Ingeniería Electromecánica	20
3	Estudiantes de noveno Ingeniería Electromecánica	27
<b>TOTAL</b>		<b>73</b>

**FUENTE:** Secretaría De La Unidad Académica Del CIYA

**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian.

## **2.5. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS**

La encuesta fue elaborada por el grupo de investigadores para la recopilación de datos, además fue aplicada a la población antes señalada en la (Tabla 2.1), con los datos obtenidos se conocerá si es factible el diseño, construcción e implementación de un banco de pruebas para el análisis de eficiencia de las turbinas hidráulicas Pelton y Kaplan para la visualización del comportamiento de variables de funcionamiento en tiempo real, donde los estudiantes puedan realizar investigaciones, prácticas y visualizaciones de los procesos y características de funcionamiento de las turbinas antes mencionadas. La encuesta realizada a la población involucrada se puede encontrar en el **Anexo A**.

### Pregunta N° 1:

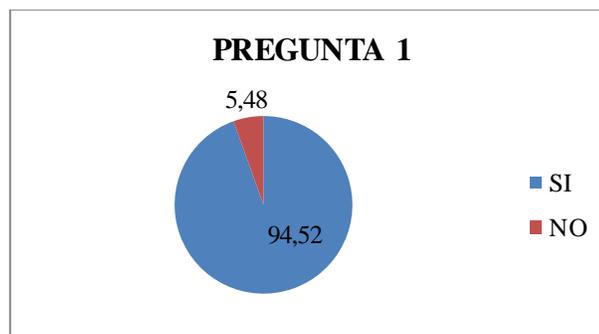
¿Conoce usted acerca de las características de funcionamiento de una turbina Pelton?

**TABLA 2. 2** Resumen de la pregunta N° 1

ALTERNATIVA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
SI	69	94,52
NO	4	5,48
TOTAL	73	100,00

ELABORADO POR: Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian.

**GRÁFICO 2. 1** Representación gráfica del resumen de la pregunta N° 1



ELABORADO POR: Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian.

### Análisis

Del total de la población encuestada el 94,52%, conocen acerca de las características de funcionamiento de una turbina Pelton, mientras que un 5,48%, desconoce dichas características de la turbina antes mencionada.

### Interpretación

La mayoría de los estudiantes encuestados conocen o han indagado sobre la turbina Pelton por ende tienen conocimientos de sus características de funcionamiento las mismas que hay que tener en claro para saber cuándo y dónde se puede ensamblar dicha turbina.

**Pregunta N° 2:**

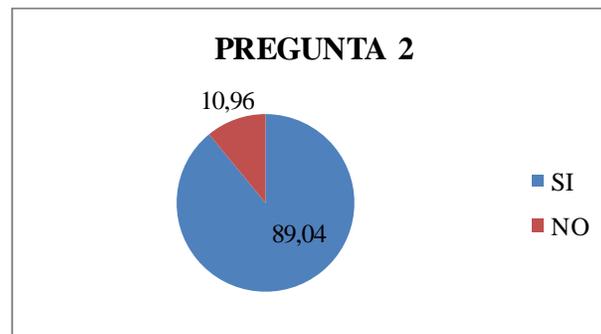
¿Conoce usted acerca de las características de funcionamiento de una turbina Kaplan?

**TABLA 2. 3** Resumen de la pregunta N° 2

ALTERNATIVA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
SI	65	89,04
NO	8	10,96
TOTAL	73	100,00

ELABORADO POR: Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian.

**GRÁFICO 2. 2** Representación gráfica del resumen de la pregunta N° 2



ELABORADO POR: Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian.

**Análisis**

Del total de la población encuestada el 89,04%, conocen acerca de las características de funcionamiento de una turbina Kaplan, mientras que un 10,96%, desconoce dichas características de la turbina antes mencionada.

**Interpretación**

La mayoría de estudiantes encuestados conoce acerca del funcionamiento de la turbina Kaplan y están familiarizados con las características que debe tener dicha turbina para operar de la mejor manera.

### Pregunta N° 3:

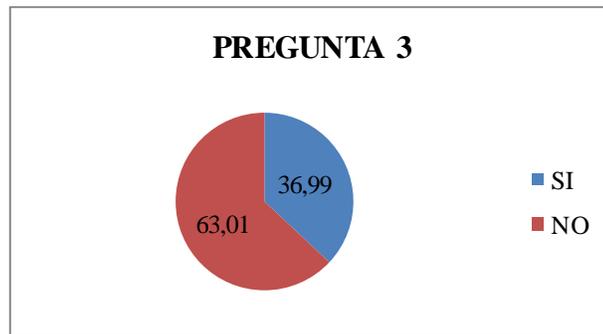
¿Conoce usted acerca de los parámetros eléctricos a controlarse en una central de generación eléctrica?

**TABLA 2. 4** Resumen de la pregunta N° 3

ALTERNATIVA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
SI	27	36,99
NO	46	63,01
TOTAL	73	100,00

ELABORADO POR: Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian.

**GRÁFICO 2. 3** Representación gráfica del resumen de la pregunta N° 3



ELABORADO POR: Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian.

### Análisis

Del total de la población encuestada el 63,01%, desconocen los parámetros a controlarse en una central de generación eléctrica, mientras que un 36,99%, tiene conocimiento de dichos parámetros.

### Interpretación

La mayoría de la población encuestada desconoce de los parámetros controlables en una central de generación eléctrica, por ende existe un déficit de conocimiento en las asignaturas que embarcan conceptualizaciones de elementos que componen una central de generación eléctrica, temas esenciales en el entorno de la Carrera de Ingeniería Electromecánica.

**Pregunta N° 4:**

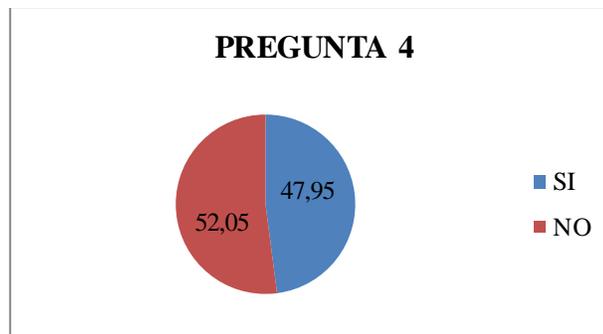
¿Conoce usted acerca de la utilización del programa LabVIEW como plataforma de programación para visualizar variables de funcionamiento de las turbinas Pelton y Kaplan?

**TABLA 2. 5** Resumen de la pregunta N° 4

ALTERNATIVA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
SI	35	47,95
NO	38	52,05
TOTAL	73	100,00

**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian.

**GRÁFICO 2. 4** Representación gráfica del resumen de la pregunta N° 4



**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian.

**Análisis**

De la población encuestada el 52,05%, desconocen la ejecución del Programa LabVIEW como plataforma de programación, mientras que un 47,95%, está familiarizado con los conocimientos de dicho programa.

**Interpretación**

La mayoría de encuestados desconoce acerca del Software LabVIEW como plataforma de control gráfico, programación y visualización de variables de funcionamiento de las turbinas Pelton y Kaplan.

### Pregunta N° 5:

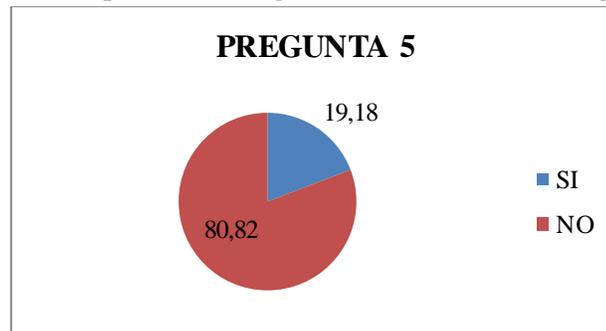
¿Cree usted que sin la implementación de un banco de pruebas se puede visualizar variables de funcionamiento en tiempo real?

**TABLA 2. 6** Resumen de la pregunta N° 5

ALTERNATIVA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
SI	14	19,18
NO	59	80,82
TOTAL	73	100,00

ELABORADO POR: Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian.

**GRÁFICO 2. 5** Representación gráfica del resumen de la pregunta N° 5



ELABORADO POR: Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian.

### Análisis

Del total de la población encuestada el 80,82%, cree que es difícil visualizar variables sin contar con un banco de pruebas como material didáctico para el aprendizaje práctico, mientras que un 19,18%, cree que no es necesario dicha implementación

### Interpretación

La mayor parte de la población encuestada cree que no se logrará un desarrollo intelectual en la formación profesional del estudiantado en la parte práctica no se cuenta con un banco de pruebas para análisis de eficiencia de las turbinas, donde puedan controlar, manipular y visualizar variables generadas en el proceso de generación eléctrica en tiempo real.

**Pregunta N° 6:**

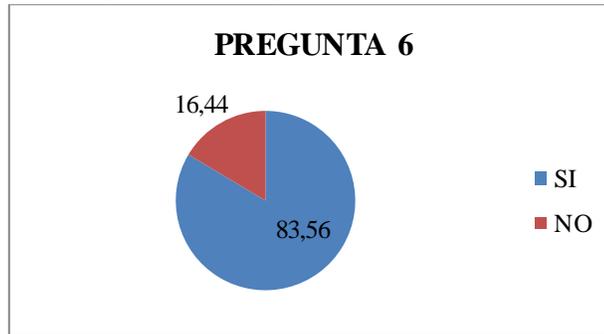
¿Cree usted que un banco de pruebas para comparar eficiencia entre turbinas corrobore a reforzar sus conocimientos?

**TABLA 2. 7** Resumen de la pregunta N° 6

ALTERNATIVA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
SI	61	83,56
NO	12	16,44
TOTAL	73	100,00

**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian.

**GRÁFICO 2. 6** Representación gráfica del resumen de la pregunta N° 6



**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian.

**Análisis**

Del total de la población encuestada el 83,56%, está seguro que un banco de pruebas corroborara en el desarrollo de sus conocimientos, mientras que un 16,44%, responde que no ayudara en su desarrollo intelectual.

**Interpretación**

Un banco de pruebas permitirá que el docente y los estudiantes logren interactuar con la investigación, teoría y práctica con el fin de desarrollar destrezas y habilidades con magnitudes reales que presentan dichos procesos de generación eléctrica.

### Pregunta N° 7:

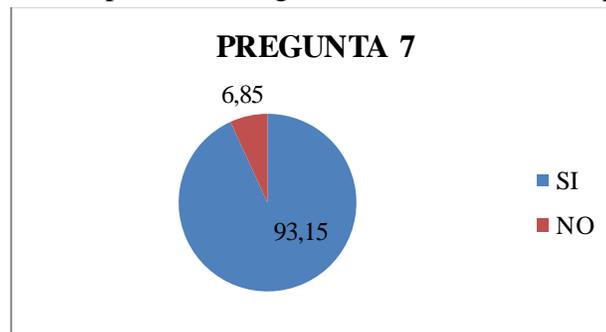
¿Le gustaría tener a su alcance un banco de pruebas para manipular y visualizar variables de funcionamiento en tiempo real?

**TABLA 2. 8** Resumen de la pregunta n° 7

ALTERNATIVA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
SI	68	93,15
NO	5	6,85
TOTAL	73	100,00

ELABORADO POR: Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian.

**GRÁFICO 2. 7** Representación gráfica del resumen de la pregunta n° 7



ELABORADO POR: Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian.

### Análisis

Del total de la población encuestada el 93,15%, desea tener al alcance un banco de pruebas para la manipulación de variables en tiempo real, mientras que un 6,85, cree que no es necesario contar con dicho banco antes mencionado.

### Interpretación

El acceso a un banco de pruebas permitirá que los docentes y estudiantes logren interactuar con los elementos que componen el mismo, con el propósito de avanzar de la mejor manera en asignaturas relacionadas en el proceso de generación eléctrica, logrando de esta manera que los estudiantes llenen vacíos existentes en la teoría y así puedan adquirir habilidades y destrezas necesarias para su desempeño profesional.

En la (Tabla 2.9), se muestra las frecuencias y porcentajes de la encuesta realizada a los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Electromecánica la misma que servirá de gran ayuda para poder realizar la verificación de la hipótesis planteada.

