



# **Banco de prueba para determinación de las curvas de Eficiencia de las Turbinas Pelton Universidad Antonio Nariño de Neiva-Huila sede Buganviles**

**OLVER FRANCISCO ALARCÓN COVALEDA**

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Neiva, Colombia  
2020



# **Banco de prueba para determinación de las curvas de Eficiencia de las Turbinas Pelton Universidad Antonio Nariño de Neiva-Huila sede Buganviles**

**OLVER FRANCISCO ALARCÓN COVALEDA**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Ingeniero Mecánico**

Director (a):

Ingeniero Mecánico Karel Joel Arencibia Avila. PhD

Línea de Investigación:

REM

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Neiva-Huila, Colombia

2020



*"La vida es tan efímera como para desgastarla  
apegados a falsas ilusiones que nos impiden  
ver lo verdaderamente positivo, bello y amable  
que esta tiene".*

*- Olver Francisco Alarcón.*

# Agradecimientos

Primeramente, a Dios por brindarme la oportunidad de vivir una experiencia única, la cual es poder culminar uno de los primeros objetivos de vida que me he propuesto, en segunda instancia agradezco a mis dos abuelos LUZ MARINA OROZCO CORTÉS y OLIVERIO ALARCÓN QUINTERO, quienes me han guiado en mi desarrollo intelectual y aportado todo su amor en mi vida y todo su apoyo incondicional.

A mi novia VICKY YUSED SANDOVAL RODRÍGUEZ, quien por su perseverancia y paciencia me ha enseñado a cumplir con mis metas y objetivos, gracias a su amor incondicional he podido superarme más como persona sin importar el obstáculo que se presente, pues sé que siempre estará para mí.

A el ingeniero KAREL JOEL ARENCIBIA AVILA por estar en la batalla conmigo, por no rendirse y sobre todo por cada uno de sus consejos, aparte de ser un maestro es un amigo incondicional y un excelente guía.

A mi señor padre OLIVER FRANCISCO ALARCON OROZCO, mi hermano JHON ELVIS HERNÁN ALARCÓN y mi tío LEANDRO ALFONSO ALARCÓN por su colaboración en los momentos que los necesite.

A la empresa SERVITEINS J & I S.A.S y su personal calificado, especialmente a su gerente general IVAN CARDOZO BOTELLO por su colaboración y atención a pesar de la adversidad.

A la Universidad Antonio Nariño, en especial al personal de la seccional Neiva que hacen posible un ambiente estudiantil de calidad, a la facultad de ingeniería mecánica, docentes y directivos de la misma.

## Resumen

El banco didáctico hidroeléctrico existente en la Universidad Antonio Nariño de la sede Neiva, no presta servicios actualmente por una serie de roturas, daños y falta de mantenimiento, esta situación imposibilita tanto a estudiantes como profesores realizar las prácticas de laboratorios referidas a diferentes asignaturas. El proyecto de tesis se enfoca en una propuesta de mejora para la recuperación y actualización del banco didáctico hidroeléctrico que existe en la universidad Antonio Nariño seccional Neiva-Huila sede Buganviles. El banco didáctico mejorado permitirá realizar análisis y estudios didácticos de determinación de curvas características en turbinas Pelton para una mejor comprensión de las asignaturas mecánica de los fluidos, máquinas hidráulica y termodinámica fundamentalmente. Para la recuperación del banco didáctico hidroeléctrico se procedió a realizar primeramente una caracterización y diagnóstico, luego se procede a plantear las mejoras técnicas y finalmente, se presenta una guía de prácticas de laboratorio. Una vez desarrollado el mantenimiento e introducidas las mejoras el banco de pruebas y la propuesta de ejercicios a desarrollar, los estudiantes y profesores del programa de ingeniería mecánica de la (UAN) Sede Buganviles dispondrán de mejores condiciones para una mejor comprensión de los conceptos estudiados, teorías presentadas por el profesorado y el logro de las habilidades necesarias para un futuro ingeniero mecánico.

**Palabras claves:** Banco didáctico hidroeléctrico, Turbina Pelton, Curvas características, Guía de laboratorio.

## Abstract

The existing hydroelectric didactic bank at the Antonio Nariño University of the Neiva campus does not currently provide services due to a series of breaks, damage and lack of maintenance, this situation makes it impossible for both students and teachers to carry out laboratory practices related to different subjects. The thesis project focuses on an improvement proposal for the recovery and updating of the hydroelectric didactic bank that exists in the Antonio Nariño university, Neiva-Huila branch, Buganviles headquarters. The improved didactic bench will allow to carry out analysis and didactic studies of determination of characteristic curves in Pelton turbines for a better understanding of the subjects mechanics of fluids, fundamentally hydraulic machines and thermodynamics. For the recovery of the hydroelectric didactic bench, a characterization and diagnosis were first carried out, then the technical improvements were proposed and finally, a laboratory practice guide was presented. Once the maintenance has been developed and the improvements to the test bench and the proposal of exercises to be developed have been introduced, the students and professors of the mechanical engineering program of the Buganviles Headquarters will have better conditions for a better understanding of the concepts studied. theories presented by the faculty and the achievement of the necessary skills for a future mechanical engineer.

**Keywords:** Hydroelectric didactic bank, Pelton turbine, Characteristic curves, Laboratory guide.

# Contenido

	PÁG.
.....	PÁG.
<b>RESUMEN</b> .....	<b>VII</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>VIII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>XI</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	<b>XII</b>
<b>LISTA DE ECUACIONES</b> .....	<b>XIII</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS</b> .....	<b>XIV</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>3</b>
OBJETIVO GENERAL .....	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
<b>ALCANCE</b> .....	<b>4</b>
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>4</b>
<b>1. CAPÍTULO I. MARCO DE REFERENCIA</b> .....	<b>1</b>
1.1. MARCO TEÓRICO .....	1
1.1.1. ENERGÍA HIDRÁULICA .....	1
1.1.2. MÁQUINA HIDRÁULICA.....	1
1.1.3. CLASIFICACIÓN DE LAS TURBOMÁQUINAS HIDRÁULICAS .....	2
1.1.3.1. TURBOMÁQUINAS MOTRICES.....	2
1.1.3.2. TURBOMÁQUINAS GENERATRICES .....	2
1.1.3.3. TURBOMÁQUINAS REVERSIBLES.....	2
1.1.4. TURBINAS HIDRÁULICAS .....	3
1.2. TURBINA PELTON.....	5
1.3. BANCO DIDÁCTICO DE ENSAYOS.....	8
1.4. CURVAS CARACTERÍSTICAS DE EFICIENCIA EN TURBINAS HIDRÁULICA .....	9
1.4.1. CURVAS CARACTERÍSTICAS CAUDAL VS VELOCIDAD UNITARIA .....	9
1.4.2. CURVAS CARACTERÍSTICAS TORQUE VS VELOCIDAD DE ROTACIÓN (RPM) .....	11
1.4.3. CURVAS CARACTERÍSTICAS ALTURA VS POTENCIAL ÚTIL.....	12
1.4.4. CURVAS CARACTERÍSTICAS TORQUE VS PRESIÓN MANOMÉTRICA.....	13
1.5. APORTES NOTABLES PUBLICADOS EN LAS REVISTAS ESPECIALIZADAS.....	14
<b>2. CAPÍTULO II. BANCO DIDÁCTICO</b> .....	<b>16</b>
2.1. CARACTERIZACIÓN DEL BANCO DIDÁCTICO EXISTENTE.....	16
2.2. DESCRIPCIÓN DEL BANCO DIDÁCTICO EXISTENTE.....	19
<b>3. CAPÍTULO III. PROPUESTA DE MEJORAMIENTO</b> .....	<b>22</b>
3.1. PLANTEAMIENTO DE MEJORAS .....	22
3.1.1. CÚPULAS DE PROTECCIÓN .....	24
3.1.2. RODACHINAS .....	25
3.1.3. TUBERÍA.....	25

3.1.4.	DINAMÓMETRO.....	26
3.1.5.	VÁLVULA ANGULAR.....	27
3.1.6.	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN .....	28
3.1.6.1.	MANÓMETROS.....	28
3.1.6.2.	CAUDALÍMETRO DIGITAL .....	29
3.1.6.3.	TACÓMETRO LÁSER .....	30
3.1.6.4.	VATÍMETRO DIGITAL .....	31
3.2.	MANTENIMIENTOS .....	31
3.2.1.	MANTENIMIENTO CORRECTIVO.....	32
3.2.1.1.	BOMBA .....	32
3.2.2.	MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	33
3.2.2.1.	ESTRUCTURA.....	33
3.2.2.2.	CONEXIONES ELÉCTRICAS .....	33
3.3.	PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO .....	35
<b>4.</b>	<b>CAPÍTULO IV. GUÍA DE LABORATORIO .....</b>	<b>36</b>
4.1.	OBJETIVOS.....	36
4.2.	VARIABLES DE PUNTO DE OPERACIÓN .....	36
4.3.	CONSTANTES DE PUNTO DE OPERACIÓN .....	37
4.4.	ALTURA DEL SISTEMA .....	37
4.5.	CÁLCULO DE TOQUE DE LA TURBINA .....	38
4.6.	VELOCIDAD ANGULAR DE LA TURBINA .....	38
4.7.	CAUDAL UNITARIO DE LA TURBINA .....	39
4.8.	VELOCIDAD UNITARIA DE LA TURBINA .....	39
4.9.	EFICIENCIA DE LA ENERGÍA DE LA TURBINA .....	40
4.10.	POTENCIA ÚTIL O MECÁNICA .....	40
4.11.	POTENCIA NETA O HIDRÁULICA .....	41
4.12.	TABLAS A RELLENAR .....	41
4.13.	GRÁFICAS .....	44
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>49</b>
5.1.	CONCLUSIONES.....	49
5.2.	RECOMENDACIONES.....	50
<b>A.</b>	<b>Anexo: Certificación de funcionamiento de la válvula angular.....</b>	<b>51</b>
<b>B.</b>	<b>Anexo: Certificación de funcionamiento de manómetros.....</b>	<b>52</b>
<b>C.</b>	<b>Anexo: Certificado de funcionamiento caudalímetro digital.....</b>	<b>64</b>
<b>D.</b>	<b>Anexo: Manual de funcionamiento tacómetro.....</b>	<b>66</b>
<b>E.</b>	<b>Anexo: Certificado de mantenimiento bomba.....</b>	<b>69</b>
<b>F.</b>	<b>Anexo: Certificado de funcionamiento vatímetro.....</b>	<b>70</b>
<b>G.</b>	<b>Anexo: Plan de mantenimiento preventivo.....</b>	<b>71</b>
<b>H.</b>	<b>Anexo: Tabla de presupuesto.....</b>	<b>72</b>

# Lista de figuras

	PÁG.
<b>Figura 1-1:</b> Turbinas hidráulicas (Mataix, 1982) .....	4
<b>Figura 1-2:</b> Giros de turbinas (blogger.com, 2015). .....	5
<b>Figura 1-3:</b> Turbina Pelton (Olver 2020).....	6
<b>Figura 1-4:</b> Eficiencia de diferentes turbinas con relación... (Barstad, 2012) .....	7
<b>Figura 1-5:</b> Válvula de aguja “inyector” (Diez, 1996) .....	8
<b>Figura 1-6:</b> Alabe o cuchara (Diez, 1996) .....	8
<b>Figura 1-7:</b> Caudal unitario VS Velocidad unitaria (maquirriain, 2017) .....	10
<b>Figura 1-8:</b> Torque VS Velocidad de rotación (maquirriain, 2017) .....	11
<b>Figura 1-9:</b> Atura VS Potencia útil (maquirriain, 2017) .....	12
<b>Figura 1-10:</b> Torque VS Presión manométrica (maquirriain, 2017).....	13
<b>Figura 2-1:</b> Banco didáctico, turbina y generador (Olver 2020).....	19
<b>Figura 2-2:</b> Banco didáctico, tubería y complementos (Olver 2020). .....	20
<b>Figura 2-3:</b> Elementos de hidroeléctricas con turbina Pelton (faeitch2012, 2012).....	20
<b>Figura 3-1:</b> Diagrama del proceso y disposición de elementos... (Olver 2020).....	24
<b>Figura 3-2:</b> Rodachinas para andamio (Olver 2020).....	25
<b>Figura 3-3:</b> Dinamómetro de resorte (Olver 2020).....	26
<b>Figura 3-4:</b> Válvula angular (Olver 2020) .....	27
<b>Figura 3-5:</b> Manómetro (Olver 2020).....	28
<b>Figura 3-6:</b> Caudalímetro digital (Olver 2020).....	29
<b>Figura 3-7:</b> Tacómetro digital laser RPM (Olver 2020) .....	30
<b>Figura 3-8:</b> Vatímetro digital (Olver 2020).....	31
<b>Figura 3-9:</b> Comparativa del mantenimiento Bomba (Olver 2020).....	32
<b>Figura 3-10:</b> Comparativa del mantenimiento estructura (Olver 2020) .....	33
<b>Figura 3-11:</b> Comparativa del mantenimiento Conexiones eléctricas (Olver 2020).....	34
<b>Figura 3-12:</b> Banco de pruebas para turbinas Pelton(Olver 2020).....	35
<b>Figura 4-1:</b> Caudal unitario VS Velocidad unitaria (maquirriain, 2017) .....	44
<b>Figura 4-2:</b> Toque VS Velocidad de rotación (maquirriain, 2017) .....	45
<b>Figura 4-3:</b> Altura VS Potencia útil (maquirriain, 2017) .....	45
<b>Figura 4-4:</b> Toque VS Presión manométrica (maquirriain, 2017).....	46
<b>Figura 4-5:</b> Diagrama del proceso y disposición de elementos... (Olver 2020).....	48

# Lista de tablas

	PÁG.
TABLA 2-1: Componentes del banco de ensayo actual. (Olver 2020).....	18

# Lista de ecuaciones

	PÁG.
<b>Ecuación 4-1:</b> Atura (Mataix, 1982) .....	37
<b>Ecuación 4-2:</b> Torque (Mataix, 1982).....	38
<b>Ecuación 4-3:</b> Velocidad angular (Mataix, 1982).....	38
<b>Ecuación 4-4:</b> Caudal unitario (Mataix, 1982).....	39
<b>Ecuación 4-5:</b> Velocidad unitaria (Mataix, 1982).....	39
<b>Ecuación 4-6:</b> Eficiencia de una turbina (Mataix, 1982).....	40
<b>Ecuación 4-7:</b> Potencia útil o mecánica (Mataix, 1982) .....	40
<b>Ecuación 4-8:</b> Potencia neta o hidráulica (Mataix, 1982).....	41

## Lista de símbolos y abreviaturas

### Símbolos

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
$H$	Altura	m	
$G$	Gravedad	$m/s^2$	
$\rho$	Densidad	$Kg/m^3$	
$\gamma$	Peso específico	$N/m^3$	
$Q$	Caudal	L/min	
$Q_1$	Caudal unitario	L/min	
$p$	Presión	PSI o $Lb/in^2$	
$T$	Torque	N/m	
$W$	Velocidad angular de la turbina	Rad/s	
$n_1$	Velocidad unitaria	RPM	
$n$	Velocidad de rotación	RPM	
$\pi$	Número PI	Adimensional	
$D$	Diámetro de la turbina	m	
$F$	Fuerza	N	
$R_t$	Radio turbina	m	
Pútil	Potencia mecánica	Watts	
Pneta	Potencia hidráulica	Watts	

# Introducción

Los ingenieros mecánicos precisan de combinar la teoría con la práctica para el desarrollo del aprendizaje, de manera que sea más eficiente y para lograrlo acude a talleres experimentales y hasta laboratorios dotados con maquinaria adecuada para aplicar y comprobar teorías que son enseñadas en aulas de clases. El profesor de la universidad de los Andes (Valdés, 1996) en su libro “Colombia al filo de la oportunidad” crítica la educación colombiana: “Colombia requiere un nuevo sistema educativo que fomente habilidades científicas y tecnológicas, así como culturales y socio-económicas”...”...la educación en ciencia y tecnología es casi inexistente en la educación formal primaria y secundaria, e ineficiente en gran parte de la educación superior.”

En la Universidad Antonio Nariño, facultad de ingeniería mecánica, electromecánica y biomédica (FIMEB) engloba como visión (GENERALIDADES, s.f.) “Mantener todos sus programas de ingeniería actualizados y competitivos a nivel nacional e internacional mediante la adopción de la iniciativa internacional CDIO (concebir – diseñar – implementar – operar) mejorando la relación universidad – empresa – estado mediante proyectos de investigación, pasantía y proyectos de grado”...”formar ingenieros con conocimientos sólidos, conscientes de la sociedad y de ámbito empresarial”. Por lo tanto, es muy contradictorio que la seccional Neiva-Huila sede Buganviles, carezca de un banco de pruebas para turbinas Pelton y metodología, que aproveche el banco didáctico pico-hidroeléctrico existente, e impida el tratamiento de prácticas de laboratorio que promulgue el desarrollo de las teorías vistas en clases.

En la universidad Antonio Nariño en el laboratorio de ingeniería mecánica existe un banco producto del desarrollo del trabajo de grado “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UN BANCO DIDÁCTICO PICO HIDROELÉCTRICO PARA LA GENERACIÓN DE 200 W DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR MEDIO DE UNA TURBINA KAPLAN” de los autores Roger Fabián Gonzales Trujillo, Joselito Medina Chindo y Jairo Hernando Hincapié. Lamentablemente durante varios meses el banco no se encontraba funcionando, lo que trajo consigo su deterioro provocando que no pudieran realizar las funciones para las que fue construido, a partir de un diagnóstico y caracterización del banco y atendiendo a las necesidad de que los estudiantes de ingeniería mecánica puedan desarrollar prácticas de laboratorio para turbinas Kaplan y Pelton se propone las mejoras

y la incorporación de un grupo importante de instrumentos que permiten la determinación de las curvas características.

Para suplir la carencias de prácticas didácticas para la determinación de las curvas de eficiencia, se presenta la propuesta de recuperar el banco didáctico pico hidroeléctrico ya existente, y aplicarle modificaciones que permitan su actualización y convertirlo en un banco funcional y accesible a los estudiantes que aporte a los futuros ingenieros mecánicos, las bases académicas e investigativas del funcionamiento general de una hidroeléctrica, hasta la determinación de las curvas de eficiencia, a través de la vinculación de la teoría con la práctica y la realización de ensayos controlando importantes variables como son: presión, caudal, fuerza de freno prony, velocidad de rotación RPM, torque, voltaje, amperaje, velocidad y volumen, etc.

