



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA E  
INDUSTRIAS**

**CARRERA MECATRÓNICA**

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA  
ELÉCTRICA A PARTIR DE LOS FLUIDOS DE PROCESO  
EMPLEANDO MICRO TURBINAS HIDRÁULICAS PARA  
TOPESA S.A”**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO MECATRÓNICO**

**GABRIEL ALEJANDRO CLAVIJO FLORES**

**DIRECTOR: ING. NELSON RAMIRO GUTIERREZ SUQUILLO  
MSc.**

**QUITO, Junio 2017**

© Universidad Tecnológica Equinoccial 2017.  
Reservados todos los derechos de reproducción.

**FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO**  
**PROYECTO DE TITULACIÓN**

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1718362492
APELLIDO Y NOMBRES:	Clavijo Gabriel Alejandro
DIRECCIÓN:	Av. Real Audiencia y José Amezaba
EMAIL:	gabosay_gabry@hotmail.com
TELÉFONO FIJO:	2801-901
TELÉFONO MOVIL:	0983965406
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Diseño de un sistema de generación de energía eléctrica a partir de los fluidos de proceso empleando micro turbinas hidráulicas para TOPESA S.A
AUTOR O AUTORES:	Gabriel Clavijo
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	10-06-2017
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Ing. Nelson Gutierrez.Msc
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Mecatrónico
RESUMEN: Mínimo 250 palabras	Se presenta un diseño de un sistema de generación de energía eléctrica alternativo con una micro turbina hidráulica. Para poder realizar este proyecto se utilizó como caso de estudio a una empresa que se encarga de fabricar tornillos y pernos; la cual trabaja las 24 horas los 365 días del año. Se procedió con el estudio de las diferentes tecnologías de micro turbinas hidráulicas y se concluyó que la más apta para abastecer de energía eléctrica es la Micro Regen con una generación acorde al consumo eléctrico de las oficinas. Después se procede a realizar un diseño concurrentes entre

	<p>los sistemas mecánicos, eléctricos, en donde, en él se realiza los cálculos para determinar el caudal necesario para que la micro turbina hidráulica genere la potencia requerida. Para el diseño eléctrico se toma como punto de partida el consumo de energía de las oficinas y la posición de los tableros para de esta manera poder realizar los cálculos de corriente y dimensionamiento del cable. Para validar los resultados se procedió con un análisis en el complemento de Solidworks llamado Solid flow el cual permite validar los resultados calculados con los de la simulación.</p>
<p><b>PALABRAS CLAVES:</b></p>	<p>Micro turbina hidráulica, eficiencia energética</p>
<p><b>ABSTRACT:</b></p>	<p>Was a design of an alternative electric power generation system with a micro hydraulic turbine. In order to carry out this project, a company that manufactures screws and bolts was used as a case study; which works 24 hours a day, 365 days a year. I proceeded with the study of the different technologies of micro-turbines and it was concluded that the most suitable to supply electric energy is the Micro Regen with a generation according to the electrical consumption of the offices of the factory. Then a concurrent design is carried out between the mechanical and electrical systems, where, in it, the calculations are carried out to determine the flow rate necessary for the micro-turbine to generate the required power. In the electrical design, it is taken as the starting point the energy consumption of the offices and the position of the electric boards so as to be able to carry out the calculations of current and dimensioning of the cable. To validate the results proceeded with an analysis in the complement of</p>

	Solidworks called Solid flow which allows to validate the results calculated with those of the simulation.
KEYWORDS	Hydraulic micro turbine, energetic efficiency

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.

*Gabriel Clavijo*

F: \_\_Clavijo Flores Gabriel Alejandro\_\_

NÚMERO DE CÉDULA: 1718362492

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **CLAVIJO FLORES GABRIEL ALEJANDRO**, CI: 1718362492 autor/a del proyecto titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE LOS FLUIDOS DE PROCESO EMPLEANDO MICRO TURBINAS HIDRÁULICAS PARA TOPESA S.A** previo a la obtención del título de **GRADO ACADÉMICO COMO APRECE EN EL CERTIFICADO DE EGRESAMIENTO** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, 10 de Marzo de 2017



F: \_\_\_Clavijo Flores Gabriel Alejandro\_\_

NÚMERO DE CÉDULA: 1718362492

## DECLARACIÓN

Yo **GABRIEL ALEJANDRO CLAVIJO FLORES**, declaro que el trabajo escrito previo a la obtención del título de **INGENIERO MECATRÓNICO** es de mi autoría; que no ha sido presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas presentadas en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



