



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

“IMPLEMENTACIÓN DE UNA TURBINA TURGO PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA EN EL LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”

**CABADIANA MOROCHO PAÚL ALEJANDRO
OÑATE GUERRERO ALEX MAURICIO**

TESIS DE GRADO

Previa a obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

RIOBAMBA – ECUADOR

2016

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2015-01-20

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**CABADIANA MOROCHO PAÚL ALEJANDRO
OÑATE GUERRERO ALEX MAURICIO**

Titulada:

**“IMPLEMENTACIÓN DE UNA TURBINA TURGO PARA GENERACIÓN
ELÉCTRICA EN EL LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA DE LA
FACULTAD DE MECÁNICA”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Marco Santillán Gallegos
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Marco Ordoñez Viñán
DIRECTOR

Ing. Lenin Orozco Cantos
ASESOR

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: CABADIANA MOROCHO PAÚL ALEJANDRO

TÍTULO DE LA TESIS: “IMPLEMENTACIÓN DE UNA TURBINA TURGO PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA EN EL LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”

Fecha de Examinación: 2016-06-08

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Edwin Viteri Núñez PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Marco Ordoñez Viñán DIRECTOR			
Ing. Lenin Orozco Cantos ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Edwin Viteri Núñez
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: OÑATE GUERRERO ALEX MAURICIO

TÍTULO DE LA TESIS: |“IMPLEMENTACIÓN DE UNA TURBINA TURGO PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA EN EL LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”

Fecha de Examinación: 2016-06-08

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Edwin Viteri Núñez PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Marco Ordoñez Viñán DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Lenin Orozco Cantos ASESOR DE TESIS			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Edwin Viteri Núñez
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

DERECHOS DE AUTORIA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los Autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Cabadiana Morocho Paúl Alejandro

Oñate Guerrero Alex Mauricio

DECLARACION DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Cabadiana Morocho Paúl Alejandro y Oñate Guerrero Alex Mauricio, declaramos que el presente trabajo de grado es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Cabadiana Morocho Paúl Alejandro
Cédula de Identidad: 060424094-5

Oñate Guerrero Alex Mauricio
Cédula de Identidad: 180448129-7

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a dios por guiar mis pasos, a mis padres por el apoyo incondicional y los valores que en mí inculcaron, y a mi hermana por siempre estar presentes en los momentos difíciles dándome consejos de vida.

Paúl Alejandro Cabadiana Morocho

Esta tesis se la dedico a mis dos hijos Arley que estas en el cielo y Scarleth mi adorada princesa quienes han sido el motor para darme ánimos y superar todas las adversidades , darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban.

Alex Mauricio Oñate Guerrero

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad.

Y en especial para todos los amigos, compañeros y personas que nos apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito una etapa de nuestras vidas.

Paúl Alejandro Cabadiana Morocho

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad.

Y en especial a mis padres ya que sin el apoyo incondicional de ellos no fuera posible culminar con éxito una etapa de mi vida.

Alex Mauricio Oñate Guerrero

CONTENIDO

Pág.

1.	INTRODUCCIÓN	
1.1	Antecedentes	1
1.2	Justificación	1
1.3	Objetivos	2
1.3.1	<i>Objetivo general</i>	2
1.3.2	<i>Objetivos específicos</i>	2
2.	MARCO TEÓRICO	
2.1	Turbinas hidráulicas.....	3
2.1.1	<i>Generalidades de las turbinas hidráulicas</i>	3
2.1.2	<i>Clasificación de las turbinas hidráulicas</i>	3
2.1.2.1	<i>Clasificación según el grado de reacción</i>	3
2.1.2.2	<i>De acuerdo al diseño del rodete.</i>	4
2.1.3	<i>Turbina Turgo</i>	6
2.1.3.1	<i>Funcionamiento de la Turbina Turgo</i>	7
2.1.3.2	<i>Usos de la turbina Turgo.</i>	8
2.2	Bombas	9
2.2.1	<i>Generalidades de las bombas</i>	9
2.2.2	<i>Tipos de bombas.</i>	11
2.2.2.1	<i>Bombas dinámicas o turbomaquinas</i>	11
2.2.2.2	<i>Bombas de desplazamiento positivo</i>	12
2.2.3	<i>Especificación de la bomba</i>	12
2.3	Generadores	15
2.3.1	<i>Generalidades</i>	15
2.3.1.1	<i>Generadores mecánicos</i>	15
2.4	Pérdidas por tubería	16
2.4.1	<i>Ecuación de la continuidad</i>	16
2.4.2	<i>Presión</i>	17
2.4.3	<i>Ecuación general de la energía (Teorema de Bernoulli)</i>	18
2.4.4	<i>Numero de Reynolds</i>	19
2.5	Medición de caudal	20
2.5.1	<i>Vertederos</i>	20
2.5.1.1	<i>Vertederos de placa triangular</i>	21
2.6	Corrosión	21
2.7	Mantenimiento industrial	21
2.7.1	<i>Importancia del mantenimiento</i>	22
2.7.2	<i>Clases de mantenimiento.</i>	22
3.	INSTALACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS	
3.1	Problemas encontrados en los componentes.....	23
3.2	Verificación del funcionamiento de la bomba	23
3.2.1	<i>Criterios y análisis de repotenciación</i>	24
3.3	Montaje de la bomba	26
3.3.1	<i>Cimentación</i>	26
3.3.2	<i>Alineación de la bomba y prevención de vibraciones</i>	27

3.4	Mantenimiento del tanque reservorio	27
3.4.1	<i>Aplicación de pintura anticorrosiva en el tanque.</i>	28
3.5	Instalación de la tubería	29
3.6	Instalación de la Turbina Turgo al tanque reservorio	32
3.7	Fabricación de accesorios especiales	34
3.7.1	<i>Codo de 26 grados</i>	34
3.7.2	<i>Abrazadera</i>	36
3.8	Tablero de control.....	36
3.8.1	<i>Enchufe trifásico</i>	37
3.8.2	<i>Botonera On/Off.</i>	37
3.8.3	<i>Botón de pánico o paro de emergencia</i>	37
3.8.4	<i>Luces piloto</i>	38
3.8.5	<i>Contactador</i>	38
3.8.6	<i>Relé térmico</i>	39
3.8.7	<i>Circuito eléctrico.</i>	39
3.9	Instalación de manómetros	40
3.10	Diagrama piping and instrumentation diagram “P&ID”	43
4.	TOMA DE DATOS	
4.1	Medición de caudal	44
4.1.1	<i>Medición de caudal por vertedero</i>	44
4.1.1.1	<i>Válvula abierta 3 vueltas o 1080 grados</i>	47
4.1.1.2	<i>Válvula abierta 3 vueltas o 2160 grados</i>	48
4.1.1.3	<i>Válvula abierta 9 vueltas o 3240</i>	48
4.1.1.4	<i>Válvula completamente abierta</i>	49
4.1.2	<i>Caudal por flujo volumétrico</i>	49
4.1.2.1	<i>Válvula abierta 3 vueltas o 1080 grados</i>	50
4.1.2.2	<i>Válvula abierta 6 vueltas o 2160 grados</i>	51
4.1.2.3	<i>Válvula abierta 9 vueltas o 3240 grados.</i>	51
4.1.2.4	<i>Válvula totalmente abierta</i>	52
4.1.3	<i>Análisis de caudal con un modelo CFD</i>	52
4.1.3.1	<i>Mallado y calificación</i>	54
4.1.3.2	<i>Definición de propiedades y condiciones del sistema</i>	56
4.1.3.3	<i>Resultados</i>	56
4.2	Medición de presión.....	58
4.2.1	<i>Presión en los manómetros de Bourdon</i>	58
4.2.2	<i>Presión en el manómetro diferencial</i>	59
4.3	Análisis de las pérdidas en la tubería.....	59
4.3.1	<i>Pérdidas en la tubería de descarga (Hr).</i>	60
4.4	Análisis de potencia de la turbina	65
5.	PRUEBAS	
5.1	Realización de pruebas	72
5.2	Resultados de las pruebas	73
5.3	Análisis de resultados	75
6.	CÁLCULO Y ANÁLISIS DE COSTOS	
6.1	Análisis de costos por operación y mantenimiento.	77
6.2	Costos directos.....	77
6.3	Costos indirectos.....	77

6.4	Costos totales	78
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
7.1	Conclusiones	79
7.2	Recomendaciones	80

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1	Elementos del sistema 29
2	Elementos 32
3	Válvula abierta 3 vueltas o 1080 grados 47
4	Válvula abierta 3 vueltas o 2160 grados 48
5	Válvula abierta 9 vueltas o 3240 48
6	Válvula completamente abierta 49
7	Válvula abierta 3 vueltas 50
8	Válvula abierta 6 vueltas 51
9	Válvula abierta 9 vueltas 51
10	Válvula totalmente abierta 52
11	Caudal real 52
12	Valores de oblicuidad y calidad de malla 54
13	Condiciones del sistema 56
14	Presión en manómetros de Bordon 58
15	Presión manómetro diferencial 59
16	Presión en Psi 59
17	Velocidad en la tubería 62
18	Coeficiente K en accesorio especial 62
19	Coeficiente K en reducción 63
20	Coeficiente K en ampliación 63
21	Sumatoria de pérdidas por accesorios 64
22	Cálculo del Hr 65
23	Altura de descarga 65
24	Velocidad de la boquilla 67
25	Revoluciones de la turbina 70
26	Potencia teórica 71
27	Calificación de vibraciones 76

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1	Turbina Kaplan 4
2	Turbina Pelton 5
3	Turbina Francis 5
4	Turbina Michell Banki 6
5	Turbina Turgo 6
6	Inyector de la turbina 7
7	Turbina partes 8
8	Lugar de instalación de la Turbina tugo 9
9	Esquema de bombeo 10
10	Tornillo de Arquimedes 10
11	Clasificación de las bombas 11
12	Bomba dinámica 11
13	Bomba centrífuga 13
14	Esquema de generación eléctrica 15
15	Relación de presiones 17
16	Balance de energía para dos puntos de un fluido 18
17	Vertedero de placa delgada 20
18	Corrosión en el acero 21
19	Clases de mantenimiento 22
20	Bomba GOULDS 23
21	Bomba 24
22	Sellos mecánicos 25
23	Bomba desarmada 25
24	Bomba aplicando la pintura 26
25	Perno de anclaje 26
26	Bomba, cauchos y base 27
27	Tanque antes 28
28	Tanque pintado 28
29	Bomba acoplada 29
30	Primer tramo de tubería 31
31	Perfil L 33
32	Instalación de turbina 33
33	Codo construido 34
34	Fuga en el accesorio especial 35
35	Calentamiento del codo 35
36	Doblando del tubo 35
37	Soporte de tubería 36
38	Enchufe 220V 37
39	Botones 37
40	Botón de paro 37

41	Botones	38
42	Contactador	38
43	Rele térmico.....	39
44	Circuito	39
45	Limpieza de tubería	40
46	Neplo cortado	40
47	Perforaciones en la tubería	41
48	Soldadura de neplo	41
49	Neplo acoplado	41
50	Manómetro.....	42
51	Manómetro diferencial	42
52	Diagrama P&D	43
53	Vertedero triangular.....	45
54	Regla para medir altura.....	45
55	Desacoplado universal	46
56	Reservorio para medir caudal	46
57	Sección del tanque para calcular el volumen.....	50
58	Tubería para medir el caudal	53
59	Tubería con todos los accesorios	53
60	Detalle de la calidad de mallado en la tubería	54
61	Calidad de mallado vs número de elemento con accesorios	55
62	Elementos de oblicuidad en el rango 0,225	55
63	Calidad de mallado vs número de elementos	55
64	Elemento de oblicuidad en el rango 0,226	56
65	Análisis de velocidad.....	56
66	Perfil de velocidades.....	57
67	Análisis de velocidades con todos los accesorios.....	57
68	Perfil de velocidades con todos los accesorios	57
69	Esquema del equipo.....	58
70	Coefficiente K.....	63
71	Alabes de la turbina Turgo	66
72	Volumen de control	66
73	Esquema de velocidades	67
74	Contador de revoluciones	69
75	Radio y ángulo.....	70
76	Rodamientos del motor.....	72
77	Pruebas de vibración.....	72
78	Histograma lado libre vertical	73
79	Histograma lado impulsor vertical	73
80	Histograma lado del impulsor horizontal	74
81	Altura vs Caudal	74
82	Velocidad de la turbina vs Caudal	75
83	Potencia vs Velocidad	75
84	Límites de calidad.....	76

LISTA DE ANEXOS

- A** Norma ISA 5.1
- B** Coeficiente K se perdidas
- C** Coeficiente de rugosidad de la tubería
- D** Especificaciones de criterios de vibración
- E** Guías de laboratorio
- F** Manual de Mantenimiento
- G** Manual de Operaciones

RESUMEN

La creciente demanda de energía eléctrica para consumo domiciliario en lugares rurales donde el tendido eléctrico no está cubierto en su totalidad, abre un camino en la investigación de energías renovables, como el estudio de pico centrales hidroeléctricas al tener las condiciones necesarias de caudal y altura, con estos antecedentes se instaló una turbina Turgo en laboratorio de Turbomaquinaria, para profundizar un estudio en este tipo de máquina hidráulica.

El trabajo consta de una repotenciación de los equipos que se encontraban en el laboratorio de Turbomaquinaria, este se rigió bajo las normas adecuadas. Se instaló una tubería de acero para la conducción correcta del fluido, acoplado al funcionamiento de la bomba se tiene un tablero de control con las seguridades térmicas y eléctricas asegurando así su protección ante saltos de voltaje en la red eléctrica.

El análisis de las variables que intervienen en el sistema como la presión, el caudal, la potencia, se utilizaron varias alternativas para obtener los datos con la mayor certeza, se calibraron los equipos con los instrumentos existentes en el laboratorio. Al realizar un análisis CFD en el software ANSYS en el paquete Fluid Flow, se llegó a la conclusión que los datos tomados mediante equipos analógicos y de forma experimental se encuentra dentro del rango de confiabilidad.

Al terminar la instalación y el estudio de todas sus componentes se verificó el funcionamiento óptimo, comprobando que el rango de generación está dentro del análisis teórico. Adjuntando sus respectivos manuales de mantenimiento y operación de la turbina Turgo.

ABSTRACT

The growing demand for electricity for domestic consumption in rural areas where the power lines do not cover in its entirety opens a field in renewable energy research and the study of hydroelectric power plants having the required peak flow conditions and height. With this background one Turgo turbine was installed in the laboratory turbo-machinery for further study of this type of machinery.

This work consists of an engine power upgrade of the teams that were in the turbo-machinery laboratory that went under the right standards. A steel pipe for proper conduction of the operation coupled fluid pump was installed it has a control panel with thermal and electrical safety to ensure protection against voltage jumps in the public power lines.

The analysis of the variables involved in the system such as pressure, flow, power, several alternatives were used to obtain data with greater certainty, the teams with the existing instruments were calibrated in the laboratory. When performing a CFD analysis in ANSYS Fluid Flow software in the package was reached the conclusion that the data collected by analog and experimental equipment is within the range of reliability.

After the installation and study of all its components the optimum performance was verified by checking that the range of generation is within the theoretical analysis plus their respective maintenance manuals and operation of the turbine Turgo.

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Al ver la necesidad de mejorar el aprendizaje de las pico centrales eléctricas se decidió implementar una turbina Turgo en el laboratorio de Turbomaquinaria de la escuela de Ingeniería Mecánica de la ESPOCH, De tal manera llevar los estudios necesarios y comprobar el funcionamiento adecuado de dicha turbina, obtenido las curvas características, probándola en diferentes situaciones y saber cuál es el funcionamiento dentro del laboratorio.

En el laboratorio de Turbomaquinaria está en operación una turbina Pelton, la misma tiene geometrías similares a la turbina propuesta en el estudio, como la forma de sus cucharas forma de la carcasa, partiendo de los datos obtenidos en las prácticas de laboratorio de dicha turbina asumimos que la potencia, eficiencia, tienen rangos similares comparados con el proyecto a realizar..

1.2 Justificación

La importancia de la formación de los estudiantes, exige que los laboratorios sean prácticos y funcionales, con equipos e instrumentos debidamente actualizados para obtener resultados fiables y precisos, con la implementación de la turbina Turgo en el laboratorio se obtendrá, el entendimiento de que este tipo de turbinas son las que proporcionarán la mejor eficiencia posible y la aplicación principalmente en la generación eléctrica. Además de los conocimientos obtenidos en la cátedra siempre existe la necesidad de conocer principalmente el funcionamiento, la forma y el desempeño de este equipo que complementa a la enseñanza impartida por el profesor, mejorando así el desempeño en el campo laboral.

Las Turbinas Turgo están enfocados a la economía en su fabricación e instalación, con ello podemos alcanzar lugares donde, existen caídas significativas de agua, y se puede plantear proyectos en sectores rurales donde la energía eléctrica es escasa.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.* Implementación de una Turbina Turgo para generación eléctrica en el laboratorio de Turbomaquinaria de la Facultad de Mecánica

1.3.2 *Objetivos específicos:*

- Describir las partes, el funcionamiento, y la aplicación de la Turbina Turgo.
- Realizar los respectivos mantenimientos, tanto de la bomba para obtener un funcionamiento óptimo, como en el tanque reservorio.
- Instalar la tubería adecuada de tal manera que la turbina pueda trabajar en su mejor capacidad.
- Calibrar los equipos que van a intervenir en el banco de pruebas.
- Encontrar todas las variables físicas que intervienen en el funcionamiento de la Turbina Turgo.
- Realizar un tablero eléctrico para el control de la bomba con las seguridades necesarias.
- Realizar un manual de operaciones y de mantenimiento para la utilización del banco.
- Realizar una guía de laboratorio para la utilización del banco.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Turbinas hidráulicas

2.1.1 *Generalidades de las turbinas hidráulicas.* La turbina hidráulica es una turbo máquina motora, y por lo tanto se puede decir que es una bomba rotodinámica que trabaja a la inversa, Así como la bomba absorbe energía mecánica y restituye energía al fluido, una turbina absorbe energía del fluido y restituye energía mecánica. Teóricamente suministrando energía a la máquina e invirtiendo el flujo, una bomba podría trabajar como turbina, pero el rendimiento sería muy bajo y a veces nulo, exceptuando las maquinas especialmente diseñadas para trabajar como bomba y como turbina. Sus elementos constitutivos (DÍEZ, 2009)

- Canal de llegada. Corresponde a la tubería de impulsión. Al final de una tubería forzada se instala una válvula, esta puede ser de compuerta mariposa etc.
- Distribuidor. Corresponde a la corona directriz en una bomba; pero en una turbina transforma presión en velocidad y actúa como tobera; en una bomba, por el contrario actúa como difusor. (DÍEZ, 2009)
- Rodete. A las bomba centrifugas con flujo en el rodete hacia el exterior corresponde el tipo de turbinas centrípetas, con flujo en el rodete hacia el interior.

2.1.2 *Clasificación de las turbinas hidráulicas.* Se pueden clasificar en dos grandes grupos.

2.1.2.1 *Clasificación según el grado de reacción.* Las turbinas hidráulicas, se clasifican en dos grandes grupos.