Por otra parte, otorgaría la posibilidad a la Universidad seccional Neiva-Huila de tener ingenieros capaces de competir en el área, puesto que, en el Huila existen dos hidroeléctricas de gran importancia las cuales son: La Central Hidroeléctrica de Betania con una capacidad de generación de energía de 540,9 MW (conflictos-ambientales, 1987); y La Central Hidroeléctrica del Quimbo con una capacidad de generación de energía de 400MW (enel, s.f.); el Huila es un departamento con una gran extensión hidrográfica la cual está siendo explotada para el beneficio energético.

La generación de energía de las hidroeléctricas es fuente de desarrollo para el mejoramiento de la calidad de vida de comunidades urbanas y rurales, siendo estas a su vez municipios, pueblos y corregimientos enteros que tienen el beneficio de aprovechar dicho recurso energético, es bien sabido que como todo desarrollo se necesita avanzar para satisfacer nuevas necesidades del futuro, agregando a lo anterior instruir una nueva promoción de ingenieros que estén capacitados para laborar eficaz y correctamente en esta área de trabajo supondría un beneficio en el aprovechamiento de las centrales hidroeléctricas del país.

# Objetivos

## Objetivo General

Mejorar y contribuir a un banco didáctico hidroeléctrico, para determinar las curvas de eficiencia de una turbina Pelton.

## Objetivos Específicos

- Diagnosticar y caracterizar el banco didáctico.
- Instalar en el banco didáctico un caudalímetro, tacómetro, dinamómetro y vatímetro para determinar las curvas de eficiencia de una turbina Pelton.
- Implementar la puesta en marcha del banco y proponer una guía de laboratorio.

## **Alcance**

En el presente trabajo de investigación, se realiza la caracterización y diagnóstico de un banco de ensayo, con limitaciones en su funcionamiento que impide la realización de prácticas didácticas, luego se realizan ligeras mejoras estructurales y la introducción de la instrumentación adecuada permitiendo el estudio de los principios, características y principales parámetros de funcionamiento de las turbinas Pelton, con la finalidad de la ejecución de prácticas de laboratorio que generen impacto en el estudio de este tipo de tecnología. El nuevo banco didáctico, permite el estudio de las curvas de eficiencia, así como, se implementa una guía de estudio que ayuda a comprender el comportamiento de las curvas de eficiencia de caudal unitario vs velocidad unitaria, torque vs velocidad de rotación, altura vs potencia útil y torque vs presión manométrica.

## **Justificación**

Por la importancia que reviste la preparación de los estudiantes en el área energética. De las potencialidades energéticas existentes en el departamento del Huila y la necesidad de promover el interés por desarrollar nuevos proyectos con enfoque en la generación de energía hidroeléctrica, los estudiantes y profesores de la disciplina de Máquinas Aparatos e Instalaciones Térmicas del programa de ingeniería mecánica de la sede Neiva, precisan de un equipo de laboratorio -en este caso- un Banco de Ensayo de Turbina Pelton, que permita interactuar con principios y fenómenos físicos, involucrados en el proceso de producción de energía hidroeléctrica, para comprender y evaluar conceptos por medio de la experimentación y el estudio del comportamiento de las curvas de eficiencia.

# **1. Capítulo I. Marco de referencia**

## **1.1. Marco Teórico**

En este capítulo se hace referencia a los principales conceptos y elementos teóricos que permiten una mejor comprensión de la temática que se estudia.

### **1.1.1. Energía Hidráulica**

Es la Energía Hidráulica, el aprovechamiento de la energía potencial, que el agua posee por la “diferencia de altura”, que por lo general tienen los ríos de forma natural o se obtiene de forma artificial buscando la caída del agua de una altura mayor a un nivel inferior, la fuerza de este proceso ayuda a transformar dicha energía a una energía mecánica que hace rotar la turbina. Existen distintas turbinas, pero todas hacen girar en conjunto un eje, el cual tiene en su otro extremo un generador que es capaz de convertir la energía mecánica de rotación del eje, en energía eléctrica.

Por lo anterior, es correcto afirmar que la energía potencial disponible en el agua de un río o de yacimientos de agua “quebradas” tiene una relación directa con la caída que tenga el caudal, la eficiencia principal que debe tener la energía hidráulica es requerir la menor cantidad de agua para satisfacer el proceso de producción de energía eléctrica (José., 2002).

### **1.1.2. Máquina Hidráulica**

La máquina hidráulica es un artefacto capaz de convertir la energía hidráulica existente en el agua en movimiento en energía mecánica; estos artefactos pueden ser motrices “turbinas”, o generatriz “bombas”, modificando totalmente la energía total de la vena del fluido que las cruza; en la investigación de las turbomáquinas hidráulicas se desprecian los efectos de tipo térmico, pero no obstante en ocasiones se tendrá que precisar conceptos termodinámicos. Todos los fenómenos que se analizarán estarán en un régimen permanente, se clasifican por la velocidad de rotación y caudal constante de la máquina.

En el sistema, el agua intercambia energía con el artefacto mecánico que gira en su eje de simetría a una revolución, el eje lleva varios “rotores o rodets” dotados de álabes, de tal manera que entre ellos existen espacios libres o canales, por donde el agua circula de manera que golpea los álabes o “cucharas”, y hace que el rotor tenga un giro por la energía potencial que se transfiere.

### **1.1.3. Clasificación de las Turbomáquinas Hidráulicas.**

Como primer tipo de clasificación se puede tomar como determinante la función que desempeñan las Turbomáquinas hidráulicas de “fluido incomprensible”:

#### **1.1.3.1. Turbomáquinas motrices.**

Son aquellas que adquieren la energía cedida por el fluido que las atraviesa y así transformándola en energía mecánica; estas se derivan en dos tipos.

- Cinéticas o dinámicas; consisten de turbinas y ruedas hidráulicas.
- Estáticas o de presión; consisten de álabes “paletas o cucharas”, de engranajes o helicoidales entre muchas otras.

#### **1.1.3.2. Turbomáquinas generatrices.**

Son aquellas que aumentan la energía potencial o cinética del fluido que las atraviesa, la energía mecánica que consumen estas máquinas es suministrada por un motor; el cual puede ser.

- Bomba de álabes, las cuales son bombas centrifugas y axiales.
- Hélices marinas, su principio es diferente; estas proporcionan un empuje sobre el casco de una embarcación.

#### **1.1.3.3. Turbomáquinas reversibles.**

En este grupo se encuentran las turbomáquinas generatrices como turbomáquinas motrices las cuales su ciclo de funciones que ejecutan quedan aseguradas mediante un rotor específico.

- Grupo de Turbina-Bomba, se usan en centrales de acumulación eléctrica por medio del bombeo.
- Grupo de transmisión o acoplamiento, es aquel grupo que combina maquinas motrices y generatrices, por medio de un acoplamiento “bomba-turbina”, abastecidas en un sistema cerrado por un fluido generalmente “aceite”; en este grupo están los cambiadores de par.
- Grupo de bulbo, se usan específicamente para el aprovechamiento de centrales mareomotrices.
- Ruedas hidráulicas, son aquellas maquinas capaces de convertir la energía del agua “potencial o cinética”, en energía mecánica (Diez, 1996).

#### **1.1.4. Turbinas Hidráulicas.**

Una turbo maquina mono-celular tiene una serie de álabes fijos, también tiene álabes movibles como “rueda, rodete y rotor”. Al asociar un motor fijo y una rueda movable, básicamente se construye una parte de la turbo máquina de una sola unidad la cual se compone de tres partes distintas “distribuidor, rodete y difusor”, las cuales son cruzadas sucesivamente por un fluido.

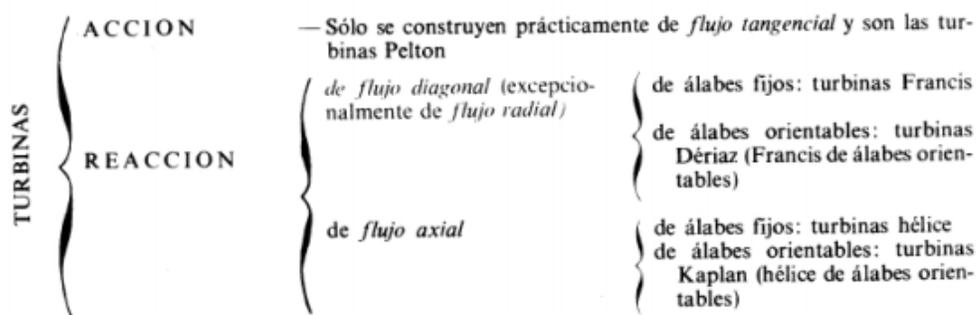
Las partes como el distribuidor y difusor o tubo de admisión, hacen parte del estator de la máquina, puesto que son órganos fijos similares como el rodete; pero el distribuidor y difusor pueden ser partes inexistentes en determinadas turbinas. El distribuidor es una parte fija que cumple la función de dirigir el agua, desde la sección de entrada en la máquina hasta la entrada del respectivo rodete, así distribuyendo a los alrededores del mismo, la “turbina de admisión total” o una parte como “turbina de admisión parcial”, lo cual funcionan para regular la entra en la turbina; a su vez es una parte que transforma la presión con la que el caudal golpea a una velocidad proyectada, en las turbinas axiales y hélico-centrípetas procede de una cámara espiral llamada “voluta”, lo cual permite que el agua desde la entrada fluya hasta ella y así asegurar un reparto simétrico en la superficie de entrada del difusor.

El rodete es un parte esencial en una turbina ya que es la pieza donde ocurre el intercambio de energía entre el agua y la máquina, pues tiene partes como son los

álabes, que hacen el primer paso para la transformación de energía potencial o cinética en energía mecánica. Considerando que la presión varíe en el rodete, se clasificarían las turbinas de la siguiente manera. figura 1-1.

En turbinas de acción el agua es expulsada del distribuidor a una presión igual a la de la atmosfera llegando al rodete con la misma presión. En estas turbinas la energía potencial en su totalidad de salto se transfiere al rodete como energía cinética.

**Figura 1-1:** Turbinas hidráulicas (Mataix, 1982) .



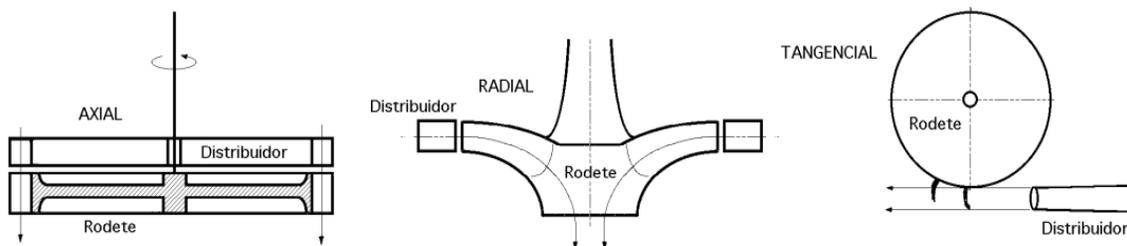
En turbinas de reacción figuras 1-2 y 1-3, el agua que sale del distribuidor con una presión determinada que disminuye a medida que el agua va atravesando los álabes del rodete, entonces a la salida la presión puede ser igual a cero o negativa; en este tipo de turbinas el agua circula a una presión en el distribuidor y en el rodete, por lo que la energía potencial del salto se convierte en una parte en energía cinética y la otra en presión.

El tubo de admisión o difusor es una línea de salida para el agua, en algunos casos tiene ensanchamiento progresivo, recto o acodado, que se encuentra a la salida del rodete y conecta hasta el canal de fuga, así aprovechando parte de la energía cinética de salida del rodete por lo cual es recomendable ensanchar; si por alguna razón el rodete se instala a una altura determina, sobre el canal de fuga, solo cumplirá la función de cilindro difusor, el permitirá la recuperación del mismo o de otra forma se perdería, lo contrario si no posee tubo de admisión, a lo que se le llamaría escape libre (Diez, 1996).

En las turbinas de acción figura 1-4, la fuerza de empuje y la acción del agua son coincidentes mientras que las turbinas de reacción dicha fuerza y acción del fluido son totalmente opuestos; la fuerza de empuje es el resultado de la diferencia que existe entre la velocidad, entrada y salida del agua en el rodete, según lo que se visualiza sobre la perpendicularidad del eje de giro.

Observando la dirección de entrada del agua en las diferentes turbinas estas se clasifican:

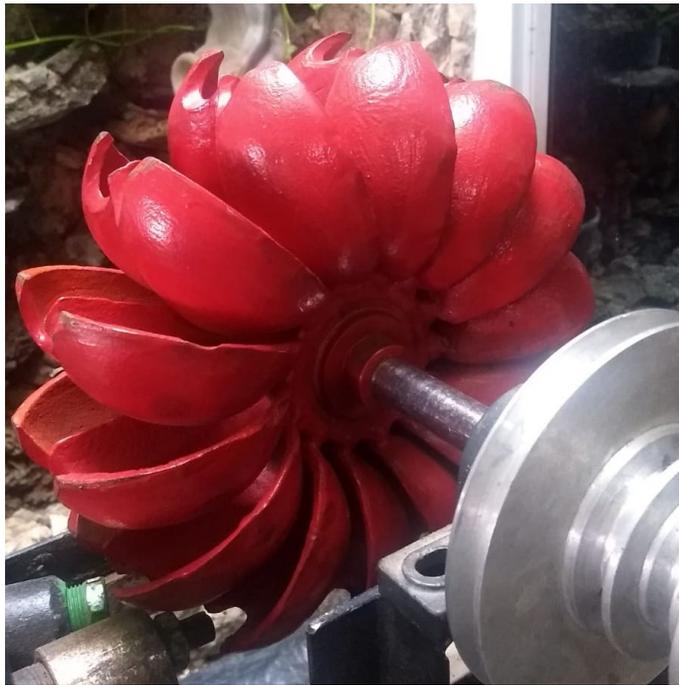
**Figura 1-2:** Giros de turbinas (blogger.com, 2015).



## 1.2. Turbina Pelton

La turbina Pelton es un motor de acción, figura 1-3, el cual fue inventado en 1880 por Lester Allan Pelton, el funcionamiento de la turbina consiste en pasar agua atravesando así la boquilla “inyector” que es el que se encarga de llevar el flujo a los álabes “cucharas”, dispuestos en la periferia de la rueda de dicha turbina, al ser golpeada por el flujo del líquido, esta gira produciendo así energía mecánica. La turbina es fijada a un eje, este a su vez con el movimiento de rotación de la turbina transmite a un generador que esta acoplado al sistema mecánico de intercambio de energía.

**Figura 1-3:** Turbina Pelton (Olver 2020)



La turbina Pelton es utilizada cuando el salto de agua tiene bastante desnivel y tiene caudales pequeños o que se consideren pequeños para otro tipo de turbinas, estas turbinas son capaces de mantener un margen de empleo que va desde 60 y 1500 metros, son capaces de tener rendimientos máximos figura 1-4, de orden del 90% (Diez, 1996).

El inyector es la pieza que cuenta con variedad de componentes figura 1-5. La turbina Pelton, es utilizada cuando el salto de agua tiene bastante desnivel y tiene caudales pequeños o que se consideren pequeños para otro tipo de turbinas, estas turbinas son capaces de mantener un margen de empleo que va desde 60 y 1500 metros, son capaces de tener rendimientos máximos figura 4, de orden del 90% (Diez, 1996).

El inyector, es la pieza que cuenta con variedad de componentes figura 1-5, los cuales sirven para regular el caudal del chorro dispuesto para el funcionamiento de la turbina, consta de una válvula de aguja cuya apertura es controlada por una carrera determinada, para que la potencia del caudal de chorro se vea regulada es mediante la utilización de una aguja que estará en el inyector la cual servirá para estrangular la salida de la boquilla; también el inyector consta de un sistema de regulación por

desviación de chorro llamada deflector, el cual se coloca en medio del chorro desviando así una parte del mismo para que este no produzca efecto útil vs la cazoleta.

Los álabes de una turbina Pelton “cucharas” tienen una forma de elipsoide figura 6, la cual es dividida en dos por una arista que puede estar a ras de los bordes, las medidas adoptadas en función del diámetro de chorro pueden ser las más favorables:

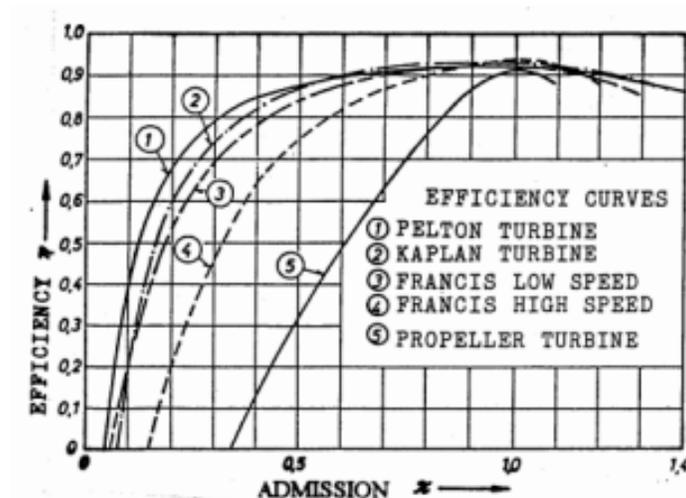
*Anchura de cazoleta:*  $b = 3.75 d$

*Altura de cazoleta:*  $h = 3.50 d$

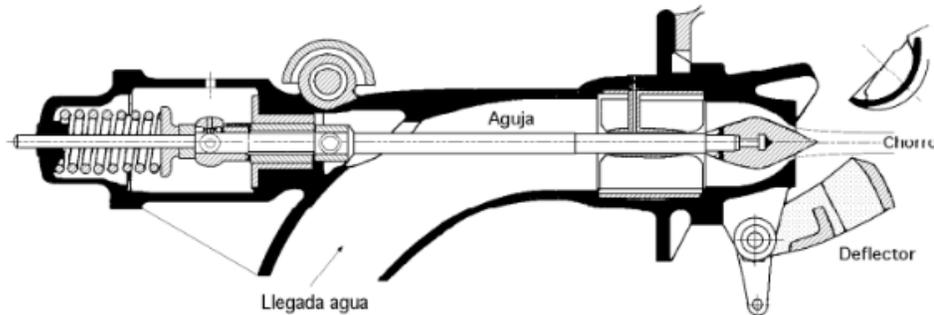
*Profundidad de la cazoleta:*  $f = 1.50 d$

Los álabes figura 1-6, no siempre son colocados exactamente en sentido radial, sino en forma que el chorro sea capaz de alcanzar completamente uno de ellos, es decir este de forma perpendicular a la arista de el mismo, permitiendo que la separación del álabe y el inyector sea lo más mínimo posible y permita la construcción, dejando que sea golpeado por el chorro lo más cerca y así disminuir las pérdidas de salida abriendo paso a que la circunferencia tangente al chorro “circunferencia Pelton”, corte a álabe a  $\frac{2h}{5}$  desde el interior.