**TABLA 2. 9** Tabla general de frecuencias y porcentajes

ALTERNATIVA	FRECUENCIAS			PORCENTAJES		
	SI	NO	TOTAL	SI	NO	TOTAL
PREGUNTA 1	69	4	73	94,52%	5,48%	100,00%
PREGUNTA 2	65	8	73	89,04%	10,96%	100,00%
PREGUNTA 3	27	46	73	36,99%	63,01%	100,00%
PREGUNTA 4	35	38	73	47,95%	52,05%	100,00%
PREGUNTA 5	14	59	73	19,18%	80,82%	100,00%
PREGUNTA 6	61	12	73	83,56%	16,44%	100,00%
PREGUNTA 7	68	5	73	93,15%	6,85%	100,00%

ELABORADO POR: Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian.

## 2.6. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

- **Enunciado**

“Mediante el diseño, construcción e implementación de un banco de pruebas para análisis de eficiencia de las turbinas Pelton y Kaplan, permitirá manipular, controlar y visualizar el comportamiento de variables de funcionamiento en tiempo real”

- **Variable independiente**

El diseño, construcción e implementación de un banco de pruebas para análisis de eficiencia de las turbinas Pelton y Kaplan.

- **Variable dependiente**

Manipular, controlar y visualizar el comportamiento de variables de funcionamiento en tiempo real.

### **2.6.1. Planteo de hipótesis**

- **Hipótesis Alternativa**

El diseño, construcción e implementación de un banco de pruebas para análisis de eficiencia de las turbinas Pelton y Kaplan, permitirá manipular, controlar y visualizar el comportamiento de variables de funcionamiento en tiempo real.

- **Hipótesis nula**

No es necesario el diseño, construcción e implementación de un banco de pruebas para análisis de eficiencia de las turbinas Pelton y Kaplan, permitirá manipular, controlar y visualizar el comportamiento de variables de funcionamiento en tiempo real.

- **Argumentación**

Para la verificación de la hipótesis planteada se puede recurrir a la aplicación de la encuesta como instrumento para la recopilación de datos, la misma que fue aplicada a la población involucrada (Tabla 2.1), donde se justificará la necesidad de diseñar, construir e implementar un banco de pruebas para análisis de eficiencia de la Turbinas Pelton y Kaplan con el fin de utilizarlo para realizar prácticas de control, manipulación y visualización de comportamientos de variables de funcionamientos con datos en tiempo real.

Mediante los resultados obtenidos en las encuestas, se opta por la hipótesis alternativa y se concluye que es factible el diseño, construcción e implementación de un banco

de pruebas para análisis de eficiencia de las turbinas hidráulicas Pelton y Kaplan, controlado y monitoreado a través de un ordenador mediante el programa LabVIEW.

### 2.6.2. Cálculo de la frecuencia esperada de sus alternativas

Para realizar el cálculo de la frecuencia esperada se toma en cuenta los datos de frecuencias observadas (Tabla 2.10), y aplicando la (Ecuación 1.4), se logra determinar las frecuencias esperadas de sus alternativas.

**TABLA 2. 10** Tabla general de frecuencias

ALTERNATIVAS	FRECUENCIAS		
	SI	NO	TOTAL
PREGUNTA 1	69	4	73
PREGUNTA 2	65	8	73
PREGUNTA 3	27	46	73
PREGUNTA 4	35	38	73
PREGUNTA 5	14	59	73
PREGUNTA 6	61	12	73
PREGUNTA 7	68	5	73
TOTAL	339	172	511

ELABORADO POR: Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

Para la frecuencia “SI”

$$Fe_{SI} = \frac{Tf * Tc}{Tg}$$

$$Fe_{SI} = \frac{339 * 73}{511}$$

$$Fe_{SI} = 48,43$$

Resp.

Para la frecuencia “NO”

$$Fe_{NO} = \frac{Tf * Tc}{Tg}$$

$$Fe_{NO} = \frac{172 * 73}{511}$$

$$Fe_{NO} = 24,57$$

Resp.

### 2.6.3. Cálculo del Chi-Cuadrado

Para el cálculo del Chi-Cuadrado se utiliza los datos de la frecuencia observada de la (Tabla 2.10), los mismos que fueron obtenidos de las encuestas realizadas a la población involucrada en la investigación. Se obtiene los valores del Chi-Cuadrado aplicando la (Ecuación 1.5). Los valores obtenidos se puede observar en la (Tabla 2.11).

**Tabla 2. 11** Resultados del cálculo del Chi-Cuadrado

ALTERNATIVAS	FRECUENCIAS O		FRECUENCIAS E		CHI- CUADRADO		TOTAL
	SI	NO	SI	NO	SI	NO	
PREGUNTA 1	69	4	48,43	24,57	2,96	4,15	7,11
PREGUNTA 2	65	8	48,43	24,57	2,38	3,34	5,72
PREGUNTA 3	27	46	48,43	24,57	3,08	4,32	7,40
PREGUNTA 4	35	38	48,43	24,57	1,93	2,71	4,64
PREGUNTA 5	14	59	48,43	24,57	4,95	6,95	11,89
PREGUNTA 6	61	12	48,43	24,57	1,81	2,54	4,34
PREGUNTA 7	68	5	48,43	24,57	2,81	3,95	6,76
TOTAL							47,87

ELABORADO POR: Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

### 2.6.4. Niveles de significancia o margen de error

El margen de error se logra encontrar determinando los parámetros de probabilidad los cuales se obtiene aplicando la (Ecuación 1.6).

- Para el nivel de significancia 0.05

$$p = 1 - 0.05$$

$$p = 0.99$$

Resp.

- Para el nivel de significancia 0.01

$$p = 1 - 0.01$$

$$p = 0.95$$

Resp.

### 2.6.5. *Cálculos de grados de libertad*

Aplicando la (Ecuación 1.7) se logra determinar los grados de libertad, donde se considera dos variables las cuales son:  $h - k$ , sabiendo que son 7 preguntas con 2 opciones cada una.

Considerando las variables como:

$$h = 7 \text{ (# Filas)} \quad k = 2 \text{ (# Columnas)}$$

$$G = (h - 1)(k - 1)$$

$$G = (7 - 1)(2 - 1)$$

$$G = (6)(1)$$

$$G = 6$$

Resp.

Los valores del Chi-Cuadrado tomando en cuenta los grados de libertad para cada uno de los niveles de significancia se puede observar en el **Anexo B**.

- Para el valor crítico de 6, grado de libertad con el nivel de significancia de 0.05 es de 12.59, es decir el valor es mayor por ende se acepta la hipótesis.
- Para el valor crítico de 1, grado de libertad con el nivel de significancia de 0.01 es de 16.81, es decir el valor es mayor por ende se acepta la hipótesis.

De acuerdo a los resultados obtenidos de las tabulaciones de las encuestas realizadas se concluye la aprobación de la hipótesis y se determina que es factible realizar el proyecto de investigación propuesto.

## **CAPITULO III**

### **3. DESARROLLO DEL PROYECTO**

En el presente capítulo se detalla el diseño, construcción del banco de pruebas para análisis de eficiencia de las turbinas Pelton y Kaplan, así como también la correcta selección de los elementos, la ubicación de los elementos de control, de medición y carga los mismos que intervienen dentro del proceso del sistema.

#### **3.1. TEMA**

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE LAS TURBINAS HIDRÁULICAS PELTON Y KAPLAN, CONTROLADO Y MONITOREADO A TRAVÉS DE UN ORDENADOR MEDIANTE EL PROGRAMA LABVIEW PARA EL LABORATORIO DE ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EN EL PERIODO 2015-2016.”

#### **3.2. PRESENTACIÓN**

El siguiente trabajo de investigación desarrollado por el grupo investigador, es de aporte tecnológico para tecnificar el laboratorio de Ingeniería en Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, así como también aportará a docentes y estudiantes a interactuar en la teoría con la práctica en las asignaturas impartidas.

A través de las prácticas didácticas en el banco de pruebas los estudiantes adquieren habilidades y destrezas que contribuyen al desarrollo profesional logrando así profesionales competitivos con un buen perfil profesional.

### **3.3. JUSTIFICACIÓN**

La investigación tiene como objetivo demostrar los principios de generación eléctrica, así como también el análisis del funcionamiento de las turbinas Pelton y Kaplan, aprovechando un recurso hídrico (agua), y a través del mismo comparar la eficiencia entre las turbinas antes mencionadas.

En Ecuador, con la creación de nuevas generadoras de energía eléctrica, el propósito es aprovechar la energía hidráulica, por lo que es necesario que los estudiantes obtengan el debido conocimiento del cómo operan las turbinas hidráulicas y los procesos de generación de energía eléctrica, por lo que es indispensable disponer de un banco de pruebas en sus laboratorios.

A nivel local es indispensable contar con tecnología de punta en los laboratorios para el correcto aprendizaje de los universitarios, el proyecto a desarrollarse pretende impartir principios de funcionamiento de las turbinas Pelton y Kaplan, permitiendo manipular y observar al momento que se desarrollen prácticas en dicho banco, además dicho banco será de gran utilidad para el docente como un material de apoyo para poder impartir de la mejor manera su asignatura.

En la actualidad los laboratorios de Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi cuentan con una infraestructura confortable y nueva por lo que es indispensable dotarlos de instrumentos y máquinas acorde a las carreras ofertadas por la institución con el fin de mejorar el perfil profesional de los estudiantes.

## **3.4. OBJETIVOS**

### **3.4.1. *Objetivo general***

- Diseñar, construir e implementar un banco de pruebas, indagando características de sus elementos a través de un avance electrónico para visualizar variables de operación en tiempo real.

### **3.4.2. *Objetivos específicos***

- Seleccionar correctamente los elementos mecánicos, eléctricos, electromecánicos que intervienen en el ensamblaje del banco de pruebas.
- Construir un banco de pruebas para análisis de eficiencia de las turbinas Pelton y Kaplan que aporte en la formación académica de los estudiantes.
- Elaborar una programación utilizando el software LabVIEW para la visualización de variables que intervienen en el proceso de funcionamiento del banco de pruebas.
- Realizar un manual de funcionamiento y de prácticas que estén relacionadas directamente con el banco de pruebas con el fin de reforzar la formación profesional de los estudiantes.

## **3.5. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD**

### **3.5.1. *Factibilidad técnica***

Se logra demostrar una factibilidad técnica al instante de implementar el banco de pruebas poniéndolo en marcha y manteniéndose en funcionamiento, se demuestra también al adquirir los equipos, existe una amplia gama de productos existentes en el mercado lo que facilitó para adquirir elementos de calidad por ende logrando que el sistema sea confiable.

### **3.5.2. Factibilidad económica**

Se demuestra una factibilidad económica cuando la inversión que se está ejecutando es justificada por los beneficios que genera. Los recursos económicos del banco de pruebas son aporte del grupo investigador, lo cual facilita el desarrollo del proyecto en el menor tiempo posible ya que la información se logra obtener con el apoyo de las autoridades, docentes y estudiantes que forman parte de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

### **3.5.3. Factibilidad operacional**

Los usuarios del proyecto participan y planifican el desarrollo de funcionamiento, con los conocimientos adquiridos en el transcurso de la aprobación de la malla curricular ayuda a una correcta manipulación de los elementos que conforman el banco de pruebas debido a que el mismo es de uso didáctico, además consta de un manual de prácticas que ayudará a despejar dudas durante el desarrollo de las mismas.

## **3.6. DESARROLLO DE LA PROPUESTA**

### **3.6.1. Selección de los elementos del banco de pruebas**

#### **Tanque de almacenamiento**

La selección del tanque de abastecimiento (Figura 3.1), se relaciona con la investigación propuesta, por ende se seleccionó un tanque de metal. Aplicando la (Ecuación 1.3), se logra determinar el volumen de fluido de dicho tanque que tiene como altura 0.42m y diámetro de 0.175m.

$$V = \pi r^2 h$$

$$V = 0.04040 \text{ m}^3 \implies 40l$$

Resp.

**FIGURA 3. 1** Tanque de almacenamiento



**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

### **Bomba centrífuga**

Se ha seleccionado una bomba centrífuga (Figura 3.2), con las siguientes características (Tabla 3.1), debido a que se trata de un banco didáctico por ende no es necesaria una bomba de gran capacidad.