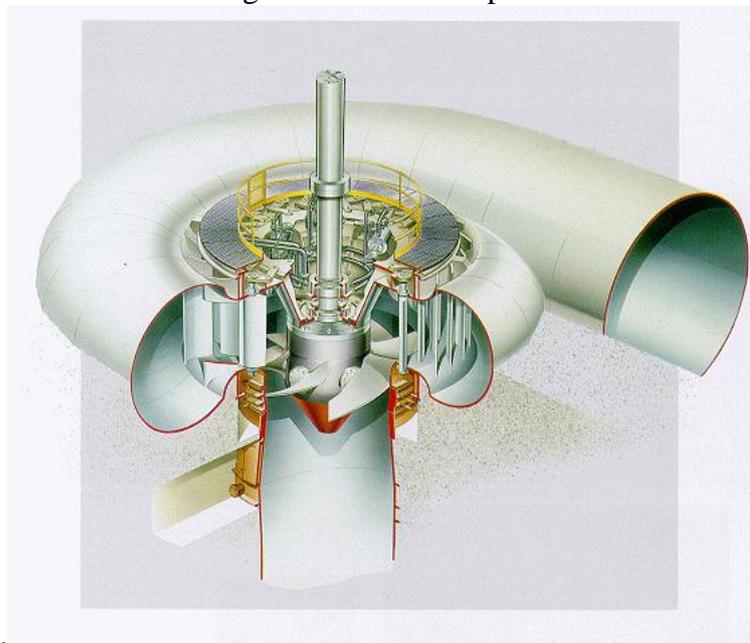
- Turbina de acción. En estas turbinas el agua sale del distribuidor a la presión atmosférica, y llega al rodete con la misma presión, toda la energía potencial del salto se transmite al rodete de forma de energía cinética.

- Turbina de reacción o sobrepresión. El agua sale del distribuidor con una cierta presión que va disminuyendo a medida que el agua atraviesa los alabes del rodete, de forma que la salida, la presión puede ser nula o incluso negativa; en estas turbinas el agua circula a presión en el distribuidor y en el rodete y, por lo tanto, la energía potencial del salto se transforma, una parte, en energía cinética, y la otra, en energía de presión. (DÍEZ, 2009)

2.1.2.2 De acuerdo al diseño del rodete. Esta forma de clasificación es más detallada, por que las diferencias solo se encuentran en el tamaño, los ángulos de los alabes, y en otras partes de la turbina que no son el rodete. A continuación mencionaremos las más usadas en nuestro medio.

- *Turbina Kaplan.* Son turbinas axiales, que tienen la característica de cambiar el ángulo de sus palas durante el funcionamiento. Puede funcionar con pequeños saltos de agua pero con grandes caudales. Turbina reacción. (WIKIPEDIA, 2015)

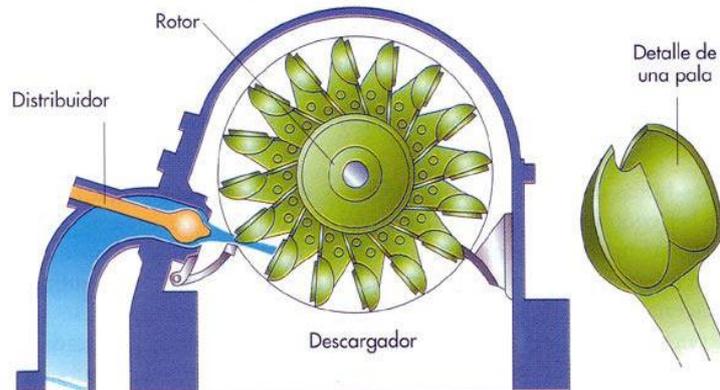
Figura 1. Turbina Kaplan



Fuente: <http://www.tfd.chalmers.se/~hani/phdproject/kaplanfoto.gif>

- *Turbina Pelton.* Estas turbinas tienen flujo transversal, y de parcial admisión. Estas han evolucionado de los molinos de agua, con la diferencia de contar con palas o alabes estas tienen cucharas. Están diseñadas para trabajar con saltos de agua muy grandes, pero caudales pequeños. Turbina de acción. (WIKIPEDIA, 2015)

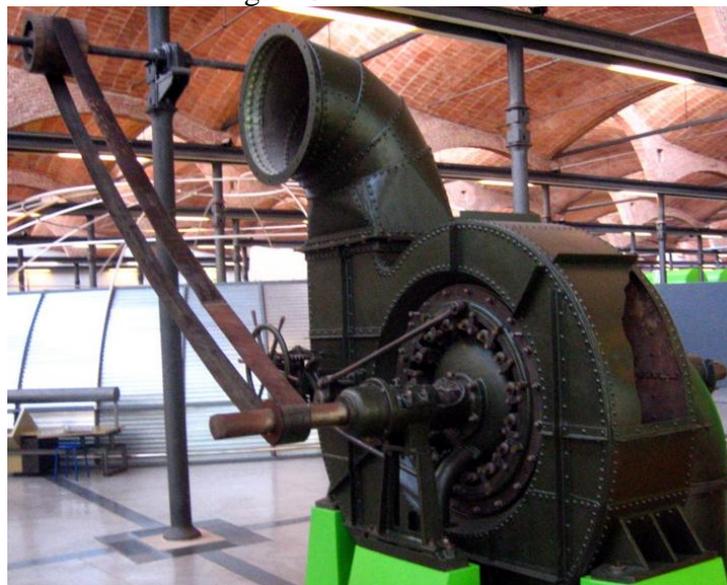
Figura 2. Turbina Pelton



Fuente: http://members.tripod.com/mqhd_ita.mx/TurbinaPelton02-Funcionamie.jpg

- *Turbina Francis*. Su característica principal es que son de flujo mixto y de reacción. Algunos diseños más elaborados son capaces de variar el ángulo de sus alabes durante el funcionamiento. Pueden trabajar con saltos de agua medios y caudales medios. (WIKIPEDIA, 2015)

Figura 3. Turbina Francis

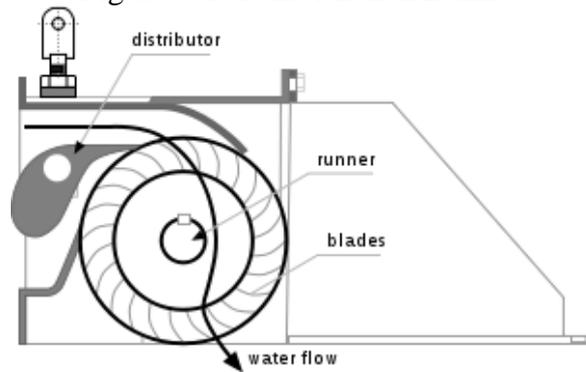


Fuente:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a1/Turbina_Francis_mNACTEC.jp

- *Turbina Michell Banki*. Esta es una turbina de libre desviación, de admisión parcial y radial, cuenta con un número específico de revoluciones. El distribuidor imprime al chorro de agua una sección rectangular, y este circula por la corona de paletas del rodete en forma de cilindro, primero de fuera hacia dentro y a continuación después de haber pasado por el interior del rodete, desde adentro hacia afuera. (WIKIPEDIA, 2015)

Figura 4. Turbina Michell Banki



Fuente: <https://termotech.files.wordpress.com/2012/02/302px-banki-svg.png>

2.1.3 Turbina Turgo. La turbina Turgo es una turbina hidráulica de impulso diseñada para saltos de desnivel medio.

Figura 5. Turbina Turgo



Fuente: <http://www.proviento.com.ec/Hydro500n.jpg>

Esta fue estudiada, desarrollada y manufacturada en la compañía Gilkes en el año de 1919 partiendo del principio de una turbina Pelton, la Turbina Turgo tiene amplias ventajas si se quiere comparar con la turbina Francis y la turbina Pelton en aplicaciones específicas, en el campo de trabajo.

Una de las primeras características, es el rodete ya que este es más barato de fabricar si lo comparamos con la turbina Pelton. En segunda instancia no es necesario el tener una carcasa completamente cerrada como podemos ver en la turbina Francis. Y por último posee una velocidad específica más elevada que el de una turbina Pelton obteniendo así

una gran reducción en el valor del generador eléctrico y en la instalación del mismo. (ENERGETIKA, 2010)

El campo donde se va a poner en funcionamiento las Turbinas Turgo, es un campo con desniveles similares al campo de las turbinas Francis y las turbinas Pelton. Podemos ver muchas instalaciones grandes con las Turbinas Turgo, pero estas están enfocadas a instalaciones hidráulicas pequeñas, por su costo reducido y fácil instalación. (ENERGETIKA, 2010)

2.1.3.1 *Funcionamiento de la Turbina Turgo.* La turbina Turgo, se dice que es una turbina de tipo impulso.

El agua no sufre cambios de presión al pasar a través de los alabes que tiene la turbina. La energía potencial que se obtiene por medio de la caída del agua se transforma en energía cinética en la tobera de entrada o inyector.

El agua que abastece a la turbina puede ser por medio de una o más boquillas. Las boquillas están dispuestas oblicuamente, con esto tratamos de asegurar que casi toda la energía potencial procedente de la caída de agua, se transforme en energía cinética, para obtener el mejor rendimiento posible.

Figura 6. Inyector de la turbina



Fuente: <http://blog.desclaude.com/media/3/20081128-Rotor-pale-albastre-turbina-Turgo.jpg>

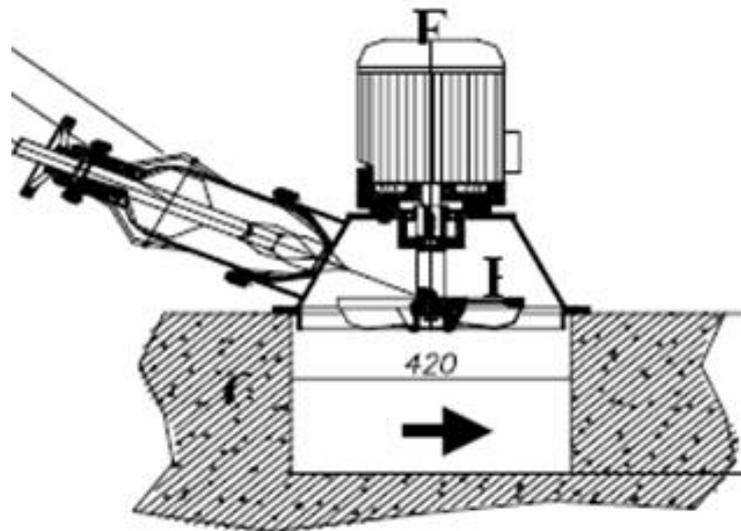
El chorro de agua que tiene una alta velocidad está dirigido de manera que choque contra los alabes de la turbina que desvían e invierten el flujo. Esto permite hacer girar el rodete de la turbina comunicando la energía al generador eléctrico. Al final de todo

este proceso el agua sale con una gran energía cinética. Este tipo de turbinas nos pueden ofrecer un rendimiento hasta de un 90% o más.

El rodete que tiene una Turbina Turgo tiene una gran similitud al rodete de una turbina Pelton seccionado por la mitad. Para una potencia igual, el rodete que posee la turbina Turgo es necesario solamente la mitad del diámetro comparado con el rodete de una turbina Pelton y dobla la velocidad específica. El rodete turbina Turgo tiene la capacidad de controlar un mayor flujo de agua que el de la turbina Pelton gracias a que al salir el agua no se choca con las paletas adyacentes.

Los rodetes turbina Turgo tiene velocidades específicas que van entre las de la turbina Francis, y la turbina Pelton. Cuando se incrementa el número de los inyectores también se incrementa la velocidad específica del rodete en la raíz cuadrada del número de chorros.

Figura 7. Turbina partes

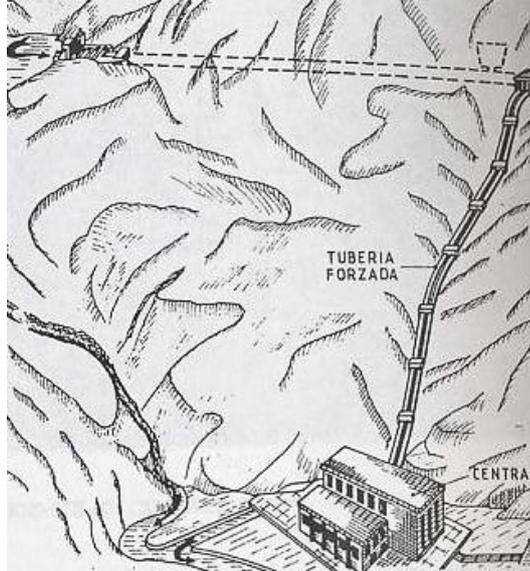


Fuente: <http://mve.energetika.cz/primotlaketurbiny/turgo.gif>

2.1.3.2 Usos de la turbina Turgo. Esta turbina es muy utilizada para lugares de alta gradientes, pero pocas cantidades de agua. Es conveniente utilizar en problemas donde se requiera tomar una decisión entre la turbina Francis, o la turbina Pelton.

La Turbina Turgo tiene unas propiedades muy similares a las de la turbina Pelton, pero la ventaja de estas turbinas, se encuentra en que estructural y tecnológicamente menos exigente, más simple y más barata en su construcción.

Figura 8. Lugar de instalación de la Turbina tugo



Fuente: <http://www.caballano.com/central1.JPG>

Una de las características más notorias de la turbina Turgo es que es plana y tiene una gran eficiencia en su rendimiento. Sin embargo esto se cumple solo en la velocidad nominal, en tanto es necesario ponerle un regulador de velocidad a las boquillas de salida, y acoplar a generados síncronos. Como los rodamientos no tienen contacto con el agua la contaminación del agua es casi nula. Esta turbina es muy utilizada en centrales donde el agua es acumulada en reservorios por bombeo.

2.2 Bombas

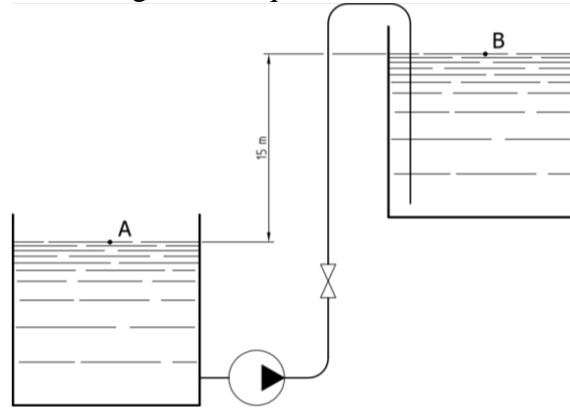
2.2.1 Generalidades de las bombas. La característica esencial de una bomba hidráulica, es el acoger un tipo de energía para restituirla en otra clase de energía. La energía absorbida proviene generalmente de un sistema mecánico, la cual se la transmite a un fluido incompresible que se mueve.

El fluido incompresible puede ser de varios tipos, como, lubricantes, aceites, combustibles, líquidos alimenticios como, cerveza, leche o en algunos casos mezclas de líquidos y sólidos como lo podemos ver en hormigón antes de su fragua, fango, pastas de papel.

Se puede incrementar la energía del fluido, si incrementamos su velocidad, su presión o su altura, todas estas variables están relacionadas al principio de Bernoulli. En conclusión la bomba está diseñada para aumentar la presión entregando energía en este

caso mecánica al sistema hidráulico para mover el fluido de una zona donde se tiene menor altitud o presión a otra donde hay mayor altitud o presión.

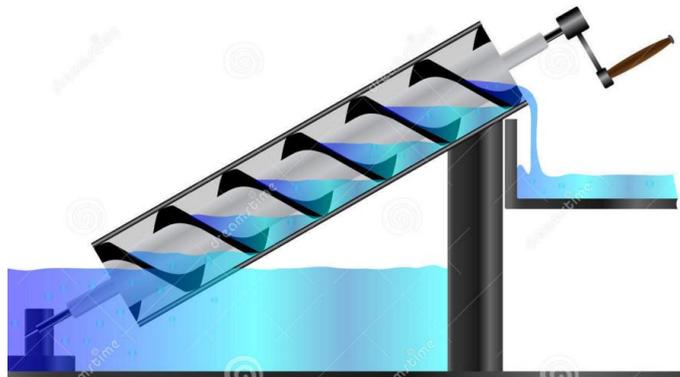
Figura 9. Esquema de bombeo



Fuente: <https://areamecanica.files.wordpress.com/2011/06/esquema-sistema-de-bombeo1.png>

Al recordar la primera bomba fue la bomba creada por Arquímedes la cual lleva el nombre del tornillo de Arquímedes explicada por el mismo en el siglo III a. c. pero este sistema fue utilizado antes por Senaquerb rey de Asia en el siglo VII a. c.

Figura 10. Tornillo de Arquímedes

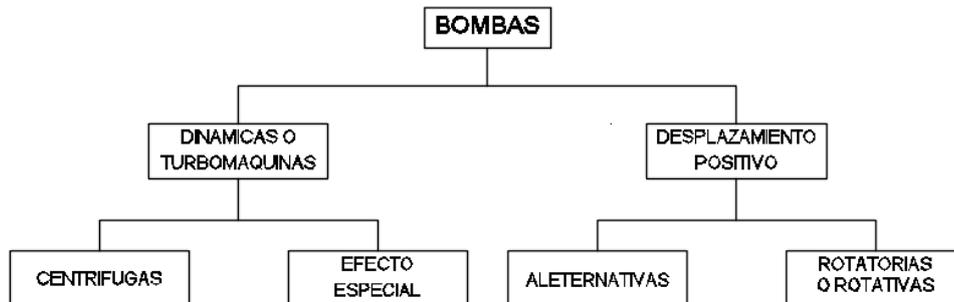


Fuente: <http://thumbs.dreamstime.com/z/tornillo-de-arqu%C3%ADmedes-56615101.jpg>

Se tiene una gran tergiversación en el uso de la palabra bomba ya que se gran parte del tiempo se utiliza para describir máquinas de fluido que aportan energía o bombean fluidos incompresibles, entonces es claro decir que al pasar estos fluidos por esta máquina hidráulica no altera propiedades como la densidad del fluido, como podemos apreciar en otras máquinas como compresores, los cuales su campo de trabajo están enfocados a la neumática. Pero es muy común encontrar el término de bomba para las bombas de aire o de vacío.

2.2.2 *Tipos de bombas.* Existen varios tipos de bombas separadas en dos grupos que vamos a ver a continuación en el siguiente mapa conceptual.

Figura 11. Clasificación de las bombas

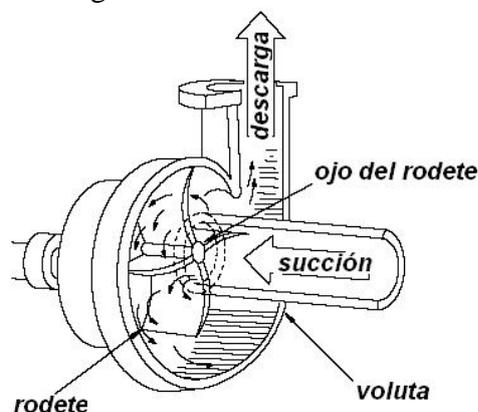


Fuente: (CRANE, 1993)

2.2.2.1 *Bombas dinámicas o turbomaquinas.* El fundamento esencial está basado en la ecuación de Euler, y siempre son rotodinámicas ya que el elemento por el cual la energía es transmitida se llama rodete y su movimiento es rotativo, y la dinámica de la corriente tiene un papel importante en la entrega de energía.