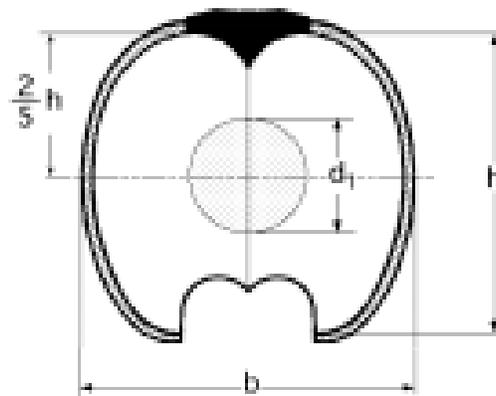
**Figura 1-4:** Eficiencia de diferentes turbinas con relación de capacidad (Barstad, 2012)



**Figura 1-5:** válvula de aguja “inyector” (Diez, 1996)



**Figura 1-6:** Alabe o cuchara (Diez, 1996)



### 1.3. Banco didáctico de ensayos

Una definición acertada para un banco didáctico de ensayos o (pruebas) puede ser: una plataforma diseñada para lograr la obtención de prestaciones, funcionamiento y datos, que se utilizan para poder estudiar el comportamiento de prototipos, parámetros, o tener una puesta a punto del proyecto que se desarrolla. (diccionario.reverso.net, s.f.)

En (Valdés, 1996), se menciona la importancia que lleva la complementación de lo teórico con lo práctico, por tal motivo se busca enseñar a los estudiantes de una manera mas experimental en dispositivos diseñados en condiciones controladas para que se puedan plantear y resolver teorías, dudas o mejoras. En (Cano, 2012) y (Mantilla, 2012), se evidencia la importancia de contar con un banco de pruebas o

ensayos para poder tener un espacio experimental técnico. En sus conclusiones, hacen referencia al trabajo grupal de 4 o 5 estudiantes, que se necesita para la intervención de los mismos en partes específicas del banco de ensayos, tales como tacómetro, válvulas, bombas, Multímetro y toma de datos

## 1.4. Curvas características de eficiencia en turbinas hidráulica

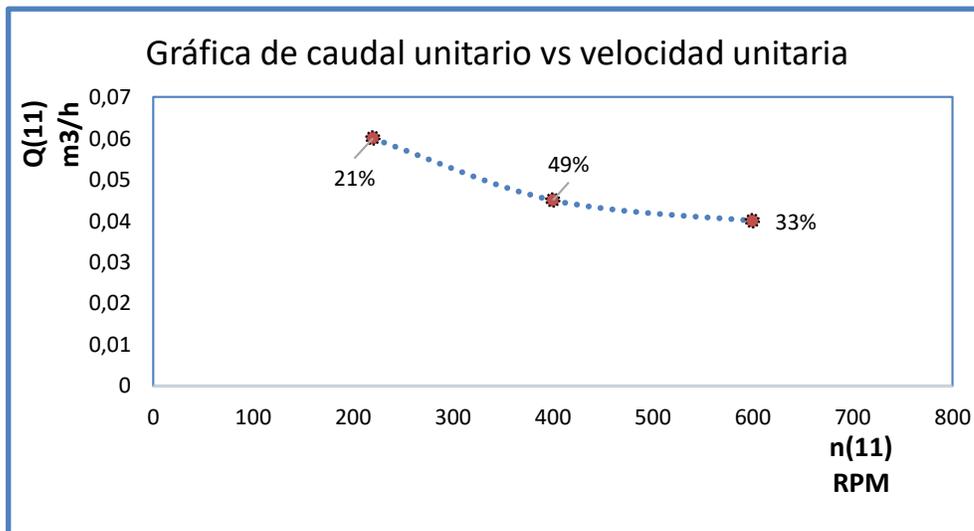
Las curvas características de una turbina hidráulica, muestran el comportamiento que tienen las turbinas, para poder determinar una curva característica primeramente se debe conocer las variables que determinan el punto de operación y estas son,  $h$  = altura se determina por fórmula,  $Q$  = Caudal expresada en el caudalímetro,  $F$  = Fuerza expresada en el dinamómetro,  $n$  = RPM expresada en el tacómetro láser y  $P_{\text{mano}}$  = presión expresa en el manómetro. (RL, 2006)

### 1.4.1. Curvas características caudal vs velocidad unitaria

En esta curva característica se observa el comportamiento inversamente proporcional del caudal unitario vs velocidad unitaria, en el gráfico se representa en una curva hipérbola en la cual se posiciona la eficiencia en cada punto de intercepción, para tomar estos datos se aplica la fórmula de caudal unitario  $Q_1 = Q/(D^2 \times \sqrt{h})$  y de velocidad unitaria  $n_1 = (n \times D)/\sqrt{h}$  las variables de punto de operación  $Q$  = caudal y  $n$  = RPM se obtienen por instrumentos de medición como lo es un caudalímetro y tacómetro láser, la altura se obtiene por la fórmula  $h = p/(\rho \times g)$  que se calcula observando la presión manométrica; las cuales son modificadas para ampliar el punto de operaciones y registrar un nuevo dato en la gráfica, las constantes que se manejan en esta curva características  $D$  = Diámetro la cual esta definida por el fabricante de la turbina,  $\rho$  = densidad esta definida por el fluido que se utiliza y  $g$  = gravedad es una constante natural de aceleración (maquirriain, 2017).

Para ubicar correctamente la eficiencia en el punto de intercepción de  $Q_1$  y  $n_1$  es necesario determinar dicha eficiencia por medio de su fórmula  $\eta = (\text{potencia mecánica})/(\text{potencia hidráulica})$  la cual nos dará un resultado adimensional que expresara en porcentaje la eficiencia que tiene la turbina pelton.

**Figura 1-7:** Caudal unitario VS Velocidad unitaria (maquirriain, 2017)

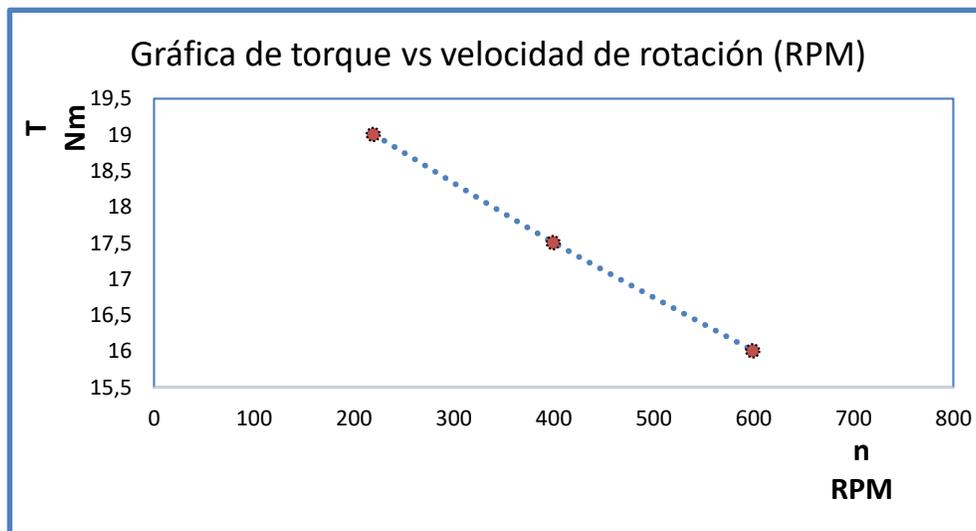


### 1.4.2. Curvas características torque vs velocidad de rotación (RPM)

La curva característica de torque vs velocidad de rotación en RPM se observa el comportamiento inversamente proporcional que tiene el torque vs velocidad de rotación, en el gráfico se representa el comportamiento que tiene la turbina en diferentes puntos de operaciones, el torque lo determina la fórmula  $T = F \times R_t$  y de velocidad de rotación se determina por el instrumento que en este caso es un tacómetro láser (maquirriain, 2017).

Para poder calcular el torque es necesario determinar el punto de operación que tiene el dinamómetro ya que no muestra la fuerza  $F$  que es capaz de producir la turbina, luego es multiplicado por la constante  $R_t$  la cual se refiere al radio que tiene la turbina.

**Figura 1-8:** Torque VS Velocidad de rotación (maquirriain, 2017)

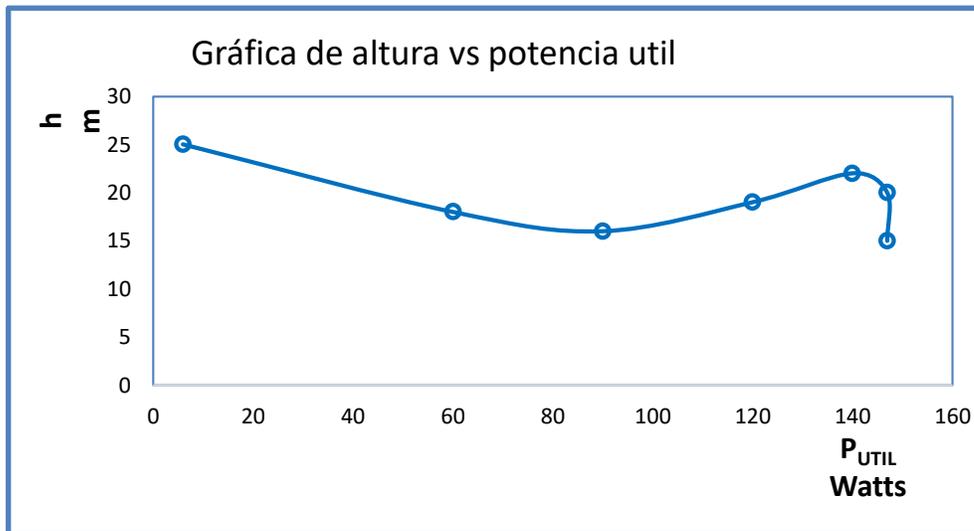


### 1.4.3. Curvas características altura vs potencial útil

Se determina la curva característica siempre que se aplique la ecuación  $h = p/(\rho \times g)$  como se explicó anteriormente, se debe calcular la altura en todos los puntos operativos que se definen en la tabla de datos, el punto operativo lo registra en esta ecuación el manómetro ya que es una variable (maquirriain, 2017).

Para la correcta construcción de la gráfica se debe calcular la potencia útil  $P_{UTIL}$  o potencia mecánica, es el resultado de la ecuación  $P_{UTIL} = \tau \times W$  en la que se debe hallar el torque como se explicó anteriormente, y la velocidad angular de la turbina en unidades de  $S^{-1}$  para calcular la velocidad se debe proceder al factor de conversión  $w = (2 \times \pi \times n)/60 = (2 \times \pi \times n_i)/60$  en la cual se toma el dato con el instrumento de medición tacómetro láser.

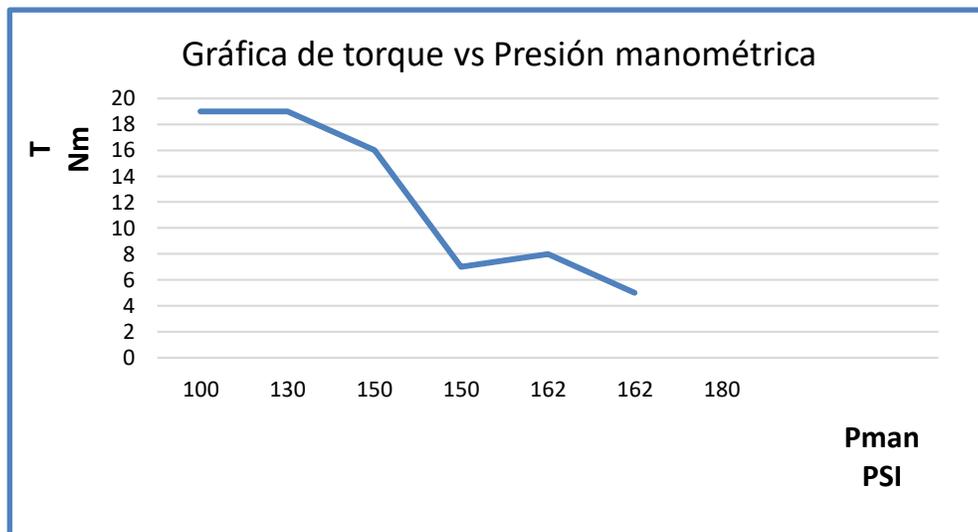
**Figura 1-9:** Atura VS Potencia útil (maquirriain, 2017)



### 1.4.4. Curvas características torque vs presión manométrica

La curva característica se determina por el cálculo del torque  $T$  como se expresó anteriormente y la presión manométrica  $P_{\text{mano}}$  se visualiza por medio de un instrumento de medición (manómetro), la presión ahí registrada aporta en la definición de los puntos de operación (maquirriain, 2017).

**Figura 1-10:** Torque VS Presión manométrica (maquirriain, 2017)



Las cuatro curvas presentadas anteriormente sirven para determinar el comportamiento de una turbina Pelton con diferentes puntos de operación, al permitir que profesores y estudiantes puedan configurar las variables que determinan el punto de operación y así poder registrar el comportamiento de las demás variables; las tablas se utilizan para determinar las variables que permitan utilizar la mayor eficiencia de la turbina.

## 1.5. Aportes notables publicados en las revistas especializadas

Importantes artículos se muestran en prestigiosas revistas como: Renewable and Sustainable Energy Reviews, Energy, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. A manera de síntesis aquí se presentan los principales resultados de algunos de ellos.

A Židonis, GA Aggidis, en su artículo State of the art in numerical modelling of Pelton turbines declaran que la turbina Pelton (o rueda Pelton) se encuentra entre las turbinas de impulso más eficientes y ha conservado su existencia en la energía hidroeléctrica durante más de un siglo. Sin embargo, a diferencia del desarrollo de las turbinas de reacción, donde la dinámica de fluidos computacional (CFD) se ha aplicado con éxito durante más de 20 años, hasta hace poco no era factible realizar análisis CFD de turbinas Pelton debido a la naturaleza del flujo que es mucho más complejo que en las turbinas de reacción.

Estos autores también abordan que los desarrollos recientes en modelos y herramientas CFD, junto con el aumento continuo de los recursos computacionales, están elevando el modelado CFD a un nivel adecuado para aplicaciones industriales en el desarrollo de turbinas Pelton. (A Židonis, 2015)

Por su parte, K Patel y otros en su obra, Development of Pelton turbine using numerical simulation, describen las actividades recientes de investigación y desarrollo en el campo del diseño de turbinas Pelton. El flujo dentro de la turbina Pelton es más complejo debido a la naturaleza multifase (mezcla de aire y agua) y a la superficie libre. El cálculo numérico es útil para comprender la física del flujo y el efecto de la geometría en el flujo. El diseño optimizado se obtiene utilizando un bucle de optimización especial interno. Se podría realizar un cálculo numérico inestable monofásico o bifásico.

Los resultados numéricos se utilizan para visualizar el patrón de flujo en el paso del agua y para predecir el rendimiento de la turbina Pelton a plena carga y a carga parcial. Se realizan pruebas de modelos para determinar el rendimiento de la turbina y muestra una buena concordancia con el rendimiento predicho numéricamente. Finalmente, en el artículo ofrece una breve descripción de los contenidos y objetivos de un proyecto de investigación sobre chorros de turbinas Pelton realizado. Se discuten los efectos que gobiernan la calidad de los chorros en las plantas Pelton, tales como: la dispersión del chorro, que se define por el ensanchamiento del chorro con la distancia de la boquilla e incluye la mezcla aire agua en la superficie del chorro, la desviación del chorro, que es definida por la desviación de la línea central de los chorros del eje teórico, la deformación descrita. (otros, 2010)

Otro interesante estudio fue desarrollado en una turbina Turgo proporcionando una solución única y novedosa para aumentar la capacidad de una turbina de impulso hidráulico mientras se mantiene la boquilla y el sistema de inyector de lanza (como se

usa en las turbinas Pelton) para la regulación del flujo. Esto ha producido una turbina que opera en los rangos de flujo más altos generalmente reservados para las máquinas Francis mientras mantiene una curva de eficiencia relativamente plana, característica de las máquinas de impulso. (D.S.Benzon, 2016)

En su trabajo, el autor T. Staubli, muestra la remodelación de la HPP Rothenbrunnen con tres turbinas Pelton gemelas horizontales, se reemplazaron los inyectores y se modificaron los internos dentro de la carcasa. Los corredores no fueron reemplazados. Las mediciones de eficiencia termodinámica antes y después de la renovación proporcionaron una prueba de un aumento de eficiencia de hasta un 1,4 por ciento, un resultado excelente para modificaciones tan mínimas. Además de las mediciones de eficiencia, también se realizaron visualizaciones de flujo instalando una cámara y un sistema de iluminación dentro de la carcasa de la turbina. Las visualizaciones mostraron claramente una reducción de las salpicaduras de agua en la carcasa de la turbina y una menor dispersión del chorro. (T Staubli, 2010)

## **2. Capítulo II. Banco didáctico**

### **2.1. Caracterización del banco didáctico existente**

El banco inicialmente fue creado por el aporte del trabajo de grado titulado “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UN BANCO DIDÁCTICO PICO HIDROELÉCTRICO PARA LA GENERACIÓN DE 200W DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR MEDIO DE UNA TURBINA KAPLAN” de los autores Roger Fabián Gonzales Trujillo, Joselito Medina Chindo y Jairo Hernando Hincapié, con el objetivo de implementar un sistema de generación A.C, mediante el diseño y construcción de un banco didáctico pico hidroeléctrico para la elaboración de prácticas estudiantiles en áreas afines. Por diferentes razones de mantenimiento y funcionabilidad actualmente no prestaba servicios a la comunidad de estudiantes de la carrera de ingeniería mecánica, lo que como ya se explicó anteriormente limita el desarrollo de importantes prácticas de laboratorio en el mismo con la determinación del comportamiento de las curvas de eficiencia.

A continuación, se describe sucintamente las condiciones del banco didáctico existente en el laboratorio de la Universidad Antonio Nariño, sede Neiva.