Gabriel Alejandro Clavijo Flores

C.I. 1718362492

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título "**Diseño de un sistema de generación de energía eléctrica a partir de los fluidos de proceso empleando micro turbinas hidráulicas para TOPESA S.A**", que para aspirar al título de **Ingeniero/a Mecatrónico** fue desarrollado por **Gabriel Clavijo**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 19, 27 y 28



---

**Ing. Nelson Gutierrez. Msc**

**CI: 1712465713**



# DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre quien siempre fue un apoyo económico en toda mi carrera, a mi hermano que estuvo siempre pendiente del avance de este trabajo, a mi querida y amada novia quien estuvo en todo momento ahí alado mío para que logre culminar este trabajo, a los padres de mi novia Carlos y Lourdes quienes me ayudaron de manera incondicional en algunos momentos complicados de la carrera, a mis amigos: Fabricio, Marlon, Diego quienes estuvieron ahí en todas las clases y las llenaban de mucha alegría además que siempre les agradeceré por ser un equipo unido y muy comprometido para culminar la carrera y a mi padre que aunque no me presionaba para que culmine este trabajo siempre me decía palabras muy sabias y de una forma u otra estuvo pendiente de mí y mi bienestar.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios sobre todas las cosas ya que él estuvo presente en cada paso que daba y me supo guiar de la mejor manera para así llevarme a culminar mi carrera, agradezco al Ing. Nelson Gutiérrez quien me supo en caminar en este trabajo y poniendo los tiempos necesarios para acabar con este trabajo, agradezco infinitamente al Ec. Mauricio Moreira quien me abrió las puertas de su fábrica TOPESA y de esta manera poder realizar los diferentes estudios, al personal que me ayudo con la explicación de los procesos que se efectuaban en la fábrica.

Gracias a todas las personas que de una u otra manera formaron parte de este este trabajo, mil gracias de todo corazón.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	
2.1  CONCEPTOS BÁSICOS.....	4
2.1.1  ENERGÍA.....	4
2.1.2  POTENCIA.....	4
2.1.3  MEDIDAS DE LA ENERGÍA Y LA POTENCIA.....	5
2.3  PRINCIPIO DE BERNOULLI.....	5
2.4.1  CIRCULACIÓN DEL FLUIDO EN CONDUCTO CERRADO.....	7
2.4.2  NÚMERO DE REYNOLDS.....	7
2.4.3  ECUACIÓN DE LA CONTINUIDAD.....	9
2.4.4  EFECTO VENTURI.....	10
2.5  ENERGÍA HIDRÁULICA.....	10
2.5.1  PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.....	12
2.6  CENTRALES HIDROELÉCTRICAS.....	12
2.6.2  MINI CENTRALES HIDRÁULICAS.....	14
2.7  PROBLEMAS QUE SE PUEDEN PRESENTAR EN UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA.....	17
2.7.1  GOLPE DE ARIETE.....	17
2.7.2  CAVITACIÓN.....	19
2.8  TURBINAS HIDRÁULICAS.....	20
2.8.1  TURBINAS DE ACCIÓN.....	22
2.8.2  TURBINAS DE REACCIÓN.....	23
2.9  MICRO TURBINAS HIDRÁULICAS.....	24
<b>3. METODOLOGÍA Y DISEÑO</b>	
3.1  METODOLOGÍA MECATRÓNICA.....	27
3.1.1  INTRODUCCIÓN.....	27
3.1.2  METODOLOGÍA EN V.....	27
3.2  DISEÑO.....	30