**FIGURA 3. 2** Bomba centrífuga



**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

**TABLA 3. 1** Características de la bomba a utilizarse en el banco de pruebas

<b>Características de la bomba centrífuga</b>	
Potencia	2 Hp
Tensión	220/380V
Frecuencia	60 Hz
Revoluciones	3415 rpm
Diámetro de entrada	45cm
Diámetro de salida	30cm

**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

### Variador de frecuencia

Para la selección del variador de frecuencia (Figura 3.3), se toma en cuenta las características del motor de la bomba centrífuga antes mencionada, entonces el variador tendrá las siguientes características (Tabla 3.2).

**FIGURA 3.3** Variador de frecuencia



**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

**TABLA 3.2** Características del variador de frecuencia

<b>Características del variador de frecuencia</b>	
Potencia	2 Hp
Modelo	SINAMIC G110
Voltaje	220-240V
Revoluciones	3415 rpm
Motor	2 Hp
Frecuencia	47-63Hz

**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

### Caja de protecciones

La selección de los elementos de la caja de protecciones (Figura 3.4), se debe determinar observando las placa característica de la bomba centrífuga utilizada. En su interior alojan los elementos de protección de una instalación eléctrica así como también selectores pulsadores y cables.

**FIGURA 3. 4** Caja de protecciones



**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

### **Tuberías y accesorios**

La tubería y accesorios (Figura 3.5) por trabajar a pequeñas distancias de transporte de fluido de la bomba se seleccionó tubería PVC de presión roscable ASTM-D-1785 de una y dos pulgadas, los codos y las turcas universales son de material PVC. Además consta de dos llaves metálicas de bola para tubería de una pulgada.

**FIGURA 3. 5** Tuberías y accesorios



**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

### **Manómetro**

El manómetro de 200Psi-14bares (Figura 3.6), fue seleccionado para poder observar la presión a la cual se encuentra trabajando la bomba centrífuga el momento de impulsar el fluido por la tubería de presión a la cámara de cada una de las turbinas hidráulicas utilizadas en el banco de pruebas.

**FIGURA 3. 6** Manómetro



**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

### **Chumaceras de piso**

Las chumaceras de piso (Figura 3.7), están seleccionadas por la dimensión del eje de las turbinas que son de una pulgada, sirven para alinear el eje, su rodamiento interno sirve de soporte del eje de las turbinas hidráulicas.

**FIGURA 3. 7** Chumaceras de piso P205



**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

### **Alternadores**

Los alternadores de imanes permanentes de 24V/500W (Figura 3.8), son de bajas revoluciones con el fin de que la turbina con su movimiento logre mover el eje del alternador sin mayor dificultad.

**FIGURA 3. 8** Alternadores de imanes permanentes



**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

### **Lámina de acrílico**

La selección del acrílico (Figura 3.9), se determina con el fin poder observar el trabajo realizado por cada una de las turbinas hidráulicas Pelton y Kaplan, al ser movidas por el fluido que inyecta la bomba centrífuga.

**FIGURA 3. 9** Lámina de acrílico



**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

### **Cargas**

Las cargas (Figura 3.10), permiten visualizar el proceso de generación, cada una tiene su selector de control para realizar las prácticas conforme a cada requerimiento.

**FIGURA 3. 10** Cargas



**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

### **Sentron PAC3100**

El Sentron PAC3100 (Figura 3.11), fue seleccionado para medir y visualizar parámetros de la red en las cargas con el funcionamiento de cada una de las turbinas Pelton y Kaplan. Este dispositivo detecta valores energéticos de consumidores individuales.

**FIGURA 3. 11** Sentron Pac3100



**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

### **Contactores**

Los dos Contactores de 10A (Figura 3.12), fueron seleccionados para realizar la conmutación o enclavamiento para el trabajo individual de cada una de las turbinas Pelton y Kaplan.

**FIGURA 3. 12** Contactor de 10A

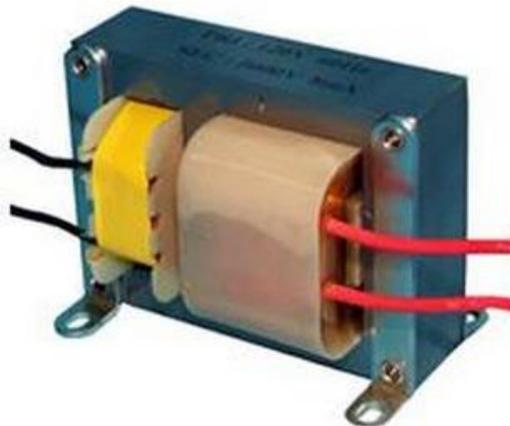


**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

### **Transformador elevador de tensión**

El transformador de tensión (Figura 3.13), fue seleccionado con el propósito de elevar la corriente obtenida del movimiento de las turbinas conectadas en los alternadores de imanes permanentes hacia las cargas del banco de pruebas.

**FIGURA 3. 13** Transformador de corriente



**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

### **Convertidor RS232/RS485**

El convertidor RS232-RS485 (Figura 3.14), se seleccionó para la comunicación desde el ordenador a los dispositivos electrónicos utilizados en el banco de pruebas.

**FIGURA 3. 14** Convertidor RS232/RS485



**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

### **Cable USB 232**

El cable USB 232 (Figura 3.15), es seleccionado para la interfaz e intercambio de datos de datos desde los dispositivos electrónicos hacia el ordenador.

**FIGURA 3. 15** Cable USB 232



**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

### **3.6.2. Construcción e implementación de los elementos del banco de pruebas**

#### **Turbina Pelton**

La turbina Pelton del banco de pruebas está construida tomando como referencia la figura geométrica del heptágono regular inscrito en una circunferencia, el mismo que es un polígono regular cuyos lados y ángulos son iguales.

El rodete de la turbina (Figura 3.16), está construido de acero inoxidable AISI 304, el diámetro del rodete es de 150mm y un espesor de 7mm, con una perforación central de una pulgada de diámetro para el eje de la turbina.

**FIGURA 3. 16** Rodete de la turbina Pelton



**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

El eje de la turbina Pelton (Figura 3.17), es de una pulgada de diámetro, con una longitud de 250mm, el mismo que se encuentra soldado en el rodete con electrodo de acero inoxidable (MG 629) E629.

**FIGURA 3. 17** Eje de la turbina Pelton



**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

Los alabes o cucharas se encuentran distribuidos en el rodete, se toma las dimensiones antes mencionadas del rodete y se dibuja el heptágono regular inscrito en la circunferencia así logramos obtener la ubicación donde se soldaran las cucharas o álabes, como muestra la (Figura 3.18).

**FIGURA 3. 18** División del número de álabes en el rodete



**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

Aplicando la (Ecuación 1.1), se logra determinar el valor total de los ángulos internos de la ubicación de los álabes o cucharas en el rodete de la turbina Pelton.

$$\sum \alpha_i = (n - 2) * 180^\circ$$

$$\sum \alpha_i = (7 - 2) * 180^\circ$$

$$\sum \alpha_i = 900^\circ \text{ o } \frac{5\pi}{\text{radianes}} \quad \text{Resp.}$$

Una vez determinado el valor de los ángulos internos aplicando la (Ecuación 1.2), se procede a determinar el valor del ángulo interno en cada una de las ubicaciones del álabe de la turbina Pelton utilizada en el banco de pruebas.

$$\alpha_i = \frac{\sum \alpha_i}{n}$$

$$\alpha_i = \frac{900^\circ}{7}$$

$$\alpha_i = 128,57^\circ \quad \text{Resp.}$$

El álabe o cuchara (Figura 3.19), está construida con platina de acero inoxidable de 1mm de grosor, la longitud del álabe es de 100mm, con una profundidad de 35mm, en la parte frontal tiene un corte en (V) con el propósito de desalojar el fluido, además tiene una platina del mismo material soldada en la parte frontal que distribuye el fluido al momento del golpe del chorro para utilizar toda el área de la cuchara para mover el eje del alternador con imanes permanentes .

**FIGURA 3. 19** Álabe o cuchara de la turbina Pelton



**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

El álabe o cuchara esta soldada a un ángulo de  $45^\circ$  (Figura 3.20), con el propósito de romper la inercia de la turbina el momento del impacto del fluido logrando de esta manera mayor eficiencia de la turbina Pelton.

**FIGURA 3. 20** Soldeo del álabe en el rodete



**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

Las chumaceras de piso están asentadas sobre dos ángulos de  $1 \frac{1}{4}$  de pulgada soldados en la estructura del banco de pruebas con electrodo E7018, las chumaceras son sujetadas en su base con pernos de  $\frac{3}{8}$  NC /  $1 \frac{1}{2}$  de longitud.

La carcasa de la turbina Pelton (Figura 3.21), está construida en plancha de acero inoxidable AISI 304, en la parte inferior de la carcasa está soldada una tubería

galvanizada de 2 pulgadas para la retro alimentación del fluido hacia el tanque de almacenamiento.

**FIGURA 3. 21** Carcaza de la turbina Pelton



**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

### **Turbina Kaplan**

Para la construcción de la turbina Kaplan se utilizó un ventilador de cuatro álabes en forma de hélice con una perforación interna en uno de sus extremos de 1 pulgada para el acople del eje motriz.

Sus álabes o hélices (Figura 3.22), se encuentran direccionados con un Angulo de  $35^\circ$ , además en su extremo inferior consta de una semicircunferencia cónica para realizar la evacuación del fluido y el torbellino característico de la turbina antes mencionada.

**FIGURA 3. 22** Turbina Kaplan



**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

Para la repartición del fluido se construyó un bastidor o también llamado mixed acoplado a los álabes o hélices de la turbina. El diámetro del rodete del bastidor (Figura 3.23), es de 265mm con un ancho de 25mm con un diámetro interno de una pulgada para el eje de la turbina Kaplan.

**FIGURA 3. 23** Rodete del bastidor



**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

El bastidor está dispuesto en cuatro lados y ángulos opuestos, soldado a una base principal en su parte interna y centrado a su rodamiento permitiendo el movimiento interno de la turbina.

Las cuatro divisiones del bastidor (Figura 3.24), están soldadas con platina de acero inoxidable a un ángulo de  $16^\circ$  con el propósito de no frenar el movimiento de la turbina Kaplan.

**FIGURA 3. 24** Bastidor de distribución de fluido



**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

La carcasa o voluta de la turbina Kaplan (Figura 3.25), está construida de acero inoxidable AISI 304, con el propósito de cubrir a la turbina y realimentar el fluido turbinado hacia el tanque de abastecimiento.

**FIGURA 3. 25** Carcaza o voluta de la turbina Kaplan



**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

### **Estructura o armazón del banco de pruebas**

La estructura o armazón del banco de pruebas está construida con tubo cuadrado de acero inoxidable de 2 pulgadas, el rectángulo estructural soportará las masas de los equipos que conforman el banco de pruebas. Las dimensiones del armazón estructural se puede observar en el **Anexo E (Planos mecánicos del banco de pruebas)**.

Los cortes del armazón (Figura 3.26), fueron cortados con ángulos de 45°, con el propósito de lograr una mejor compactación entre los extremos del tubo cuadrado de acero inoxidable y de ésta manera reforzar las uniones con el soldeo con electrodo E6011 y para sus terminados E7018.

**FIGURA 3. 26** Cortes del armazón



**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

Las masas de los elementos que componen el banco de pruebas están distribuidas en el centro del rectángulo estructural por ende no existe deformación en el tubo cuadrado de acero inoxidable (Figura 3.27).

**FIGURA 3. 27** Cortes del armazón



**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

La deformación en el tubo cuadrado de acero inoxidable es mínima ya que la longitud del mismo es pequeña y las masas de los elementos del banco de pruebas están ensambladas a refuerzos del mismo material, las cargas aplicadas están concentradas en los puntos de apoyo, por ende la forma de la estructura es como muestra la (Figura 3.28).

**FIGURA 3. 28** Estructura o armazón del banco de pruebas



**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

La implementación de la bomba centrífuga, el tanque de almacenamiento y el tanque de realimentación de la turbina Kaplan están instalados en la parte inferior del rectángulo estructural del banco de pruebas. Los elementos antes mencionados están montados sobre ángulos de acero inoxidable que sirven de soporte para cada elemento como muestra la (Figura 3.29).

**FIGURA 3. 29** Implementación de la Bomba centrífuga, Tanque de almacenamiento y tanque de realimentación de la turbina Kaplan.



**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

La implementación de las carcasas o volutas de las turbinas Pelton y Kaplan fueron realizadas sobre el rectángulo estructural soldadas con electrodo E6011 en el tubo cuadrado de acero inoxidable como muestra la (Figura 3.30).