- El grupo turbina-generator no funciona por el mal estado de la bomba hidráulica.
- El tanque con capacidad de 100 litros, para almacenamiento de agua, presenta pequeñas afectaciones de corrosión.
- La estructura del banco didáctico fue concebida con un espacio para colocar un freno prony, sin embargo, nunca fue utilizado por que no se implementó el dinamómetro que se recomendó.
- La estructura del banco en general presenta pequeñas afectaciones de corrosión.
- El banco cuenta con una bomba MARATHON JVD162TCFR17007AA con velocidad de rotación 3510 [RPM], que al realizar las pruebas de

funcionamiento no desarrolla prestaciones por encontrarse atascada por la falta de mantenimiento.

- En el proceso de determinar la situación del sistema de tuberías en general pudo constatarse que se encuentra notablemente deteriorado, presentando roturas y fugas.
- El banco didáctico no presenta una válvula capaz de regular el flujo de agua para que la apertura sea controlada por el contrario monta unas válvulas que solo tiene una posición de abierto y otra de cerrado.
- Los manómetros montados en el banco no permiten la lectura de presión del agua en el sistema hidráulico y sus medidas son hasta 200 PSI.
- El banco no presenta un instrumento de medición que permita determinar el caudal del agua instantáneo en el sistema.
- El banco no cuenta con un tacómetro láser capaz de medir la velocidad de rotación RPM.
- El banco cuenta con un generador SIEMENS 1LA7 080-4YA60 con 0.5 HP, El generador presenta falta de mantenimiento por el tiempo sin estar funcionando.
- Los acrílicos de protección que tiene el banco se encuentran en mal estado ya que cuentan con roturas en su superficie.
- La disposición de las conexiones y distribución de las partes del banco pueden ser mejoradas para alcanzar una mayor funcionalidad del banco en su conjunto.
- El banco no permite obtener lectura de tensión eléctrica y de intensidad de corriente eléctrica por que sus instrumentos de medición se encuentran en mal estado.
- El panel de control también presenta deterioro y su colocación entorpece la maniobrabilidad para el desarrollo de las practicas.
- El banco actual no presenta ruedas lo que dificulta para su traslado dentro del laboratorio.

**TABLA 2-1:** Componentes del banco de ensayo actual. (Olver 2020).

Cantidad	Nombre de pieza	Descripción
1	Turbina Pelton	Rodete pelton con 14 alabes, diámetro de 0.34 m y con un eje de 7/8 de pulgada de diámetro
1	Bomba	MARATHON JVD-162TCFR17007AA L, con una velocidad nominal de 3510 [rpm], trifásica con potencia de 3 [HP]
1	Generador	SIEMENS 1LA7 070-4YA60 trifasico de induccion, velocidad nominal de 1590 [rpm] y 0.5 HP caballos de fuerza
3	Manómetros	Sin fabricante especificado, análogos con un intervalo de medida 200 PSI sin certificación de medición o resolución del indicador
1	Panel de control	Cuenta con dos botones pulsadores de inicio o apagado de la bomba, un botón de emergencia, dos llaves selectoras para las bobinas de campo del generador y dos medidores análogos de corriente y amperios.
1	Estructura	Mono estructura soldada con unas dimensiones de 0.81 m x 1.80 m, no cuenta con rodachinas para facilitar su traslado.
1	Tanque	Tiene unas dimensiones de largo = $L = 0.87\text{ m}$ ; ancho = $W = 0.275\text{ m}$ ; alto = $H = 0.42\text{ m}$ con capacidad de aproximadamente 100 litros y está integrado en la mono estructura.
1	Eje	El eje que implementa la turbina tiene un diámetro de 7/8 de pulgadas y 0.55 m de largo, se desconoce su fabricante.
2	Cojinetes	Fabricados por KML P205 de 7/8 de pulgada
1	Cúpula de protección	La cúpula de protección es fabricada artesanalmente con acrílico de 2.5 mm
2	Polea	DAYCO 11A0545C 15215 de argentina

## 2.2. Descripción del Banco didáctico existente

El banco didáctico que se encuentra en el laboratorio figura 2-1 y 2-2, aparecen las partes y elementos mencionados anteriormente.

EL banco didáctico tiene una estructura sencilla que deja “visualizar” todos los componentes que son necesarios para poder monitorear las variables más básicas como lo son presiones y apertura del chorro libre, también se muestra los valores de tensión eléctrica (voltaje) y la potencia (W) que consumen los componentes que están siendo alimentados por el generador.

El banco didáctico resalta en su diseño que cuenta con un espacio para para instalar un freno Prony el cual no está siendo aprovechado. Su estructura es compacta está totalmente unida por pernos y soldadura. Lo cual lo hace un banco estructuralmente compacto haciendo que esta no sea desmontable y se convierta en una sola unidad.

**Figura 2-1:** Banco didáctico, turbina y generador (Olver 2020).

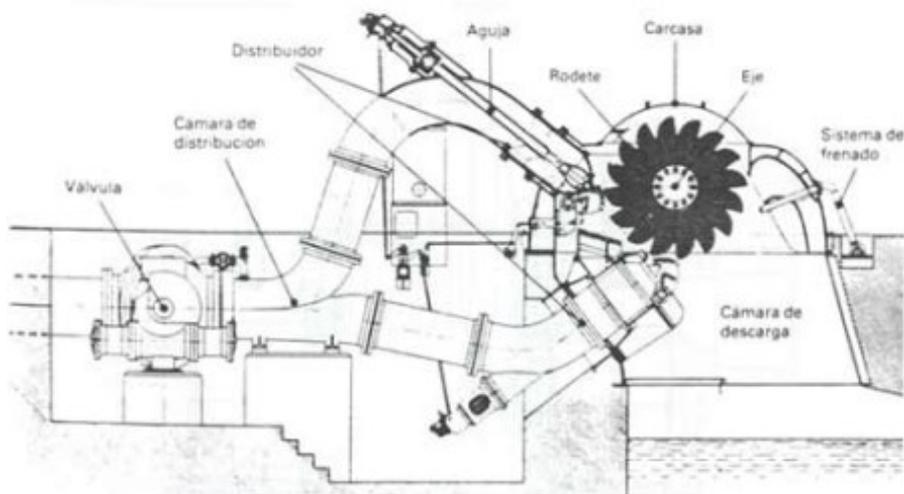


**Figura 2-2:** Banco didáctico, tubería y complementos (Olver 2020).



Los componentes que tiene básicamente una hidroeléctrica con turbina Pelton se muestran en la figura 2-3. En el banco didáctico que se mejora, el agua luego de circular se almacena nuevamente en el tanque, el cuál simula con su ubicación la altura y la caída para conseguir la velocidad y energía suficientes para hacer funcionar la turbina Pelton.

**Figura 2-3:** Elementos de hidroeléctricas con turbina Pelton (faeitch2012, 2012)



---

Partiendo primeramente de la condición actual del banco de prueba, se determina que no es apto para el funcionamiento, lo cual se necesita reparar las partes que se reutilizaran estas son; Bomba, generador de electricidad, sistema eléctrico exceptuando los instrumentos de medición.

## 3. Capítulo III. Propuesta de mejoramiento

### 3.1. Planteamiento de mejoras

Como se evidencia el Banco existente producto del trabajo de grado “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UN BANCO DIDÁCTICO PICO HIDROELÉCTRICO PARA LA GENERACIÓN DE 200W DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR MEDIO DE UNA TURBINA KAPLAN”, construido con el objetivo de implementar un sistema de generación A.C, mediante el diseño y construcción de un banco didáctico pico hidroeléctrico para la elaboración de prácticas estudiantiles en áreas afines, el banco didáctico carece de elementos para poder realizar prácticas de laboratorio para determinar el comportamiento de las curvas eficiencia de caudal unitario vs velocidad unitaria, torque vs velocidad de rotación, altura vs potencia útil y torque vs presión manométrica, el adecuar el banco existente para que se puedan calcular las anteriores curvas de eficiencia es muy necesario para poder ir a la vanguardia con los conocimientos técnicos y prácticos en los programas de ingeniería.

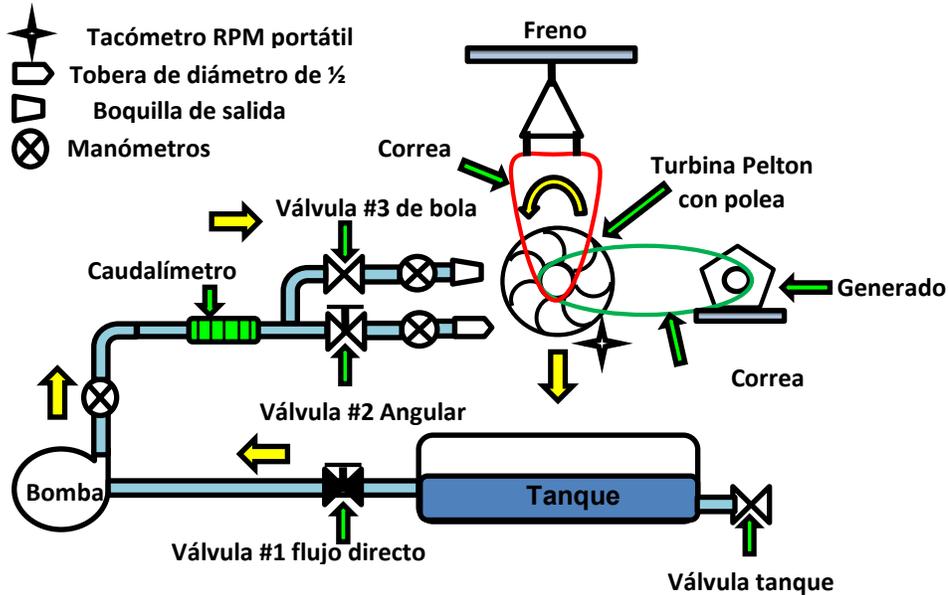
Para poder determinar las curvas de eficiencia se hace necesario realizar unas series de modificaciones al banco de ensayos en la figura 3-1 se encuentra un diagrama en el cual se observa cómo será el sistema después de que culminen las modificaciones y la consiguiente incorporación de instrumentos como:

- Se rempazan las cúpulas de protección asegurando no tener fugas de agua y contando con una protección a un área que alberga una turbina Pelton en movimiento y representa peligro para el operador del banco, también se rempazan las protecciones de las poleas y correas de la turbina al generador y freno prony.
- La implementación de rodachinas permite la movilización del banco de prueba dentro y fuera del laboratorio, en el diseño del fabricante prevén el montaje de 4 rodachinas con una capacidad de carga cada una de 75Kg para un total de 300 Kg de peso total.
- Al rempazar la tubería existente por una idéntica se asegura el funcionamiento óptimo del banco de pruebas sin alterar su diseño.
- Al implementar el dinamómetro se permite visualizar y controlar un punto de operaciones en el banco de pruebas, aprovechando el espacio que fue

diseñado para esa función, la fuerza se expresa en Newton o Kgf capaz para hallar por medio de la fórmula el torque que produce la turbina y así poder determinar las curvas características.

- Se implementa una válvula angular que permite controlar el flujo de agua determinando así 4 puntos de operación como son el caudal  $Q$ , la velocidad de rotación RPM, la altura  $h$  y la fuerza Newton, los cuales son de gran importancia para la determinación de las cuatro curvas características.
- Al remplazar los manómetros por unos iguales que estén funcionales y con certificación de calibración se tendrá la confianza de que la medición manométrica a la salida de la bomba y salida del chorro libre será correcta.
- Se implementa un caudalímetro vertical para determinar el caudal instantáneo o del momento que pasa por el sistema hidráulico y determinar un punto de operación del banco de prueba.
- Se implementa un tacómetro láser para la obtención del punto operativo de la velocidad de rotación RPM la cual nos permite calcular variables como velocidad angular de la turbina y la velocidad unitaria, también permite determinar las curvas características de torque vs velocidad de rotación, caudal unitario vs velocidad unitaria y altura vs potencia útil.
- Se implementa un vatímetro para remplazar los instrumentos análogos y la identificación en tiempo real las medidas de tensión (V), intensidad (A) y potencia (Watts) eléctrica.

**Figura 3-1:** Diagrama del proceso y disposición de elementos del equipo (Olver 2020)



### 3.1.1. Cúpulas de protección

La cúpula de protección de la turbina se debe reemplazar por una similar para brindar la seguridad de que el líquido no salpicara por todas partes si no que por el contrario revote en sus paredes cayendo así nuevamente a la tolva y posteriormente al tanque.

La cúpula tendrá resguardada la turbina, y permite visualizar lo que sucede internamente por cuestiones práctico didácticas, también se necesita obtener seguridad con respecto a la presión del agua que saldrá de chorro libre de la válvula angular.

También se procede a cambiar la cúpula que protege las poleas y correas de la turbina al generador y de la turbina al freno prony.

### 3.1.2. Rodachinas

De la gran variedad de rodachinas que existen en el mercado se opta por utilizar rodachinas para andamio certificado figura 3-2, las cuales son capaces de soportar una carga de 100 kg la cual esta una  $\frac{1}{4}$  parte por arriba de las recomendaciones del fabricante del banco didáctico, en su construcción más básica la cual es de rueda de hierro y banda con poliuretano, esto las hace muy resistentes y estables, garantes de un agarre efectivo en el campo, el cual ofrece desplazamiento suave; la característica de fabricación de estas rodachinas consisten en un rin de hierro fundido, banda de poliuretano o ruedas completamente en poliuretano con un diametro de 4 pulgadas, soporte galvanizado, rosca de sujeción de 3/8 pulgada.

**Figura 3-2:** Rodachinas para andamio (Olver 2020)



### 3.1.3. Tubería

Como ya se explicó el sistema de tuberías fue necesario reemplazarlo en su totalidad, ya que su mal estado y disposición no permitía trabajar sobre ella para poder realizar la adaptación e incorporar la válvula angular a la salida del chorro libre y el caudalímetro vertical. Se utilizó el mismo tipo de tubería PVC que montaba el banco didáctico.

### 3.1.4. Dinamómetro

El dinamómetro figura 3-3, es un instrumento que se utiliza para medir fuerzas, son utilizados comúnmente para calcular el peso de un objeto, el dinamómetro tiene un funcionamiento sencillo el cual consiste de la elongación de un resorte el cual sigue la ley de Hooke.

Su implementación es oportuna para aprovechar la estructura designada para el freno prony, al seguir la recomendación del trabajo de grado que diseñó el banco didáctico se integra al sistema un dinamómetro de 50 kg el cual es el doble de la capacidad mínima recomendada por el fabricante del banco didáctico, al aprovechar el freno prony se puede visualizar y controlar un punto de operaciones en el banco de pruebas.

**Figura 3-3:** Dinamómetro de resorte (Olver 2020).



### 3.1.5. Válvula angular

Se nombra válvula a un accesorio cuyo objetivo es permitir o restringir el flujo de un líquido. La válvula angular se constituye de un vástago con una cara plana que tiene la función de ser un obturador sobre un orificio de menor diámetro a el orificio de salida de la válvula; el vástago cuenta una rosca fina para que el desplazamiento de la cara plana sea lento y puede tener más exactitud en la regulación del caudal para experimentación.

La válvula angular figura 3-4, son muy utilizadas por su gran desempeño en gabinetes contra incendios ya que trabajan a altas presiones sin que padezcan de cavitación su certificación se encuentra en el anexo A.

Se implementa la válvula angular en el banco para que sea capaz de regular el flujo del agua, determinando así 4 puntos de operación como son el caudal  $Q$ , la velocidad de rotación RPM, la altura  $h$  y la fuerza Newton, los cuales son de gran importancia para la determinación de las cuatro curvas características.

**Figura 3-4:** Válvula angular (Olver 2020)



### 3.1.6. Instrumentos de medición

#### 3.1.6.1. Manómetros

El manómetro es un instrumento de medición figura 3-5 que ayuda a identificar la presión que lleva un gas o un fluido en un determinado conducto, los manómetros son distintos a los barómetros que son los que miden la presión atmosférica por tal motivo su sistema y funcionamiento son distintos, el sistema de medición que usa un manómetro es muy variada pues dependiendo del sistema al que está sometido así mismo llevara su escala, pues puede ser presentadas en bar, psi o pascales. La certificación de cada uno de los manómetros se encuentra en anexo B.

Los manómetros tienen un porcentaje de error el cual viene identificado en la escala de medición lo cual es importante tener en cuenta para la precisión de cálculos o de posibles ensayos y ejercicios. Al remplazar los manómetros por unos con las mismas medidas, el beneficio de los nuevos manómetros se encuentra en su certificación de calibración puesto que tendremos un instrumento confiable al momento de evidenciar la medida de presión manométrica del agua a la salida de la bomba y a la salida del chorro libre; en el momento de conocer la presión manométrica se determina una de las variables de punto de operación que me permitirá calcular la curva característica de torque vs presión manométrica.

**Figura 3-5:** Manómetro (Olver 2020)



### 3.1.6.2. Caudalímetro digital

El Caudalímetro digital es un instrumento de medición figura 3-6, que consta de un rotor helicoidal el cual gira libremente en el interior del tubo, el funcionamiento consiste en que el fluido empuje las aspas del rotor haciendo que estas giren a una velocidad proporcional al caudal circulante.

Para obtener la medida, se precisa una bobina de inducción que son tratadas por un convertidor eléctrico capta el giro de las aspas del rotor y genera una señal eléctrica que proporciona el valor de caudal instantáneo, su certificación determina los parámetros de funcionamiento anexo C.

**Figura 3-6:** Caudalímetro digital (Olver 2020)



### 3.1.6.3. Tacómetro Láser

El tacómetro láser figura 3-7 es un instrumento para medir las revoluciones por minuto RPM de un objeto que rota; generalmente se emplean en la industria para medir la velocidad de rotación de un objeto, por ejemplo, el eje de un motor.

Su implementación es necesaria para determinar las curvas características expresadas anteriormente, sus parámetros y manual de uso están en el anexo D.

**Figura 3-7:** Tacómetro digital laser RPM (Olver 2020)



#### 3.1.6.4. Vatímetro digital

Es un instrumento figura 3-8 utilizado para proporcionar una indicación visual de la potencia eléctrica (Watts), intensidad eléctrica (Amp) y tensión eléctrica (Voltios); se implementa en el banco de prueba para la determinación de las tres principales medidas eléctricas mencionadas anteriormente Anexo F.