Bombas roto dinámicas o centrifugas. La bomba centrifuga es una máquina que tiene por elementos una carcasa o caracol a su interior tiene un conjunto de paletas rotatorias. Estas paletas cumplen con la función de entregar energía al fluido que proviene desde el una entrada llamada ojo de aspiración hasta llegar a la salida del rotor en este proceso se entrega energía cinética, después tienen un proceso de difusión o transformación de energía cinética en presión, el tubo de desfogue.

Figura 12. Bomba dinámica



Fuente: <http://www.fullmecanica.com/images/stories/.jpg>

2.2.2.2 Bombas de desplazamiento positivo. Las bombas de desplazamiento positivo funcionan con bajas capacidades y altas presiones en relación con su tamaño y costo. (DÍEZ, 2009)

Estas bombas se clasifican en:

- *Bombas reciprocantes o alternativas.* Tiene por característica principal que el embolo o pistón desplaza al fluido un volumen dado en cada una de sus carreras.

Su principio se basa cuando se introduce un sólido de cierto volumen en un líquido, este líquido se desplazara el mismo volumen del sólido.

El las bombas alternativas tenemos una de un solo efecto, lo cual quiere decir que el fluido recorrerá una vez con el ciclo completo de una carrera, a esta se la denomina bomba de simple efecto.

Hay muchas bombas que se pueden decir que son de doble efecto ya que hacen dos golpes de succión y dos golpes de descarga al completar un ciclo completo. Gran parte de las bombas de doble efecto tienen como solido de desplazamiento un pistón, el cual sella una entrada en cilindro mediante el empaque del pistón.

- *Bombas rotativas.* Estas bombas tienen una gama muy amplia, su principal característica es que se transmite la energía al fluido mediante engranes, paletas, lóbulos diafragma.

2.2.3 Especificación de la bomba. En el banco en el cual se va a instalar la turbina Turgo tenemos una bomba centrífuga.

La bomba centrífuga tiene por nombre también bomba rotodinamica esta es la maquina hidráulica con más uso en la industria para bombear líquidos en general. Esta tipo tiene la función de transformar la energía mecánica que viene del impulsor a presión o energía cinética a un fluido incompresible. El fluido que va a ser utilizado entra por el rodete el cual tiene alabes cuya función es conducir correctamente el fluido, dando como resultado que la fuerza centrífuga que tiene el rodete impulsa al fluido hacia el exterior, la carcasa recoge el fluido gracias a la geometría de la carcasa todo ese fluido

es llevado a la salida, y por ende a las tuberías, muchas veces el fluido puede ser expulsado a otro rodete.

Las bombas centrífugas se pueden clasificar de la siguiente manera

- Por la dirección del flujo en: Radial, Axial y Mixto.
- Por la posición del eje de rotación o flecha en: Horizontales, Verticales e Inclinados.
- Por el diseño de la coraza (forma) en: Voluta y las de Turbina.
- Por el diseño mecánico de la coraza en: Axialmente Bipartidas y las Radialmente Bipartidas.
- Por la forma de succión en: Sencilla y Doble. (WIKIPEDIA, 2013)

La fuerza centrífuga que es producida por la densidad del líquido, tanto como de la velocidad de la periferia del impulsor, son factores separados la energía que se aplica por unidad de masa de líquido de la densidad del mismo. Con esto se puede decir que en una bomba que esté actuando a cierta velocidad y maneje un específico volumen de líquido, la energía transferida al líquido va ser siempre la misma sin importar su densidad.

Figura 13. Bomba centrífuga



Fuente: http://img.directindustry.es/images_di/photo-g/37897-2431565.jpg

Al paso del tiempo la presión se la fue midiendo en metros de columna de agua y a esto de la expresa en metros o en pies por esta razón se le llegó a llamar como “altura” y también en sus inicios las bombas estaban destinadas a subir líquidos (en este caso agua) desde excavaciones profundas.

Este tipo de bombas se denominan como maquinas “receptoras” o “generadoras” son usadas para trasladar un fluido en contra de una gradiente de presión. Cuando un fluido va de un lugar de mayor presión a uno de menor presión no se necesita energía como podemos ver en una cascada pero, si necesitamos lo contrario se necesita una bomba la cual va a trasladar la energía al fluido desde una maquina motriz, sin importar que este sea un motor de combustión interna o un eléctrico, una turbina de gas o una turbina de vapor.

No obstante, decir que una bomba "genera presión" es una idea errónea aunque ampliamente difundida. Las bombas están capacitadas para vencer la presión que el fluido encuentra en la descarga impuesta por el circuito. Piénsese en un compresor de llenado de botellones de aire comprimido para arranque de motores navales: El botellón en un principio está a presión atmosférica, y por ende la presión que debe vencer el compresor es sólo la representada por las caídas de presión en la línea, el filtro, los codos y las válvulas. No obstante, a medida que el botellón de aire comprimido se va llenando, es necesario también vencer la presión del aire que se fue acumulando en el mismo. Un ejemplo más cotidiano es el llenado de un globo, o un neumático

La característica que resalta son:

- Transformar la energía desde una fuente, puede ser un motor en energía cinética y después en energía de presión.
- Tenemos bombas que tienen una sola etapa en la cual se puede llegar a presiones hasta de 5 atm. Y también de varias etapas en las cuales la presión puede alcanzar hasta las 25 atm.
- Una ventaja de estas bombas que puede llevar fluidos con sólidos en suspensión, pero con viscosidad muy baja. Requiere de poco mantenimiento y tenemos un

caudal elevado y constante. Tenemos un gran rendimiento con este tipo de bombas pero cuando el fluido es muy viscoso baja mucho.

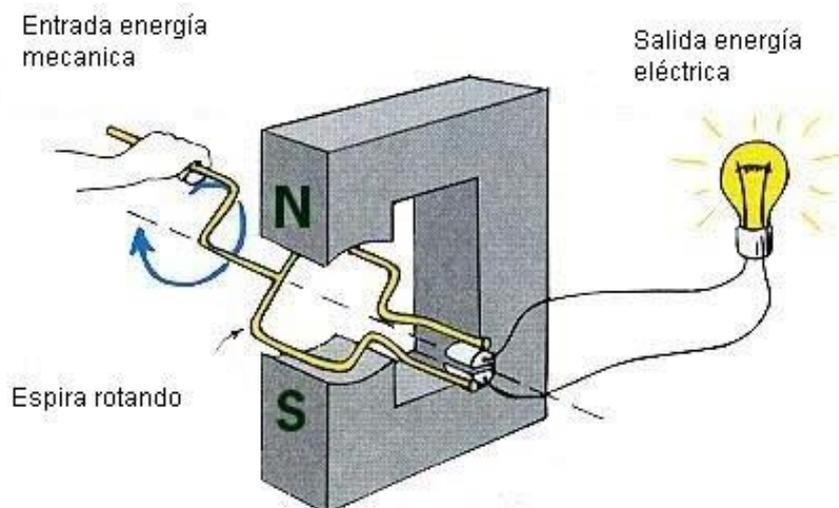
- Las bombas de una etapa son usadas para llevar agua hasta una altura de 1 a 9 metros y muy utilizadas para el transporte de agua.

2.3 Generadores

2.3.1 Generalidades. Podemos decir que un generador eléctrico es cualquier dispositivo que tenga la capacidad de mantener una diferencia de potencial eléctrico entre sus dos extremos a estos los podemos llamar polos.

Transformando energía mecánica proveniente de un motor de combustión interna, una turbina de vapor, en energía eléctrica. (WIKIPEDIA, 2013)

Figura 14. Esquema de generación eléctrica



Fuente: <http://www.comohacer.eu/wp-content/uploads/2011/08/como-funciona-un-generador-electrico-2.jpg>

Esta conversión de energía la logramos mediante la acción de un campo magnético, el cual actúa sobre los conductores que están dispuestos en una armadura, a esta se la conoce como estator. (WIKIPEDIA, 2013)

2.3.1.1 Generadores mecánicos. Estos son los más utilizados en la industria gracias a su fácil manejo y carga, transforma la energía mecánica proveniente de un motor de

combustión interna, de una turbina etc., en energía eléctrica, Entre estos se destacan el dínamo y los alternadores.

- *Dínamos.* Este es un generador que está enfocado a la transformación del flujo magnético en electricidad mediante la inducción electromagnética, esta transformación nos genera un flujo de corriente continua. Un gran uso de estos generadores es en la energía hidroeléctrica, con este principio se conecta al eje de las turbinas al eje del dinamo producimos electricidad y con esto se aprovecha esta fuente en teoría inagotable.
- *Alternadores.* Se puede apreciar que el alternador consta de dos partes fundamentales, el inductor, el cual es encargado de crear el campo magnético, es el elemento giratorio, y el inducido que es el conductor por el cual va a atravesar las líneas de fuerza de dicho campo magnético, es el elemento estáticos (CONOCIMIENTOS, 2015)

2.4 Pérdidas por tubería

Para poder analizar las pérdidas de presión en las tuberías debemos analizar sus cambios de sección sus accesorios, la longitud para esto es importante señalar algunos conceptos. (CRANE, 1993)

2.4.1 Ecuación de la continuidad. Esto es el principio de la conservación de la masa, en la cual se basa en que el caudal del fluido ha permanecido constante a lo largo de toda la conducción, en conclusión al tener dos puntos de la misma tubería debe cumplirse con lo siguiente.

$$Q_1 = Q_2 \rightarrow A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (1)$$

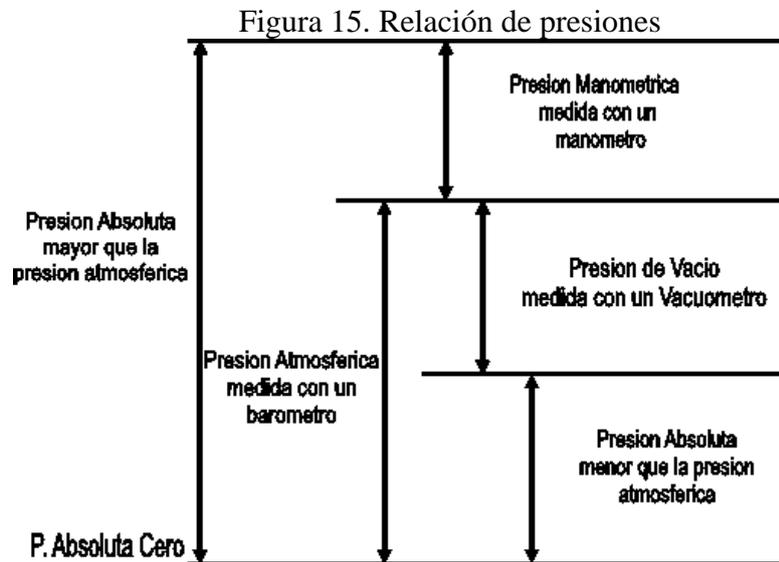
Donde:

Q = Caudal [m^3/s]

A = Área [m^2]

v = Velocidad [m/s]

2.4.2 Presión. La presión puede definirse como una fuerza por unidad de área o superficie, la presión en una partícula de un fluido es igual en todas las direcciones. La diferencia de presión entre dos puntos de un conducto en nuestro caso de la tubería es la causa del movimiento del fluido. (NUÑEZ, 2010)



Fuente: http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F_DE_T-47_14.gif

En la figura se ilustra gráficamente la relación entre las presiones absoluta y manométrica. El vacío perfecto no puede existir en la superficie de la tierra pero es, sin embargo un punto de referencia conveniente para la medición de la presión. (CRANE, 1993)

- *Presión Barométrica.* Es el nivel de la presión atmosférica por encima del vacío perfecto.
- *Presión atmosférica normalizada.* Es 1,01325 bar (14.696 lb/in² o 760mm de mercurio).
- *Presión manométrica.* Es la presión medida por encima de la atmosférica, mientras que la presión absoluta se refiere siempre al vacío perfecto.
- *Vacío.* Es la depresión por debajo del nivel atmosférico. La referencia a las condiciones de vacío se hace a menudo expresando la presión absoluta en términos de altura de columna de agua. (CRANE, 1993)

2.4.3 Ecuación general de la energía (Teorema de Bernoulli). El teorema de Bernoulli es una forma de expresión la aplicación de la ley de la conservación de la energía al flujo de los fluidos en la tubería. (CRANE, 1993)

La energía total en un punto cualquiera por encima de un plano horizontal arbitrario fijado como referencia es igual a la suma de la altura geométrica, la altura debida a la presión y la altura debida a la velocidad. (CRANE, 1993)

$$Z + \frac{P}{\rho g_n} + \frac{v^2}{2g_n} = H \quad (2)$$

Dónde:

Z = Altura del punto de referencia [m]

P = Presión [Pa]

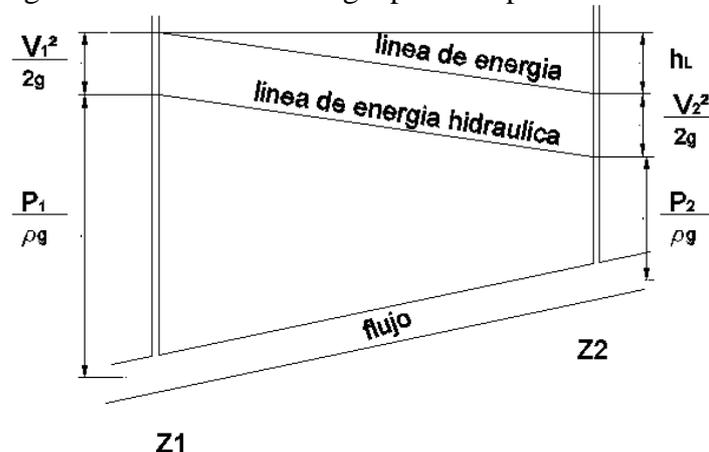
ρ = Densidad del fluido [kg/m^3]

g = Gravedad [m/s^2]

v = Velocidad [m/s]

Si las pérdidas por rozamiento se desprecian y no se aportan o se toma ninguna energía del sistema de tuberías, la altura total en la ecuación anterior permanecerá constante para cualquier punto del fluido. Sin embargo, en realidad existen pérdidas o incrementos de energía que deben incluirse en la ecuación de Bernoulli. Por lo tanto el balance de energía puede escribirse para dos puntos del fluido. (CRANE, 1993)

Figura 16. Balance de energía para dos puntos de un fluido



Fuente: (CRANE, 1993)

Nótese que la pérdida por rozamiento en la tubería desde el punto uno al punto dos (h), se expresa como la pérdida de altura en metros de fluido. La ecuación puede escribirse de la siguiente manera. (CRANE, 1993)

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g_n} + \frac{v_1^2}{2g_n} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g_n} + \frac{v_2^2}{2g_n} \quad (3)$$

Todas las formulas prácticas para el flujo de fluidos se derivan del teorema de Bernoulli, con modificaciones para tener en cuenta las pérdidas debidas al rozamiento. Sin embargo, hay varias restricciones para utilizar la ecuación de Bernoulli que se indican a continuación: (CRANE, 1993)

- Es válido solo para fluidos incompresibles
- Entre las dos secciones de interés no puede haber dispositivos mecánicos como bombas.
- No pueden haber transferencia de calor hacia el sistema o fuera de este.

2.4.4 *Numero de Reynolds.* Las investigaciones de Osborne Reynolds han demostrado que el régimen de flujo en tuberías, es decir si es laminar o turbulento, depende del diámetro de la tubería, de la densidad y de la viscosidad del fluido y de la velocidad del flujo. El valor numérico de Reynolds, puede considerarse como la relación de las fuerzas dinámicas de la masa del fluido respecto a los esfuerzos ocasionados por la viscosidad (CRANE, 1993)

$$R_e = \frac{Dv\rho}{\mu} \quad (4)$$

Dónde:

D = Diámetro de la sección [m]

v = Velocidad del fluido [m/s]

ρ = Densidad [kg/m³]

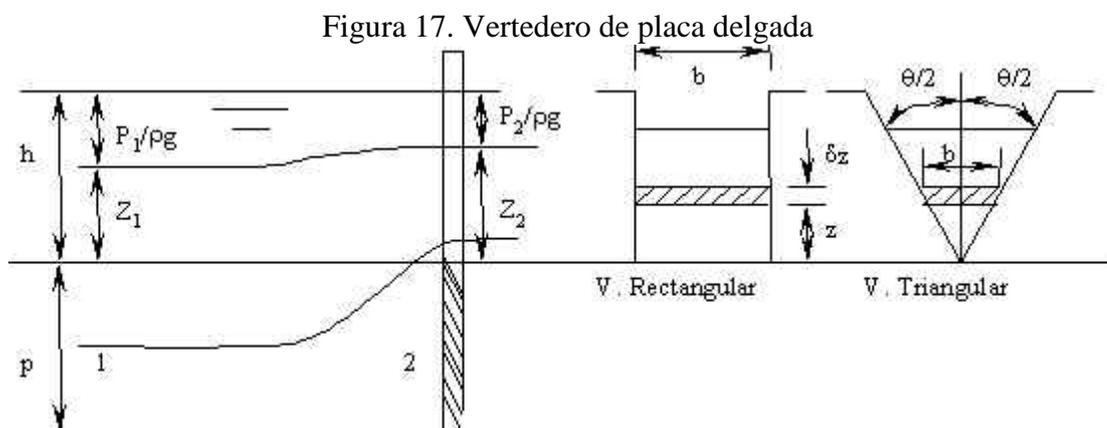
μ = Viscosidad [m²/s]

2.5 Medición de caudal

2.5.1 Vertederos. Se llama vertedero a la estructura hidráulica sobre la cual se efectúa una descarga a superficie libre el vertedero puede tener diversas formas según las finalidades que se destine. Si la placa con perfil de cualquier forma pero de arista aguda, el vertedero se llama de pared delgada, cuando la descarga se realiza sobre la superficie, el vertedero se denomina de pared gruesa. Ambos tipos pueden utilizarse como dispositivos de aforo en el laboratorio o en canales de pequeñas dimensiones. El vertedero de pared gruesa se emplea además como obra de control o excedencias en una presa y como aforo de grandes canales

La utilización de vertederos de pared delgada está limitada generalmente a laboratorios y corrientes que no lleven escombros y sedimentos. Los tipos más comunes son el vertedero rectangular y triangular. Para obtener la relación entre la descarga y la altura sobre la cresta del vertedero, puede obtenerse haciendo las siguientes suposiciones del comportamiento del flujo.

- Aguas arriba del vertedero el flujo es uniforme y la presión varía con la profundidad hidrostática
- La superficie libre permanece horizontal hasta el plano del vertedero y todas las partes sobre el vertedero se mueven horizontalmente
- La presión a través de la lámina de líquido que pasa sobre la cresta del vertedero es atmosférica



Fuente: <http://html.rincondelvago.com/000313810.png>

2.5.1.1 Vertederos de placa triangular. Para el vertedero de placa triangular tenemos la siguiente ecuación.

$$Q = C_d \left(\frac{8}{15}\right) \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \sqrt{2g} h^{5/2} \quad (5)$$

Dónde:

Q = Caudal [m^3]

C_d = Constante de vertederos

2.6 Corrosión

Se entiende por corrosión la interacción de un metal con el medio que lo rodea produciendo el consiguiente deterioro en sus propiedades tanto físicas como químicas. Las características fundamental de este fenómeno, es que solo ocurren en presencia de un electrolito, ocasionando regiones plenamente identificadas, llamadas estas anódicas y catódicas un reacción de oxidación es una reacción anódica, en la cual los electrones son liberados dirigiéndose a otras regiones catódicas. En la región anódica se producirá la disolución del metal (corrosión) y, consecuentemente en la región catódica la inmunidad del metal.