3.2.1 GENERALIDADES PARA EL DISEÑO .....	30
3.2.2 REQUERIMIENTOS MECÁNICOS DEL SISTEMA.....	36
3.2.3 SELECCIÓN DE LA MICRO TURBINA HIDRAULICA.....	43
3.2.4 DISEÑO ELÉCTRICO.....	49
3.2.5 MODELAMIENTO DEL SISTEMA.....	53
<b>4. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	
4.1 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD.....	64
4.2 ESTUDIO DE MERCADO. ....	66
4.3 FACTIBILIDAD DEL PROYECTO .....	66
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
CONCLUSIONES.....	69
RECOMEDACIONES .....	71
<b>6- ANEXOS.....</b>	<b>74</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
<b>Figura 1.</b> Grafica de potencia.....	4
<b>Figura 2.</b> Esquema del principio de Bernoulli.....	6
<b>Figura 3.</b> Condiciones de un flujo laminar.....	8
<b>Figura 4.</b> Condiciones de un flujo turbulento.....	8
<b>Figura 5.</b> Tubería de diferente sección.....	9
<b>Figura 6.</b> Efecto Venturi.....	10
<b>Figura 7.</b> Distribución consumo de energía primaria en el mundo por fuentes.....	11
<b>Figura 8.</b> Principio de funcionamiento.....	12
<b>Figura 9.</b> Clasificación de mini central hidroeléctrica.....	15
<b>Figura 10.</b> Cálculo de la sección transversal.....	16
<b>Figura 11.</b> OTT molinete universal C31.....	16
<b>Figura 12.</b> OTT sistema acústico Doppler.....	17
<b>Figura 13.</b> Teodolito electrónico.....	17
<b>Figura 14.</b> Golpe de ariete.....	19
<b>Figura 15.</b> Cavitación.....	20
<b>Figura 16.</b> Turbina hidráulica.....	21
<b>Figura 17.</b> Turbina de acción.....	23
<b>Figura 18.</b> Turbinas de reacción.....	24
<b>Figura 19.</b> Micro turbina.....	25
<b>Figura 20.</b> Grafica de potencia caudal.....	26
<b>Figura 21.</b> Modelo en V.....	27
<b>Figura 22.</b> Bomba centrífuga modelo 3656.....	31
<b>Figura 23.</b> Bomba centrífuga en TOPESA S.A.....	32
<b>Figura 24.</b> Tubería de 2 1/2pulgadas.....	32
<b>Figura 25.</b> Tubería de 4 pulgadas.....	33
<b>Figura 26.</b> Ingreso del agua al radiador.....	33
<b>Figura 27.</b> Tina para el proceso de temple a 880 °C en TOPESA.....	34
<b>Figura 28.</b> Tina de aceite a 180 °C para el proceso de Pavonado.....	34
<b>Figura 29.</b> Rugosidad absoluta de materiales.....	39
<b>Figura 30.</b> Intercambiador de tipo placas.....	41
<b>Figura 31.</b> Funcionamiento externo del intercambiador.....	42
<b>Figura 32.</b> Funcionamiento interno del intercambiador.....	42
<b>Figura 33.</b> Especificaciones de la micro turbina hidráulica MicroRegen. ....	43
<b>Figura 34.</b> Lugar de la micro turbina hidráulica.....	44
<b>Figura 35.</b> Dimensionamiento de la MicroRegen.....	45
<b>Figura 36.</b> Propiedades mecánicas de bridas de acero al carbón forjado...	45
<b>Figura 37.</b> Diagrama unifilar mecánico en Proficad.....	47

<b>Figura 38.</b> Diagrama unifilar mecánico en Proficad para mantenimiento de la micro turbina. ....	48
<b>Figura 39.</b> Datos técnicos de la micro turbina hidráulica MicroRegen.....	49
<b>Figura 40.</b> Corriente máxima admisible para conductores de cobre. ....	49
<b>Figura 41.</b> Tipo de cable. ....	50
<b>Figura 42.</b> Diagrama unifilar eléctrico en Proficad.....	51
<b>Figura 43.</b> Diagrama unifilar con contactor NO, NC. ....	52
<b>Figura 44.</b> Modelamiento del eje y el sistema de palas.....	53
<b>Figura 45.</b> Inicio del Solid Flow. ....	53
<b>Figura 46.</b> Elección del sistema internacional como unidad de medida en este sistema.....	54
<b>Figura 47.</b> Fluido del sistema Agua.....	54
<b>Figura 48.</b> Parámetros de entradas del sistema.....	54
<b>Figura 49.</b> Simulación resuelta son ningún problema. ....	55
<b>Figura 50.</b> Animación en Solid Flow. ....	56
<b>Figura 51.</b> Resultados de velocidades con respecto al número de iteraciones.....	56
<b>Figura 52.</b> Eje de referencia del sistema. ....	57
<b>Figura 53.</b> Gráfica de la presión del sistema con respecto al número de iteraciones.....	57
<b>Figura 54.</b> Grafica del Torque de la micro turbina hidráulica con respecto al número de iteraciones.....	58
<b>Figura 55.</b> Velocidad tangencial de la micro turbina hidráulica en función del tiempo. ....	59
<b>Figura 56.</b> Torque de la micro turbina hidráulica en función del tiempo. ....	60
<b>Figura 57.</b> Presión dentro del sistema.....	61
<b>Figura 58.</b> Especificaciones de la bomba centrifuga. ....	62
<b>Figura 59.</b> Consumo mensual de TOPESA en KW ....	66
<b>Figura 60.</b> Pago total mensual de TOPESA.....	67