**Figura 3-8:** Vatímetro digital (Olver 2020)



## 3.2. Mantenimientos

Para poder proceder al montaje de los objetos anteriormente mencionados, se debe primeramente realizar una serie de mantenimientos a la estructura, a la bomba, al generador y las conexiones electricas.

### 3.2.1. Mantenimiento correctivo

Se denomina mantenimiento correctivo aquel que corrige los defectos observados en el equipo o instalación, en este caso se procede a realizar el mantenimiento de la bomba con una empresa especializada para que localice los defectos y averías que esta presentando.

#### 3.2.1.1. Bomba

El mantenimiento que se le realizó es de tipo correctivo figura 3-9, el mismo se dedicó fundamentalmente a la parte interna, en la detección de defectos y averías tales como: el impulsor, sello mecánico, tapa delantera de el impulsor, tapa trasera del impulsor, rodamiento y eje del motor.

Se procede primeramente a hacer el cambio de el rodamiento del motor y la limpieza de su eje, se sustituye el impulsor y se limpian sus respectivas tapas, por último se hace el cambio del sello mecánico (resorte y empaque de caucho), se anexa la factura que certifica lo anteriormente dicho anexo E.

**Figura 3-9:** Comparativa del mantenimiento Bomba (Olver 2020)



### 3.2.2. Mantenimiento preventivo

se denomina mantenimiento preventivo aquel mantenimiento que se dirige a la conservación de el equipo o instalaciones mediante una revision y limpieza que garantice su buen funcionamiento y fiabilidad.

#### 3.2.2.1. Estructura

El mantenimiento que se le hace a la estructura es de tipo preventivo figura 3-10 ya que solo se procede a lijar las partes que contienen corrosión para retirarla y dejar expuesta la lámina.

Posteriormente se procede a aplicar una pintura llamada pintura de tráfico la cual es utilizada para la demarcación en el pavimento por sus características capaces de resistir la abrasión y condiciones inherentes, por sus características es una pintura ideal para aplicar en la estructura recubriendo asi la lámina y protegiendola de la oxidación que se pueda producir.

**Figura 3-10:** Comparativa del mantenimiento estructura (Olver 2020)

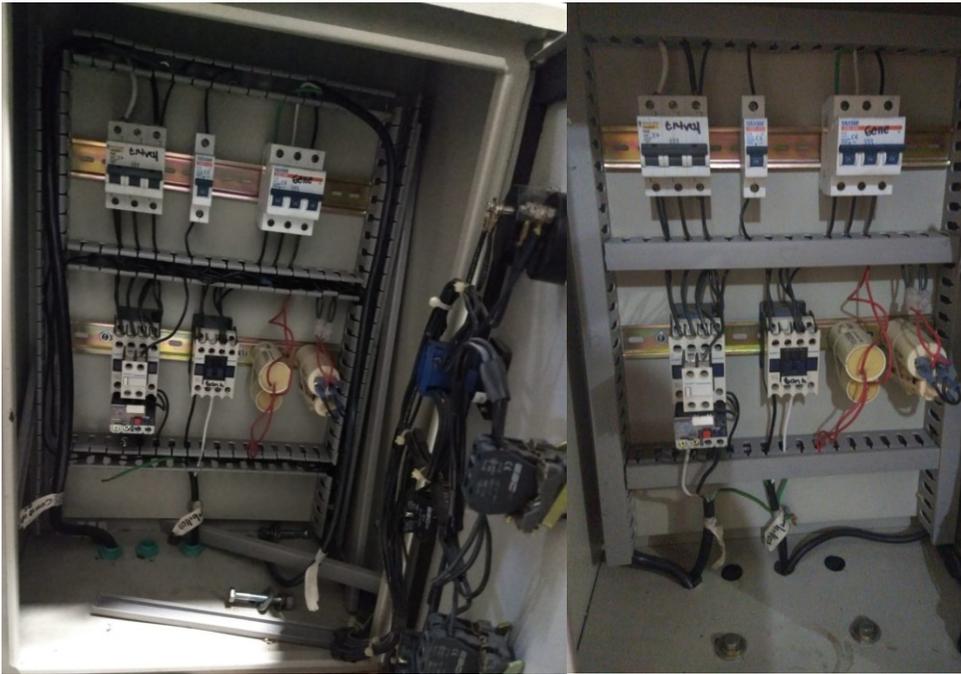


#### 3.2.2.2. Conexiones eléctricas

El mantenimiento electrico preventivo que se realiza al banco de pruebas figura 3-11 consiste en la limpieza de bornes de los conectores y instrumentos que

presenten oxidación o sarro en sus terminales, posteriormente a la limpieza de las conexiones eléctricas se limpia el gabinete que alberga todo el circuito eléctrico previniendo así material particulado que interfiera en el buen funcionamiento del circuito.

**Figura 3-11:** Comparativa del mantenimiento Conexiones eléctricas (Olver 2020)



### 3.3. Programa de mantenimiento preventivo

El programa de mantenimiento preventivo en la maquina figura 3-12 se propone para evitar un mal funcionamiento de el banco de prueba a futuro, de esta manera se garantiza las practicas adecuadas en el banco de prueba y que su utilización por parte de los estudiantes y profesores sea el optimo, para proceder con el mantenimiento preventivo se realiza un programana Anexo G en el cual se especifica que tipo de mantenimiento de debe hacer a cada uno de los componentes que se encuentra en el banco de pruebas.

**Figura 3-12:** Banco de pruebas para turbinas Pelton(Olver 2020)



## 4. Capítulo IV. Guía de laboratorio

A continuación se brinda una propuesta de guía para la determinación por parte de los estudiantes de las curvas características de eficiencia en una turbina Pelton

### 4.1. Objetivos

- Conocer cómo se comporta y funciona una turbina pelton.
- Analizar la influencia de las diferentes variables y cómo se comportan al establecerlas como constantes en la turbina pelton.
- Determinar experimentalmente las curvas características de eficiencia de una turbina pelton.
- Comparar el comportamiento de las diferentes curvas características y determinar la mejor eficiencia para la turbina pelton.

### 4.2. Variables de punto de operación

Para poder tomar datos es necesario identificar las variables que determinan el punto de operación de la turbina Pelton:

$Q$  = Caudal

$h$  = Altura

$F$  = Fuerza mostrada en el dinamómetro

$n$  = Velocidad de rotación tacómetro

$P_{\text{mano}}$  = Presión manométrica

$N_{\text{Vuel}}$  = Número de vueltas válvula angular

para tener el punto de operación de la turbina Pelton se debe simular unas condiciones de apertura determinada de la válvula angular, posteriormente

se procede a tomar los datos y registrarlos en las tablas, las variables que no son medidas por instrumentos se deben hallar por medio de sus respectivas fórmulas como por ejemplo la altura, el torque, velocidad angular, caudal unitario, velocidad unitaria, eficiencia, potencia útil y potencia neta.

### 4.3. Constantes de punto de operación

Para tomar los datos y poder determinar las curvas características es necesario contar con variables imprescindibles el momento de realizar los cálculos.

$g$  = Gravedad

$\rho$  = Densidad

$R_t$  = Radio de la turbina

$\pi$  = Número PI

$\gamma$  = Peso específico del fluido

$D$  = Diámetro de la turbina

### 4.4. Altura del sistema

Es importante determinar ya que es una variable de punto de operación que aporta en la determinación de las curvas características de la turbina pelton. Se calcula la altura mediante la ecuación de presión vs densidad y gravedad la variable de presión es observable en el manómetro, luego se divide por la multiplicación de las constantes de fluido y gravedad.

**Ecuación 4-1:** Altura (Mataix, 1982)

$$h = \frac{p_{man}}{\rho \times g}$$

$h$ : altura

$p_{man}$ : presión manométrica

$g$ : gravedad

$\rho$ : densidad

## 4.5. Cálculo de toque de la turbina

Es el cálculo del momento dinámico, al ser una magnitud vectorial que se obtiene de un punto de aplicación de fuerza y la ecuación se expresa.

**Ecuación 4-2:** Torque (Mataix, 1982)

$$\tau = (F) \times R_t$$

$F$ : Fuerza mostrada por el dinamometro cuando este funcionando el banco de ensayos mostrando la fricción que genera.

$R_t$ : Radio del rodete "turbina"

## 4.6. Velocidad angular de la turbina

La velocidad angular de la turbina es el ángulo barrido de el sistema en un determinado tiempo, se obtiene mediante la multiplicación de dos veces el número PI por RPM a dimensiionar, el resultado es dividido por minuto expresado en segundos.

**Ecuación 4-3:** Velocidad angular (Mataix, 1982)

$$W = \frac{2 \times \pi \times n}{60} = \frac{2 \times \pi \times n_i}{60}$$

$n$ : RPM

$\pi$ : Constante Pi

## 4.7. Caudal unitario de la turbina

Es el caudal que pasa por una sistema recto con una unidad de diámetro sobre una vertical proporcionada en el punto de operación.

**Ecuación 4-4:** Caudal unitario (Mataix, 1982)

$$Q_1 = \frac{Q}{D^2 \times \sqrt{h}}$$

$Q$ : Caudal

$D$ : Diametro de el rodete “turbina”

$h$ : Altura

## 4.8. Velocidad unitaria de la turbina

Es la velocidad de rotación que tiene la turbina, calculada por el resultado de la velocidad de rotación calculada por un tacómetro por el diámetro de la turbina dividiendo sobre la vertical proporcionada por el punto de operación del banco.

**Ecuación 4-5:** Velocidad unitaria (Mataix, 1982)

$$n_1 = \frac{n \times D}{\sqrt{h}}$$

$n$ : RPM

$D$ : Diametro de el rodete “turbina”

$h$ : Altura

## 4.9. Eficiencia de la energía de la turbina

La eficiencia de la energía es el cociente de potencia mecánica y potencia hidráulica como es un número a dimensionar, no quiere decir que las unidades de las variables y constante no sean iguales.

La importancia de calcular la eficiencia es el aporte comparativo en las curvas características, las cuales expresan las condiciones adecuadas necesarias para aprovechar el máximo rendimiento.

**Ecuación 4-6:** Eficiencia de una turbina (Mataix, 1982)

$$\eta = \frac{\text{potencia mecánica}}{\text{potencia hidráulica}} = \frac{\tau \times w}{\gamma \times Q \times h}$$

$\tau$  = Torque

$h$ : Altura

$\gamma$ : Peso específico de el fluido

$Q$ : Caudal

$w$ : Velocidad Angular de la turbina

## 4.10. Potencia útil o mecánica

Es la potencia que entrega la turbina al eje, la cual corresponde a un resultado del par de fuerzas que genera el eje de la turbina, para medir la velocidad de rotación se hace por medio de un tacómetro láser, el par de fuerza generado por el eje de la turbina se mide por medio de un freno prony el cual dara la fuerza que se efectua en el momento expresada en Nm, la potencia útil se representa con la siguiente fórmula:

**Ecuación 4-7:** Potencia útil o mecanica (Mataix, 1982)

$$P_{\text{útil}} = \tau \times w$$

$\tau$ : Torque

$w$ : Velocidad Angular de la turbina

### 4.11. Potencia neta o hidráulica

Es la potencia que entrega el fluido a la turbina, al ser la potencia que tiene el fluido a la entrada de la turbina ya que su salida se considera nula.

**Ecuación 4-8:** Potencia neta o hidráulica (Mataix, 1982)

$$P_{neta} = \gamma \times Q \times h = \rho \times g \times h \times Q$$

*h*: Altura

$\gamma$ : Peso específico de el fluido

*Q*: Caudal

*g*: Gravedad

$\rho$ : Densidad

### 4.12. Tablas a rellenar

Tabla 1					Datos corregidos a h = 20m		
Valores experimentales a $N_{vuel} = 2$							
1	2	3	4	5	6	7	8
$n$ (RPM)	Presion manometrica (PSI)	Caudal (L/h)	Torque (Nm)	$h$ (m)	$n$ (RPM)	$Q$ (L/h)	$T$ (Nm)
			60				
			120				
			180				
			240				
			300				
			360				

9	10	11	12	13	14
$P_{NETA}(W)$	$P_{UTIL}(W)$	$W(rad/s)$	$\eta(\%)$	$Q_1(m^3/h)$	$n_1(RPM)$

Tabla 2					Datos corregidos a $h = 20m$		
Valores experimentales a $N_{Vuel} = 8$							
1	2	3	4	5	6	7	8
$n(RPM)$	Presión manométrica (PSI)	Caudal (L/h)	Torque (Nm)	$h(m)$	$n(RPM)$	$Q(L/h)$	$T(Nm)$
			60				
			120				
			180				
			240				
			300				
			360				

9	10	11	12	13	14
$P_{NETA}(W)$	$P_{UTIL}(W)$	$W(rad/s)$	$\eta(\%)$	$Q_1(m^3/h)$	$n_1(RPM)$

Tabla 3							
Valores experimentales a $N_{Vuel} = 12$					Datos corregidos a $h = 20m$		
1	2	3	4	5	6	7	8
n(RPM)	Presion manometrica (PSI)	Caudal (L/h)	Torque (Nm)	h(m)	n(RPM)	Q(L/h)	T (Nm)
			60				
			120				
			180				
			240				
			300				
			360				

9	10	11	12	13	14
$P_{NETA}(W)$	$P_{UTIL}(W)$	$W(rad/s)$	$\eta(\%)$	$Q_1(m^3/h)$	$n_1(RPM)$

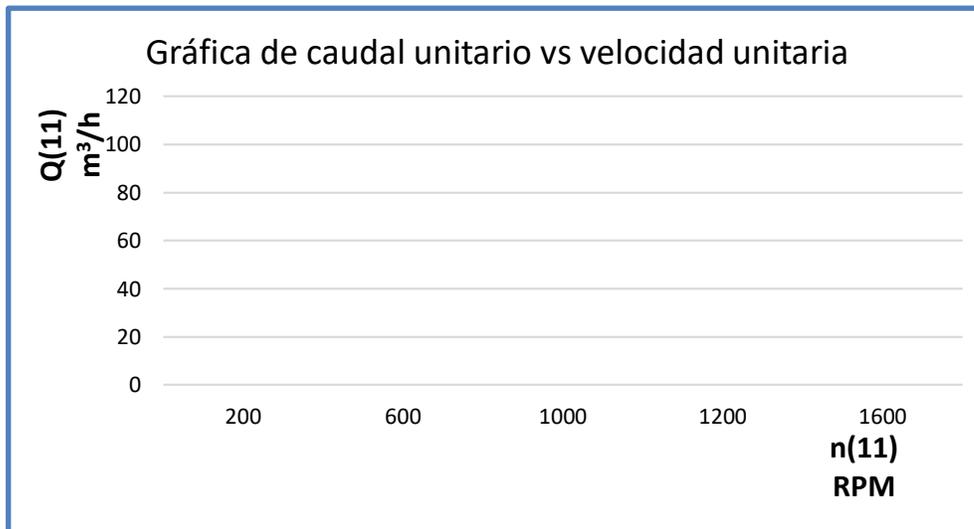
Tabla 4							
Valores experimentales a $N_{Vuel} = 18$					Datos corregidos a $h = 20m$		
1	2	3	4	5	6	7	8
n(RPM)	Presion manometrica (PSI)	Caudal (L/h)	Torque (Nm)	h(m)	n(RPM)	Q(L/h)	T (Nm)
			60				
			120				
			180				
			240				
			300				
			360				

9	10	11	12	13	14
$P_{NETA}(W)$	$P_{UTIL}(W)$	$W(\text{rad/s})$	$\eta(\%)$	$Q_1(\text{m}^3/\text{h})$	$n_1(\text{RPM})$

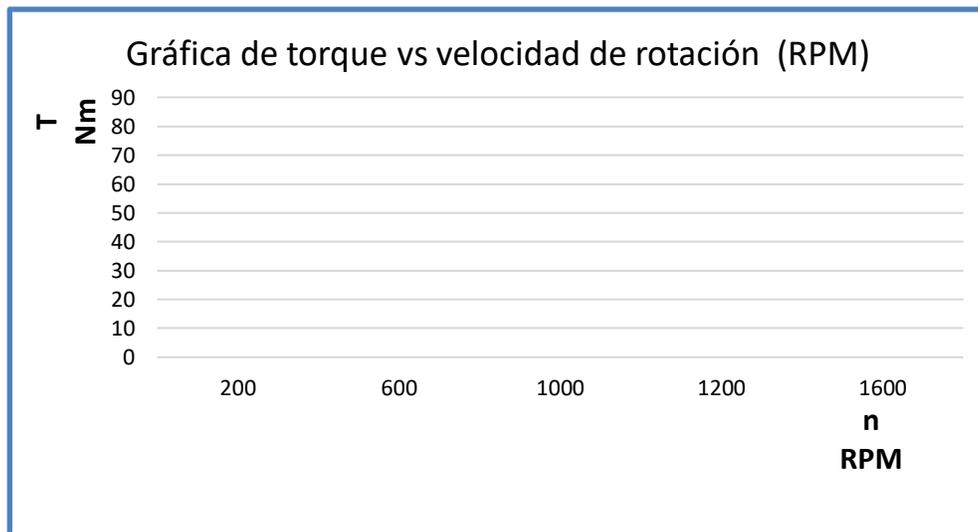
### 4.13. Gráficas

La construcción de las gráficas que determinan el comportamiento de las curvas características para la turbina Pelton, está suficientemente detallada en la introducción del presente trabajo. Es necesario realizar las 4 graficas por cada tabla de toma de datos, con el fin de poder evidenciar cual es la mejor configuración para los puntos de operación que tiene el banco de pruebas.