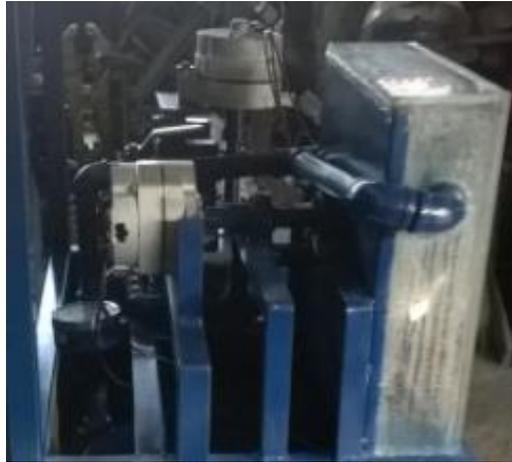
**FIGURA 3. 30** Implementación de las carcasas de las turbinas Pelton y Kaplan



**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

La implementación de los alternadores de imanes permanentes de 24V/500W está realizada sobre el rectángulo estructural (Figura 3.31), y soportado con ángulos de acero inoxidable soldados con E6011 y E7018 a la estructura con el propósito de alinear y sujetar dichos elementos y por ende evitar las vibraciones en el sistema.

**FIGURA 3. 31** Implementación de los alternadores de 24V/500W



**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

La implementación de las turbinas hidráulicas Pelton y Kaplan son realizadas dentro de las carcasas o volutas correspondientes, los ejes acoplados en las turbinas están soportados y alineados con las chumaceras de piso con rodamientos de una pulgada como muestra la (Figura 3.32).

**Figura 3. 32** Implementación de las turbinas Pelton y Kaplan



**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

La implementación de la tubería de presión, manómetro y llaves de bola (Figura 3.33), se realizó luego de haber implementado la bomba centrífuga, tanque de almacenamiento, carcasas o volutas de las turbinas hidráulicas. El acople de la tubería de presión es realizada utilizando teflón, codos, neoplos torneados, tuercas universales con el propósito de direccionar el caudal hacia los inyectores y por ende a las turbinas del banco de pruebas.

**FIGURA 3. 33** Implementación de tubería de presión, manómetro y llaves de paso



**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

La implementación de la plancha MDF (Figura 3.34), donde se instalaran los dispositivos electrónicos es implementada en la parte posterior del rectángulo estructural del banco de pruebas, la plancha fue sujeta con tornillos auto perforantes con rosca gruesa.

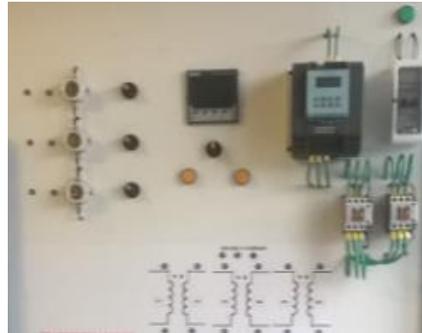
**FIGURA 3. 34** Implementación de la plancha MDF



**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

La implementación de los dispositivos electrónicos (Figura 3.35), en la plancha MDF fue realizado de acuerdo a las conexiones a realizarse en el proceso de funcionamiento de las turbinas hidráulicas y debidamente sujetos con tornillos tirafondos tanto en la parte frontal como es el caso de los contactores y el variador de frecuencia.

**FIGURA 3. 35** Implementación de dispositivos electrónicos



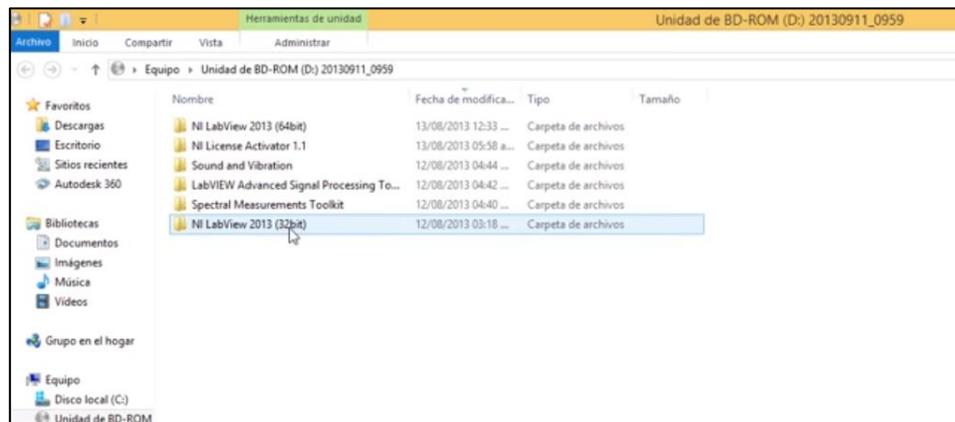
**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

### Instalación del Software LabVIEW

- Introducir el DVD o descarga el sistema operativo ejecutará el programa automáticamente.

De no ser así se ubica en la carpeta LabVIEW seleccionando el sistema operativo que requiera (Figura 3.36).

**FIGURA 3. 36** Instalador LabVIEW 2013

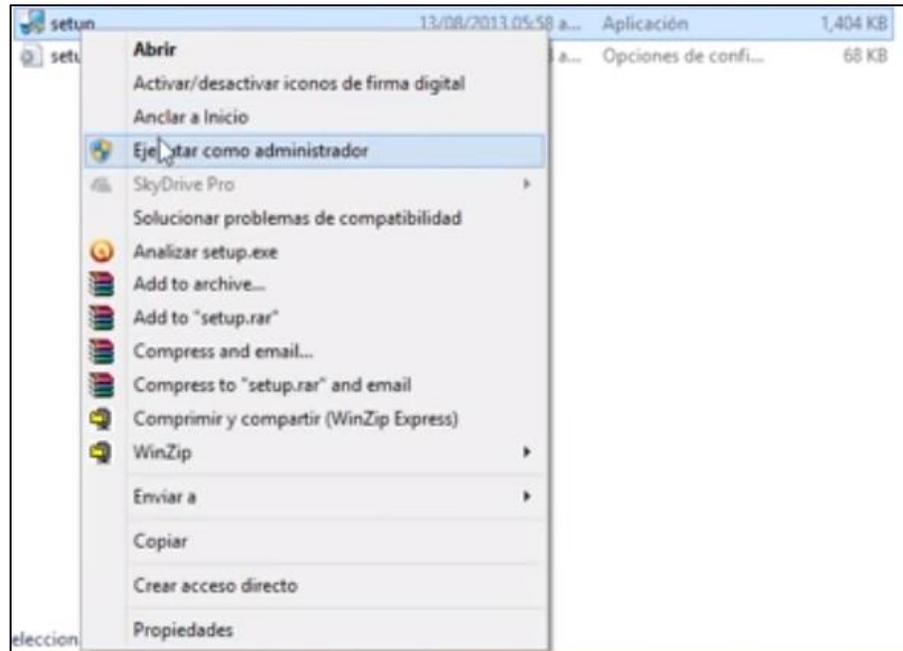


**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

Una vez ingresado a la carpeta [NI LabView 2013(32bits)].

- Seleccionar “setup” en la opción “ejecutar como administrador” (Figura 3.37).

**FIGURA 3. 37** Instalador LabVIEW 2013



**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

- Seguir la instalación presionando “Next”, en la opción “full Name” poner el nombre, luego para sacar el numero serial se coloca en la unidad del instalador en la carpeta “NI license activador”, ejecutar luego hacer click en “options” y click en “Generate Serial Number” copiar la serie y colocar en la ventana de instalación, presionar “Next” hasta correr el programa seleccionando “I Accept the above 2 License Agreement”.
- En la misma carpeta “NI license activador”, activar todos los archivos haciendo click en “options” “activate”.
- Terminado el proceso de instalación ejecutar el programa con el icono correspondiente (Figura 3.38).

**FIGURA 3. 38** Ejecución del programa LabVIEW



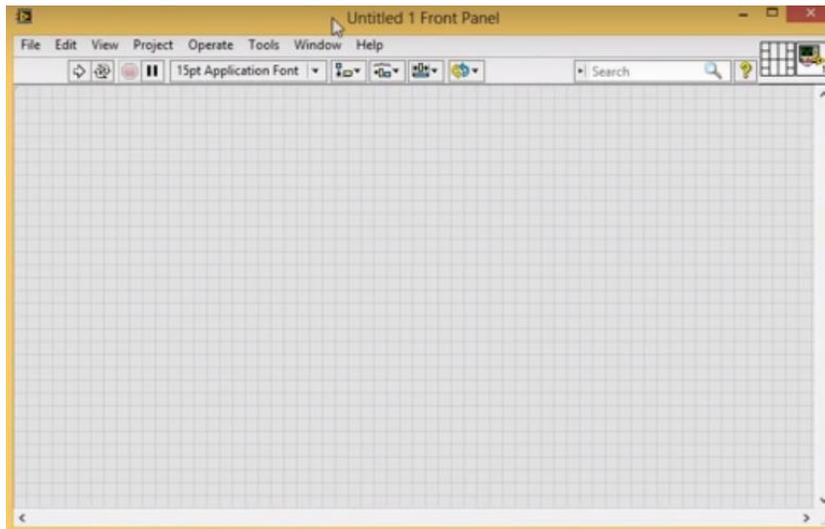
**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

Las características que presenta este software son:

- Adquisición de datos y análisis matemático, comunicación y control de instrumentos de cualquier fabricante con automatización industrial y programación de PACS (controlador de automatización programable), diseño de controladores: simulación, prototipo rápido, hardware en el ciclo (hil) y validación de diseño embebido de micros y chips control y supervisión de procesos de visión artificial y control de movimientos como robótica, domótica y redes de sensores inalámbricos.
- Tiempo real estrictamente hablado.
- Visualización y manejo de graficas con datos dinámicos.
- Adquisición y tratamiento de imágenes.
- Sincronización entre dispositivos.

Para realizar la programación correspondiente hacer click en “file”, “New VI”, donde se puede observar la pantalla de trabajo con todas sus opciones y herramientas (Figura 3.39).

**FIGURA 3.39** Pantalla de programación LabVIEW

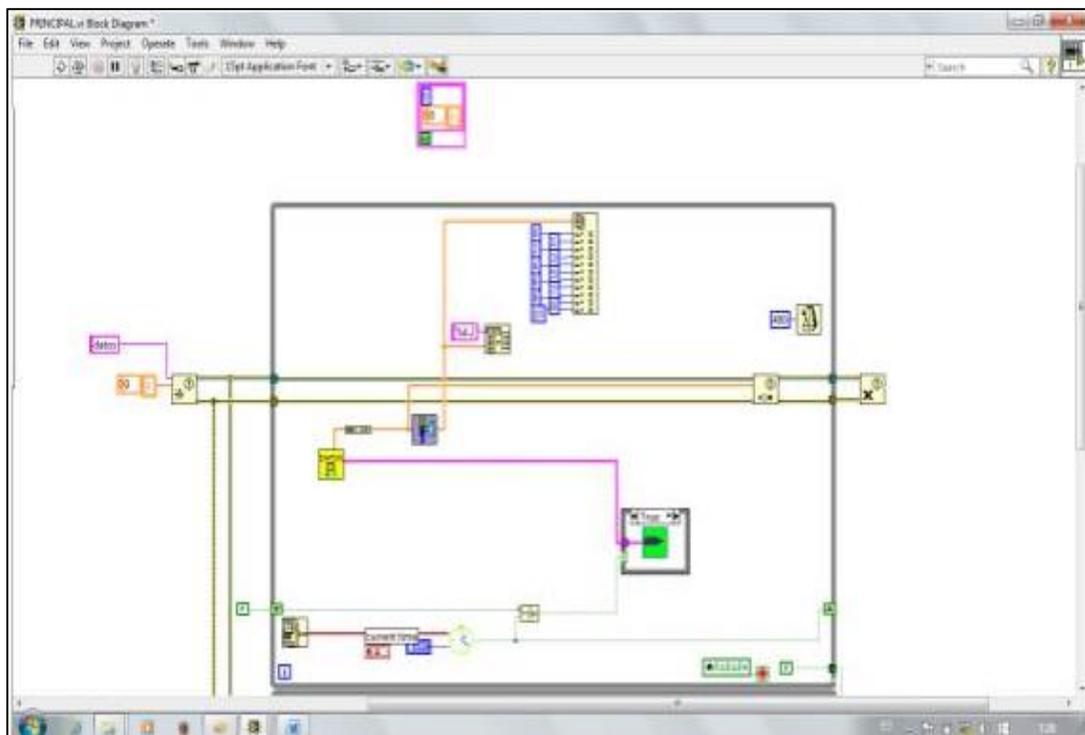


ELABORADO POR: Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

### Programación del sistema en el Software LabVIEW

El cuerpo de la programación se muestra en la (Figura 3.40).