Figura 18 Corrosión en el acero



Fuente: <http://www.hausjournal.net/wp-content/uploads/Lochfra%C3%9Fkorrosion.jpg>

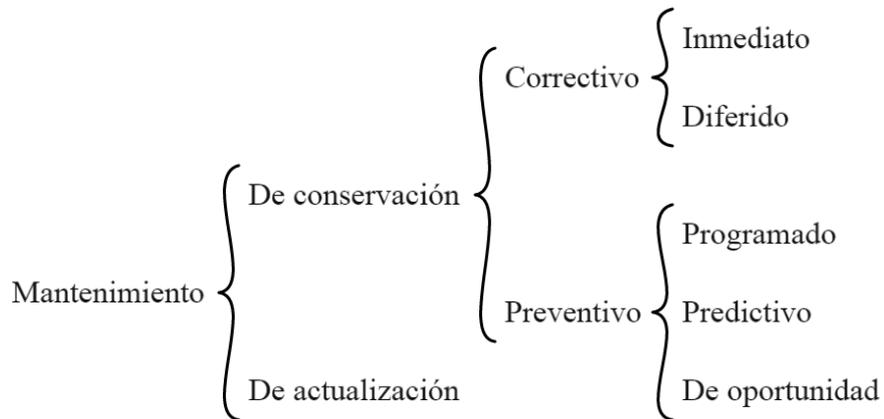
2.7 Mantenimiento industrial

Por mantenimiento se entiende al conjunto de acciones y medidas, tales como la conservación, vigilancia y cuidados, que las maquinas requieren para tener una adecuada vida útil, evitar paros repentinos de la manera más efectiva posible.

2.7.1 *Importancia del mantenimiento.* En las maquinas que tiene piezas y mecanismos móviles están sujetos a un proceso degenerativo e irreversible con el pasar del tiempo. Los objetivos principales son la base para un adecuado funcionamiento de los centros de producción de una empresa. Con esto podemos mantener una maquina en óptimas condiciones.

2.7.2 *Clases de mantenimiento.*

Figura 19. Clases de mantenimiento



Fuente: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4c/AL_Mantenimiento.svg

CAPITULO III

3. INSTALACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS

3.1 Problemas encontrados en los componentes

Al analizar los equipos del laboratorio de Turbomaquinaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, se encontraron las siguientes deficiencias:

- La bomba se encontró fuera de condiciones de operación.
- Al momento de energizar la bomba el motor no encendió.
- En el tanque reservorio se evidencio corrosión en un 70 % de su estructura, dicha corrosión se encontró principalmente en el fondo del tanque
- Al momento de llenar de agua el reservorio se notaron varias fugas.
- La unión universal que existía entre el tanque y la bomba estaba obsoleta.
- La bomba no tenía una alineación correcta con el tanque.

3.2 Verificación del funcionamiento de la bomba.

Se utilizó una bomba de 5 Hp de marca GOULDS modelo 3656 de fabricación americana instalada en el laboratorio, a esta se la encontró en malas condiciones.

Figura 20. Bomba GOULDS



Fuente: Autores

Al finalizar el estudio de los equipos a utilizar, y analizar las condiciones en que estos se encontraban, como primera acción se desmonto la bomba para encontrar el motivo por el cual estaba fuera de funcionamiento, ya que al momento de energizar el equipo no arrancó, se verificó la instalación eléctrica a la que la bomba estaba conectada, dicha instalación no contaba con las seguridades necesarias, por lo que cualquier tipo de variación en el flujo eléctrico pudo dañarla.

La bomba fue llevada para su revisión a un técnico de mantenimiento en bombas, el cual descarto cualquier daño en su bobinado, ni en el circuito de conexión. Pero confirmo que el eje principal estaba atascado por presencia de corrosión que se debe a su gran periodo de inactividad y falta de mantenimiento.

Figura 21. Bomba



Fuente: Autor

3.2.1 *Criterios y análisis de repotenciación.* Se desmonto principales de la bomba, se localizó un gran contenido de óxido en los elementos internos; dado esto se realizó un mantenimiento correctico en todos los elementos que fueron necesarios para así lograr que la bomba llegue a un funcionamiento óptimo, y así proceder a la instalación de la tubería de conducción del fluido y de la turbina.

Uno de los puntos más críticos fueron los sellos mecánicos los cuales se encontraron en mal estado, estos fueron reemplazados para evitar fugas después de su montaje, y alcanzar el mejor rendimiento posible de la bomba

Figura 22. Sellos mecánicos



Fuente: http://www.fristam.com/portals/0/Images/Products/FPR/FPR_Exploded_v2.jpg

Con el desmontaje de los elementos internos de la bomba se apreció gran cantidad de corrosión en el eje principal, dando a conocer la razón principal por la que este no tenía una adecuada rotación.

Se procedió a aplicar un mantenimiento correctivo eliminado todos los rastros de óxido posibles, aplicar lubricante en las partes rotatorias, con esto el eje logre girar sin ninguna complicación.

Figura 23. Bomba desarmada



Fuente: <http://bombasbeyond.com.co/Imagenes/Servicios01.jpg>

Al finalizar con el mantenimiento en todos los elementos necesarios, y asegurar que el resto del conjunto esté en condiciones adecuadas, se aplicó una capa de pintura anticorrosiva en el equipo, con el fin de no tener complicaciones de esta índole.

Figura 24. Bomba aplicando la pintura



Fuente: Autor

3.3 Montaje de la bomba

Al finalizar con el mantenimiento de la bomba, se verifico que la base donde se va colocar la bomba esté alineada con el tanque reservorio.

Esto fue necesario ya que el tanque reservorio se movió del lugar de origen en el que se encontraba en el laboratorio, al realizar esta traslación del tanque reservorio la base se modificó para lograr la alineación correcta de la bomba junto con el tanque.

3.3.1 Cimentación. La bomba correctamente anclada, para que no tenga ningún tipo de vibración, ni cabeceo, que pueda afectar al desempeño del equipo y el movimiento puede causar fugas en la tubería dado que la base estaba en otro lugar, la misma que se tiene que mover a la nueva posición.

Para la correcta sujeción de la base con el piso se realizó cuatro perforaciones en el lugar donde se colocaría la base, la misma que se sujetó usando cuatro pernos de anclaje de dos pulgadas, evitando así vibraciones.

Figura 25. Perno de anclaje



Fuente: http://ferriper.cl/Content/products/503/5/7152a4b8fbba12686a201f2b0_org.jpg

3.3.2 *Alineación de la bomba y prevención de vibraciones.* Para prevenir estas vibraciones es necesario conocer las principales causantes de las mismas, estas se pueden dividir en causas mecánicas y causas hidráulicas. Dentro de las causas mecánicas, que tiene que ver con el mantenimiento de las partes del equipo, podemos hablar de componentes rotantes desbalanceados, desalineación de motor y bomba, cañerías mal forzadas, contacto anormal entre las caras rotativa y estacionaria de los sellos mecánicos, rodamientos desgastados, tornillos flojos, entre otras. Y dentro de *las* causas hidráulicas, que tienen que ver con la manera de operar del equipo, podemos encontrar deficiencias tales como operar lejos del punto máximo de eficiencia de la bomba, flujo turbulento, evaporación del líquido, recirculación, trabajar la bomba cerca de la velocidad crítica. (RAMOS, 2010)

Al sujetar la base con los pernos de anclaje al suelo, se puso elastómeros tratando de eliminar las vibraciones, y principalmente dar la correcta alineación correcta de la bomba de la bomba al tanque.

Figura 26. Bomba, cauchos y base



Fuente: Autor

3.4 **Mantenimiento del tanque reservorio**

De igual forma el tanque reservorio se encontraba en muy mal estado, la mayor parte de su estructura contaba con una corrosión tan profunda, que en la parte inferior del mismo existían aberturas, por la cual se tenía pérdida de fluido.

Una vez determinado este tipo de problema en el mismo reservorio paralelo a nuestro proyecto, alumnos de Ingeniería Mecánica se encontraban realizando un proyecto, dichos alumnos realizaron el mantenimiento correctivo necesario al reservorio.

Figura 27. Tanque antes



Fuente: Autor

3.4.1 *Aplicación de pintura anticorrosiva en el tanque.* El tanque reservorio tenía todavía rastros de corrosión en los bordes por lo que se eliminó todo ese rastro con pintura anticorrosiva, con eso mejoramos la apariencia de todo el tanque y además se lo protege para que el reservorio no sufra daños posteriores, ya que el metal está en contacto con el agua y es expuesto a ese tipo de ataques.

Para el recubrimiento de pintura en el tanque se siguió las especificaciones de la norma; API 653 “Inspección, reparación, alteración y reconstrucción de tanques”

Este estándar cubre tanques de acero para almacenamiento, proporciona requisitos mínimos para mantener la integridad de tales tanques desde que se hayan colocado en servicio y trata de inspeccionar, reaparición, alteración, relocalización, y reconstrucción. (API653, 2010)

Figura 28. Tanque pintado



Fuente: Autores

3.5 Instalación de la tubería

Al acoplar la bomba junto con el tanque reservorio también se verificó la alineación de la bomba.

Figura 29. Bomba acoplada



Fuente: Autores

Para la instalación de todo el sistema fueron necesario los siguientes elementos.

Tabla 1. Elementos del sistema

Elementos del sistema.			
No	Accesorio	Descripción	Imagen
1	Tee	2.5''	
2	Manómetro	Bourdon	
3	Neplo	2.5''	

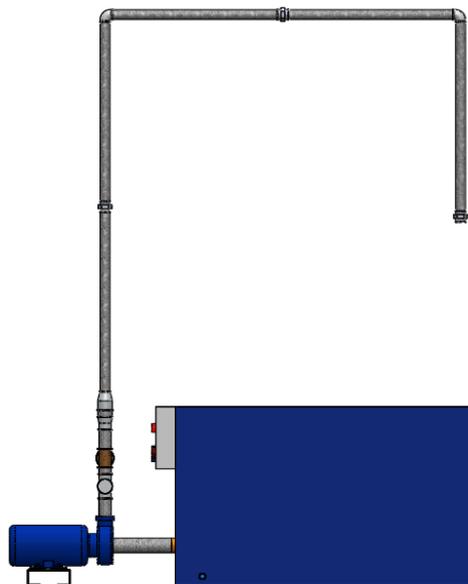
4	Válvula de compuerta.	2.5''	
5	Ampliación	2.5 a 3''	
6	Neplo	3''	
7	Reducción	3 a 2''	
8	Tubería	2''	

9	Universal	2''	
10	Codo	2''	

Fuente: Autores

En la reducción de sección se encontró con un gran problema ya que el diámetro del accesorio es de 2 ½ plg, y en el mercado no existe de manera comercial la venta de una reducción que permita llegar de un accesorio de 2 ½ a 2 plg. Se colocó una ampliación de 2 ½ a 3 plg, se instaló un neplo corrido de 3 plg para luego instalar una reducción de 3 a 2 plg, la cual si se la encuentra en el mercado de una manera comercial, esta nos brinda la seguridad que al momento que el equipo esté funcionando no se tenga ningún tipo de fuga, tener una larga vida útil del equipo, en la siguiente imagen se ve el esquema de la sección de la tubería instalada.

Figura 30. Primer tramo de tubería



Fuente: Autores

3.6 Instalación de la Turbina Turgo al tanque reservorio

Antes de instalar el codo especial, fue necesario instalar la turbina como la tubería, así se obtuvo la longitud y el ángulo exacto del codo que se fabricó.

Se tiene en la siguiente tabla los elementos antes de instalar el accesorio fabricado.

Tabla 2. Elementos
Elementos del sistema.

No	Accesorio	Descripción	Imagen
1	Tubería	2''	
2	Válvula de compuerta	1.5''	
3	Neplo	1.5''	
4	Reducción	2 a 1.5''	

5	Turbina Turgo		
---	---------------	--	--

Fuente: Autores

Para la base de la turbina se seleccionó un perfil L 5X5Al, para su fijación se le realizó una perforación de 5/16 plg, también al tanque reservorio y mediante pernos unirlos para obtener la fijación deseada

Figura 31. Perfil L



Fuentes: Autores

Luego de instalar los dos perfiles tipo L con el tanque reservorio mediante pernos de 5/16 plg, se tomó la medida de la bomba con un extremo del tanque, y verificando la misma alineación de la bomba con la turbina, se le realizara cuatro perforaciones para la sujeción de la Turbina Turgo a los perfiles

Figura 32. Instalación de turbina



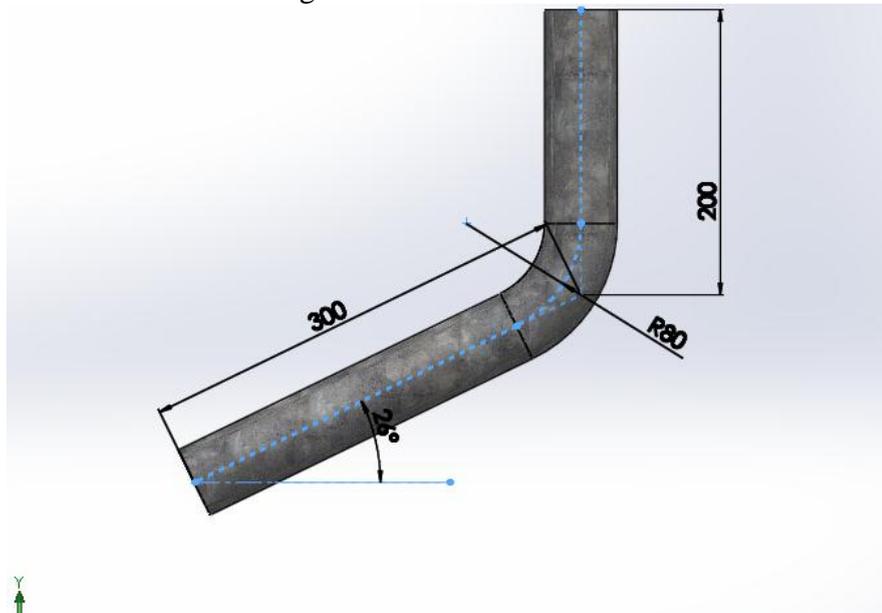
Fuente: Autores

Una vez que la turbina se encuentra fija y al nivel deseado se instala una válvula de compuerta, recomendada por el fabricante tiene que estar al final de la tubería, la misma que permitirá regular el paso del fluido directamente hacia el inyector de la turbina, ya que la toma que viene de fábrica de la turbina es de 1 ½ plg la válvula también es de 1 ½ plg.

3.7 Fabricación de accesorios especiales

3.7.1 Codo de 26 grados. Al tener los dos tramos de tubería instalados independientemente cada uno de ellos, procedemos a tomar la longitud necesaria para realizar el codo con un ángulo de 26 grados como vemos en la siguiente imagen.

Figura 33. Codo construido



Fuente: Autores

Teniendo el ángulo y las medidas necesarias se procedió a cortar el tubo con una longitud de 0,50 m, sin tomar en cuenta sus avances por accesorio. El tubo fue llevado a una prensa hidráulica para su doblado, y realizar sus roscas respectivas en cada lado.

El codo fabricado se acoplo con las dos universales para su primera puesta en marcha. Dicho codo hubieron inconvenientes ya que la prensa hidráulica no dio el ángulo exactamente requerido por la calibración del equipo utilizado, al momento de su funcionamiento se produjo una fuga excesiva por falta de acople en el codo y las caras de las universales.

Figura 34. Fuga en el accesorio especial.



Fuente: Autores.

Al tener fugas excesivas se optó por verificar cual es el desfase del ángulo, y se vio que no se llegó al ángulo deseado, por lo tanto se procedió a doblar el codo calentándolo por medio de un soplete industrial. Y así llegar a la precisión deseada.

Figura 35. Calentamiento del codo



Fuente: Autores

Para llegar al ángulo deseado se fijó en una entenalla ubicada en el taller de SEDICOM, de la Facultad de Mecánica, junto con la ayuda de un tubo al extremo se logró llegar al ángulo requerido.

Figura 36. Doblando del tubo



Fuente: Autores

3.7.2 Abrazadera. Una vez que toda la tubería se encontraba instalada desde la bomba hacia la turbina, y verificando que todos los accesorios estén bien ajustados; con un nivel se verifico la alineación de las tuberías, las cuales no tenían niveles aceptables, además al momento de encender la bomba, al estar la tubería suelta generaba un cabeceo excesivo, el mismo que movía los accesorios ya apretados, por lo que se procedió a fabricar una argolla regulable, la misma que suprimió estos inconvenientes.

Este accesorio consta de una base, la cual está sujeta a la viga del laboratorio con cuatro tacos Fisher F 10, y también consta de una argolla con tuerca y contra tuerca para su regulación, y con esto se pudo nivelar completamente las tuberías y se suprimió el cabeceo.

Figura 37. Soporte de tubería



Fuente: Autores

3.8 Tablero de control

Al tener todos los elementos instalados, verificando que no existan fugas ni vibraciones excesivas, se instala el circuito de potencia el cual nos permite poner las seguridades necesarias, con luces de control y botones para su encendido y apagado, todos los elementos mencionados se colocaron en un tablero de control.

3.8.1 *Enchufe trifásico.* Es el encargado de alimentar a todo el circuito, mediante sus tres patas podemos recibir las tres fases necesarias para el encendido correcto de la bomba, en el laboratorio al tener un tomacorriente de diferente estándar se procedió a limar una de las patas para su adecuada conexión y funcionamiento.

Figura 38. Enchufe 220V



Fuentes: Autores

3.8.2 *Botonera On/Off.* Es la encargada de dar la señal para el encendido y el apagado de todo el circuito.

Figura 39. Botones



Fuente: Autores

3.8.3 *Botón de pánico o paro de emergencia.* Es el encargado de interrumpir el paso de corriente en todo el circuito, en caso de alguna falla imprevista o por seguridad del equipo y del operador.

Figura 40. Botón de paro



Fuente: Autores

3.8.4 *Luces piloto.* Estas luces nos indican en qué estado está el equipo, si se tiene una luz verde eso quiere decir que todo el equipo está en funcionamiento correcto, al apagar el equipo se enciende la luz roja, también se enciende la luz roja al sobre pasar el consumo de corriente pues la protección térmica interviene en ese instante, o al pulsar el botón de emergencia.

Figura 41. Botones



Fuente: Autores

3.8.5 *Contactor.* Este elemento relaciona al circuito de control con el de potencia, se encarga de establecer o interrumpir el paso de corriente en el circuito de potencia, tan pronto se le de tensión a la bobina, lo hace por medio de un electroimán que se encarga de cerrar el circuito al ser accionado, tiene la propiedad de mantener ese estado hasta que se presione el pulsador de paro.

Figura 42. Contactor



Fuente: Autores

3.8.6 Relé térmico. Este elemento es un filtro de seguridad, entra en funcionamiento cuando la corriente sobrepasa su consumo normal, esto produce un calentamiento y puede ocasionar daños muy graves al circuito, este elemento es regulable de acuerdo al amperaje de la bomba que necesite para su funcionamiento.