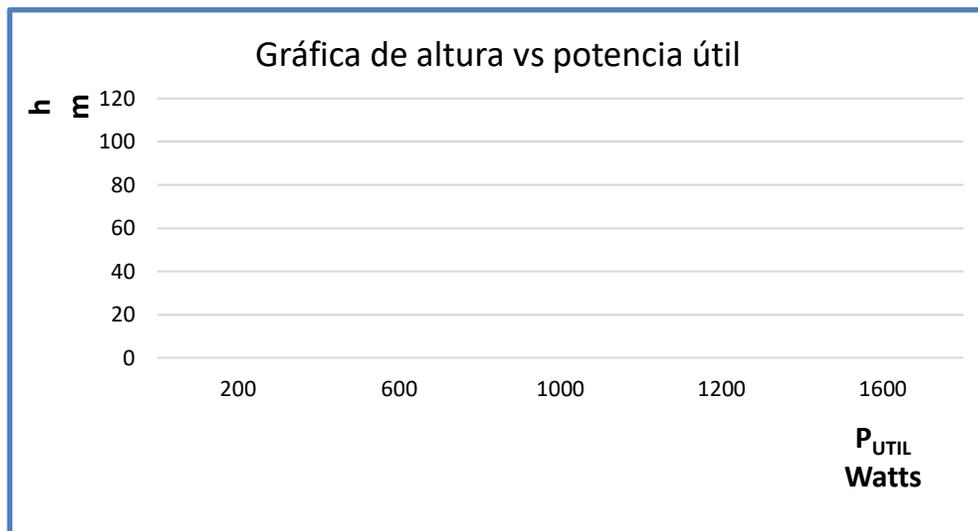
**Figura 4-1:** Caudal unitario VS Velocidad unitaria (maquirriain, 2017)

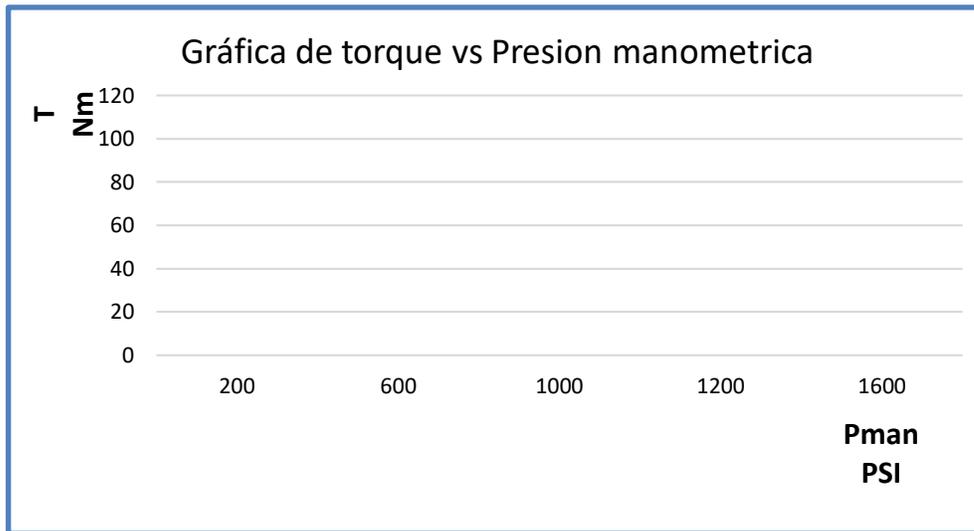


**Figura 4-2:** Toque VS Velocidad de rotación (maquirriain, 2017)



**Figura 4-3:** Altura VS Potencia útil (maquirriain, 2017)



**Figura 4-4:** Toque VS Presión manométrica (maquirriain, 2017)

La importancia de estas gráficas radica en la disposición, por parte del interesado en el tema, de un medio expedito para la toma de decisiones, dado que en ellas se evidencia, de manera explícita, cual es la mejor configuración para los puntos de operación que tiene el banco de pruebas.

#### 4.14. Actividades de desarrollo

Para poder realizar correctamente la guía de laboratorio es necesario seguir adecuadamente las actividades a continuación.

➤ **Actividad 1. Revisión previa al encendido del banco de pruebas**

**Paso 1:** se precisa identificar en el panel de control el botón de encendido, apagado y emergencia, con el objetivo de conocer la apertura y cierre del circuito eléctrico del banco de pruebas, asegurarse de que el sistema eléctrico de inicio este abierto.

**Paso 2:** posteriormente se debe conectar el cable de poder en una toma AC de 220 voltios.

**Paso 3:** se debe asegurar que la válvula 1 se encuentre abierta en su totalidad, que la válvula 3 se encuentre en su totalidad abierta, la válvula 2 se encuentre cerrada en su totalidad y que la válvula del tanque se encuentre cerrada.

**Paso 4:** revisar que la cúpula de protección se encuentre puesta en su sitio adecuadamente y que el dinamómetro se encuentre 0.

**Paso 5:** luego de hacer las revisiones pertinentes se procederá a llenar el tanque con agua hasta la medida máxima que se señala en el tanque.

➤ **Actividad 2. Desarrollo de las tablas y gráficas.**

**Paso 1:** se procederá a oprimir el pulsador de inicio de color verde, al momento de ver que la maquina funciona se debe dejar funcionar 30 segundos y luego apagarla, con el fin de permitir que el circuito hidráulico sea llenado en su totalidad y posteriormente apagar el banco de pruebas.

**Paso 2:** se procede a cerrar la válvula 3 y abrir la válvula 2 con las vueltas especificadas en la primera tabla, luego se ajusta el dinamómetro a la capacidad que se registra en la tabla y luego se procede a encender nuevamente el banco de pruebas.

**Paso 3:** se toma apuntes de los datos, velocidad de rotación “se toma con el tacómetro laser apuntando a la polea”, presión manométrica a la salida de la válvula 2 “se revisa el manómetro”, caudal y se calcula la altura “con la formula”.

**Paso 4:** luego de tomar los apuntes con la configuración de punto de operación que determina la tabla 1 se procede a corregir la altura con la válvula 1 y así poder obtener los datos faltantes de la tabla como lo son: velocidad de rotación, caudal, torque, potencia neta, potencia útil, velocidad angular, eficiencia, caudal unitario y velocidad unitaria.

**Paso 5:** luego de llenar completamente la tabla 1 se procede a colocar los puntos de operación calculados con altura corregida en las 4 gráficas y luego se unen los puntos para así poder obtener la gráfica de la curva característica correspondiente a la gráfica que se halla llenado.

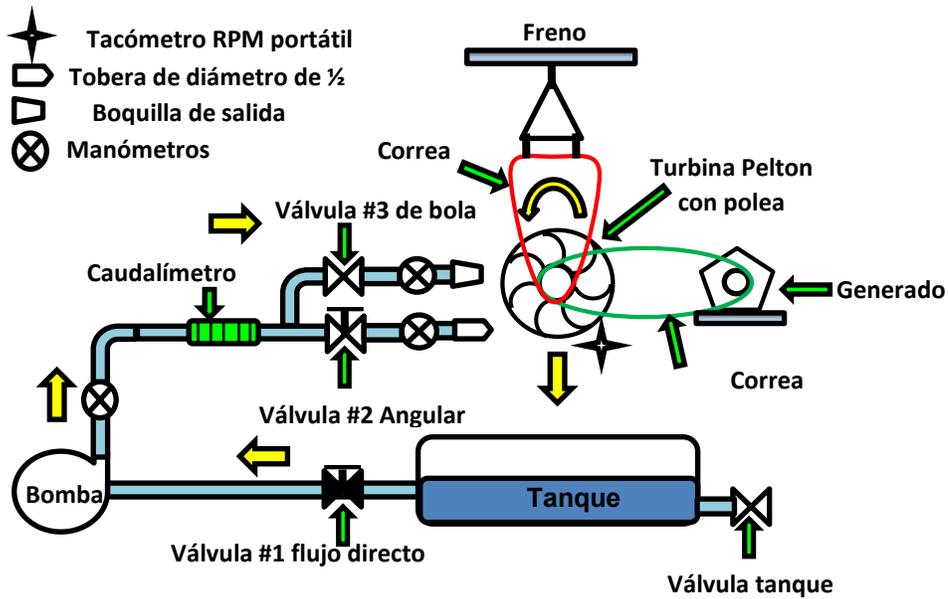
➤ **Actividad 3. Conclusiones guía de laboratorio.**

**Paso 1:** luego de determinar las 4 curvas características se procede a comparar con las gráficas pertenecientes a las otras 3 tablas de datos.

**Paso 2:** posteriormente de haber comparado se realizan las conclusiones y se da por terminada la guía de laboratorio

Para poder llenar las tablas 2, 3 y 4 es necesario seguir en su totalidad la actividad número 2, para poder realizar la actividad número 3 y terminar con la guía de laboratorio.

**Figura 4-5:** Diagrama del proceso y disposición de elementos del equipo (Olver 2020)



# 5. Conclusiones y recomendaciones

## 5.1. Conclusiones

1. Al desarrollar el diagnóstico y caracterización del banco didáctico se pudo constatar que presentaba: oxidación en la estructura, tanque de agua, partes y piezas. También se detectaron daños mecánicos en la bomba, tuberías con fugas, manómetros deteriorados, las protecciones de turbina y polea con roturas, e instrumentos de medidas eléctrica sin funcionamiento, así como falta de mantenimiento.
2. Las mejoras realizadas al banco didáctico consistieron en el mantenimiento a la estructura, bomba y generador, la instalación y montaje de nuevos instrumentos de medición como: caudalímetro, tacómetro, dinamómetro, manómetros y pizarra de control, todo ello implica que la universidad Antonio Nariño sede Neiva, disponga de un banco didáctico de ensayos para la determinación y estudio de las curvas características de una turbina Pelton.
3. Con las mejoras al banco didáctico se pueden desarrollar las prácticas de laboratorio que determinan las curvas características de caudal unitario vs velocidad unitaria, torque vs velocidad de rotación, altura vs potencia útil y torque vs presión manométrica de las turbinas PELTON.
4. Se hace una propuesta de una guía de laboratorio para estudiantes del programa de ingeniería mecánica, que permite el estudio teórico-práctico de las principales variables y obtención de las principales curvas características de una turbina Pelton.

## **5.2. Recomendaciones**

Se recomienda realizar un estudio que permita incrementar el análisis para la incorporación de otras curvas características.

Se recomienda evaluar la posibilidad de interconectar el banco de prueba con un software que determine las curvas características en tiempo real.

# A. Anexo: Certificación de funcionamiento de la válvula angular

10/10/2019

CERTIFICACION ULA 56.jpg

9/5/2016

VTSR.EX2964 - Hose Valves


**ONLINE CERTIFICATIONS DIRECTORY**


---

## VTSR.EX2964 Hose Valves

[Page Bottom](#)


---

### Hose Valves

[See General Information for Hose Valves](#)
**GIACOMINI SPA**

EX2964

VIA PER ALZO 39

28017 S MAURIZIO D'OPAGLIO, NOVARA ITALY

**Angle types, 1-1/2, 2-1/2 in., for 300 psi working pressure, Model(s) A55, A56**
**Gate types, 2-1/2 in., for 300 psi working pressure, Model(s) A53, A53-G**
**Gate types, 2-1/2 in., for 300 psig working pressure, Model(s) A55G, A56G**


Trademark and/or Tradename:

[Last Updated](#) on 2016-04-08

[Questions?](#)
[Print this page](#)
[Terms of Use](#)
[Page Top](#)

© 2016 UL LLC

The appearance of a company's name or product in this database does not in itself assure that products so identified have been manufactured under UL's Follow-Up Service. Only those products bearing the UL Mark should be considered to be Certified and covered under UL's Follow-Up Service. Always look for the Mark on the product.

UL permits the reproduction of the material contained in the Online Certification Directory subject to the following conditions: 1. The Guide Information, Assemblies, Constructions, Designs, Systems, and/or Certifications (files) must be presented in their entirety and in a non-misleading manner, without any manipulation of the data (or drawings). 2. The statement "Reprinted from the Online Certifications Directory with permission from UL" must appear adjacent to the extracted material. In addition, the reprinted material must include a copyright notice in the following format: "© 2016 UL LLC".

## B. Anexo: Certificación de funcionamiento de manómetros



**SERVICIOS TÉCNICOS INDUSTRIALES  
DE INSTRUMENTACIÓN  
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**

SERVITEINS-002 REV.7 2020-06-02

NUMERO: 197-11S20

SOLICITANTE	: OLVER FRANCISCO ALARCÓN
SITIO DE MEDICIÓN	: LABORATORIO SERVITEINS J&I S.A.S.
ÍTEM DE CALIBRACIÓN	: MANOMETRO ANALOGICO
FABRICANTE	: TELSA
MODELO:	: N/R
SERIE INDICADOR	: PI-244
SERIE SENSOR	: N/A
RESOLUCIÓN DEL INDICADOR	: 5 PSI
INTERVALO DE MEDIDA	: 0 - 200 PSI
CODIGO INTERNO	: N/R
CIUDAD / DIRECCIÓN	: NEIVA -HUILA
FECHA DE RECEPCIÓN	: 2020-11-11
FECHA DE CALIBRACIÓN	: 2020-11-12
NÚMERO DE PÁGINAS	: 4

**SERVITEINS J&I S.A.S.**  
SERVICIOS TÉCNICOS INDUSTRIALES  
DE INSTRUMENTACIÓN J&I S.A.S.  
N.N. 900.349 368 - 8

Este certificado de calibración solo podrá ser reproducido en su totalidad, para reproducciones parciales se debe obtener autorización por escrito del laboratorio que lo emite. El certificado de calibración sin firma no es válido.

Los resultados obtenidos en el presente certificado, se relacionan solamente al ítem sometido a calibración en el momento y condiciones en que se realizarán las mediciones. SERVITEINS J&I S.A.S. no se hace responsable de los perjuicios que se puedan originar por el uso



**SERVICIOS TECNICOS INDUSTRIALES  
DE INSTRUMENTACIÓN  
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**

SERVITEINS-002 REV.7 2020-06-02

NUMERO: 197-11S20

**MÉTODO DE CALIBRACIÓN:**

El método de calibración utilizado es comparación directa entre el ítem bajo prueba y un patrón de referencia trazable al sistema internacional de unidades (SI).

**DOCUMENTOS DE REFERENCIA:**

Guidelines on the Calibration of Electromechanical and Mechanical Manometers EURAMET Calibration Guide No. 17 en su versión vigente.

Guide for the Use of the International System of Units (SI) NIST Special Publication 811 en su versión vigente.

**CONDICIONES AMBIENTALES:**

Las condiciones ambientales durante la calibración fueron las siguientes:

	Media de las lecturas	Incertidumbre
Temperatura	27,8 °C	± 0,45 °C
Humedad Relativa	31,0 %hr	± 3,0 %hr

Tabla N° 1.

Fluido utilizado en calibración: REFRIGERANTE

**TRAZABILIDAD:**

SERVITEINS J&I S.A.S. asegura la trazabilidad de los patrones de trabajo utilizado en esta calibración, con patrones nacionales de referencia, calibrados por laboratorios acreditados bajo la norma ISO/IEC 17025 o el INM (Instituto Nacional de Metrología). Ver tabla a continuación:

PATRÓN	IDENTIFICACIÓN	CERTIFICADO N°
MODULO DE PRESION	95650835	DID-159-2776
CONTROLADOR DE PROCESO	8013025	MIC-B6064

Table N° 2  
SERVITEINS J & I S.A.S.  
SERVICIOS TÉCNICOS INDUSTRIALES  
DE INSTRUMENTACIÓN J & I S.A.S.  
NN 900 349 358 - 5

Fax: 070960  
Cm: 022234004  
Cm: 14 Sur 2 222 - 00  
serviteins@psnc.com

Certificado N° 197-11S20  
Fecha de Calibra: 2020/11/12  
Rango: 0 - 200 PSI



**SERVICIOS TÉCNICOS INDUSTRIALES  
DE INSTRUMENTACIÓN  
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**

SERVITEINS-002 REV.7 2020-06-02

NUMERO: 197-11S20

**RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN:**

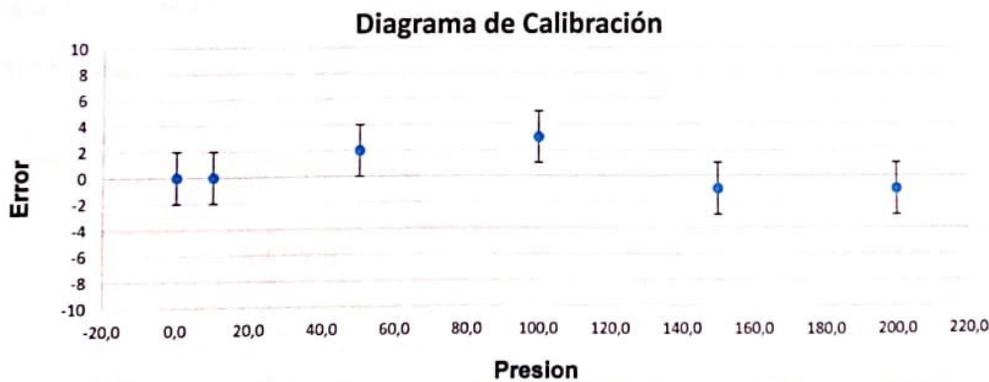
Al ítem bajo prueba se le efectuó una inspección física de su estado antes de realizar la calibración. Los resultados de la calibración se detallan a continuación:

Presion Aplicada (Patrón) PSI	Indicación IBC PSI	Error PSI
10,0	10,0	0,0
100,0	103,0	3,0
200,0	198,0	-2,0

Tabla N° 3. Resultados Antes de Ajuste

Presion Aplicada (IBC) PSI	Indicación PATRON (Media de las lecturas) PSI	Error PSI	Factor de cobertura k	Incertidumbre PSI
0	0	0	2	± 2
10	10	0	2	± 2
50	52	2	2	± 2
100	103	3	2	± 2
150	149	-1	2	± 2
200	199	-1	2	± 2

Tabla N° 3. Resultados de la calibración



**SERVITEINS J & I S.A.S.**  
SERVICIOS TÉCNICOS INDUSTRIALES  
DE INSTRUMENTACIÓN J & I S.A.S.  
NIR. 900.349.358 - 5

Tel: 619849  
Cel: 312275664  
Cll: 14 Sur # 22A - 99  
serviteins@psat.com  
Certificado N° 197-11S20  
Fecha de Calibra 2020/11/12  
Rango: 0 - 200 PSI



**SERVICIOS TÉCNICOS INDUSTRIALES  
DE INSTRUMENTACIÓN  
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**

SERVITEINS-002 REV.7 2020-06-02

**NUMERO: 197-11S20**

**INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN:**

*La incertidumbre expandida de la medición reportada se establece como la incertidumbre estándar de medición multiplicada por el factor de cobertura "k" y la probabilidad de cobertura, la cual debe ser aproximada al 95% y no menor a este valor*

**OBSERVACIONES:**

Ninguna.