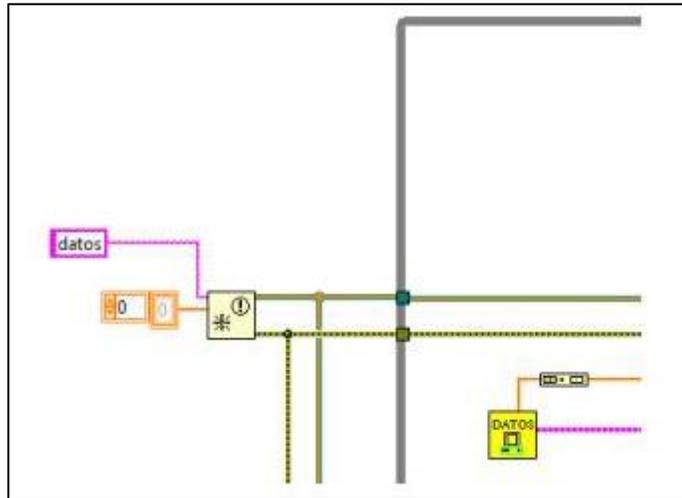
**FIGURA 3.40** Cuerpo del programa



ELABORADO POR: Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

En ella existe sub VIs (subprogramas) que facilitan la lectura de los datos desde la central de medición SENTROM PAC de Siemens este sub VI es DATOS (Figura 3.41).

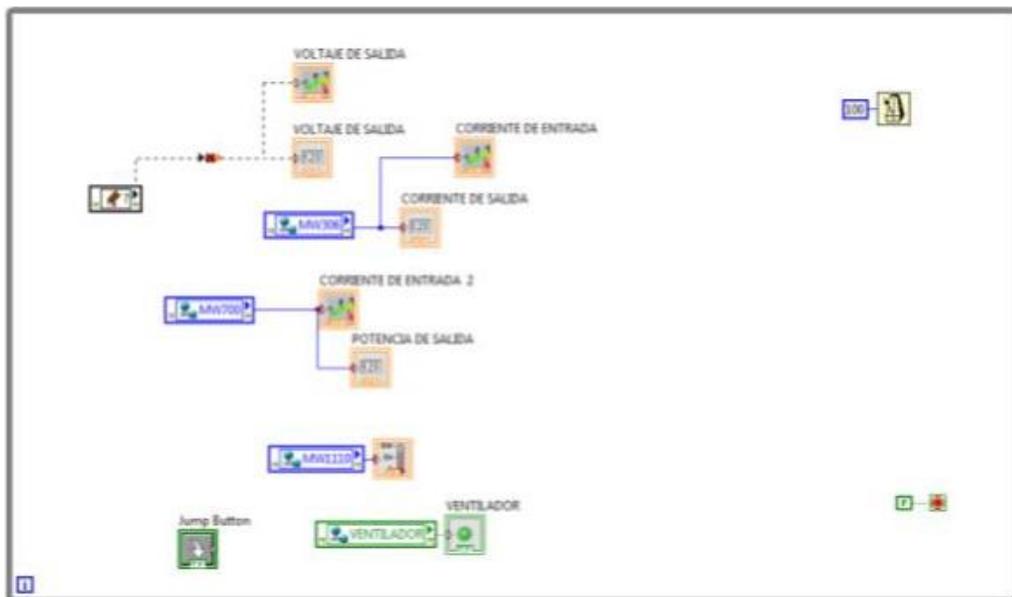
**FIGURA 3. 41** Subprogramas VI



**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

El sub VI datos lee los registros de memoria de la central de medida su programación consta de (Figura 3.42).

**FIGURA 3. 42** Registros de memoria de medida



**ELABORADO POR:** Caizaguano Ismael, Sangucho Cristian

## CONCLUSIONES

- La turbina Pelton presenta más revoluciones que la turbina Kaplan logrando por ende que el alternador de imanes permanentes conectado a la misma proporcione valores más altos en las variables eléctricas de generación.
- La interfaz a través del convertidor RS232/RS485 es configurada por medio de los puertos del SENTRON PAC3100 con el fin de proporcionar la comunicación del sistema con el ordenador y observar las variables eléctricas de generación eléctrica.
- El motor de la bomba centrífuga configurada y limitada a bajas frecuencias presenta más bajos valores de generación tanto en la turbina Pelton como en la turbina Kaplan debido a que es limitada en sus parámetros nominales de funcionamiento.
- La conexión en el transformador  $3\phi$  de 750VA a 24VAC-110VAC en delta a las cargas presenta mayor iluminación que la conexión en estrella tanto en el funcionamiento de las turbinas pelton y turbina Kaplan.
- Las protecciones del sistema del banco de pruebas se ejecutan automáticamente cuando se encuentra mal conectadas los puertos de fuerza y de control como en el caso de la bomba, el variador o demás dispositivos.

## RECOMENDACIONES

- Al desconectar el convertidor RS232/RS485 es importante cerrar primero el sistema de fuerza y mando del banco de pruebas y luego desconectarlo del ordenador caso contrario se daña disco dispositivo de comunicación.
- Un correcto desempeño del banco de pruebas de generación dependerá de la capacitación técnica del personal autorizado, conocimiento previo de su funcionamiento, el adecuado manejo de los dispositivos y el uso correcto de los manuales y procedimientos.
- Es importante realizar la correcta conexión entre el sistema del banco de pruebas y la interfaz con el ordenador para lograr una buena comunicación a través del convertidor de datos caso contrario el sistema no funciona correctamente.
- Para arrancar el proceso de generación es importante verificar el sentido de giro del motor de la bomba centrífuga asegurándose que se encuentre en sentido anti-horario caso contrario dicho dispositivo pierde fuerza y por ende presión al momento de impulsar el fluido hacia las turbinas.
- Las conexiones en el transformador de potencia deben estar relacionadas con las conexiones en las cargas para lograr mejor aprovechamiento de los valores eléctricos generados por los imanes permanentes caso contrario el sistema no presenta buen funcionamiento.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

### A

**Albergar:** contener en el centro de un objeto algún elemento principal que sea fundamental para su accionamiento.

**Aspiración:** Atrae un fluido que conduce a través de una tubería para los diferentes procesos de distribución.

**Aspas:** Diversas figuras (x) que nos permiten mover con el viento, siendo realizadas con diferentes materiales y tipos de construcción en generación eléctrica.

**Axial:** Centro de un objeto o elemento que hay que tener en cuenta para calcular o conocer valores o movimientos generales.

### C

**Cavitación:** Sustancias que pueden formarse de alguna manera en un líquido al variar o controlar la presión.

**Cíclico:** Una serie de repeticiones que pueden suceder a un objeto considerando el tiempo y la velocidad existentes.

**Conceptualizar:** Analizar diferentes conceptos de forma precisa con la finalidad de interpretar y poner en práctica dichos conocimientos.

**Compresibilidad:** Reducir el flujo dependiendo de los factores que son necesarios en diversas maquinas, siempre teniendo en cuenta a que volumen se va a trabajar.

**Chapoteo:** Saltos de agua en diferentes áreas o direcciones existentes a varios elementos controlándolas mediante una cubierta de protección.

**Cuádruple:** Cuatro veces la unidad o cuatro veces elevado a la unidad existente.

## D

**Desnivel:** Alturas desiguales al partir de un punto o sitio que desee medir o calcular .

## E

**Eficiencia:** Es la comparación de variables eléctricas que podemos obtener y demostrar mediante un banco de pruebas que conlleven turbinas hidroeléctricas, demostrando así una eficiencia existente.

**Embedido:** Sistema diseñado para realizar funciones frecuentemente en un proceso en tiempo real.

**Energía eléctrica:** Energía que resulta de la existencia de una diferencia de potencia entre dos puntos que permiten establecer una corriente por medio de un conductor.

**Energía potencia:** Energía que mide la capacidad de un sistema para realizar un trabajo.

**Etimológicamente:** Conservación de su palabra original y sus formas existentes que se pueden derivar teniendo en cuenta una estructura adecuada a lo que se va a decir o hacer.

**Encauzada:** Dirigir el flujo (agua) así un lugar específico que sea requerido en el momento de accionar o activar una turbina hidráulica para su generación.

**Ensambladas:** Elementos o partes que son necesarias para la unión en diferentes estructuras o diseños que necesiten juntarse o ajustarse a especificaciones técnicas.

**Estáticamente:** El equilibrio que es necesario en el estudio o dimensionamiento ya sea de una turbina o piezas en particular con el fin de centrarle al acoplar dos objetos requeridos ya sea una entrada de flujo de caudal a los álabes de la turbina.

**Erosión:** Desgaste de los materiales en diferentes piezas que están sometidas a fricción. Ejemplo: álabes de una turbina con el tiempo puede tener menor o mayor desgastes para su generación eléctrica.

## **F**

**Factibilidad:** Se refiere a que mecanismos necesitamos conocer para poder implementar un tema seleccionado por un individuo llegando a la conclusión del sí se puede o no se puede poner en funcionamiento dicho proyecto.

**Fricción:** Rose que tienen dos objetos o que producen al momento de realizar un contacto existente pudiendo ser la fricción que produce el agua al transportarse por la tubería.

## **H**

**Hélices:** Proceso giratorio que consta de una radio y sus diferentes palas en un eje centrado lo cual nos permite mover el agua produciéndonos una velocidad y presión constante del agua.

## **I**

**Incompresible:** Elementos que no podemos reducir más de lo normal en este caso podemos decir que si hablamos del fluido no debe exceder límites tan bajos de lo asignado.

**Interactúan:** Diferentes elementos o conjuntos que se acoplan tanto a una máquina como a varios procesos de control.

**Inyectores:** Dispositivo o elemento mecánico que nos permite mediante el paso del caudal por tubería direccionar e inyectar el fluido a los diferentes rodets de la turbina.

## **M**

**Movimiento rotativo:** Movimiento con cambio de orientación de un cuerpo con referencia a un punto.

## **P**

**Periferia:** Contorno de un círculo el cual esta implementado los diferentes alabes de una turbina.

**Poliepóxido:** Polímero termoestable que se endurece cuando se mezcla con un agente catalizador o endurecedor.

**Propulsa:** Dirigirse de un lugar a otro con una velocidad y tiempo constante.

## **R**

**Regulación:** Someter o ajustar el proceso o accionamiento del caudal a la bomba centrífuga.

**Rendimiento:** Depende de la velocidad del equipo o elemento que vamos a aplicar para una generación eléctrica.

**Rodete:** Es una pieza de un contorno circular estructurado por normas.

## **T**

**Tecnificación:** Dotación de recursos técnicos a una actividad determinada para mejorarla o modernizarla.

**Turbomáquinas:** Es una máquina que contiene elementos como las paletas, rodete siendo el agua el causante de giro al accionar un proceso de generación eléctrica.

**Trasiega:** Transportar el caudal de un lugar al otro por medio de los ríos y quebradas.

## BIBLIOGRAFÍA

### CITADAS

- BETANCOURT, Marcelo. (2007). *Diseño de un módulo interactivo de generación hidráulica de energía eléctrica*, Pereira.
- FENÓMENOS DE TRANSPORTE (2005), *Turbomáquinas*, Recuperado el 16 de Noviembre de 2015, de:  
[http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F\\_DE\\_T-164.htm](http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F_DE_T-164.htm)
- GONZÁLEZ P. José. (2006). *Turbomáquinas*. Gijón.
- HERNÁNDEZ SAMPIERI, R., FERNÁNDEZ COLLADO, C., & BAPTISTA LUCIO, P. (2006). *Metodología De La Investigación*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- MANTILLA M. Julián. (2012). *Construcción de un banco de pruebas para una turbina hidráulica LH 1000*. Bucaramanga.
- MONTAÑO. Henry. (2011). *Transformadores*. Colombia.
- PORRAS, Edwin. R. (2011). *Estudio en el banco de pruebas “tutor” para determinar la potencia y eficiencia de las turbinas Pelton y Francis en la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica*. Universidad Técnica de Ambato.
- SEVILLANO C. Fernando. (2010). *Variadores de frecuencia*. España.
- UCHUARY, Ángel. D. (2013). *Rehabilitación de un banco de pruebas para estudio de bombas centrífugas y adecuación del banco para el estudio de turbinas tipo turgo*. Universidad Técnica Particular de Loja.