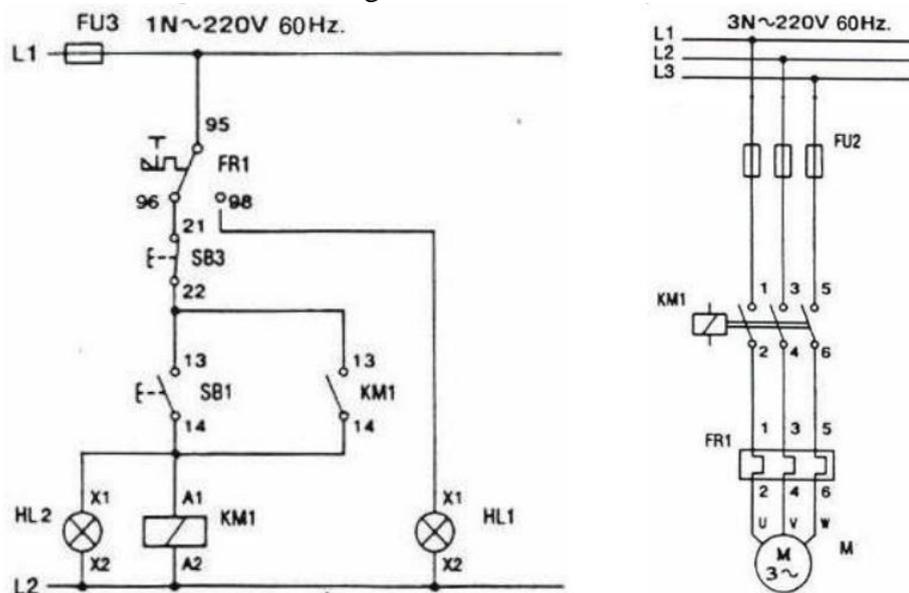
Figura 43. Relé térmico



Fuente: Autores

3.8.7 Circuito eléctrico. En el siguiente diagrama presentamos la forma en la cual el circuito está conectado con sus respectivas seguridades, botoneras, y luces piloto.

Figura 44. Circuito



Fuente: Autores

3.9 Instalación de manómetros

Los manómetros son instrumentos que sirven para medir la presión en rangos deseados, estos instrumentos no son los únicos que existen en el mercado, tenemos sensores los cuales pueden tener mayor precisión en la toma de sus medidas, se optó por la utilización de manómetros por su precio, el cual es mucho menor a los de los sensores antes mencionados. Para la instalación de los manómetros, se optó por modificar ciertas partes de la tubería, con esto se colocara los manómetros en lugar que necesario con las mínimas fugas.

- Pulir la tubería galvanizada, con esto al momento de soldar no existirá chispa excesiva al momento de soldar.

Figura 45. Limpieza de tubería



Fuente: Autores

- Cortar los nepllos de ¼ plg para acoplarlos correcta mente.

Figura 46. Neplo cortado



Fuente: Autores

- Perforar la tubería en los lugares necesarios para la toma de datos

Figura 47. Perforaciones en la tubería



Fuente: Autores

- Soldar los neplos a la tubería, para esto se usó una soldadora MIG, ya que la misma debe tener un buen acabado.

Figura 48. Soldadura de neplo



Fuente: Autores

- Pulir la soldadura para que no exista acumulación de residuos.

Figura 49. Neplo acoplado



Fuente: Autores

Los manómetros se instalaron después de la salida del fluido de la bomba, y antes del ingreso de la turbina para verificar las presiones a la que se encuentran, estas presiones nos ayudaran en la obtención de los posteriores datos.

Los manómetros instalados son estándar con una escala de 0 a 60 psi.

Figura 50. Manómetro



Fuente: Autores

También se instaló un manómetro diferencial en el codo fabricado, esto se hizo para poder calcular la pérdida de presión en ese accesorio, al utilizar el manómetro diferencial se pudo apreciar con mayor precisión la diferencia de presiones.

Figura 51. Manómetro diferencial



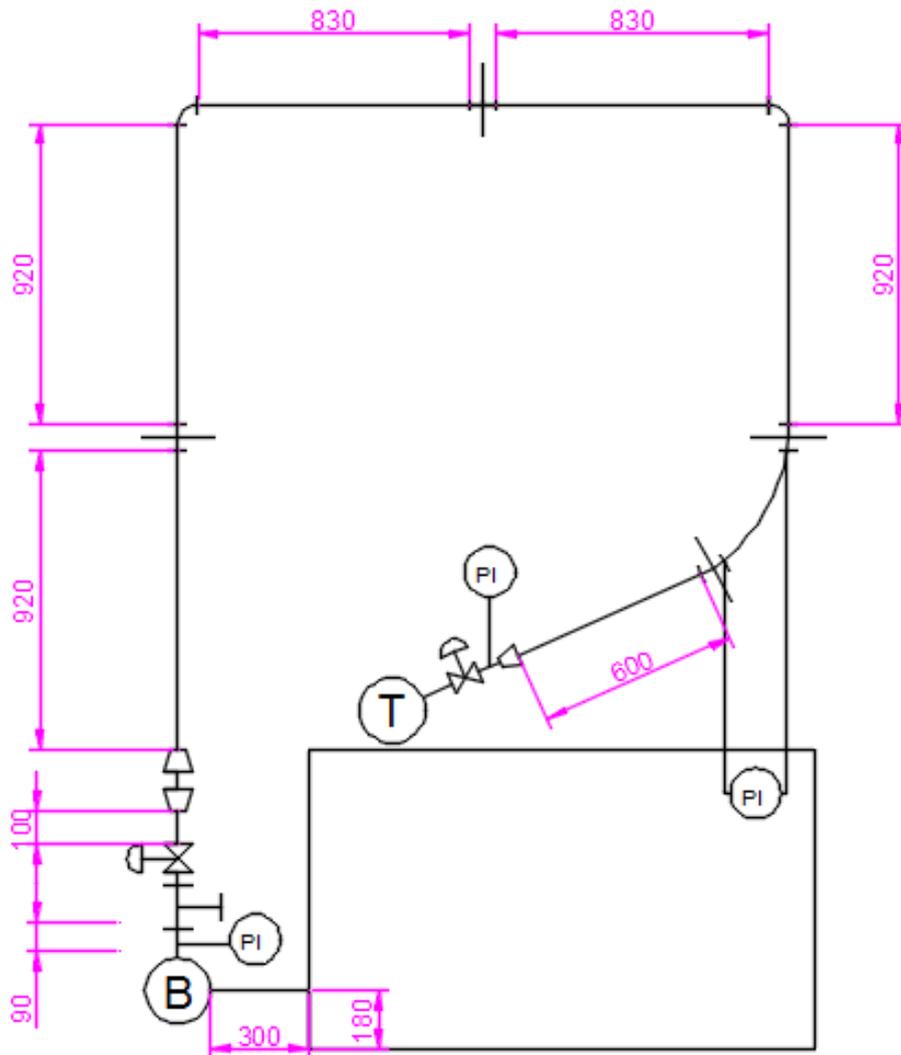
Fuente: Autores

3.10 Diagrama piping and instrumentation diagram “P&ID”

Se realizó un diagrama P&ID con esto se puede ver las dimensiones del sistema junto con su instrumentación.

Este diagrama se realizó bajo las especificaciones de la norma ISA S 5.1 – 5.3, se puede ver en el Anexo

Figura 52. Diagrama P&D



Fuente: Autores

CAPITULO IV

4. TOMA DE DATOS

Una vez instalada la tubería y la turbina, revisando que no existen fugas ni vibraciones se procede a la adquisición de datos como son presión, caudal, voltaje.

4.1 Medición de caudal

Es de gran importancia la medición del caudal, pues nos permite analizar la potencia generada, las pérdidas producidas por la fricción de la tubería, etc.

Para la medición de caudal se tuvo varios inconvenientes, puesto que no se contaba con los instrumentos, ni con la adecuada instalación para dichos elementos. Entre los instrumentos que podemos resaltar para una apropiada medición de caudal son:

- Placa orificio
- Fijómetro
- Vertedero.

Estos fueron los instrumentos que se pusieron a discusión para la medición del caudal, la mayor dificultad con estos instrumentos fue su instalación en la tubería, puesto que la tubería es de acero y nuestro proyecto no incluye hacer cortes de sección en medio de las tuberías, y el costo elevado de estos instrumentos.

Al ver las desventajas que se tenía en estos instrumentos, se decidió optar por medir el caudal por vertedero y tomando el tiempo de llenado de un volumen determinado.

4.1.1 *Medición de caudal por vertedero.* La medición por vertedero es una de las más prácticas al medir caudales a flujo abierto, es empleado para medir el caudal de canales de riego entre otras aplicaciones. La principal ventaja de este método para medir el caudal en nuestro proyecto es el tener en el tanque reservorio la estructura adecuada para la medición de caudal, ya que está incluida una placa con un corte triangular el cual tiene un ángulo de abertura de 90 grados cumpliendo así con las especificaciones que se encontraron en los textos analizados geométrica necesaria.

Tiene una lámina de acero rectangular, la cual tiene un corte para el desfogue de agua en la forma necesaria para hacer la medición de caudal, este corte es en forma triangular como podemos apreciar en la figura.

Figura 53. Vertedero triangular



Fuente: autores

También se pegó una regla de 30 cm para poder obtener la altura máxima de descarga del agua ya que es un dato esencial para aplicar este método.

Figura 54. Regla para medir altura



Fuente: autores.

Teniendo estas condiciones necesarias en el tanque se procedió a tomar la medida del caudal al desconectar una válvula universal, puesto que para la medición de caudal es necesario medir en dos tramos de tubería, donde no intervenga ni una bomba ni una turbina. Podemos señalar en la figura cuál de las universales se optó por desacoplar para que el fluido cayera sobre la parte del tanque reservorio destinada para medir el caudal.

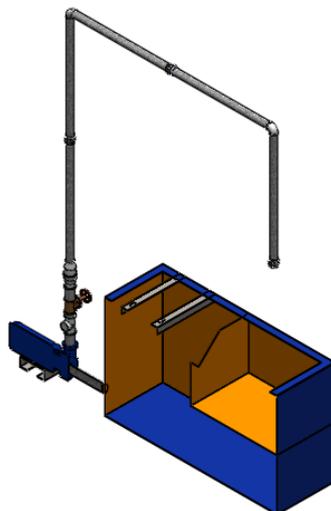
Figura 55. Desacoplando universal



Foto: Autores

Como podemos ver la figura el tanque reservorio quedo con un flujo libre para poder medir el caudal. Esto nos permite usar el método de vertedero triangular.

Figura 56. Reservorio para medir caudal



Fuente: Autores

Al ser la válvula de paso de compuerta, se contó las vueltas que giraba para tener completamente abierta, y con esto tener una medida de caudal en cada una las posiciones necesarias para los cálculos.

Para medir las alturas y sacar una media aproximada se tomó las medidas de la altura de columna de agua del vertedero, en lapsos de tiempo de 30 segundos por 5 minutos.

4.1.1.1 Válvula abierta 3 vueltas o 1080 grados

Tabla 3. Válvula abierta 3 vueltas o 1080 grados

Tiempo [s]	Altura [cm]
30	9,4
60	9
90	9,2
120	9,1
150	8,9
180	9,7
210	8,8
240	9,1
270	9,2
300	9,5
Altura	9,2

Fuente: Autores

Al tener el dato de la media de la altura, introducimos en la ecuación de vertedero triangular, de la ecuación 5

$$Q = C_d \left(\frac{8}{15} \right) \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \sqrt{2g} h^{5/2}$$

Se introduce también el dato del ángulo del vertedero, y la constante $C_d = 0,58$; también el dato de la altura tomado de la anterior tabla se le introduce en metros para obtener nuestra respuesta en m^3/s

$$Q = 0,58 \left(\frac{8}{15} \right) \tan\left(\frac{90}{2}\right) \sqrt{2(9,81)} 0,0919^{5/2}$$

$$Q = 0,00567935 \frac{m^3}{s}$$

Para los cálculos de perdidas e necesario que el caudal este en litros por lo tanto el caudal es:

$$Q = 5,6793 \frac{l}{s}$$

4.1.1.2 Válvula abierta 3 vueltas o 2160 grados

Tabla 4. Válvula abierta 3 vueltas o 2160 grados

Tiempo [s]	Altura [cm]
30	12,5
60	12,4
90	12,7
120	11,9
150	12,8
180	12,3
210	12,7
240	12,2
270	12,8
300	12,5
Altura	12,48

Fuente: Autores

Al igual que el caso anterior.

$$Q = 0,58 \left(\frac{8}{15} \right) \tan\left(\frac{90}{2}\right) \sqrt{2(9,81)} 0,1248^{5/2}$$

$$Q = 12,20523 \frac{lt}{s} \quad (12)$$

4.1.1.3 Válvula abierta 9 vueltas o 3240

Tabla 5. Válvula abierta 9 vueltas o 3240

Tiempo [s]	Altura [cm]
30	13,3
60	13,1
90	13,2
120	13,5
150	13,7
180	12,9

210	13,2
240	12,8
270	13,5
300	13,1
Altura	13,2

Fuentes: autores

$$Q = 0,58 \left(\frac{8}{15} \right) \tan\left(\frac{90}{2}\right) \sqrt{2(9,81)} 0,1323^{5/2}$$

$$Q = 14,122 \frac{l}{s}$$

4.1.1.4 Válvula completamente abierta

Tabla 6. Válvula completamente abierta

Tiempo [s]	Altura [cm]
30	14,6
60	14,2
90	14,5
120	14,8
150	13,8
180	14,5
210	13,9
240	13,9
270	14,6
300	14
Altura	14,2

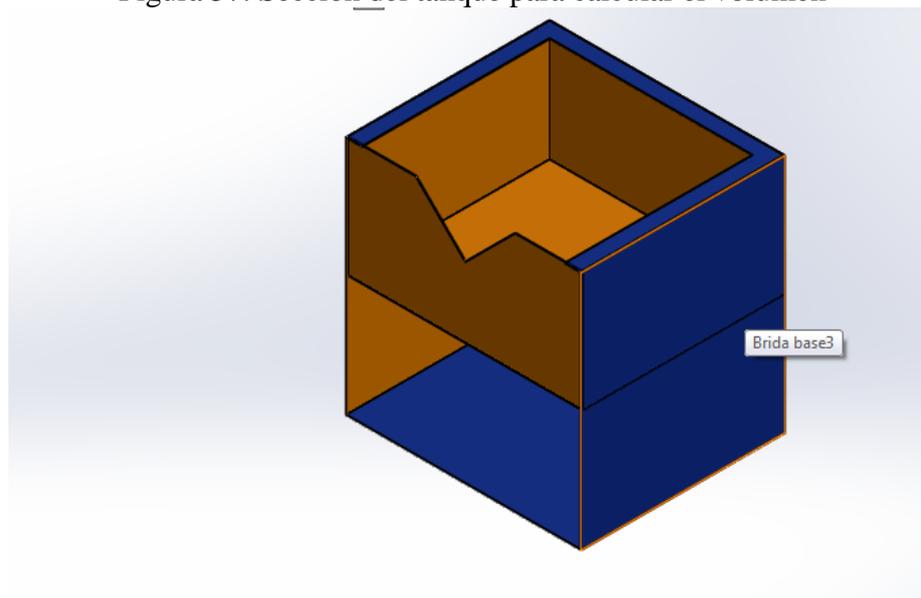
Fuente: Autores

$$Q = 17,093 \frac{l}{s}$$

4.1.2 Caudal por flujo volumétrico. Para complementar la toma de los datos anteriores, se optó por otra forma de medir caudal y comparar los resultados, con ello podemos tener una mejor apreciación del caudal para los posteriores cálculos. Para la toma de este dato primero se tomó las medidas de la parte del tanque, en el cual se depositara un volumen de agua determinado en un tiempo. Tomado las medidas del tanque se determinó que el volumen del tanque es:

$$V = 0,137104 m^3$$

Figura 57. Sección del tanque para calcular el volumen



Fuente: Autor

Seguimos el procedimiento anterior con las aperturas de la válvula, tomando cinco veces el tiempo que toma llenar el volumen mencionado.

4.1.2.1 Válvula abierta 3 vueltas o 1080 grados

Tabla 7. Válvula abierta 3 vueltas

Llenado	Tiempo [s]
1	23,6
2	24
3	24,3
4	23,8
5	24,2
Tiempo medio	23,9

Fuente: Autores

Al tener la media del tiempo de la tabla anterior procedemos a introducir en la ecuación.

$$Q = \frac{V}{t} \quad (7)$$

Al tener también el dato del volumen calculado tenemos que

$$Q = \frac{0,137104}{23,98}$$

50

$$Q = 0,057174 \frac{m^3}{s}$$

Para la comparación con los datos anteriores necesitamos transformar a l/s.

$$Q = 5,57174 \frac{l}{s}$$

4.1.2.2 Válvula abierta 6 vueltas o 2160 grados

Tabla 8. Válvula abierta 6 vueltas

Llenado	Tiempo [s]
1	11,3
2	11,5
3	10,9
4	11,1
5	11,5
Tiempo medio	11,26

Fuente: Autores

$$Q = \frac{0,137104}{11,26} = 12,17 \frac{l}{s}$$

4.1.2.3 Válvula abierta 9 vueltas o 3240 grados.

Tabla 9. Válvula abierta 9 vueltas

Llenado	Tiempo [s]
1	9,9
2	9,4
3	10
4	9,6
5	9,7
Tiempo medio	9,72

Fuente: Autores

$$Q = \frac{0,137104}{9,72}$$

$$Q = 14,10532 \frac{l}{s}$$

4.1.2.4 Válvula totalmente abierta

Tabla 10. Válvula totalmente abierta

Medias	Tiempo [s]
1	8,2
2	8,1
3	7,9
4	8,3
5	7,8
Tiempo medio	8,1

Fuente: Autores

$$Q = \frac{0,137104}{8,06}$$

$$Q = 17,10422 \frac{l}{s}$$

Después de analizar por los dos métodos se obtuvo una media, está representada en la siguiente tabla

Tabla 11. Caudal real

Abertura de válvula [vueltas]	Caudal por vertedero [l/s]	Caudal [l/s]	Caudal total [l/s]
3	5,67	5,71	5,69
6	12,20	12,17	12,19
9	14,12	14,10	14,11
Totalmente abierta	17,09	17,01	17,05

Fuente: Autores

4.1.3 Análisis de caudal con un modelo CFD. Puesto que la medición del caudal se realizó sin tomar en consideración un tramo importante de la tubería, donde se encuentra varias reducciones de sección, se realizó un modelo CFD en ANSYS, con el objetivo principal de encontrar el perfil de velocidades en los dos casos.

Para el análisis como primera instancia se procedió a realizar un modelo en Solid Word, de la geometría de la tubería como se tomó la medición del caudal, y la tubería con todos sus accesorios, para comparar los perfiles de velocidades y apreciar el error un error teórico.