# ÍNDICE DE TABLAS

	<b>PÁGINA</b>
<b>Tabla 1.</b> Longitud equivalente de la tubería.....	40
<b>Tabla 2.</b> Datos técnicos versus los calculados .....	43
<b>Tabla 3.</b> Tipo de brida usada .....	46
<b>Tabla 4.</b> Tipo de válvula usada.....	46
<b>Tabla 5.</b> Características de válvula tipo Y .....	46
<b>Tabla 6.</b> Consumo de la fábrica mediante una tabla de la empresa eléctrica de Quito .....	63
<b>Tabla 7.</b> Costo de la implantación de Micro Regen .....	66
<b>Tabla 8.</b> Consumo total de Kw y valor a pagar por el consumo .....	67

# ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>PAGINA</b>
<b>Anexo 1.</b> Manual de la bomba centrifuga.....	75
<b>Anexo 2.</b> Manual de la micro turbina hidráulica tipo Rege.....	78
<b>Anexo 3.</b> Análisis de aguas.. ..	79



## RESUMEN

Se presenta un diseño de un sistema de generación de energía eléctrica alternativo con una micro turbina hidráulica. Para poder realizar este proyecto se utilizó como caso de estudio a una empresa que se encarga de fabricar tornillos y pernos; la cual trabaja las 24 horas los 365 días del año. Se procedió con el estudio de las diferentes tecnologías de micro turbinas hidráulicas y se concluyó que la más apta para abastecer de energía eléctrica es la Micro Regen con una generación acorde al consumo eléctrico de las oficinas. Después se procede a realizar un diseño concurrentes entre los sistemas mecánicos, eléctricos, en donde, en él se realiza los cálculos para determinar el caudal necesario para que la micro turbina hidráulica genere la potencia requerida .Para el diseño eléctrico se toma como punto de partida el consumo de energía de las oficinas y la posición de los tableros para de esta manera poder realizar los cálculos de corriente y dimensionamiento del cable. Para validar los resultados se procedió con un análisis en el complemento de Solidworks llamado Solid flow el cual permite validar los resultados calculados con los de la simulación.

## **ABSTRACT**

Was a design of an alternative electric power generation system with a micro hydraulic turbine. In order to carry out this project, a company that manufactures screws and bolts was used as a case study; which works 24 hours a day, 365 days a year. I proceeded with the study of the different technologies of micro-turbines and it was concluded that the most suitable to supply electric energy is the Micro Regen with a generation according to the electrical consumption of the offices in the factory. Then a concurrent design is carried out between the mechanical and electrical systems, where, in it, the calculations are carried out to determine the flow rate necessary for the micro-turbine to generate the required power. In the electrical design, it was taken as the starting point the energy consumption of the offices and the position of the electric boards so as to be able to carry out the calculations of current and dimensioning of the cable. To validate the results proceeded with an analysis in the complement of Solidworks called Solid flow which allows to validate the results calculated with those of the simulation.

## **1. INTRODUCCIÓN**

La generación de energía eléctrica en el país se la hace basándose en recursos como lo es el agua, sin embargo no tomamos conciencia del gran impacto ambiental que causa la construcción de hidroeléctricas ya que estas toman el caudal de todo el río para el movimiento de sus turbinas y así generar energía eléctrica.

El funcionamiento de una hidroeléctrica está basada en contener el agua y así formar un embalse, esta agua retenida pasará a la sala de máquinas y de manera de energía cinética el agua moverá las turbinas así generando energía eléctrica.

Las partes fundamentales de una central hidroeléctrica son:

- Cámara de turbinas.
- Cámara de presión.
- Presa.
- Toma de agua.
- Canal de derivación.
- Tubería de presión.
- Canal de desagüe.
- Transformadores.

Como se puede evidenciar la generación de energía eléctrica a partir de centrales hidroeléctricas generarán un gran costo en sus construcciones como también no podemos obviar las grandes magnitudes que tienen estas centrales.

Es importante también mencionar que las centrales hidroeléctricas tienen una generación de energía alta la cual abastece al Ecuador; el Ministerio de Electricidad y Energías Renovables nombran hoy en día al proyecto emblemático del país llamado Coca Codo Sinclair el cual generara según cifras del ministerio 8.734 GWH/ año la cual reemplazara a aquellas centrales térmicas que tiene el país las cuales generan una gran contaminación ambiental reduciendo las emisiones de CO<sub>2</sub> en 3.45 millones de CO<sub>2</sub>/ año sustituyendo también la importación de energía eléctrica de Colombia (Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, 2014).