## **CONSULTADAS**

- BERNAL, C. A. (2006). *Metodología De La Investigación*. México: Pearson Educación.
- ENTE VASCO DE LA ENERGÍA (1995), *Minihidráulica en el País Vasco*, Recuperado el 17 de Noviembre de 2015, de:  
<http://www.eve.eus/CMSPages/GetFile.aspx?guid=811f3886-0ab2-4a01-ad2b-04cafa707466>
- LEIVA ZEA, F. (2008). *Nociones De Metodología De Investigación Científica*. Quito: Grupo Leer.
- TENORIO, NESTOR. G. (2005). *Diseño e implementación de un prototipo de una Pico-Central Hidráulica para uso Rural*. Escuela Politécnica del Ejército. Latacunga.
- VÁSQUEZ DE LEÓN. JOSÉ. D. (2007). *Micro-Hidroeléctrica tipo Michell-Banki, funcionamiento, mantenimiento y componentes*. Universidad de San Carlos. Guatemala.

## **BIBLIOGRAFÍA EN LINEA**

- *Polígonos regulares*, Recuperado 7 de enero 2016, de:  
[\(https://educacionplasticayvisualeso.wordpress.com/2013/02/13/poligonos-inscritos-circunferencias/\)](https://educacionplasticayvisualeso.wordpress.com/2013/02/13/poligonos-inscritos-circunferencias/)
- WILLO PUMPERS INTELLIGENZ (2005), *Principios fundamentales de las bombas centrífugas*, Recuperado el 2 de Diciembre de 2016, de:  
[http://www.wilo.es/fileadmin/es/Downloads/pdf\\_entero.pdf](http://www.wilo.es/fileadmin/es/Downloads/pdf_entero.pdf)  
<http://www.artinaid.com/2013/04/que-es-un-generador-electrico/>
- TUTORIAL DE LABVIEW. (2011). *Tutoriales del Software LabVIEW*. Recuperado el 24 de noviembre 2015 de:  
<http://www.esi2.us.es/~asun/LCPC06/TutorialLabview.pdf>

# ANEXOS

## ANEXO A

### ENCUESTA REALIZADA A LA POBRACIÓN INVOLUCRADA

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b> UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS CARREA EN ELÉCTROMECAÁNICA		
<b>ENCUESTA</b>			
La encuesta, se aplicará a estudiantes de séptimo, octavo y noveno de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.			
<b>DESCRIPCIÓN</b>			
Esta encuesta está diseñada para evaluar el grado de conocimiento que tienen los estudiantes acerca de generación hidroeléctrica utilizando las turbinas Pelton y Kaplan.			
<b>BANCO DE PREGUNTAS</b>			
Marque con una <b>X</b> en el casillero que usted considere adecuado.			
N°	PREGUNTA	SI	NO
1	¿Conoce usted acerca de las características de funcionamiento de una turbina Pelton?		
2	¿Conoce usted acerca de las características de funcionamiento de una turbina Kaplan?		
3	¿Conoce usted acerca de los parámetros eléctricos a controlarse en una central de generación eléctrica?		
4	¿Conoce usted acerca de la utilización del programa LabVIEW como plataforma de programación para visualizar variables de funcionamiento de las turbinas Pelton y Kaplan?		
5	¿Cree usted que sin la implementación de un banco de pruebas se puede visualizar variables de funcionamiento en tiempo real?		
6	¿Cree usted que un banco de pruebas para comparar eficiencia entre turbinas corrobore a reforzar sus conocimientos?		
7	¿Le gustaría tener a su alcance un banco de pruebas para manipular y visualizar variables de funcionamiento en tiempo real?		
<b>¡GRACIAS POR SU COLABORACION!</b>			

## ANEXO B

### TABLA DE FRECUENCIAS POR CHI-CUADRADO

#### Test de frecuencia por Chi-Cuadrado Tabla de distribución Chi de Pearson con n grados de libertad

n	$\alpha$									
	0'995	0'990	0'975	0'950	0'900	0'100	0'050	0'025	0'010	0'005
1	0'0000	0'0002	0'0010	0'0039	0'0158	2'706	3'841	5'024	6'635	7'879
2	0'0100	0'0201	0'0506	0'1026	0'2107	4'605	5'991	7'378	9'210	10'597
3	0'0717	0'1148	0'2158	0'3518	0'5844	6'251	7'815	9'348	11'345	12'838
4	0'2070	0'2971	0'4844	0'7107	1'0636	7'779	9'488	11'143	13'277	14'860
5	0'4118	0'5543	0'8312	1'1455	1'6103	9'236	11'070	12'832	15'086	16'750
6	0'6757	0'8721	1'2373	1'6354	2'2041	10'645	12'592	14'449	16'812	18'548
7	0'9893	1'2390	1'6899	2'1673	2'8331	12'017	14'067	16'013	18'475	20'278
8	1'3444	1'6465	2'1797	2'7326	3'4895	13'362	15'507	17'535	20'090	21'955
9	1'7349	2'0879	2'7004	3'3251	4'1682	14'684	16'919	19'023	21'666	23'580
10	2'1558	2'5582	3'2470	3'9403	4'8652	15'987	18'307	20'483	23'209	25'188
11	2'6032	3'0535	3'8157	4'5748	5'5778	17'275	19'675	21'920	24'725	26'757
12	3'0738	3'5706	4'4038	5'2260	6'3038	18'549	21'026	23'337	26'217	28'300
13	3'5650	4'1069	5'0087	5'8919	7'0415	19'812	22'362	24'736	27'688	29'819
14	4'0747	4'6604	5'6287	6'5706	7'7895	21'064	23'685	26'119	29'141	31'319
15	4'6009	5'2294	6'2621	7'2609	8'5468	22'307	24'996	27'488	30'578	32'801
16	5'1422	5'8122	6'9077	7'9616	9'3122	23'542	26'296	28'845	32'000	34'267
17	5'6973	6'4077	7'5642	8'6718	10'085	24'769	27'587	30'191	33'409	35'718
18	6'2648	7'0149	8'2307	9'3904	10'865	25'989	28'869	31'526	34'805	37'156
19	6'8439	7'6327	8'9065	10'117	11'651	27'204	30'144	32'852	36'191	38'582
20	7'4338	8'2604	9'5908	10'851	12'443	28'412	31'410	34'170	37'566	39'997
21	8'0336	8'8972	10'283	11'591	13'240	29'615	32'671	35'479	38'932	41'401
22	8'6427	9'5425	10'982	12'338	14'042	30'813	33'924	36'781	40'289	42'796
23	9'2604	10'196	11'689	13'091	14'848	32'007	35'172	38'076	41'638	44'181
24	9'8862	10'856	12'401	13'848	15'659	33'196	36'415	39'364	42'980	45'558
25	10'520	11'524	13'120	14'611	16'473	34'382	37'652	40'646	44'314	46'928
26	11'160	12'198	13'844	15'379	17'292	35'563	38'885	41'923	45'642	48'290
27	11'808	12'879	14'573	16'151	18'114	36'741	40'113	43'195	46'963	49'645
28	12'461	13'565	15'308	16'928	18'939	37'916	41'337	44'461	48'278	50'994
29	13'121	14'256	16'047	17'708	19'768	39'087	42'557	45'722	49'588	52'335
30	13'787	14'954	16'791	18'493	20'599	40'256	43'773	46'979	50'892	53'672



FUENTE: (<http://image.slidesharecdn.com/desarrolloasignatura-140626090051-phpapp01/95/simulacin-teora-y-aplicaciones-con-promodel-23-638.jpg?cb=1403773511>)

**ANEXO C**

**MANUAL DE GUÍAS PRÁCTICAS**

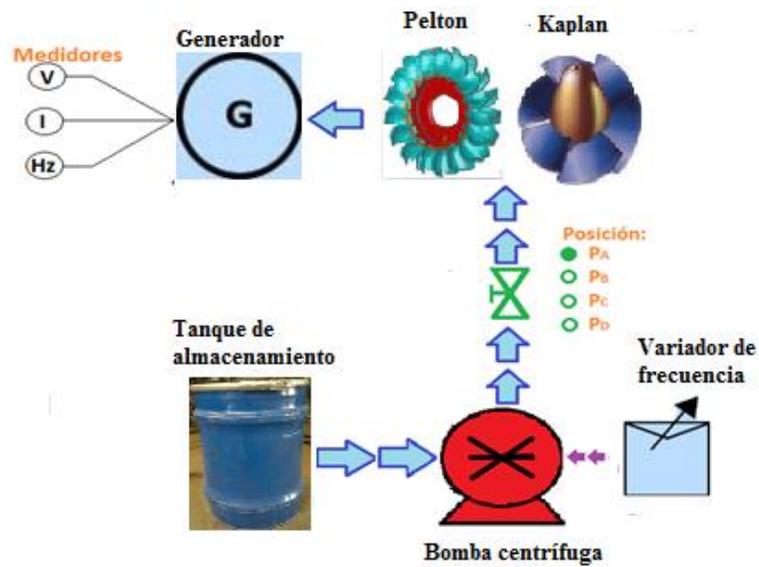
<b>ANEXO C</b>	<b>GENERACIÓN ELÉCTRICA</b>	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI UNIDAD ACADÉMICA CIYA INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA</b>
--------------------	---------------------------------	---

**MANUAL DE GUÍAS PRÁCTICAS  
DEL BANCO DE PRUEBAS PARA  
ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE LAS  
TURBINAS PELTON Y KAPLAN**



ANEXO  C	GENERACIÓN  ELÉCTRICA	UNIVERSIDAD  TÉCNICA DE  COTOPAXI
<p style="text-align: center;"><b>PRÁCTICA N° 1</b></p> <p style="text-align: center;"><b>TEMA: CONTROL DE LA FRECUENCIA DE LA BOMBA CENTRÍFUGA Y GENERACIÓN EN VACIO</b></p> <p><b>OBJETIVO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Variar la frecuencia de la bomba centrífuga con el fin de analizar las variables de generación en vacío.</li> </ul> <p><b>EQUIPOS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Banco de Pruebas</li> <li>- Software LabVIEW</li> </ul> <p><b>DESARROLLO:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Verificar el nivel de agua del tanque de almacenamiento.</li> <li>2. Verificar que las cargas no se encuentren activas</li> <li>3. Verificar que la válvula este en posición abierta (<math>P_A</math>)</li> <li>4. Seleccionar con cuál de las turbinas va a trabajar primero.</li> <li>5. Poner en marcha el banco de pruebas y encender el software LabVIEW</li> <li>6. En el Variador seleccionar las frecuencias de la bomba centrífuga (40 Hz, 50Hz, 60Hz, 70Hz), y tomar los datos indicados en los medidores del banco de pruebas en las tablas 1y 2, y verificar con el software LabVIEW.</li> <li>7. Colocar con el variador a la frecuencia a la nominal y apagar el módulo.</li> <li>8. Realizar el mismo proceso con las dos turbinas.</li> </ol>		

## GRÁFICOS:



## CUESTIONARIO:

1. ¿Defina la función del variador de frecuencia?
2. ¿Al variar la frecuencia de la bomba defina qué fue lo que experimentó?
3. Complete los valores de las tablas 1 y 2, con los datos obtenidos en los medidores del banco de pruebas.

**TABLA 1. DATOS TURBINA PELTON**

Frecuencia de la bomba centrífuga	Frecuencia (f)	Voltaje (V)	Intensidad (I)
40 Hz			
50 Hz			
60 Hz			
70 Hz			

**TABLA 2. DATOS TURBINA KAPLAN**

<b>Frecuencia de la bomba centrífuga</b>	<b>Frecuencia (f)</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Intensidad (I)</b>
<b>40 Hz</b>			
<b>50 Hz</b>			
<b>60 Hz</b>			
<b>70 Hz</b>			

**CONCLUSIONES:**

.....  
.....  
.....