Figura 58. Tubería para medir el caudal



Fuente: Autores

Figura 59. Tubería con todos los accesorios



Fuente: Autores

Se procede a transportar las geometrías al ANSYS, en el paquete Fluid Flow (cfx)

4.1.3.1 Mallado y calificación. Es de gran importancia para un análisis adecuado seleccionar una malla adecuada y ver la calidad del mallado, es recomendado usar un criterio de “oblicuidad” (skewness) para la calidad del mallado, este es uno de los principales métodos para la calidad del mallado.

En la siguiente tabla se muestra los valores de oblicuidad y su correspondiente interpretación de la calidad del elemento.

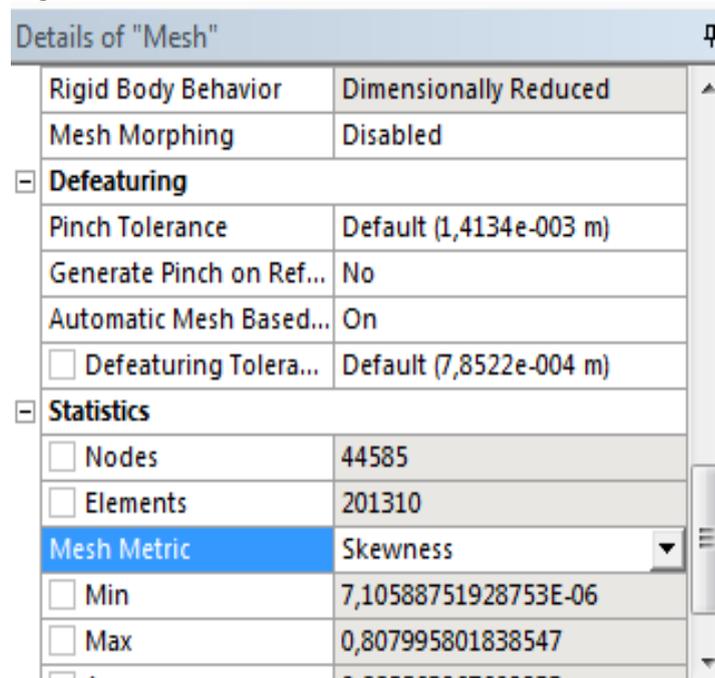
Tabla 12. Valores de oblicuidad y calidad de malla

Valores de oblicuidad	Indicadores de calidad
1	Degenerado
0,90-<1	Muy malo
0,75-0,90	pobre
0,50-0,75	Regular
0,25-0,50	Bueno
0-0,25	Excelente
0	Equilátero perfecto

Fuente: Autores

Se realizó la verificación del mallado en la tubería.

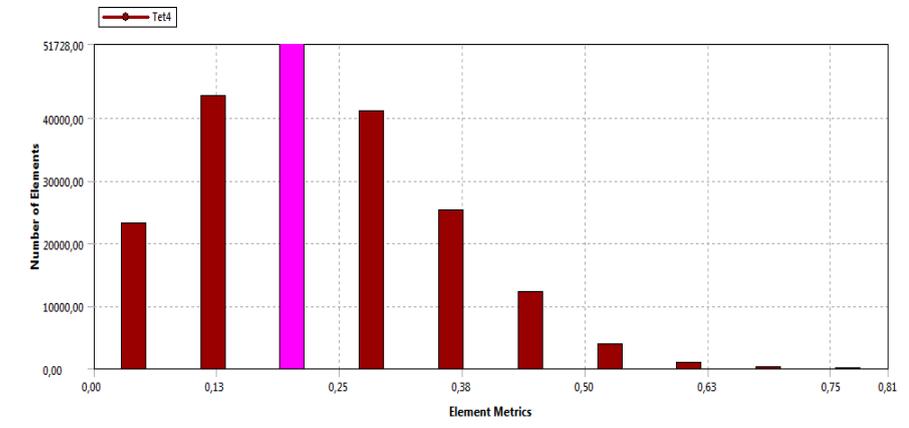
Figura 60. Detalle de la calidad de mallado en la tubería



Fuente: Autores

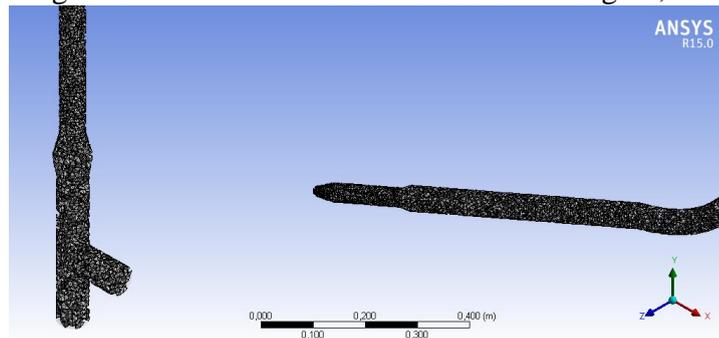
En el modelo de tubería con todos los accesorios tiene una calificación promedio de 0,225 por lo tanto tiene una calidad excelente.

Figura 61. Calidad de mallado vs número de elemento con accesorios



Fuente: Autores

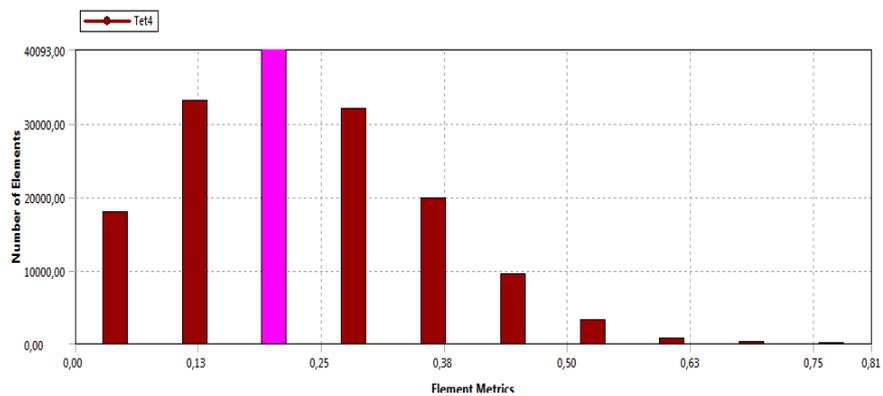
Figura 62. Elementos de oblicuidad en el rango 0,225



Fuente: Autores

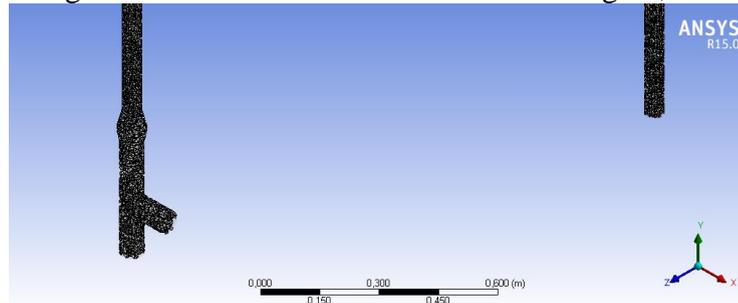
En el modelo como se tomó la medida del caudal tiene una calificación de 0,226 la cual tiene una calificación de excelente.

Figura 63. Calidad de mallado vs número de elementos



Fuente: Autores

Figura 64. Elemento de oblicuidad en el rango 0,226



Fuente: Autores

4.1.3.2 *Definición de propiedades y condiciones del sistema.* Al tener los instrumentos ya instalados se tiene las condiciones del sistema, en los puntos donde se va a realizar el análisis.

Tabla 13. Condiciones del sistema

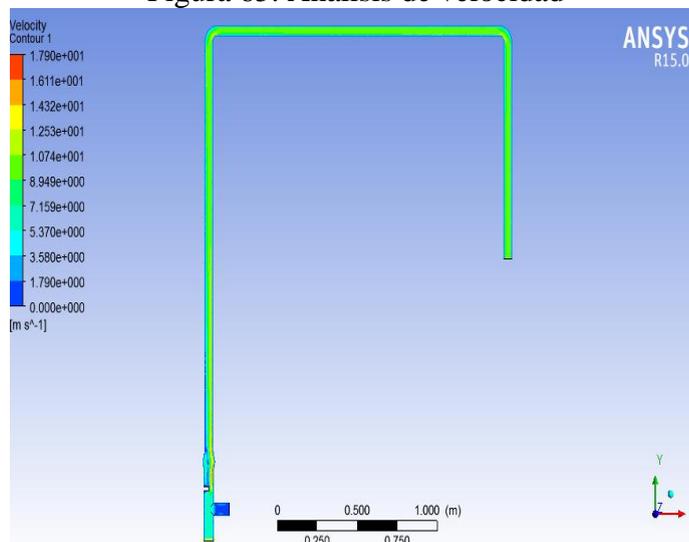
Propiedades	Entrada	Salida
Presión[psi]	35	14,2
Temperatura[C]	13	13
Velocidad[m/s]	6	

Fuente: Autores

4.1.3.3 *Resultados.* Los resultados de solución en estado estable en CFD es el análisis de los perfiles de velocidad en los tres diferentes tramos de tubería que tenemos.

En las siguientes figuras esta simulado las diferentes zonas de flujo turbulento, y el perfil de velocidades de la tubería con todos sus accesorios.

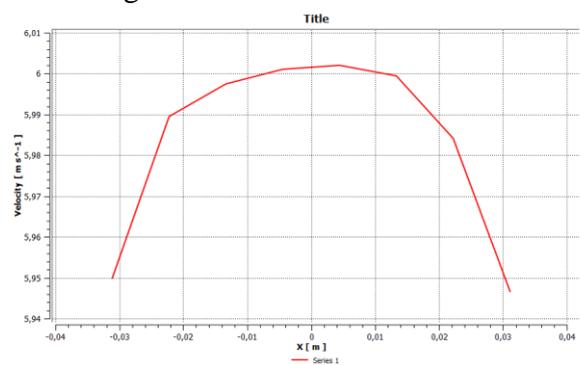
Figura 65. Análisis de velocidad



Fuente: Autores

Se realizó el análisis del perfil de velocidades en el tramo de tubería de 2,5 plg.

Figura 66. Perfil de velocidades

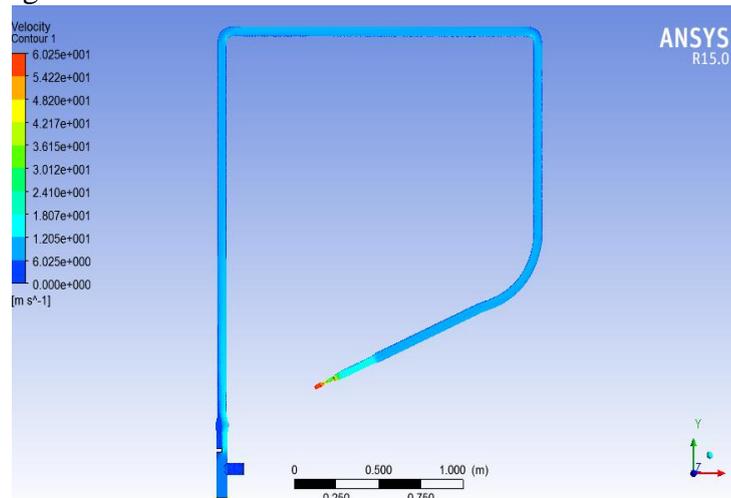


Fuente: Autores

Se ve que aproximadamente la velocidad en esta sección es de 6,003.

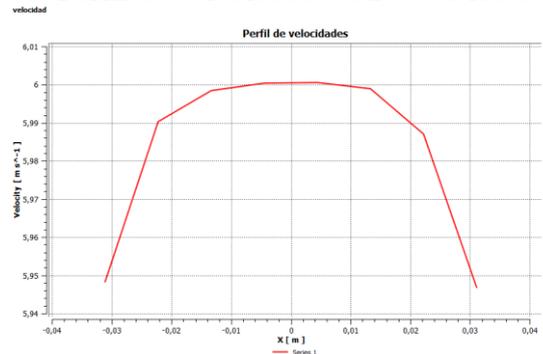
El mismo análisis se hizo en la tubería con todos los accesorios.

Figura 67. Análisis de velocidades con todos los accesorios



Fuente: Autores

Figura 68. Perfil de velocidades con todos los accesorios



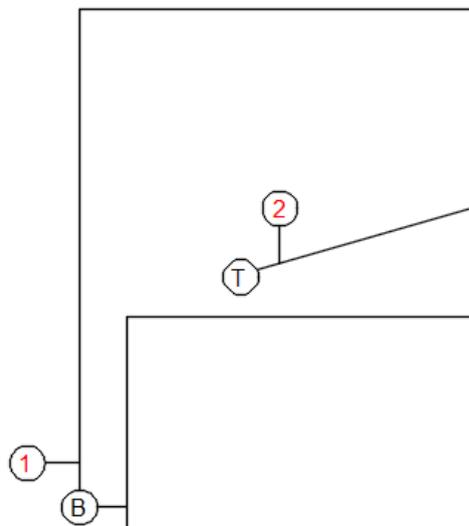
Fuente: Autores

Con tenemos una velocidad media de 6.001 m/s en el mismo tramo de tubería. Por lo tanto vemos que es una variación despreciable, por esta razón la medida del caudal se la puede tomar como válida.

4.2 Medición de presión

Para la medición de esta variable, como se mencionó anteriormente se elegido dos tipos de manómetros; dos manómetros de Bourdon, que es el más común en el mercado, para la salida del flujo después de la bomba y antes de la turbina; un manómetro diferencial de columna de mercurio el cual está ubicado en el accesorio especial este nos permitirá saber la diferencia de presión que existe y poder determinar su coeficiente de pérdida.

Figura 69. Esquema del equipo



Fuente: Autores

4.2.1 *Presión en los manómetros de Bourdon.* Para tomar las medidas de las presiones se tomó en cuatro posiciones y tenemos los siguientes valores.

Tabla 14. Presión en manómetros de Bordon

Abertura de válvula [vueltas]	Presión 1 [psi]	Presión 2 [psi]
3	35	10
6	34	25
9	33	27
Totalmente abierta	32	28

Fuente: Autores

4.2.2 Presión en el manómetro diferencial. Con el mismo procedimiento anterior procedemos a tomar la diferencia de presiones, con el manómetro de columna de mercurio en las posiciones indicadas de la válvula.

Tabla 15. Presión manómetro diferencial

Abertura de válvula [vueltas]	Presión [mmHg]
3	3
6	9
9	13
Totalmente abierta	15

Fuente: Autores

Para los posteriores cálculos es necesario transformar todos los datos de presión en psi:

Tabla 16. Presión en Psi

Abertura de válvula [vueltas]	Presión [psi]	Presión [mH ₂ O]
3	0,058	0,027
6	0,174	0,128
9	0,251	0,163
Totalmente abierta	0,290	0,203

Fuente: Autores

4.3 Análisis de las pérdidas en la tubería.

Es muy importante determinar las ecuaciones, variables y constantes las cuales van a influir para el análisis de pérdidas en la tubería, en el análisis de eficiencia de la turbina y la bomba. Al encontrar los parámetros mencionados estaríamos garantizando el buen funcionamiento de todo el equipo implementado.

En el análisis tenemos las siguientes constantes que rigen el sistema:

- Ubicación: Riobamba
- Presión atmosférica: 556,8 mmHg
- Temperatura promedio = 15 °C
- ρ = Densidad = 1000 kg/m³
- γ = Peso específico: 9,81 N/m³
- μ = Viscosidad cinemática = 1,24*10⁻⁶ m²/s

- $D_1 = \text{Diámetro en la succión} = 2,5 \text{ plg} = 56 \text{ mm}$
- $D_2 = \text{Diámetro en la descarga} = 2 \text{ plg} = 44,8 \text{ mm}$
- $A_1 = \text{Área de succión} = 0,00246 \text{ m}^2$
- $A_2 = \text{Área de descarga} = 0,00157 \text{ m}^2$

4.3.1 *Pérdidas en la tubería de descarga (H_r).* Se procede al análisis en el tramo de tubería como se muestra en la figura 71, para conocer la altura a la cual la bomba lleva el fluido en cada una de las posiciones de la válvula. Para poder determinar la ecuación del sistema que determina la cabeza estática total se procede a realizar un balance de energías entre el punto 1 y 2, con la ecuación 3.

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + H_d - H_r = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

Al tener la mayor parte de tubería con una misma dimensión despreciamos la diferencia de velocidades. Despejamos la cabeza estática en la descarga: H_d

$$H_d = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + (Z_2 - Z_1) + H_r$$

Para poder determinar H_r se utiliza la ecuación de DARCY-WEISBACH esta postula que se realizar el análisis de perdidas, estas son causadas por los accesorios a utilizar.

$$H_r = \left(\lambda \frac{L}{D} + \Sigma k \right) \frac{Q^2}{2gA^2}$$

Dónde:

$L = \text{Longitud de la tubería [m]}$

$D = \text{Diámetro de la tubería [m]}$

El factor λ (Coeficiente de pérdida de carga primaria.) se encuentra en función de Reynolds [Re], de tal manera que se debe determinar este factor en primera instancia. El factor de Reynolds [Re] nos permitirá determinar si el fluido se encuentra en, flujo laminar o turbulento, se encuentra especificado en la ecuación 4.

$$Re = \frac{V * D}{\gamma}$$

Para determinar el factor λ se tomar en cuenta si el flujo es laminar o turbulento.

- Si es laminar $Re < 2000$ entonces:

$$\lambda = 64/Re$$

- Si es tubería $Re > 4000$ entonces:

$$\lambda = \frac{0,25}{\left[\log\left(\frac{\varepsilon}{3,7d}\right) + \left(\frac{5,74}{Re^{0,90}}\right) \right]^2}$$

Donde ε podemos encontrar en el Anexo C, al saber que la tubería es de acero galvanizado.

Todos los accesorios tienen sus respectivos K en tablas con excepción del accesorio fabricado para lo cual tenemos que; el flujo por una válvula o accesorio en una línea de tubería causa también una reducción de altura estática que puede expresarse en función de la altura de velocidad. El coeficiente de resistencia K en la siguiente ecuación.

$$h_l = K \frac{v^2}{2g} \quad (8)$$

Dónde:

h_l = Descenso de altura estática [m]

K = Coeficiente de resistencia

v = Velocidad del fluido [m^2/s]

g = Gravedad [m/s^2]

La pérdida de altura estática nos viene del manómetro diferencial de columna de mercurio. Se calcula la velocidad al tener el caudal y el área de la tubería, al tener el caudal en las cuatro posiciones de la válvula; anterior mente deducido en la Tabla 16.