Como se puede ver tienen una generación de energía eléctrica capaz de abastecer a todo un país en el mundo tenemos otro gran ejemplo como lo es la central hidroeléctrica de las 3 gargantas la cual batió un record mundial en el 2014 ya que genero 98,8TWH/ año con esta producción de energía eléctrica puede abastecer de energía a una de los países más grandes del mundo como lo es China y a una ciudad que se caracteriza por consumir gran parte de energía eléctrica que es Shanghái.

Otras de las formas con la cual se quiere generar energía eléctrica es con el uso de micro turbinas hidráulicas las cuales se caracterizan por su bajo costo, menor impacto ambiental, fácil construcción; estas micro turbinas hidráulicas aprovechan la caída del agua en menor proporcional es más para un uso de pequeñas y medianas industrias las cuales usan agua y aire para sus procesos y lo que hacen con el agua es simplemente devolverlo al ambiente; las micro turbinas hidráulicas aprovecharían esa agua ya residual generando energía eléctrica; unas de las principales ventajas de estas micro turbinas hidráulicas es su posicionamiento, es decir, que pueden estar en la tubería sea de forma vertical u horizontal pero se analizara el mejor posicionamiento para así aprovechar el agua o aire y generar más energía eléctrica.

Para esto se han planteado el siguiente objetivo general:

Diseñar un sistema de generación de energía eléctrica a partir de micro turbinas hidráulicas que utiliza los fluidos de proceso de la pequeña o mediana industria.

Para lograr desarrollar el objetivo mencionado anteriormente se propusieron los siguientes objetivos específicos:

- Identificar las necesidades de la pequeña industria basadas en el consumo energético y generación de energía eléctrica.
- Estudiar la disponibilidad de aguas cercanas a la industria y analizar los procesos dentro de esta, para identificar si es posible reutilizar esta agua en la generación de energía eléctrica.
- Estudiar las diferentes tecnologías de micro turbinas hidráulicas.
- Encontrar la mejor opción disponible para micro turbina hidráulica que se acople a las necesidades y recursos de la industria (de acuerdo a cada caso).
- Diseñar el sistema de generación de energía eléctrica generada por la micro turbina hidráulica dentro de la empresa.

La finalidad de este proyecto es causar un menor impacto ambiental, reducir los costos para la generación de energía eléctrica mediante la hidroeléctrica y en este proyecto de tesis con el uso de micro turbinas hidráulicas; también se aprovecharan los recursos disponibles que tenga la empresa y se diseñará el sistema de generación eléctrica posteriormente se hará un

estudio de costo beneficio para saber en cuantos años el proyecto es rentable y la empresa generaría energía para así disminuir el costo de sus planillas de luz.

## **2. MARCO TEÓRICO**

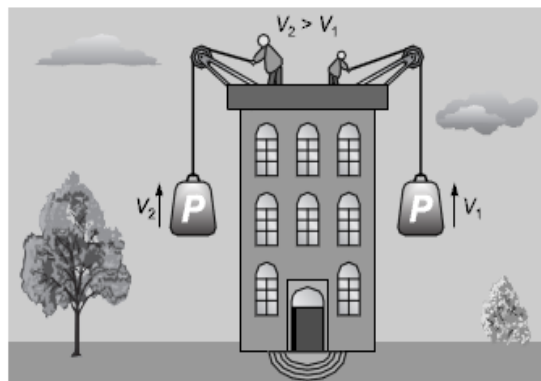
Para conocer el inicio de cómo se genera energía eléctrica mediante el agua la cual dará una energía cinética al mover turbinas es muy importante saber el origen de esta es así que empezaremos hablando del agua y su ciclo de vida.

## 2.1 CONCEPTOS BÁSICOS.

### 2.1.1 ENERGÍA

El término energía es muy polisémico ya que este término adquiere diferentes definiciones dependiendo del área en donde se la aplique en este caso será usado el término energía relacionado a las ciencias físicas y como definición tenemos que: es la propiedad de los cuerpos y los sistemas que pueden transformarse modificando su estado o situación en donde se origina transformaciones en ellos.(Carta, Calero, Colmenar, & Castro, 2009).

### 2.1.2 POTENCIA



**Figura 1.** Grafica de potencia.  
(Carta et al., 2009)

Como se ve en la figura ambas personas elevan el peso  $P$  al mismo tiempo pero la persona  $V_2$  se dice que es más corpulenta por lo que realiza este trabajo en menor tiempo que  $V_1$ , ambas personas efectúan el mismo trabajo al mismo tiempo en donde el trabajo está dado por la ecuación (Carta et al., 2009):

$$T = mgh \quad [1]$$

En donde:  
 $T$ = Trabajo.  
 $m$ = Masa.



g= Gravedad.

h= Altura.