Fecha de emisión	Revisado por:
2020-11-12	
	GERENTE GENERAL

**FIN DE ESTE CERTIFICADO**

**SERVITEINS J & I S.A.S.**  
SERVICIOS TÉCNICOS INDUSTRIALES  
DE INSTRUMENTACIÓN J & I S.A.S.  
NR 900 345 507 - 5





**SERVICIOS TECNICOS INDUSTRIALES  
DE INSTRUMENTACIÓN  
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**

SERVITEINS-002 REV.7 2020-06-02

NUMERO: 196-11S20

SOLICITANTE	: OLVER FRANCISCO ALARCÓN
SITIO DE MEDICIÓN	: LABORATORIO SERVITEINS J&I S.A.S.
ÍTEM DE CALIBRACIÓN	: MANOMETRO ANALOGICO
FABRICANTE	: PRESSURE GAUGE
MODELO:	: N/R
SERIE INDICADOR	: PI-240
SERIE SENSOR	: N/A
RESOLUCIÓN DEL INDICADOR	: 5 PSI
INTERVALO DE MEDIDA	: 0 - 200 PSI
CODIGO INTERNO	: N/R
CIUDAD / DIRECCIÓN	: NEIVA -HUILA
FECHA DE RECEPCIÓN	: 2020-11-11
FECHA DE CALIBRACIÓN	: 2020-11-12
NÚMERO DE PÁGINAS	: 4

**SERVITEINS J & I S.A.S.**  
SERVICIOS TÉCNICOS INDUSTRIALES  
DE INSTRUMENTACIÓN J & I S.A.S.  
Nº. 000.349 380 - 8

Este certificado de calibración solo podrá ser reproducido en su totalidad, para reproducciones parciales se debe obtener autorización por escrito del laboratorio que lo emite. El certificado de calibración sin firma no es válido.

Los resultados obtenidos en el presente certificado, se relacionan solamente al ítem sometido a calibración en el momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. SERVITEINS J&I S.A.S no se hace responsable de los perjuicios que se puedan originar por el uso



**SERVICIOS TECNICOS INDUSTRIALES  
DE INSTRUMENTACIÓN  
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**

SERVITEINS-002 REV.7 2020-06-02

**NUMERO: 196-11S20**

**MÉTODO DE CALIBRACIÓN:**

El método de calibración utilizado es comparación directa entre el ítem bajo prueba y un patrón de referencia trazable al sistema internacional de unidades (SI).

**DOCUMENTOS DE REFERENCIA:**

Guidelines on the Calibration of Electromechanical and Mechanical Manometers EURAMET Calibration Guide No. 17 en su versión vigente.

Guide for the Use of the International System of Units (SI) NIST Special Publication 811 en su versión vigente.

**CONDICIONES AMBIENTALES:**

Las condiciones ambientales durante la calibración fueron las siguientes:

	Media de las lecturas	Incertidumbre
Temperatura	27,8 °C	± 0,45 °C
Humedad Relativa	31,0 %hr	± 3,0 %hr

Tabla N° 1.

Fluido utilizado en calibración: REFRIGERANTE

**TRAZABILIDAD:**

SERVITEINS J&I S.A.S. asegura la trazabilidad de los patrones de trabajo utilizado en esta calibración, con patrones nacionales de referencia, calibrados por laboratorios acreditados bajo la norma ISO/IEC 17025 o el INM (Instituto Nacional de Metrología). Ver tabla a continuación:

PATRÓN	IDENTIFICACIÓN	CERTIFICADO N°
MODULO DE PRESION	95650835	DID-159-2776
CONTROLADOR DE PROCESO	8013025	MIC-B6064

Tabla N° 2



**SERVITEINS J & I S.A.S.**  
SERVICIOS TÉCNICOS INDUSTRIALES  
DE INSTRUMENTACIÓN J & I S.A.S.  
N.N. 900.349 358 - 5



**SERVICIOS TECNICOS INDUSTRIALES  
DE INSTRUMENTACIÓN  
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**

SERVITEINS-002 REV.7 2020-06-02

NUMERO: 196-11S20

**RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN:**

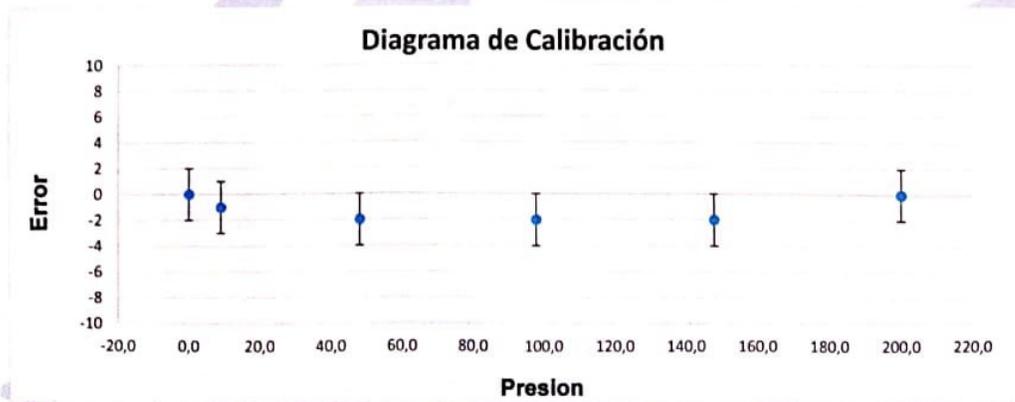
Al Item bajo prueba se le efectuó una inspección física de su estado antes de realizar la calibración. Los resultados de la calibración se detallan a continuación:

Presion Aplicada (Patrón) PSI	Indicación IBC PSI	Error PSI
8,0	10,0	-2,0
98,0	100,0	-2,0
198,0	200,0	-2,0

Tabla N° 3. Resultados Antes de Ajuste

Presion Aplicada (IBC) PSI	Indicación PATRON (Medía de las lecturas) PSI	Error PSI	Factor de cobertura k	Incertidumbre PSI
0	0	0	2	± 2
9	10	-1	2	± 2
48	50	-2	2	± 2
98	100	-2	2	± 2
148	150	-2	2	± 2
200	200	0	2	± 2

Tabla N° 3. Resultados de la calibración



Tel: 010460  
Caj: 322225460  
Cin: 16 549 358 - 5  
serviteins@gsnet.com

Certificado N° 196-11S20  
Fecha de Calibra: 2020/11/12  
Rango: 0 - 200 PSI

**SERVITEINS J & I S.A.S.**  
SERVICIOS TÉCNICOS INDUSTRIALES  
DE INSTRUMENTACIÓN J & I S.A.S.  
NN. 900 349 358 - 5



**SERVICIOS TECNICOS INDUSTRIALES  
DE INSTRUMENTACIÓN  
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**

SERVITEINS-002 REV.7 2020-06-02

**NUMERO: 196-11S20**

**INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN:**

*La incertidumbre expandida de la medición reportada se establece como la incertidumbre estándar de medición multiplicada por el factor de cobertura "k" y la probabilidad de cobertura, la cual debe ser aproximada al 95% y no menor a este valor*

**OBSERVACIONES:**

Ninguna.

Fecha de emisión	Revisado por:
2020-11-12	
	GERENTE GENERAL

**FIN DE ESTE CERTIFICADO**

**SERVITEINS J & I S.A.S.**  
SERVICIOS TECNICOS INDUSTRIALES  
DE INSTRUMENTACIÓN J & I S.A.S.  
NIT. 900.348 354 - 8



**SERVICIOS TECNICOS INDUSTRIALES  
DE INSTRUMENTACIÓN  
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**

SERVITEINS-002 REV.7 2020-06-02

NUMERO: 198-11S20

SOLICITANTE	: OLVER FRANCISCO ALARCÓN
SITIO DE MEDICIÓN	: LABORATORIO SERVITEINS J&I S.A.S.
ÍTEM DE CALIBRACIÓN	: MANOMETRO ANALOGICO
FABRICANTE	: TELSA
MODELO:	: N/R
SERIE INDICADOR	: PI-246
SERIE SENSOR	: N/A
RESOLUCIÓN DEL INDICADOR	: 5 PSI
INTERVALO DE MEDIDA	: 0 - 200 PSI
CODIGO INTERNO	: N/R
CIUDAD / DIRECCIÓN	: NEIVA -HUILA
FECHA DE RECEPCIÓN	: 2020-11-11
FECHA DE CALIBRACIÓN	: 2020-11-12
NÚMERO DE PÁGINAS	: 4

**SERVITEINS J & I S.A.S.**  
SERVICIOS TÉCNICOS INDUSTRIALES  
DE INSTRUMENTACIÓN J & I S.A.S.  
NR. 900 349 358 - 5

Este certificado de calibración solo podrá ser reproducido en su totalidad, para reproducciones parciales se debe obtener autorización por escrito del laboratorio que lo emite. El certificado de calibración sin firma no es válido.

Los resultados obtenidos en el presente certificado, se relacionan solamente al ítem sometido a calibración en el momento y condiciones en que se realizarán las mediciones. SERVITEINS J&I S.A.S. no se hace responsable de los perjuicios que se puedan originar por el uso



**SERVICIOS TECNICOS INDUSTRIALES  
DE INSTRUMENTACIÓN  
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**

SERVITEINS-002 REV.7 2020-06-02

NUMERO: 198-11S20

**MÉTODO DE CALIBRACIÓN:**

El método de calibración utilizado es comparación directa entre el ítem bajo prueba y un patrón de referencia trazable al sistema internacional de unidades (SI).

**DOCUMENTOS DE REFERENCIA:**

Guidelines on the Calibration of Electromechanical and Mechanical Manometers EURAMET Calibration Guide No. 17 en su versión vigente.

Guide for the Use of the International System of Units (SI) NIST Special Publication 811 en su versión vigente.

**CONDICIONES AMBIENTALES:**

Las condiciones ambientales durante la calibración fueron las siguientes:

	Media de las lecturas	Incertidumbre
Temperatura	27,8 °C	± 0,45 °C
Humedad Relativa	31,0 %hr	± 3,0 %hr

Tabla N° 1.

Fluido utilizado en calibración: REFRIGERANTE

**TRAZABILIDAD:**

SERVITEINS J&I S.A.S. asegura la trazabilidad de los patrones de trabajo utilizado en esta calibración, con patrones nacionales de referencia, calibrados por laboratorios acreditados bajo la norma ISO/IEC 17025 o el INM (Instituto Nacional de Metrología). Ver tabla a continuación:

PATRÓN	IDENTIFICACIÓN	CERTIFICADO N°
MODULO DE PRESION	95650835	DID-159-2776
CONTROLADOR DE PROCESO	8013025	MIC-B6064

Ta SERVITEINS J & I S.A.S.  
SERVICIOS TÉCNICOS INDUSTRIALES  
DE INSTRUMENTACIÓN J & I S  
N.N. 900.349 358 - 5

Int: 018102  
Ext: 323254008  
Calle 18 Sur # 226 - 89  
serviteins@guac.com

Certificado N°: 198-11S20  
Fecha de Calibra: 2020/11/12  
Rango: 0 - 200 PSI



**SERVICIOS TECNICOS INDUSTRIALES  
DE INSTRUMENTACIÓN  
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**

SERVITEINS-002 REV.7 2020-06-02

NUMERO: 198-11S20

**RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN:**

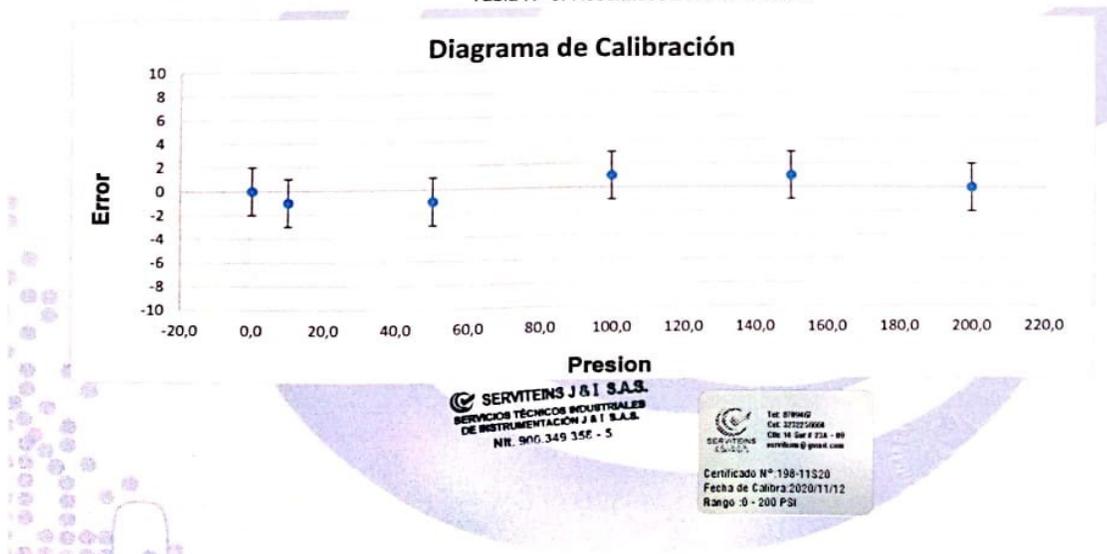
Al ítem bajo prueba se le efectuó una inspección física de su estado antes de realizar la calibración. Los resultados de la calibración se detallan a continuación:

Presion Aplicada (Patrón) PSI	Indicación IBC PSI	Error PSI
9,0	10,0	-1,0
101,0	100,0	1,0
200,0	200,0	0,0

Tabla N° 3. Resultados Antes de Ajuste

Presion Aplicada (IBC) PSI	Indicación PATRON (Media de las lecturas) PSI	Error PSI	Factor de cobertura k	Incertidumbre PSI
0	0	0	2	± 2
10	9	-1	2	± 2
50	49	-1	2	± 2
100	101	1	2	± 2
150	151	1	2	± 2
200	200	0	2	± 2

Tabla N° 3. Resultados de la calibración





**SERVICIOS TÉCNICOS INDUSTRIALES  
DE INSTRUMENTACIÓN  
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**

SERVITEINS-002 REV.7 2020-06-02

**NUMERO: 198-11S20**

**INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN:**

*La incertidumbre expandida de la medición reportada se establece como la incertidumbre estándar de medición multiplicada por el factor de cobertura "k" y la probabilidad de cobertura, la cual debe ser aproximada al 95% y no menor a este valor*

**OBSERVACIONES:**

Ninguna.

Fecha de emisión	Revisado por:
2020-11-12	
	GÉRENTE GENERAL

**FIN DE ESTE CERTIFICADO**

**SERVITEINS J & I S.A.S.**  
SERVICIOS TÉCNICOS INDUSTRIALES  
DE INSTRUMENTACIÓN J & I S.A.S.  
NH 990 349 350 - 5

# C. Anexo: Certificado de funcionamiento caudalímetro digital



**SERVICIOS TECNICOS INDUSTRIALES DE INSTRUMENTACIÓN**

**CERTIFICADO N° 024-11MF20**

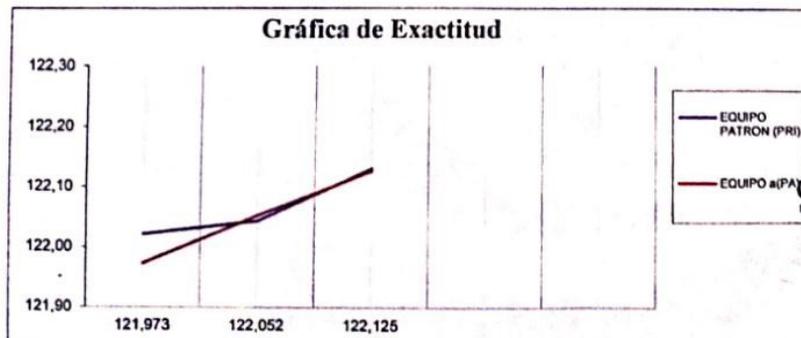
**REPORTE DE CALIBRACIÓN DE MEDIDOR DE FLUJO**

<b>EQUIPO :</b>	MEDIDOR DE FLUJO	<b>DIAMETRO</b>	1,5
<b>MARCA</b>	ELECTRONIC FLUID METER	<b>RANGO: gal*m</b>	10 - 100
<b>SERIE:</b>	S250	<b>FLUJO MINIMO/MAXIMO:</b>	40 L/min //280L/min
<b>MODELO:</b>	Number Under Batery	<b>CONEXIÓN</b>	1,5" NPT
<b>RATA INSTANTEA:</b>	9999,9	<b>EXACTITUD:</b>	0,50%
<b>RATA ACUMULATIVA:</b>	99999,0	<b>MASA PROBADOR lb</b>	1015,04
<b>FECHA CALIBRACIÓN:</b>	2020/11/17	<b>SOLICITANTE</b>	OLVER FRANCISCO ALARCON

**DATOS RECOLECTADOS TEST PRUEBA**

NUMERO PRUEBAS	EQUIPO PATRON (PRI)	EQUIPO a(PA)	DIFERENCIA (PRI-PA)	TIEMPO DE LLENADO (s)	LLENADO PROM DE GAL*M	ERROR %
1	122,022	121,973	-0,048	120	61,011	-0,040
2	122,043	122,052	0,009	120	61,022	0,007
3	122,130	122,125	-0,005	120	61,065	-0,004

Exactitud Promedio: **-0,0121**                      % Error Permitido: **0,35%**  
 Error de Histeresis: **-0,015**                      Tiempo Prom (min:seg:mls) **02:00,000**  
 CUMPLE     SI     NO



**SERVITEINS J & I S.A.S.**  
 SERVICIOS TECNICOS INDUSTRIALES DE INSTRUMENTACIÓN J & I S.A.S.  
 N°L. 900.349 358 - 5

**CALLE 14 SUR # 23 A-09 BARRIO ARIZMENDI MORA**  
**CONTACTO TEL: 8709467 CEL :323 2256664 - 316 4376265**  
**serviteins@gmail.com - serviteins@yahoo.es**



**SERVICIOS TECNICOS INDUSTRIALES  
DE INSTRUMENTACIÓN**

**CERTIFICADO N° 024-11MF20**

**REPORTE DE CALIBRACIÓN DE MEDIDOR DE FLUJO**

**TRAZABILIDAD**

SERVITEINS J&I S.A.S. asegura la trazabilidad de los patrones de referencia, certificados Bajo acreditación ONAC ; el cual certifica la trazabilidad del patrón.

DATOS EQUIPO PATRON EMPLEADO			
PATRON EMPLEADO	MEDIDOR DE FLUJO ULTRASONICO	N°CERTIFICADO	SM.LVR.01092020
SERIE	49646	RANGO L/h	100.000L/h
INCERTIDUMBRE	95,45%	DIVISION ESCALA L/h	0,1
TEMP CALIBRACION	20 °C	FECHA CALIBRACION	24/09/2020

**CALCULOS DE MEDICION DE FLUIDO**

$$x = \frac{\sum x_m \cdot n_i}{n}$$
 Llenado Promedio

VELOCIDAD =  $\frac{\text{CAUDAL}}{\text{FACTOR}}$

La incertidumbre ha sido calculada con un nivel de confianza del 95% aplicando un factor de cobertura k= 2

Condiciones ambientales: Temp : 29 °C  
 HR : 60 %



**NOTA**

Se recomienda al usuario que el instrumento en mención se le asigne calibraciones periódicas programadas, debido a que el uso lo deteriora y puede alterar apreciablemente la indicación o funcionamiento del mismo.