Dicho caudal se lo transforma a m³/s para obtener la velocidad en m/s

Tabla 17. Velocidad en la tubería

Abertura de válvula [vueltas]	Velocidad[m/s]
3	3,62
6	7,76
9	8,98
Totalmente abierta	10,81

Fuente: Autores

Al despejar K de la ecuación 8, y reemplazamos las presiones y los caudales en las posiciones respectivas.

$$K = h_l * \frac{2g}{V^2}$$

Tabla 18. Coeficiente K en accesorio especial

Abertura de válvula [vueltas]	K
3	0,0404
6	0,0397
9	0,0395
Totalmente abierta	0,0338

Fuente: Autores

Podemos comprobar que el coeficiente K es parcialmente el mismo en todos los casos, es importante resaltar que el coeficiente K siempre es el mismo ya que este depende de la sección de la tubería mas no de la velocidad; el coeficiente K es adimensional, por lo tanto escogemos una media de este para los cálculos de las perdidas, el cual es $K = 0,0384$

Para los coeficientes de pérdida en los estrechamientos podemos ver en las siguientes ecuaciones.

$$K_2 = \frac{0,5(1-\beta^2)\sqrt{\text{sen}(\frac{\theta}{2})}}{\beta^4} \quad (9)$$

$$K_2 = \frac{(1-\beta^2)^2}{\beta^2} \quad (10)$$

$$\beta^2 = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 = \frac{a_1}{a_2} \quad (11)$$

Figura 70 Coeficiente K
ESTRECHAMIENTO BRUSCO Y GRADUAL



Si: $\theta < 45^\circ$ $K_2 = \text{Fórmula 1}$

$45^\circ < \theta < 180^\circ$ $K_1 = \text{Fórmula 2}$

ENSANCHAMIENTO BRUSCO Y GRADUAL



Si: $\theta < 45^\circ$ $K_2 = \text{Fórmula 3}$

$45^\circ < \theta < 180^\circ$ $K_3 = \text{Fórmula 4}$

Fuente: Autores

Se tiene dos reducciones instaladas en la turbina, una de 3 a 2 plg y otro de 2 a 1,5 plg, como se tiene en la anterior figura usamos la ecuación 11, junto con la ecuación 9, al ser cambios de sección bruscos el ángulo $\theta=180^\circ$.

Tabla 19. Coeficiente K en reducción

Reducción [in]	β^2	K
de 3 a 2	0,444	1,329
de 2 a 1,5	0,5625	0,653

Fuente: Autores

Al tener una ampliación de 2,5 a 3 plg, se usa la ecuación 10 y la ecuación 11 como indica la figura anterior, con un ángulo $\theta=180^\circ$, por tanto tenemos:

Tabla 20. Coeficiente K en ampliación

Ampliación [in]	β^2	k
de 2,5 a 3[in]	0,694	0,633

Fuente: Autores

El resto de accesorios se los encuentra en el Anexo B

Para la sumatoria de accesorios $[\Sigma k]$ se procede a realizar en la siguiente tabla:

Tabla 21. Sumatoria de pérdidas por accesorios

Perdidas por accesorios			
Accesorio	Cantidad	k	Σk
Tee	1	0,36	0,36
Válvula de compuerta 2.5 plg	1	0,144	0,144
Ampliación 2.5 a 3 plg	1	0,633	0,633
Reducción 3 a 2 plg	1	1,329	1,329
Unión universal	4	0,8	3,2
Codo 90°	2	0,57	1,14
Codo especial	1	0,038	0,038
Reducción 2 a 1.5 plg	1	0,653	0,653
Válvula de compuerta 1.5 plg	1	0,168	0,168

Fuente: Autores

La sumatoria de todos los $K = 7,667225$

Al tener la sumatoria de los coeficientes K se el número de Reynolds para saber si el flujo es turbulento o no. Con la ecuación 31, donde se remplaza los valores anteriormente encontrados, el cálculo se lo va realizar solo para la válvula abierta por tres vueltas, con la ecuación 4

$$Re = \frac{V * D}{\gamma}$$

$$Re = \frac{3,62954 * (0,048)}{1,24 * 10^{-6}}$$

$$Re = 130546,596$$

El número de Reynolds es superior 4000, es así que se usa la de reinos.

$$\lambda = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{0,0005}{3,7 * 44,8} \right) + \left(\frac{5,74}{130546,596^{0,90}} \right) \right]^2}$$

$$\lambda = 0,00820359$$

Al tener una longitud total de tubería de $L = 6,875$ con un diámetro de 0,0446 m, al tener

la mayoría de tubería de la misma longitud, se puede despreciar los tramos de diferente diámetro.

Se utiliza la de Darcy para calcular la pérdida de altura por los accesorios y longitud.

$$H_r = \left(0,00820359 \frac{6,875}{0,0446} + 7,667225\right) \frac{3,629546671^2}{2 * 9,81}$$

$$H_r = 5,992 \text{ m}$$

Tabla 22. Cálculo del Hr

Abertura de válvula [vueltas]	RE	λ	Hr [m]
3	130546,598	0,00820359	5,99
6	279281,828	0,00820338	27,42
9	323340,485	0,00820336	36,75
Totalmente abierta	390649,578	0,00820333	53,65

Fuente: Autores.

Para calcular la altura estática reemplazamos todos los valores encontrados en la ecuación 30. Se puede ver los resultados en la siguiente tabla.

Tabla 23. Altura de descarga

Abertura de válvula [vueltas]	H_d [m]
3	10,3965309
6	22,2923017
9	33,7381638
Totalmente abierta	52,0424273

Fuente: Autores

4.4 Análisis de potencia de la turbina

Para el análisis de potencia de la turbina, se pueden asumir tres procedimientos, los diferenciales, los experimentales, y los de volumen de control. De los anteriores mencionados se va a realizar el estudio por medio de los dos últimos, ya que el método diferencial conlleva la utilización de ecuaciones diferenciales muy complejas o a su vez líneas de código por computadora para obtener resultados, dicho esto se procede a

obtener una potencia de la turbina Turgo teórica por el método de volumen de control. El método experimental se lo realizara en el siguiente capítulo.

El volumen de control puede asignarse de una manera arbitraria en el espacio por la cual el fluido se desplaza y su superficie limitante de control puede estar fija, en movimiento e inclusive deformándose en el curso del flujo. (CENGEL, 2006)

Figura 71. Alabes de la turbina Turgo

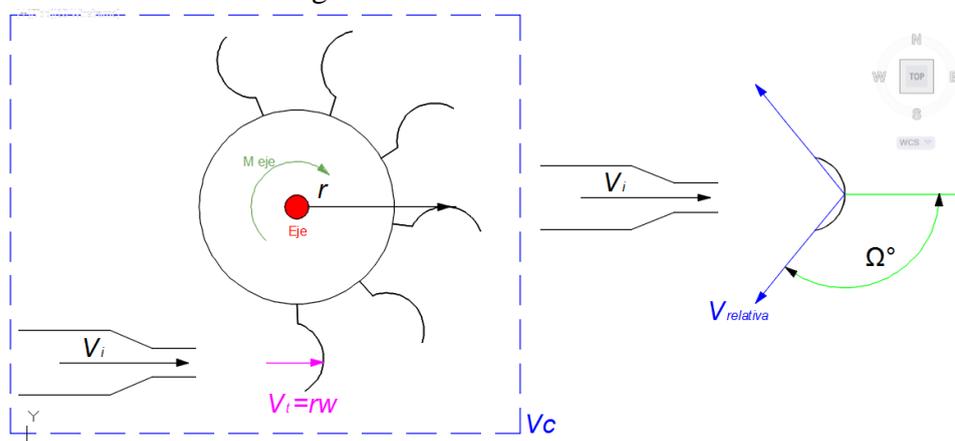


Fuente: Autores

Al tener la turbina Turgo instalada y en un adecuado funcionamiento, se tiene las medidas necesarias para abordar el problema de la potencia teórica que nos genera la turbina. Y se analizara en un volumen de control que nos imponemos, en nuestro caso va a ser la rueda donde se encuentra los cucharones, estos como se dijo anterior mente son similares a los de la turbina Pelton,

En la siguiente figura, tenemos el esquema donde tomamos la figura de control que escogimos.

Figura 72. Volumen de control



Fuente: Autores

Dónde:

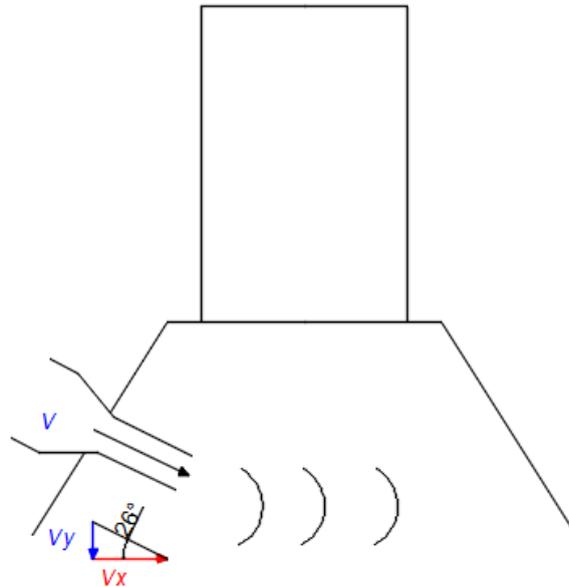
r = Radio respecto al centro del eje y el centro de la cuchara [m]

V_i = La velocidad del fluido desde la boquilla [m/s]

V_t = La velocidad tangencial del rodete [m/s]

Ω = Angulo de salida de la cuchara [rad/s]

Figura 73. Esquema de velocidades



Fuente: Autores

La velocidad V_i es igual que la velocidad V_x como se puede apreciar en el siguiente diagrama tomando a consideración su ángulo, y el diámetro de la sección de la boquilla es igual a 1 plg.

$$V_x = V * \cos(26) \quad (12)$$

Tabla 24. Velocidad de la boquilla

Abertura de válvula [vueltas]	V [m/s]	V_x [m/s]
3	11,42	7,39
6	24,44	15,81
9	28,29	18,30
Totalmente abierta	34,18	22,11

Fuente: Autores

Para el análisis correcto de este volumen de control se los siguientes antecedentes. (CENGEL, 2006)

- Al tener una turbina de acción, la presión de salida de la boquilla es igual a la atmosférica y al trabajar todo el sistema con presiones manométricas esta es igual a cero
- El flujo va a ser constante y uniforme, gracias a que estamos en un sistema regenerativo.
- Como son muy pequeñas no se va a tomar en cuenta las pérdidas que produce el aire al friccionar con el líquido, así como las pérdidas que produce el eje al girar.
- El diámetro de la boquilla es pequeño en comparación con el brazo del momento, y por lo tanto se utiliza valores medios del radio, y de las velocidades.

La velocidad relativa, a la cual los cucharones expulsan el agua después del choque viene dada como, la diferencia de la velocidad de la boquilla y la velocidad tangencial.

La velocidad tangencial depende del radio y del número de revoluciones que va tener el rodete de la turbina.

$$V_t = r\omega \quad (13)$$

Dónde:

ω = Velocidad angular [rad/s]

La velocidad relativa es:

$$V_{relativa} = V * \cos 26 - r\omega \quad (14)$$

Se asume que es un flujo estacionario, pues no va a variar el flujo másico en respecto al tiempo y tenemos que la sumatoria de momentos neto que actúa sobre un volumen de control en el curso del flujo estacionario en reposo es igual a la diferencia entre los flujos del momento angular, salientes y entrantes:

$$\Sigma \vec{M} = (\Sigma \vec{r} \times \dot{m} \vec{V})_{sal} - (\Sigma \vec{r} \times \dot{m} \vec{V})_{ent}$$

Esta proposición también se puede expresar para cualquier dirección especificada. En numerosos problemas, todas las fuerzas significativas y todos los flujos de cantidad de movimiento se encuentran en el mismo plano y, por lo tanto, todo da lugar a momentos en el mismo plano y en torno al mismo eje. Para este caso se lo puede expresar en forma escalar como (CENGEL, 2006) Pag. 253:

$$\Sigma M = (\Sigma r\dot{m}V)_{sal} - (\Sigma r\dot{m}V)_{ent}$$

Al obedecer la regla de la mano derecha para saber el signo de los momentos se tiene que todos los en dirección a la izquierda son positivos, y todos en dirección a la derecha son negativos, entonces la ecuación angular del eje de rotación alrededor del eje de rotación se convierte en:

$$-M_{eje} = r\dot{m}V_r \cos\Omega - r\dot{m}V_r$$

Al sacar el factor común de V_r , y remplazar la ecuación 46 se tiene que:

$$-M_{eje} = r\dot{m}(V_i - rw)(1 - \cos\Omega)$$

La potencia del eje es igual a:

$$P_{eje} = \omega M_{eje}$$

Al reemplazar las ecuaciones anteriores, y si se sabe que $\dot{m} = \rho Q$ entonces:

$$P_{eje} = \rho Q r w (V_i - r \omega) (1 - \cos\Omega) \quad (15)$$

Figura 74. Contador de revoluciones



Fuente: Autores

De la misma manera se tiene el número de revoluciones en las distintas posiciones de la válvula, se usa un contador de revoluciones.

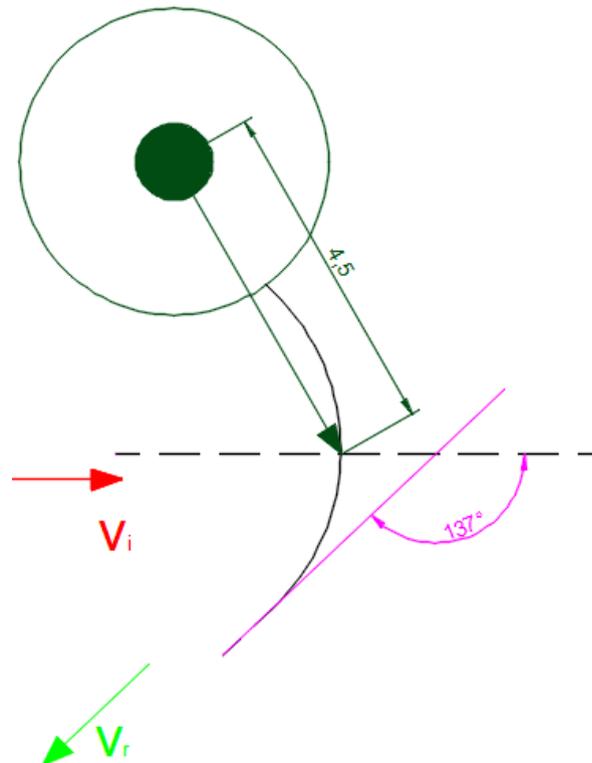
Tabla 25 Revoluciones de la turbina

Abertura de válvula [vueltas]	[rpm]	[rad/s]
3	916	95,92
6	1629	170,58
9	1890	197,92
totalmente abierta	1916	200,64

Fuente: Autores

Para las medidas del radio [r] y el ángulo [Ω].

Figura 75. Radio y ángulo



Fuente: Autores

Al reemplazar los valores, se llega a ver los resultados en la siguiente tabla.

$$P_{eje} = \left(1000 \frac{kg}{m^3}\right) \left(0,0059 \frac{m^3}{s}\right) \left(0,045 m * 95,92 \frac{rad}{s}\right) \left(7,08 \frac{m}{s} - 0,045 m 95,92 \frac{rad}{s}\right) (1 - \cos 137)$$

$$P_{eje} = 45,35 W$$

Tabla 26. Potencia teórica

Abertura de válvula	P[W]
3 vueltas	52,69
6 vueltas	506,69
9 vueltas	774,78
Totalmente abierta	1247,99

Fuente: Autores

CAPITULO V

5. PRUEBAS

5.1 Realización de pruebas

Al tener la adecuada instalación del tanque reservorio, tuberías, manómetros, y demás elementos, se realiza las pruebas de funcionamiento para acoplar a las guías de laboratorio y una adecuada guía de mantenimiento. Para el laboratorio de Turbomaquinaria y a la vez para sus estudiantes.

También se realizaron pruebas de vibración, con aseguramos el estado en el que el sistema se encuentra en operatividad.

Figura 76. Rodamientos del motor



Fuente: Autores

Se realizaron las pruebas en estos puntos pues son donde se encuentran los rodamientos, ya que son donde se puede apreciar los más altos picos de vibración, bajo los parámetros de la norma ISO 10816-1.

Se va a recalcar que el análisis de vibraciones se lo realizo con el único objetivo de verificar la alineación de la bomba referente a su cimentación.

Figura 77. Pruebas de vibración

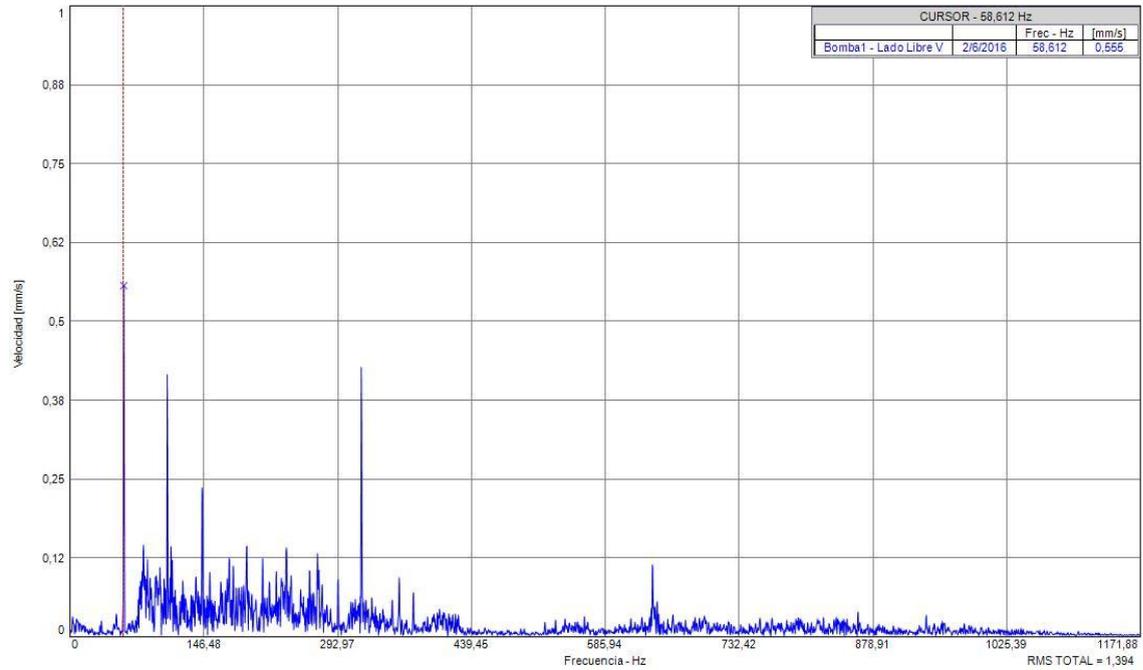


Fuente: Autores.