Físicamente se define a la potencia en unidades relacionadas al trabajo y al tiempo empelado; se tiene esta ecuación (Carta et al., 2009):

$$W = \frac{T}{t} \quad [2]$$

En donde:

W= Potencia.

T= Trabajo.

t= Tiempo empelado.

### 2.1.3 MEDIDAS DE LA ENERGÍA Y LA POTENCIA

Se aplicara el sistema internacional para las medidas en donde la energía se mide en julio; se tiene la siguiente ecuación(Carta et al., 2009):

$$1J = 1N \times 1m \quad [3]$$

En donde:

J= Julios.

N= Newton.

m= metro.

Teniendo en cuenta la definición de Potencia, se tiene la siguiente ecuación(Carta et al., 2009) :

$$1W = \frac{1J}{1s} \quad [4]$$

En donde:

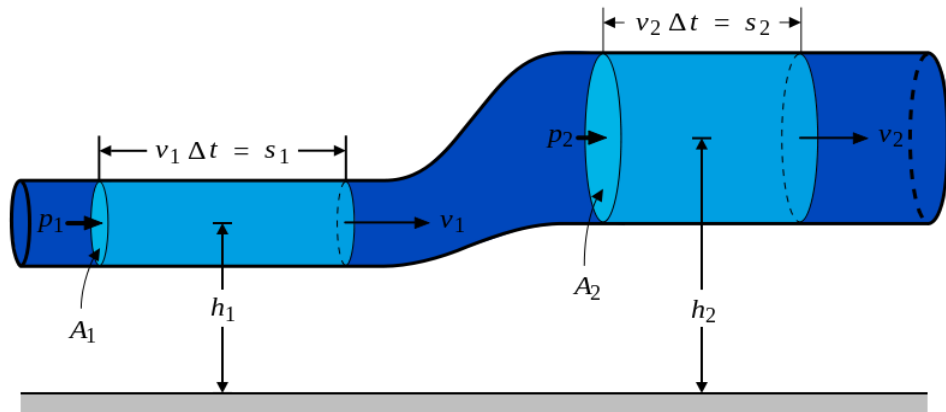
W= Potencia.

J= Julio.

s= Segundo.

### 2.3 PRINCIPIO DE BERNOULLI

El principio de Bernoulli consiste en describir el comportamiento de un fluido a lo largo de una corriente de agua en una tubería con secciones diferentes.



**Figura 2.** Esquema del principio de Bernoulli  
(Vallejo & Zambrano, 2008)

Este principio depende de tres componentes:

- La energía cinemática que posee el fluido.
- La energía potencial gravitación que posea el fluido según un nivel de referencia.
- Y la presión que posea el fluido.

El principio tiene como ecuación (Criollo & Quezada, 2011):

$$\frac{v^2}{2} + P + pgz = \text{constante} \quad [6]$$

En donde:

$v$  = Velocidad

$P$  = Presión.

$\rho$  = Densidad

$g$  = Gravedad.

$z$  = Altura desde un punto de referencia.

Para que la ecuación 6 funcione se deberá realizar los siguientes supuestos:

- La viscosidad deberá ser 0 en la línea de corriente sobre la que se aplicara, esta deberá ser no viscosa.
- El caudal dentro de la tubería deberá ser constante.
- La densidad a lo largo de la línea de corriente del fluido debe ser constante.

### 2.4.1 CIRCULACIÓN DEL FLUIDO EN CONDUCTO CERRADO

La energía contenida dentro de un fluido incomprensible que circula dentro de una tubería está dada por la ecuación (Association, 1998):

$$H1 = h1 + \frac{P1}{\gamma} + \frac{v1^2}{2g} \quad [7]$$

En donde:

H1= Energía total.

h1= Elevación de la línea de corriente sobre un plano de referencia.

P= Presión.

$\gamma$  = Peso específico del fluido.

$v$  = Velocidad de la línea de corriente.

g= Gravedad.

Se podrá decir que la energía total en el punto inicial es la suma de los componentes que son:

- h1 que es la altura dada desde el punto de referencia.
- De la energía de la presión dado por la expresión  $\frac{P1}{\gamma}$ .
- Y de la energía cinética dada por la expresión  $\frac{v1^2}{2g}$ .

### 2.4.2 NÚMERO DE REYNOLDS

El número de Reynolds es adimensional el cual relaciona las propiedades de un fluido; estas propiedades pueden ser:

- Velocidad del fluido.
- Geometría del ducto por el que fluye.