**RECOMENDACIONES:**

.....  
.....  
.....

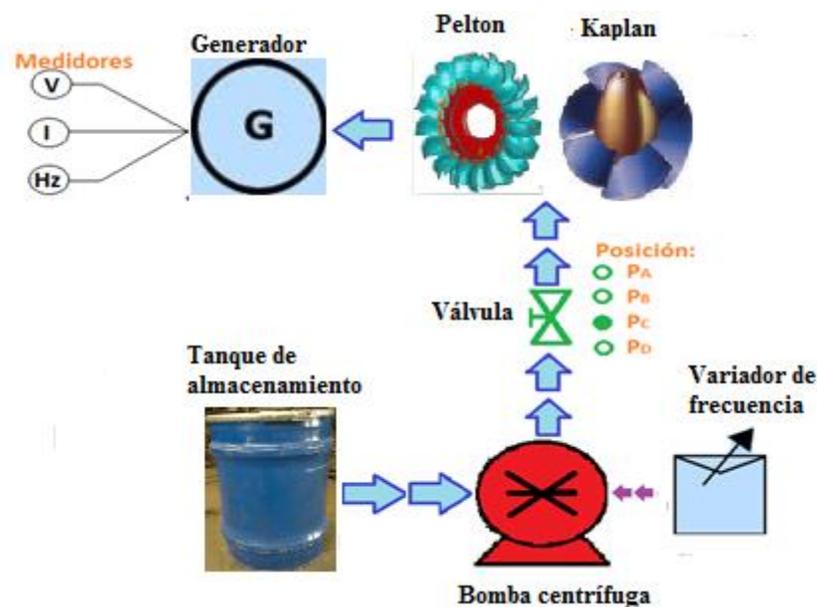
**BIBLIOGRAFÍA:**

Sistemas de Regulación y Control Automáticos, *Variadores de frecuencia*.  
[http://ingenieros.es/files/proyectos/Variadores\\_de\\_frecuencia.pdf](http://ingenieros.es/files/proyectos/Variadores_de_frecuencia.pdf)

ANEXO  C	GENERACIÓN ELÉCTRICA	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
<p style="text-align: center;"><b>PRÁCTICA N° 2</b></p> <p><b>TEMA:</b> GENERACIÓN ELÉCTRICA EN VACIO, CON ALTAS Y BAJAS FRECUENCIAS EN LA BOMBA CENTRÍFUGA Y LA VÁLVULA EN LA POSICIÓN Pc.</p> <p><b>OBJETIVO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Comprender el comportamiento de las variables de generación eléctrica en vacío, con altas y bajas frecuencias en la bomba centrífuga y la válvula en la posición Pc.</li> </ul> <p><b>CONTENIDO CIENTÍFICO:</b></p> <p>Al aumentar y disminuir la frecuencia en la bomba centrífuga se requiere disminuir y elevar el fluido que circula por la tubería, así como también con la maniobra en la válvula provocar un crecimiento y decrecimiento considerable de presión.</p> <p><b>EQUIPOS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Banco de Pruebas</li> <li>- Software LabVIEW</li> </ul> <p><b>DESARROLLO:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Verificar el nivel de agua del tanque de almacenamiento.</li> <li>2. Verificar que las cargas no se encuentren activas.</li> <li>3. Verificar que la válvula se encuentre en posición semi-abierta (Pc)</li> <li>4. Seleccionar con cuál de las turbinas va a trabajar primero.</li> </ol>		

5. Poner en marcha el banco de pruebas y encender el software LabVIEW
6. En el Variador seleccionar las frecuencias de la bomba centrífuga bajas (35 Hz, 40Hz, 45Hz), altas (65 Hz, 68Hz, 70Hz) y tomar los datos indicados en los medidores del banco de pruebas en las tablas 3 y 4, y verificar con el software LabVIEW.
7. Colocar con el variador a la frecuencia a la nominal y apagar el módulo.
8. Realizar el mismo proceso con las dos turbinas.

### GRÁFICOS:



### CUESTIONARIO:

1. ¿Defina presión, caudal y válvula de control?
2. ¿Qué observo usted mientras disminuía y aumentaba los valores de la frecuencia en la bomba centrífuga?
3. Complete los valores de las tablas 3 y 4, con los datos obtenidos en los medidores del banco de pruebas.

**TABLA 3. DATOS TURBINA PELTON**

<b>Válvula</b>	<b>Frecuencia de la bomba centrífuga</b>	<b>Frecuencia (f)</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Intensidad (I)</b>
<b>Bajas frecuencias</b>				
S-A (P <sub>C</sub> )	<b>35 Hz</b>			
S-A (P <sub>C</sub> )	<b>40 Hz</b>			
S-A (P <sub>C</sub> )	<b>45 Hz</b>			
<b>Altas frecuencias</b>				
S-A (P <sub>C</sub> )	<b>65 Hz</b>			
S-A (P <sub>C</sub> )	<b>68 Hz</b>			
S-A (P <sub>C</sub> )	<b>70 Hz</b>			

**TABLA 4. DATOS TURBINA KAPLAN**

<b>Válvula</b>	<b>Frecuencia de la bomba centrífuga</b>	<b>Frecuencia (f)</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Intensidad (I)</b>
<b>Bajas frecuencias</b>				
S-A (P <sub>C</sub> )	<b>35 Hz</b>			
S-A (P <sub>C</sub> )	<b>40 Hz</b>			
S-A (P <sub>C</sub> )	<b>45 Hz</b>			
<b>Altas frecuencias</b>				
S-A (P <sub>C</sub> )	<b>65 Hz</b>			
S-A (P <sub>C</sub> )	<b>68 Hz</b>			
S-A (P <sub>C</sub> )	<b>70 Hz</b>			

**CONCLUSIONES:**

.....

.....

.....

**RECOMENDACIONES:**

.....  
.....  
.....

**BIBLIOGRAFÍA:**

Manual de Instrucciones y Mantenimiento.

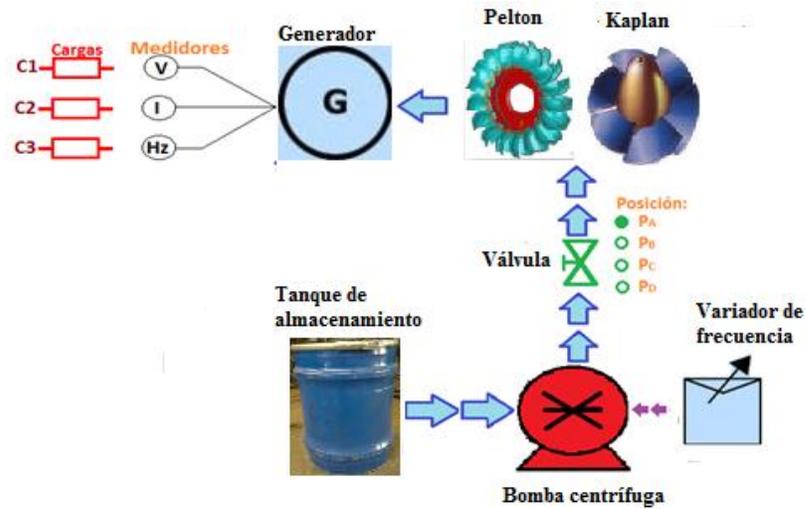
[http://www.fristam.com/DesktopModules/Bring2mind/DMX/Download.aspx?Command=Core\\_Download&EntryId=361&PortalId=0&TabId=305](http://www.fristam.com/DesktopModules/Bring2mind/DMX/Download.aspx?Command=Core_Download&EntryId=361&PortalId=0&TabId=305)

ANEXO  C	GENERACIÓN  ELÉCTRICA	UNIVERSIDAD  TÉCNICA DE COTOPAXI
<p><b>PRÁCTICA N° 3</b></p> <p><b>TEMA: GENERACIÓN ELÉCTRICA CON CARGAS ACTIVAS</b></p> <p><b>OBJETIVO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Analizar el comportamiento de las variables de generación eléctrica con cargas activas.</li> </ul> <p><b>CONTENIDO CIENTÍFICO:</b></p> <p><b>Energía eléctrica:</b> Se denomina energía eléctrica a la forma de energía que resulta de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, lo que permite establecer una corriente eléctrica entre ambos cuando se los pone en contacto por medio de un conductor eléctrico.</p> <p><b>EQUIPOS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Banco de Pruebas</li> <li>- Software LabVIEW</li> </ul> <p><b>DESARROLLO:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Verificar el nivel de agua del tanque de almacenamiento.</li> <li>2. Verificar que las cargas no se encuentren activas.</li> <li>3. Verificar que la válvula se encuentre en posición (<math>P_A</math>)</li> <li>4. Seleccionar con cuál de las turbinas va a trabajar primero.</li> <li>5. Poner en marcha el banco de pruebas y encender el software LabVIEW</li> <li>6. Activar las cargas (C1), (C1+C3), (C1+C2+C3), respectivamente y tomar los</li> </ol>		

datos adquiridos de los medidores del banco de pruebas y anotar en las tablas 5 y 6 y verificar con el software LabVIEW.

7. Desactivar las cargas y apagar el banco de pruebas.
8. Realizar el mismo proceso con las dos turbinas

### GRÁFICOS:



### CUESTIONARIO:

1. ¿Defina el concepto de carga?
2. ¿Describa lo ocurrido al maniobrar las cargas del banco de pruebas?
3. Complete los valores de las tablas 5 y 6, con los datos obtenidos en los medidores del banco de pruebas.

**TABLA 5. DATOS TURBINA PELTON**

Cargas Activas	Frecuencia (f)	Voltaje (V)	Intensidad (I)
C1			
C1+C3			
C1 + C2 + C3			

**TABLA 6. DATOS TURBINA KAPLAN**

<b>Cargas Activas</b>	<b>Frecuencia (f)</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Intensidad (I)</b>
<b>C1</b>			
<b>C1+C3</b>			
<b>C1 + C2 + C3</b>			

**CONCLUSIONES:**

.....  
.....  
.....

**RECOMENDACIONES:**

.....  
.....  
.....

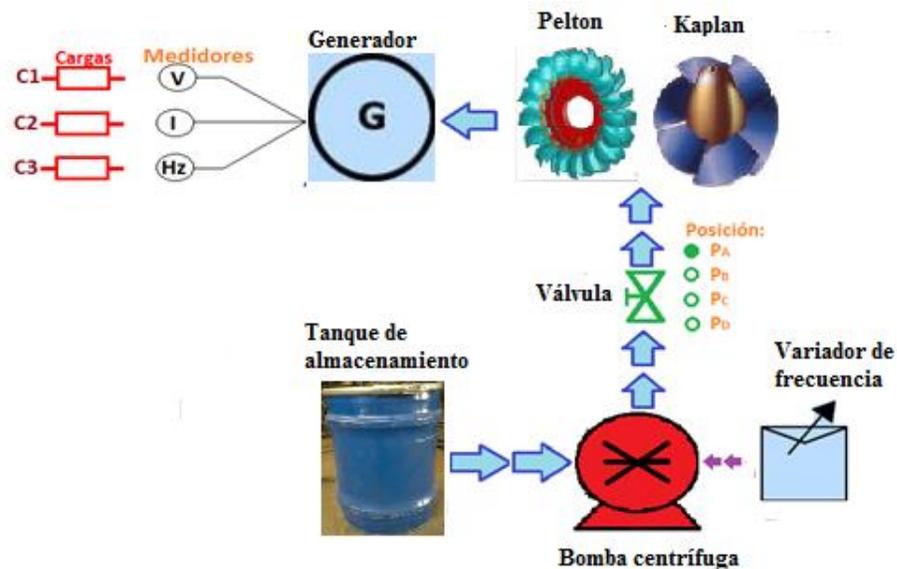
**BIBLIOGRAFÍA:**

Energía eléctrica. [https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa\\_el%C3%A9ctrica](https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_el%C3%A9ctrica)