5.2 Resultados de las pruebas

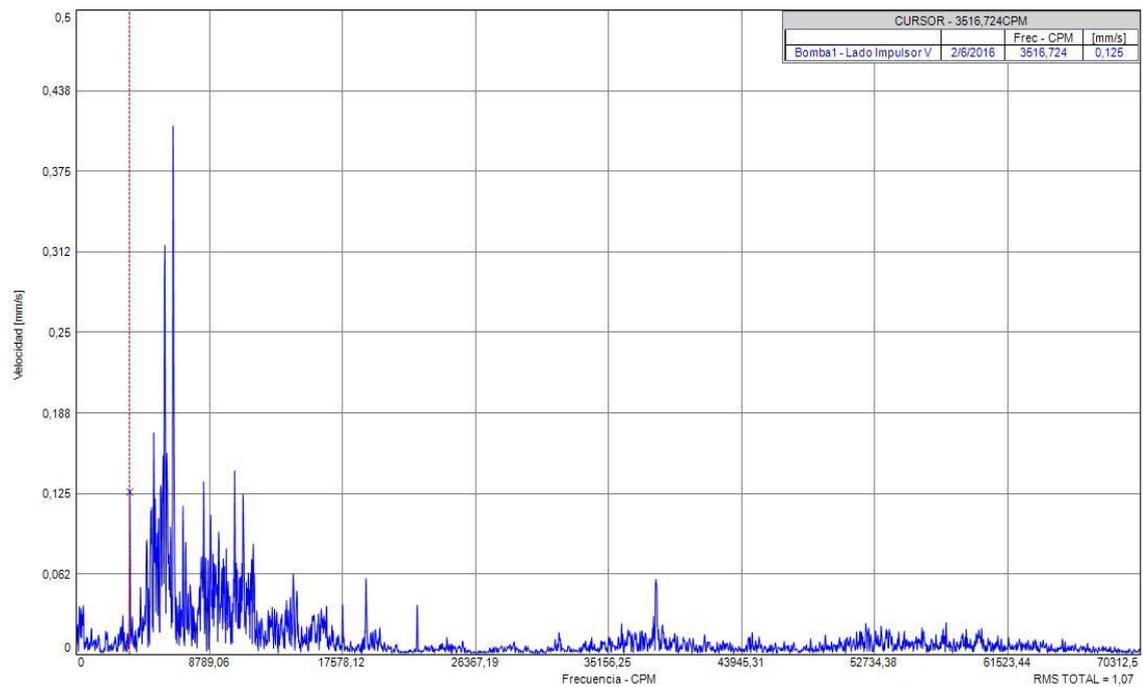
En el análisis de vibraciones podemos acotar los histogramas. En los puntos críticos mencionados anteriormente.

Figura 78. Histograma lado libre vertical



Fuente: Autores

Figura 79. Histograma lado impulsor vertical



Fuentes: Autores

Figura 80. Histograma lado del impulsor horizontal

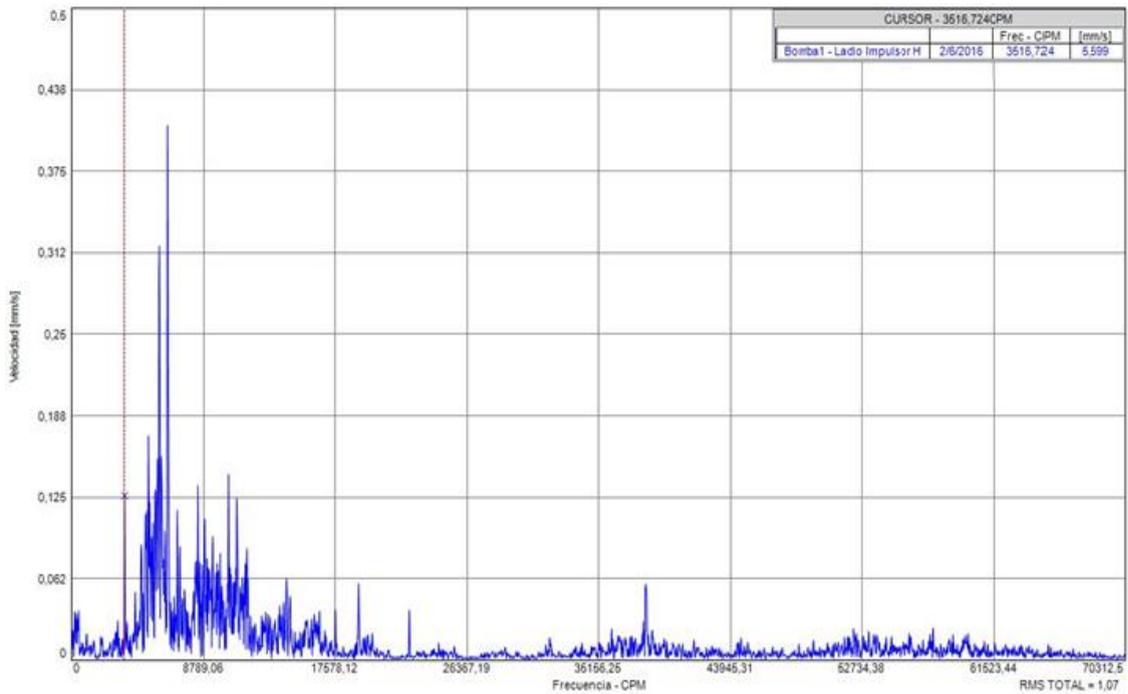
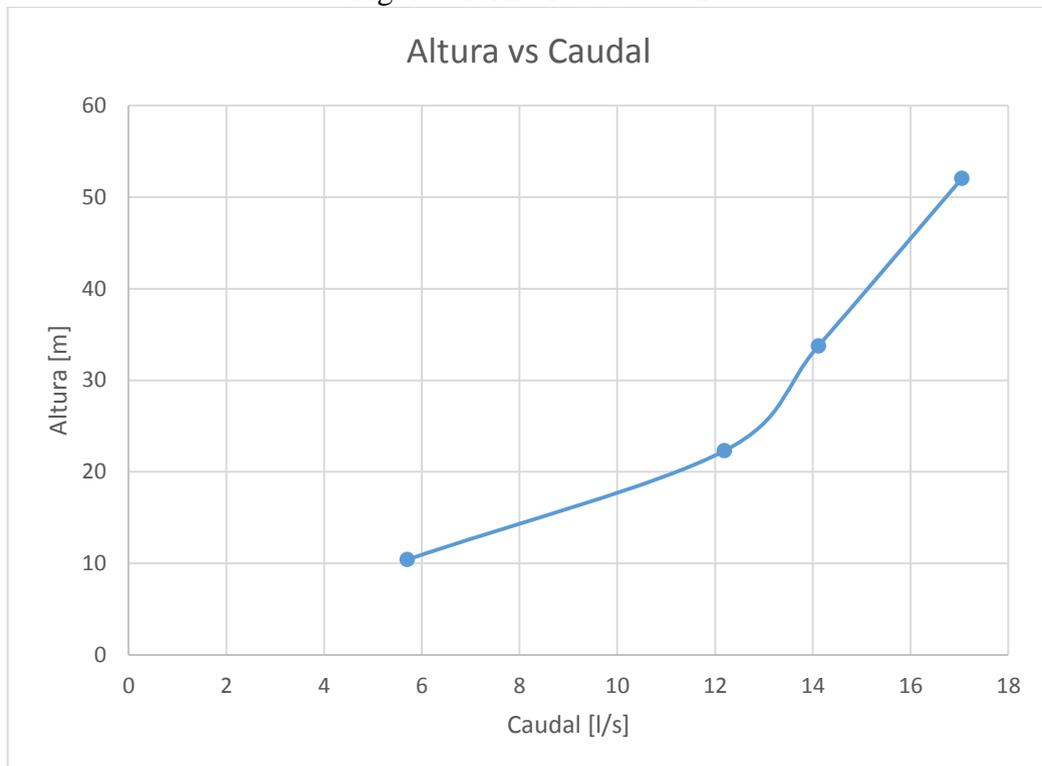


Figura: Autores

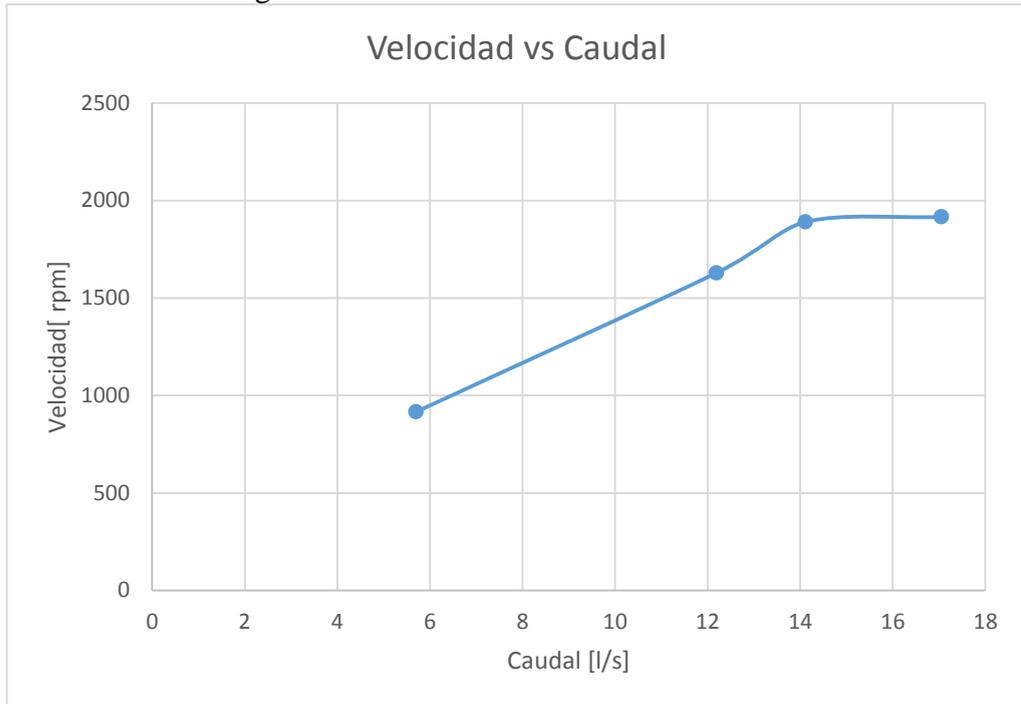
Se acotar las curvas, que están relacionadas con el caudal de la bomba, el número de revoluciones de la turbina, la potencia etc.

Figura 81. Altura vs Caudal



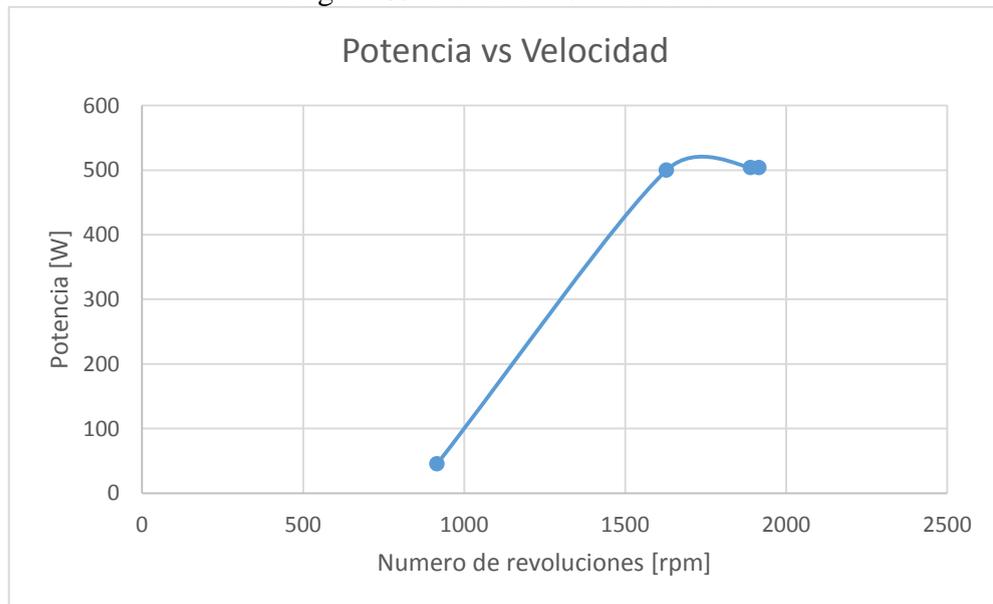
Fuente: Autores

Figura 82. Velocidad de la turbina vs Caudal



Fuente: Autores

Figura 83. Potencia vs Velocidad



Fuente: Autores

5.3 Análisis de resultados

Para el análisis de resultados de vibraciones se rigió bajo la norma 10816-1 la cual permite evaluar maquinas que van desde un rango de 15 kW, y nos proporciona una tabla donde podemos ver las velocidades de vibración junto con el criterio de aceptabilidad de la máquina. El equipo es de 3,66 kW está en la clase1.

Figura 84. Límites de calidad
Table B.1 — Typical zone boundary limits

R.m.s. vibration velocity mm/s	Class I	Class II	Class III	Class IV
0,28	A	A	A	A
0,45				
0,71				
1,12	B	B	B	B
1,8				
2,8	C	C	C	C
4,5				
7,1	D	D	D	D
11,2				
18				
28				
45				

Fuente: ISO 10816-1

Tabla 27. Calificación de vibraciones

Rango	Calidad
A	Excelente
B	Bueno
C	Regular
D	Pésimo

Fuente: ISO 10816-1

Al ver las curvas del funcionamiento de la turbina podemos asegurar un correcto funcionamiento en la turbina, vale la pena acotar que la bomba genera más energía de la necesaria para la el funcionamiento adecuado.

CAPITULO VI

6. CÁLCULO Y ANÁLISIS DE COSTOS

6.1 Análisis de costos por operación y mantenimiento.

El este capítulo se destaca los gastos realizados que en resumen es el resultado de la suma de costos directos e indirectos necesarios para la tesis denominada, Implementación de una turbina Turgo para generación eléctrica en el laboratorio de Turbomaquinaria de la Facultad de Mecánica.

6.2 Costos directos.

Se considera los costos de materiales, mano de obra, utilización de equipos y gastos de transporte de materiales que se han utilizado en la adecuación del banco. Los instrumentos necesarios para el correcto funcionamiento de todo el banco, los mismos se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 26 Costos directos

Item	Valor [USD]
Materiales	3253,15
Maquinaria y equipo	46
Mano de obra	226,97
Total	3526,12

Fuente: Autores

6.3 Costos indirectos

Los costos indirectos se considera los imprevistos, que involucra con la supervisión, diseño, adecuación, construcción.

Tabla 27 Costos indirectos

Item	Valor [USD]
Diseño y supervisión	120
Imprevistos	200
Utilidad	0
Total	320

Fuente: Autores

6.4 Costos totales

Los costos totales se obtienen al sumar los costos directos más los costos indirectos, por lo tanto al realizar la sumatoria se tiene el valor de:

$$CT = CD + CI$$

$$CT = 320 + 3526,12$$

$$CT = 3846,12$$

CAPITULO VII

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

Tras la instalación de la tubería, la bomba, y la turbina, se verifico el funcionamiento total de todo el sistema.

Al terminar el mantenimiento y alineación de la bomba, mediante el análisis de vibraciones realizado, el cual fue realizado bajo los parámetros de la norma, se asegura que el equipo está correctamente instalado y no presentara problemas.

Se pudo comprobar que el coeficiente de perdida K no depende de caudal suministrado por la bomba, su variación se debe netamente al cambio de sección que sufre en la tubería.

Los manómetros usados se comprobaron su porcentaje de error, dando así la seguridad de que las medidas que nos arrojan son exactas, y no tener inconvenientes el cálculo de sus variables.

Mediante el análisis en ANSYS se tiene la seguridad que incluso eliminando una parte muy importante del tramo de tubería la medida tomada del caudal, es válida para los cálculos siguientes; la diferencia de porcentaje es mejor al 5% y cae dentro de aceptado.

Los datos y las gráficas obtenidas nos dan la seguridad de que el banco de pruebas cumple con su correcto funcionamiento, permitiendo afirmar que la potencia de salida de la turbina cumple al llegar el caudal y la altura como se puede observar en su ficha técnica.

Con el tablero de control para el funcionamiento de la bomba, nos aseguramos de tener una fácil operación del banco, y no tener problemas futuros en los sobresaltos de corriente que pueden existir por la red eléctrica de la ESPOCH, con el manual de mantenimiento y operaciones, se tiene una guía práctica para el adecuado uso del banco.

7.2 Recomendaciones

Para la utilización del banco, es necesario que esté presente el docente o el asistente de cátedra del área, el proporcionara la respectiva documentación y datos necesarios para la realización del banco de pruebas

Para realizar la práctica es necesario contar con el equipo de seguridad necesario el cual consta de un mandil y equipo de protección auditivo.

Se debe verificar que el equipo no tenga fugas en la tubería, o en los manómetros, también verificar que el fluido que se va a utilizar no tenga objetos que puedan interrumpir su paso.

Abrir la llave la pasó solo hasta cuando el fluido llegue a las condiciones necesarias para el funcionamiento de la turbina, pues al tener una mayor velocidad de salida de la necesaria, puede ocasionar desgaste excesivo en el eje, los cojinetes de la turbina.

Terminada la práctica de laboratorio evacuar el agua para evitar la acumulación de sedimentos.

BIBLIOGRAFÍA

- API653. 2010.** *Inspección, reparación, alteración y reconstrucción de tanques.* Washington : L Street, 2010.
- CENGEL, Yunus. 2006.** *Mecanica de Fluidos.* Reno : Mc Graw Will, 2006. 001.
- CONOCIMIENTOS. 2015.** Conocimientosweb.net. *Conocimientosweb.net.* [En línea] La divisa, 22 de Febrero de 2015. [Citado el: 22 de Marzo de 2016.] <http://www.si-educa.net/intermedio/ficha77.html>.
- CRANE. 1993.** Ecuacion general. [aut. libro] Crane. *Flujo de fluidos, en valvulas, accesorios y tuberias.* Mexico : McGraw-Hill, 1993.
- DÍEZ, Pedro Fernández. 2009.** Turbinas Hidraulicas. *Turbinas Hidraulicas.* [En línea] 4 de Febrero de 2009. [Citado el: 19 de 03 de 2016.] http://www.ing.una.py/pdf_material_apoyo/turbinas-hidraulicas.pdf.
- ENERGETIKA. 2010.** Turbina Turgo. *Turbina Turgo.* [En línea] 13 de Diciembre de 2010. [Citado el: 22 de Enero de 2016.] <http://mve.energetika.cz/primotlaketurbiny/turgo.htm>.
- MATAIX, Claudio. 1986.** Mecanica de fluidos y maquinas hidraulicas. [aut. libro] Claudio Mataix. *Mecanica de fluidos y maquinas hidraulicas.* Madrid : Ediciones el castillo S.A., 1986.
- NUÑEZ, Marco. 2010.** Monografias.com. *Monografias.com.* [En línea] 14 de Junio de 2010. [Citado el: 22 de Marzo de 2016.] <http://www.monografias.com/trabajos11/presi/presi.shtml>.
- RAMOS. 2010.** Bombas y servicios industriales MP S.R.L. *Bombas y servicios industriales MP S.R.L.* [En línea] 12 de 12 de 2010. [Citado el: 29 de 05 de 2016.] <http://bombasyservicios.com.ar/detalle.php?a=vibraciones-en-bombas-centrifugas&t=3&d=141>.
- Vago, Rincon del. 2008.** Rincon del Vago. *Rincon del Vago.* [En línea] 12 de abril de 2008. [Citado el: 06 de Abril de 2015.] <http://html.rincondelvago.com/vertederos-de-agua.html>.
- VALDIVIEZO, Anguel. 2014.** *Diseño e implementación de un manual de operación y mantenimiento para los laboratorios de turbomaquinaria, mecánica de fluidos, control automático e.* Riobamba : S.N, 2014. 0.
- WHITE, Frank M. 2009.** Fluid Mechanic. [aut. libro] Frank M. White. *Fluid Mechanic.* New York : Mc Graw Hill, 2009.
- WIKIPEDIA. 2015.** Turbina hidráulica. *Turbina hidráulica.* [En línea] Wikipedia, 22 de Octubre de 2015. [Citado el: 19 de Marzo de 2016.] https://es.wikipedia.org/wiki/Turbina_hidr%C3%A1ulica.