Este número está dado por la ecuación (Canut, Guerra, Guzman, & Struck, 2008):

$$Re = \frac{D \times v \times \rho}{\mu} \quad [8]$$

En donde:

Re= Numero de Reynolds.

D= Diámetro de la tubería.

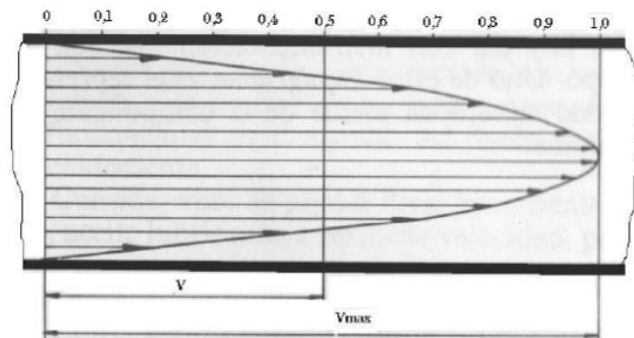
v= Velocidad del fluido en su línea de corriente.

$\rho$ = Densidad del fluido.

$\mu$ = Viscosidad del fluido.

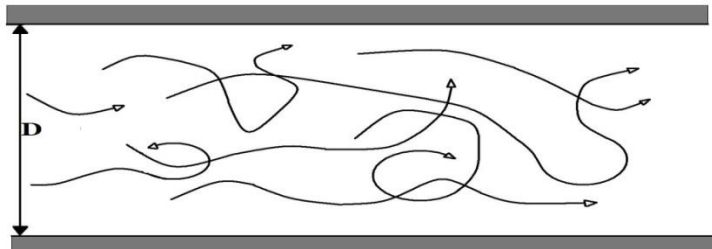
Según la ecuación 8 podremos saber si en fluido es laminar y turbulento, es por eso que se aplica esta ecuación a los fluidos incomprensibles.

- **Laminar:** se dice que el fluido es laminar cuando presenta un movimiento ordenado bien definido de las partículas que componen el fluido, con líneas de corriente y trayectoria bien definidas; es aquí que entra el número de Reynolds el cual deberá ser inferior a 2100.(Martin, Salcedo, & Font, 2011)



**Figura 3.** Condiciones de un flujo laminar  
(Martin et al., 2011)

- **Turbulento:** en este caso el número de Reynolds es superior a 4000, aquí las partículas que conforman el fluido se mueven de una forma desordenada con trayectorias que forman pequeños remolinos aperiódicamente; también existe un régimen el cual está entre 2100 a 4000 del número del Reynolds estos número comprendidos entre estos dos extremos hay que evitarlos ya que generan vibraciones y se producen perdidas de cargas.(Martin et al., 2011)



**Figura 4.** Condiciones de un flujo turbulento.  
(Merle, 2010)

### 2.4.3 ECUACIÓN DE LA CONTINUIDAD

La ecuación de la continuidad no es más que un caso de la conservación de la masa, es decir, en este caso el caudal que ingresa por una tubería es el mismo caudal que se tiene como salida, en esta ecuación se toma en cuenta el área de la tubería como de entrada como de salida pueden ser diferentes y es aquí que la velocidad del fluido aumentara o disminuirá según sea la sección de la tubería.

La ecuación está dada por (Belendez, 1992):

$$Q_1 = Q_2 \text{ siendo } Q \text{ el caudal}$$

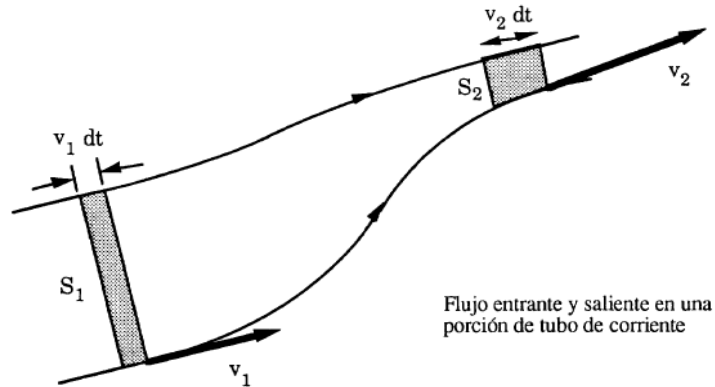
El caudal  $Q$  también puede estar dado por la siguiente ecuación:

$$Q_1 = A_1 \times v_1 \quad [9]$$

En donde:

$A_1$ = Área de la sección de la tubería inicial.

$v_1$ = Velocidad del fluido al inicio de la tubería.