**SERVITEINS J & I S.A.S.**  
SERVICIOS TÉCNICOS INDUSTRIALES  
DE INSTRUMENTACIÓN J & I S.A.S.  
NIT. 900.340.350 - 6

FIRMA AUTORIZADA:

*(Handwritten Signature)*  
**IVAN CARDOZO BOTELLO**  
TECNICO INSTRUMENTISTA

**CALLE 14 SUR # 23 A-09 BARRIO ARIZMENDI MORA**  
**CONTACTO TEL: 8709467 CEL :323 2256664 - 316 4376265**  
**serviteins@gmail.com - serviteins@yahoo.es**

# D. Anexo: Manual de funcionamiento tacómetro

## TABLE OF CONTENTS

- 1. FEATURES ..... 1
- 2. SPECIFICATIONS ..... 1
- 3. FRONT PANEL DESCRIPTION ..... 2
- 4. MEASURING PROCEDURE ..... 3
- 5. MEASURING CONSIDERATION ..... 3
- 6. MEMORY ..... 4
- 7. BATTERY REPLACEMENT ..... 4

**CAUTION**  
**BEAM OF LIGHT-DO NOT**  
**STARE INTO EYE BEAM!**

### 1. FEATURES

- \* Large LCD displaying
- \* Wide measuring range & high resolution.
- \* Digital display gives exact RPM with no guessing or errors.
- \* The last value/max. value/min. value will be automatically stored in memory and can be displayed by Turn anytime.
- \* The use of durable, long-lasting components, including a strong, light weight ABS-plastic housing assures maintenance free performance for many years. The housing has been carefully shaped to fit comfortably in either hand.

### 2. SPECIFICATIONS

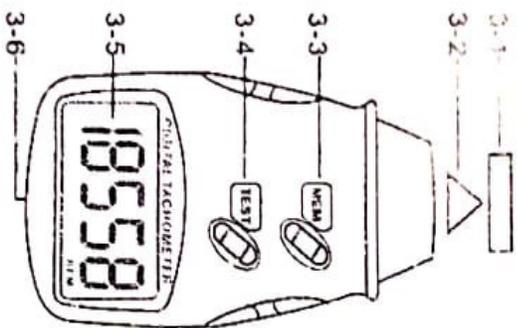
- Display: 5 digits, 18mm (0.7") LCD (Liquid Crystal Display), with function annunciation.
- Test Range: 2.5 to 99,999 RPM (r/min).
- Resolution: 0.1 RPM (2.5 to 999.9 RPM), 1 RPM (over 1,000 RPM).
- Accuracy:  $\pm(0.05\%+a \text{ digit})$ .
- Sampling Time: 0.8 sec. (over 60 RPM).
- Test Range Select: Automatic.
- Memory: Last value, Max. Value, Min. Value.
- Detecting Distance: 50 to 200mm/2 to 10 inch (LED)
- Time Base: 50 to 500 mm/2 to 20 inch (Laser Quartz crystal).
- Circuit: Exclusive one-chip of micro-computer LSI circuit.
- Battery: 6F22 9V

- Power Consumption: Approx. 35mA (LED)
- Approx 30mA (Laser)
- Operation Temp.: 0 to 50°C (32 to 122°F)
- Size 131 X 70 X 29mm
- Weight: 160g (including battery)

- Accessories:**
- Carrying case..... 1 pc.
  - Reflecting tape marks (600mm)..... 1 pc.
  - Operation manual..... 1 pc.
  - 6F22 9V SR-916 ..... 1 pc.

**3. FRONT PANEL DESCRIPTIONS**

- 3-1 Reflective mark
- 3-2 Signal light beam
- 3-3 Memory button
- 3-4 Measure button
- 3-5 Display
- 3-6 Battery Compartment/Cover



-2-

**4. MEASURING PROCEDURE**  
 Apply a reflective mark to the object being measured. Depress the MEASURE BUTTON and align the visible light beam with the applied target. Verify that the MONITOR INDICATOR lights when the target aligns with the beam (about 1 to 2 seconds).

**5. MEASURING CONSIDERATION**

**5-1 REFLECTIVE MARK**

Cut and peel adhesive tape provided into approx 12mm(0.5") squares and apply one square to each rotation shaft

- a. The non-reflective area must always be greater than the reflective area
- b. If the shaft is normally reflective, it must be covered with black tape or black paint before attaching reflective tape
- c. Shaft surface must be clean and smooth before applying reflective tape

**5-2 VERY LOW RPM MEASUREMENT**

As it is easy to get high resolution and fast sampling time. If measuring the very low RPM values, suggest user to attach more "REFLECTIVE MARKS" averagely. Then divide the reading shown by the number of "REFLECTIVE MARKS" averagely. Then divide the reading shown by the number of "REFLECTIVE MARKS" to get the real RPM.

**5-3 BATTERY REMOVAL**

If the instrument is not be used for any extended period, remove batteries.

-3-

## 6. MEMORY

6-1 A readout ( the last value, max. value, min. Value) obtained immediately before turning off the MEASURE BUTTON is automatically memorized. For example, please ref. following fig. 1.

6-2 That Memorized value can be displayed on the indicator by turn once depressing the memory button. The Symbol "UP" represents the Max. Value and "dn", the Min Value; "LA", the last Value.

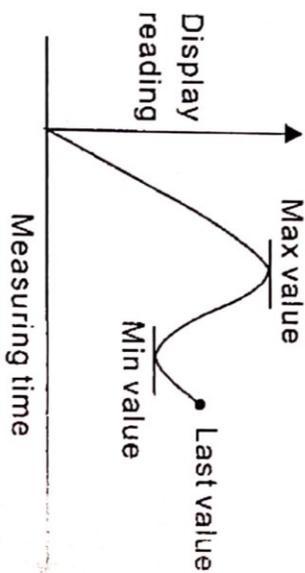


Fig.1

## 7. BATTERY REPLACEMENT

- (1) It is necessary to replace battery, when left corner of LCD display show "".
- (2) Slide the battery cover (3-6) away from the instrument and remove the battery.
- (3) Install the batteries 6F22 9V correctly into the case.

# E. Anexo: Certificado de mantenimiento bomba

**EL DESVARE DE LO INDUSTRIAL**  
 Sandra Yazmin Palomino - Nit. 26430538-1  
 Régimen Simplificado  
 E-mail: motoresycompresoresdeihulla@gmail.com

**SIEMENS**

Carrera 2 No. 1-16 Local 02 Tel. 872 26 34 - Cel. 316 788 17 31 Neiva - Huila  
**TRABAJOS GARANTIZADOS**

FECHA: 5 / 10 / 2020 **ORDEN DE SERVICIO** 6833

Señor: Oliver Francisco Alarcón C.C. o Nit. 1025315323

Dirección: Cra 8d # 26-30 Tel: 318 8605062

**ESTADO DEL ARTICULO:** Moto bomba color azul 1HP Marca Maruthon Wauson 43500 a 220V sin tapa de basera con capacitor con cable manometro 100psi glicerina buena

**DIAGNOSTICO:** Frenada mantenimiento

**EL DESVARE DE LO INDUSTRIAL**  
**8 6 OCT 2020**  
**ENTREGADO**

**LO AUTORIZADO POR EL CLIENTE:** Mantenimiento correctivo

**EL DESVARE DE LO INDUSTRIAL**  
**11 6 OCT 2020**  
**CANCELADO**

ABONO \$  SALDO \$  TOTAL \$ 170.000

**Para un buen servicio tener en cuenta las siguientes cláusulas:**

1. Después de 90 días no se responde por ningún artículo.
2. No se aceptan devoluciones de dinero.
3. Las garantías se atienden solamente en nuestras instalaciones de trabajo.
4. Toda garantía será dada solamente en mano de obra.
5. Todo artículo será entregado sólo con orden de servicio o factura.
6. Toda garantía se resolverá después de 5 días hábiles.

Firmado este documento se dará por aceptadas nuestras condiciones de trabajo y todo lo estipulado en esta orden de servicio.

*Recibi a satisfacción*

*[Firma]* 1025315323

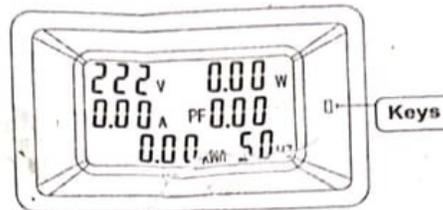
# F. Anexo: Certificado de funcionamiento vatímetro

## Operation Instructions of Wired Power Monitor

This intelligent power monitor is designed by ASIC. It has good stability and high precision. It displays voltage effective value, current effective value, active power, accumulated electric quantity, grid frequency and power factor in full screen, and can be widely used in civil and industrial fields.

### Instructions of Button

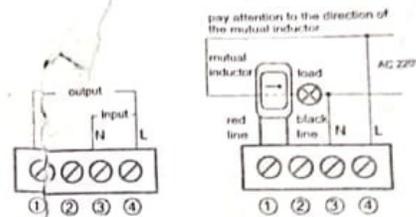
1. Click button to turn on or off background light.
2. Hold the button for 3 seconds to set overload power.
  - 2.1 Go to the page of setting overload power (factory default is 4.4KW).
  - 2.2 Flicker at highest position; click once to add 1; hold the button for 2 seconds for displacement; the maximum set value is 99.9KW.
  - 2.3 No operation on the button for 5 seconds, it will exit and save data.
3. Hold the button for 5 seconds, the system will reset, accumulated electric quantity is cleared, and the overload power is reset to default.



Display

### Instructions of Product

1. Six major functions are displayed in full screen; background light flickers for warning overload power. When the current power is smaller than overload power, it will stop alarm.
2. P06S-20 and P06S-100 are different products, which cannot be used in the same way! Because they adopt different internal principles and designed in different structures. You should use the correct wiring method corresponding to the product. The damage of the product, caused by wrong wiring, will not be covered in warranty!
3. Model P06S-100 product must be connected with an external mutual inductor in normal operation. Threading must follow the arrow of the mutual inductor! No power and power factor after operating indicates wrong wiring, please refer to the wiring diagram!



20A Wiring Diagram

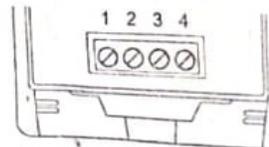
100A Wiring Diagram

- Note: output ①③  
input ②④
- ① output neutral line
  - ② input neutral line
  - ③ the same as ②
  - ④ input and output live line

- Note: mutual inductors ①②  
input ③④
- ① connect to red line of mutual inductor
  - ② connect to black line of mutual inductor
  - ③ input neutral line
  - ④ input live line

### Cautions

1. The sum of load power of the electric appliance connected with the product should not exceed rated power, or the product will be damaged, even resulting in fires.
2. The product doesn't have waterproof function, so please use it under dry environment. Prevent splash water when using it near a bathroom, a kitchen, a fishbowl, etc.
3. Keep it away from children and fire; do not plug any foreign matter rather than a wire in the connection hole; please fasten the screw.
4. Do not disassemble the product without permission; if it has something wrong, please get a professional repairer or return to the factory.



Way of connecting lines

### Quality Warranty

The warranty period of the product is one year since the date of purchasing. During the warranty period, the company will be liable for free repair on quality problems caused by non-human factors.

Our company keeps on providing updated products. There may be some differences on appearance, functions, technical parameters, etc. between the product described in the instructions and the real one you received, please be subject to the real product. Our company reserves the right of interpretation of the instructions. If you have any question, please call us for details!

## G. Anexo: Plan de mantenimiento preventivo

El plan de mantenimiento presentado a continuación ilustra la manera correcta en la que se debe realizar el mantenimiento para los diferentes componentes que se encuentran en el banco de pruebas, el mantenimiento también lo debe realizar las empresas que han calibrado y colocado a punto de operación los diferentes instrumentos y maquinas.

Objeto	Tipo de mantenimiento	Quien realiza el mantenimiento	Observaciones
Bomba MARATHON JVD- 162TCFR17007AA L	Mantenimiento preventivo	La empresa <b>EL DESVARE DE LO INDUSTRIAL</b> ubicada en Neiva-Huila en la dirección Carrera 2 # 1 – 16 local 2	El mantenimiento se hace cada 12 meses en la empresa indicada
Generador SIEMENS 1LA7 070-4YA60			
Manómetros	Mantenimiento preventivo, correctivo y calibración	La empresa <b>SERVITEINS J&amp;I S.A.S.</b> ubicada en Neiva-Huila en la dirección Calle 14 sur # 23 <sup>a</sup> – 09	El mantenimiento se realiza cada 12 meses o cada 400 prácticas de laboratorio realizadas en el banco
Caudalímetro			
Tanque y Tolva	Mantenimiento preventivo	El estudiante o profesor que opera el banco de prueba	Se debe limpiar el tanque y tolva antes de llenar el tanque de agua y después de culminar las practicas se debe retirar todo el agua en tanque y tolva para prevenir corrosión
Cúpula de protección	Mantenimiento preventivo		Se debe retirar toda el agua que se encuentre en la cúpula previniendo así manchas que no permitan la perfecta visualización de la turbina

## H. Anexo: Tabla de presupuesto

Cantidad	Descripción	Valor unitario	Total
1	Mantenimiento correctivo de la bomba	\$170.000	\$170.000
3	Manómetros	\$68.000	\$204.000
1	Caudalímetro	\$490.000	\$490.000
1	Válvula angular	\$360.000	\$360.000
1	Dinamómetro	\$30.000	\$30.000
1	Cúpula de protección turbina	\$235.000	\$235.000
2	Media lamina de acrílico	\$150.000	\$300.000
1	Media lamina de madera	\$68.000	\$68.000
4	Rodachinas para andamio de 110 kg	\$89.600	\$358.400
1	Tacómetro laser	\$137.000	\$137.000
3	Certificación de manómetros	\$316.000	\$948.000
1	Certificación de caudalímetro	\$345.000	\$345.000
2	¼ de pintura de trafico	\$28.000	\$28.000
26	Tornillos, arandelas y tuercas	\$49.000	\$49.000
1	2 metros de tubo PVC de presión de 1.5 pulgadas	\$6.000	\$12.000
13	Codos de PVC de presión de 1.5 pulgadas	\$4.600	\$59.800
2	Acoples roscados de PVC de presión de 1.5 pulgadas	\$12.500	\$25.000
7	Entrada macho de PVC de presión de 1.5 pulgadas	\$7.000	\$49.000
3	Entrada hembra de PVC de presión de 1.5 pulgadas	\$6.800	\$20.400
1	Válvula de globo de PVC de presión de 1.5 pulgadas	\$16.700	\$16.700
1	20 metros de cable electrico calibre 18	\$950	\$19.000
	<b>Total</b>		<b>3'923.900</b>

# Bibliografía

- A Židonis, G. A. (2015). State of the art in numerical modelling of Pelton turbines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135-144.
- Barstad, L. F. (2012). CFD analysis of a Pelton turbine.
- blogger.com*. (19 de septiembre de 2015). Obtenido de <http://ingenieriaetica.blogspot.com/2015/09/>
- Cano, R. G. (2012). construcción de un banco de pruebas para turbinas hidráulicas 2 nz. Bucaramanga, Santander, Colombia.
- conflictos-ambientales. (07 de 09 de 1987). *conflictos-ambientales.net*. Obtenido de [https://conflictos-ambientales.net/oca\\_bd/actors/view/387](https://conflictos-ambientales.net/oca_bd/actors/view/387)
- D.S.Benzon, e. a. (2016). Development of the Turgo Impulse turbine: Past and present. *Applied Energy*, 1-18.
- diccionario.reverso.net. (s.f.). *diccionario.reverso.net*. Obtenido de <https://diccionario.reverso.net/espanol-definiciones/banco+de+pruebas>
- Diez, P. F. (1996). turbinas hidráulicas. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética. Universidad de Cantabria, cantabria, España.
- enel. (s.f.). *enel.com.co*. Obtenido de <https://www.enel.com.co/es/conoce-enel/enel-emgesa/el-quimbo/cronologia-represa-del-quimbo.html>
- faeitch2012. (28 de febrero de 2012). *faeitch2012.wordpress.com*. Obtenido de <https://faeitch2012.wordpress.com/2012/02/28/turbinas-pelton/>
- GENERALIDADES, U. A. (s.f.). *UAN.EDU.CO 2020 [ONLINE]*. Obtenido de <https://www.uan.edu.co/FACULTAD-DE-INGENIERIA-MECANICA-ELECTRONICA-Y-BIOMEDICA>
- Hernando, o. T. (2012). *Diseño Construcción Y Puesta En Marcha De Un Banco Didáctico Pico Hidroeléctrico Para La Generación De 200w De Energía Eléctrica Por Medio De Una Turbina Kaplan*. neiva .
- José., S. (2002). Network, B. U. (2002). Manuales sobre energía renovable: Hidráulica a pequeña escala. Bucaramanga.
- Mantilla, J. A. (2012). Construcción de un banco de pruebas para una turbina hidráulica LH 1000. Bucaramanga, Colombia.
- maquirriain, R. e. (noviembre de 2017). <https://academica-e.unavarra.es>. Obtenido de <https://academica->

e.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/30652/EspadaMaquirriainTFG.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Mataix, C. (1982). *Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas*. Segunda edición, ed.
- otros, K. P. (2010). Development of Pelton turbine using numerical simulation. (*K Patel et al 2010 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 12 012048*).
- RL, M. (2006). *Mecánica de Fluidos 6/e*. Pearson educación. pearson.
- T Staubli, P. W. (2010). EFFICIENCY INCREASE BY JET QUALITY IMPROVEMENT AND REDUCTION OF SPLASHING WATER IN TE CASING OF PELTON TURBINES. *researchgate.net*.
- Valdés, E. A. (1996). <http://www.plandecenal.edu.co>. Obtenido de [http://www.plandecenal.edu.co/cms/media/herramientas/colombia\\_al\\_filo\\_de\\_la\\_oportunidad.pdf](http://www.plandecenal.edu.co/cms/media/herramientas/colombia_al_filo_de_la_oportunidad.pdf)