ANEXO  C	GENERACIÓN ELÉCTRICA	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
<p><b>PRÁCTICA N° 4</b></p> <p><b>TEMA:</b> GENERACIÓN ELÉCTRICA CON CARGAS ACTIVAS, CON ALTA Y BAJA FRECUENCIA EN LA BOMBA CENTRÍFUGA Y LA VÁLVULA EN LA POSICIÓN <math>P_A</math>.</p> <p><b>OBJETIVO:</b></p> <p>Comprender el comportamiento de las variables de generación eléctrica con cargas activas, con altas y bajas frecuencias en la bomba centrífuga y la válvula en la posición <math>P_A</math>.</p> <p><b>CONTENIDO CIENTÍFICO:</b></p> <p><b>Frecuencia inestable:</b> Un descenso marcado de la frecuencia provoca sobrecalentamiento de los motores, no por incrementos en la corriente activa, sino por aumento del reactivo.</p> <p><b>EQUIPOS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Banco de Pruebas</li> <li>- Software LabVIEW</li> </ul> <p><b>DESARROLLO:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Verificar el nivel de agua del tanque de almacenamiento.</li> <li>2. Verificar que las cargas no se encuentren activas.</li> <li>3. Verificar que la válvula se encuentre en posición (<math>P_A</math>)</li> <li>4. Seleccionar con cuál de las turbinas va a trabajar primero.</li> </ol>		

5. En el Variador seleccionar las frecuencias de la bomba centrífuga baja (50Hz), alta (70Hz) y tomar los datos indicados en los medidores del banco de pruebas en las tablas 7 y 8, y verificar con el software LabVIEW.
6. Poner en marcha el banco de pruebas y encender el software LabVIEW
7. Activar las cargas (C1), (C1+C3), (C1+C2+C3), respectivamente y tomar los datos adquiridos de los medidores del banco de pruebas y anotar en las tablas 7 y 8 y verificar con el software LabVIEW.
8. Desactivar las cargas, colocar el variador en su frecuencia nominal y apagar el banco de pruebas.
9. Realizar el mismo proceso con las dos turbinas

### GRÁFICOS:



### CUESTIONARIO:

1. ¿Defina voltaje generado?
2. ¿Describa lo ocurrido en las variables al no contar con una frecuencia estable?
3. Complete los valores de las tablas 7 y 8, con los datos obtenidos en los medidores del banco de pruebas.

**TABLA 7: DATOS TURBINA PELTON**

<b>Frecuencia de la bomba centrífuga</b>	<b>Cargas Activas</b>	<b>Frecuencia (f)</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Intensidad (I)</b>
<b>Baja frecuencia</b>				
50 Hz	C1			
50 Hz	C1 + C3			
50 Hz	C1 + C2 + C3			
<b>Alta frecuencia</b>				
70 Hz	C1			
70 Hz	C1 + C3			
70 Hz	C1 + C2 + C3			

**TABLA 8: DATOS TURBINA KAPLAN**

<b>Frecuencia de la bomba centrífuga</b>	<b>Cargas Activas</b>	<b>Frecuencia (f)</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Intensidad (I)</b>
<b>Baja frecuencia</b>				
50 Hz	C1			
50 Hz	C1 + C3			
50 Hz	C1 + C2 + C3			
<b>Alta frecuencia</b>				
70 Hz	C1			
70 Hz	C1 + C3			
70 Hz	C1 + C2 + C3			

**CONCLUSIONES:**

.....

.....

.....

**RECOMENDACIONES:**

.....  
.....  
.....

**BIBLIOGRAFÍA:**

Estabilidad de frecuencia.

[http://biblioteca.cenace.org.ec/jspui/bitstream/123456789/826/15/EstabilidadFrecuencia\\_1.pdf](http://biblioteca.cenace.org.ec/jspui/bitstream/123456789/826/15/EstabilidadFrecuencia_1.pdf)

**ANEXO D**

**MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

**ANEXO D**

**MANUAL DE OPERACIÓN Y  
MANTENIMIENTO**

**1 de 7**



**MANUAL DE OPERACIÓN Y  
MANTENIMIENTO DEL BANCO DE  
PRUEBAS PARA EL ANÁLISIS DE  
EFICIENCIA DE LAS TURBINAS  
HIDRÁULICAS PELTON Y KAPLAN**

**LATACUNGA - ECUADOR**

**2016**

**ÍNDICE DE CONTENIDOS****1. INSTRUCCIONES DE OPERACIÓN**

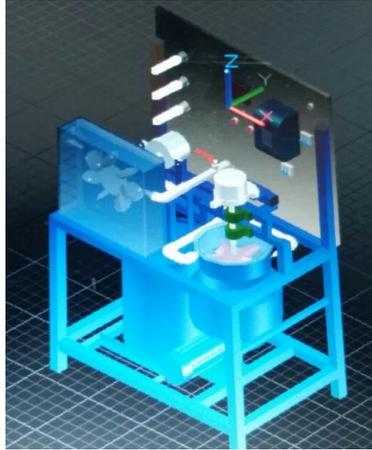
- 1.1. Detalles del banco de pruebas
- 1.2. Normas de Seguridad.
- 1.3 Finalidad del banco de pruebas
- 1.4 Manejo del banco de pruebas

**2. INSTRUCCIONES DE MANTENIMIENTO**

- 2.1. Inspecciones
- 2.2. Ajustes
- 2.3. Mantenimiento mecánico
- 2.4. Mantenimiento eléctrico

## 1. INSTRUCCIONES DE OPERACIÓN

### 1.1. Detalles del banco de pruebas



El banco de pruebas está a disposición de los docentes y alumnos en el laboratorio de Ingeniería Electromecánica de la Unidad Académica CIYA de la Universidad Técnica de Cotopaxi, el cual tiene como objetivo mostrar principios de generación hidroeléctrica mediante una fuente de energía renovable en este caso el recurso hídrico (agua), permitiéndole a los estudiantes interactuar directamente con los elementos de control para visualizar el comportamiento de las variables eléctricas que interactúan en dicho proceso de generación.

### 1.2. Normas de Seguridad.

- Antes de realizar la manipulación del banco de pruebas realizar una inspección, asegurándose de que todo se encuentre en perfecto estado.
- La operación del banco de pruebas tienen que ser supervisados por un docente o personal debidamente calificado con conocimientos en dicho proceso.
- El operador u operadores deben tener en cuenta la vestimenta de laboratorio

<b>ANEXO D</b>	<b>MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO</b>	<b>4 de 7</b>
<p>(mandil, guantes, gafas, calzado, entre otros), con el propósito de preservar su integridad y la de los demás.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El operador u operadores deben tener en cuenta que todas las conexiones y accesorios estén correctamente conectados.</li> <li>- No ingresar con alimentos a realizar las prácticas en el banco de pruebas para no provocar daños personales y materiales.</li> <li>- Al finalizar las practicas limpiar el banco de pruebas y asegurarse de que todo quede en perfectas condiciones para posteriores utilizaciones.</li> </ul> <p><b>1.3.Finalidad del banco de pruebas</b></p> <p>El banco de pruebas tiene como finalidad ser utilizado por docentes y estudiantes como plataforma de experimentación de prácticas de desarrollo. Brinda una forma de comprobación rigurosa, transparente y repetible de teorías científicas, elementos computacionales y otras tecnologías. El banco de pruebas es implementado como un entorno de pruebas de verificaciones prácticas de asignaturas impartidas en la malla curricular de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.</p> <p><b>1.4.Manejo del banco de pruebas</b></p> <p>Una vez realizado todas las inspecciones del banco de pruebas asegurándose que se encuentren en buen estado es importante asegurarse que las llaves de bola se encuentren cerradas para las dos turbinas. Se debe conectar la alimentación de la línea eléctrica al banco de pruebas, dicha conexión brinda la energía que se transporta hacia la caja de protecciones donde se tiene el encendido de la bomba, el paro de emergencia del sistema.</p>		

<b>ANEXO D</b>	<b>MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO</b>	<b>5 de 7</b>
<p>Una vez encendida la bomba se selecciona la turbina con la que se va a trabajar con los selectores ubicados en el tablero del banco de pruebas, ya que los alternadores de imanes permanentes se encuentran conectados a los contactores de selección individual de las turbinas. Se enciende el tablero de control con el breaker que se encuentra en el tablero, se programa los parámetros de funcionamiento de la bomba centrífuga con el variador de frecuencia, una vez realizado la programación de las practicas se abre la llave de bola de la turbina seleccionada entonces se podrá observar las variables eléctricas en el Sentron Pac3100, con dicho proceso finalmente se puede observar en el ordenador donde se tiene la programación en el Software LabVIEW. Una vez realizada la práctica con la turbina seleccionada se cierra la llave de bola de dicha turbina. Se selecciona la siguiente turbina con el selector de mando de los contactores para trabajar siguiendo el mismo proceso con la otra turbina del banco de pruebas. Una vez finalizada las prácticas en las dos turbinas se apaga el talero de control y la bomba respectivamente.</p> <p><b>2. INSTRUCCIONES DE MANTENIMIENTO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Inspecciones</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Se debe inspeccionar todas las instalaciones, equipos y procesos en funcionamiento normal y en todas las variaciones posibles.</li> <li>- Las inspecciones deben realizarse teniendo en cuenta aspectos materiales y técnicos siguiendo las medidas preventivas en todos los procesos.</li> <li>- Se tiene que realizar una inspección antes y después de realizar una práctica con el fin de preservar la seguridad de las personas y los equipos.</li> </ul> </li> </ul>		

<b>ANEXO D</b>	<b>MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO</b>	<b>6 de 7</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Ajustes</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Se debe realizar los respectivos ajustes tanto en la parte eléctrica como en la parte mecánica de banco de pruebas como por ejemplo tornillos tirafondos de los contactores, variador de frecuencia, selectores y en la parte mecánica en los pernos de sujeción de las chumaceras de soporte de las turbinas, en los pernos de ajuste de la bomba, en los pernos de sujeción de los alternadores de imanes permanentes.</li> </ul> </li> </ul> <p><b>2.1.Mantenimiento mecánico</b></p> <p>El mantenimiento de una bomba principalmente se basa en:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Revisión de rodamientos cada 100 horas de operación.</li> <li>- Revisión del depósito de agua no contenga impurezas para evitar un colapso de impulsión de fluido.</li> </ul> <p>En caso de perder presión en la bomba se debe desmontar la parte frontal donde se encuentra ubicada la turbina de la bomba.</p> <p>En el desmontaje se tiene en cuenta la ubicación de la tubería de presión y accesorios que al montarlos queden en completamente alineados como antes de desmontar.</p> <p>El mantenimiento en las llaves de bola inyectores y tuberías:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- En caso de sustituir las llaves de bola, inyectores o tuberías se debe tener en cuenta todas las conexiones antes de desmontar para el mantenimiento o reemplazo se tiene que utilizar llaves de pico.</li> </ul>		

ANEXO D	MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	7 de 7
<p>- En caso de reemplazar codos, llaves universales, neplos, se deben sustituirlas por unas de las mismas características.</p> <p>El mantenimiento en las chumaceras se realiza cuando:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Exista exceso de ruido en el eje.</li> <li>- Exista una deformación en dicho elemento.</li> <li>- Exista daños en los rodamientos.</li> </ul> <p>Al reemplazar dicho elemento referenciar o señalar la ubicación para no o desalinear el eje de las turbinas tanto en la parte horizontal como en la parte vertical.</p> <p>El mantenimiento de los pernos de sujeción se realiza:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cuando se encuentren deformados.</li> <li>- Cuando se encuentren aislados.</li> <li>- Cuando pierdan sus propiedades de sujeción.</li> </ul> <p>Utilizar las llaves correspondientes para cada reemplazo de los pernos.</p> <p><b>2.2.Mantenimiento eléctrico</b></p> <p>El mantenimiento eléctrico en el banco de pruebas se basa principalmente en:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ajustes de las conexiones eléctricas tanto en borneras como en sus dispositivos electrónicos.</li> <li>- Limpieza de contactos de los dispositivos electrónicos.</li> <li>- Mediciones de propiedades de cada dispositivo eléctrico.</li> </ul> <p>En caso de reemplazar los dispositivos eléctricos hacerlo con instrumentos de las mismas características del que se encuentra montado en el banco de pruebas.</p>		

**ANEXO E**

**PLANOS MECÁNICOS DEL BANCO DE PRUEBAS**

**PARA ANÁLISIS DE EFICIENCIA**

**DE LAS TURBINA SHIDRÁULICAS**

**PELTON Y KAPLAN**

**ANEXO E**

**PLANO ELÉCTRICO DEL BANCO DE PRUEBAS**

**PARA ANÁLISIS DE EFICIENCIA**

**DE LAS TURBINA SHIDRÁULICAS**

**PELTON Y KAPLAN**