**Figura 5.** Tubería de diferente sección.  
(Belendez, 1992)

Entonces como la ley de conservación de la energía en el caso de la ecuación de la continuidad también se cumple se tiene la siguiente ecuación:

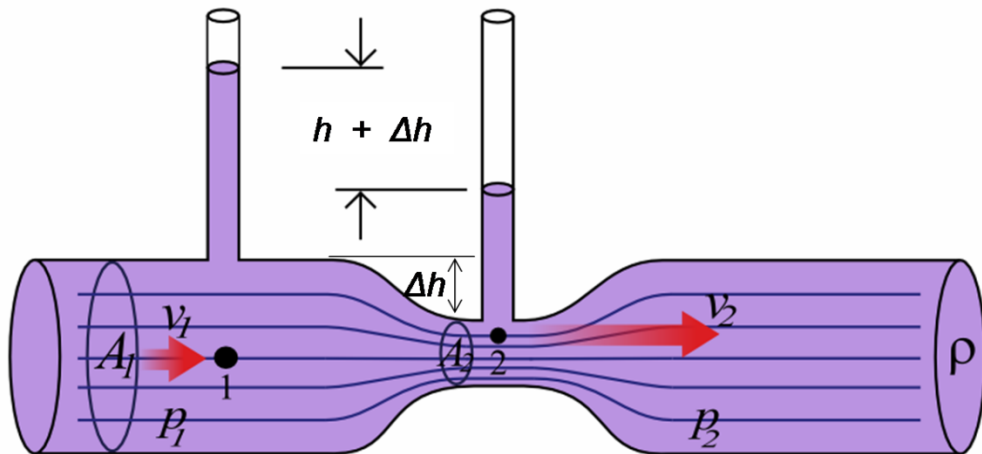
$$A_1 \times v_1 = A_2 \times v_2 \quad [10]$$

Entonces el caudal que ingresa a la tubería es el mismo caudal que sale, entonces, se cumple con la ecuación de la continuidad.

#### 2.4.4 EFECTO VENTURI

El efecto Venturi se podría decir que es la unión del Principio de Bernoulli con la ecuación de la continuidad y conservación de la masa ya que lo que hace el efecto Venturi es aprovechar las secciones estrechas de la tubería y de esta forma disminuir la presión del fluido pero aumentar la velocidad del mismo, es así, que se coloca un manómetro para ver con el la presión en la sección estrecha, también con este efecto mediante pruebas podemos conseguir la presión deseada y con un aumento de la velocidad dependiendo a la presión que el fluido este sometido en la sección estrecha.

(Suarez Barbuzano, 2006)



**Figura 6.** Efecto Venturi.  
(Vallejo & Zambrano, 2008)

Como se puede ver en la figura 7, mediante la variación de altura de los fluidos y un manómetro en la parte 2 podemos definir con exactitud la presión a la cual para por 2 el fluido y medir su velocidad y de esta manera vamos a predecir cuál será la presión de salida como la velocidad.

#### 2.5 ENERGÍA HIDRÁULICA

La energía hidráulica se forma a través de la corriente de los ríos, estas corrientes tienen que estar acompañadas de caídas grandes de caída de agua con una altura considerablemente alta y un punto bajo, es así que al

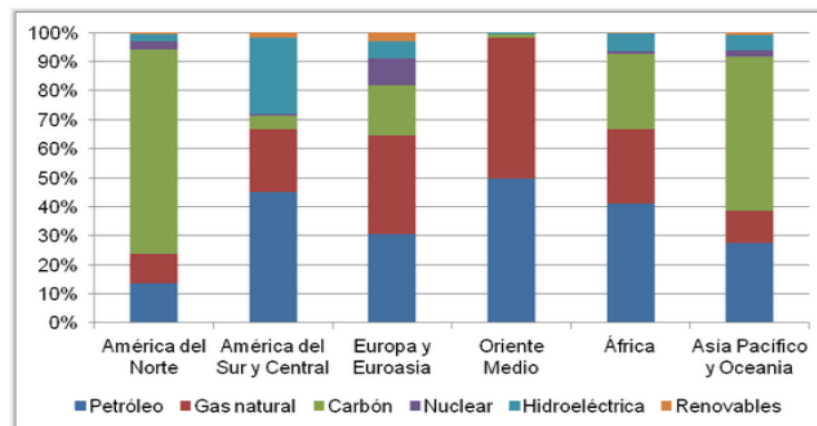
tener esta caída de agua mueven turbinas y generan energía eléctrica.(Soria, 2010)

La energía del agua existe cuando el agua se mueve a través del cauce, también cuando esta embalsada a cierta altura y si el agua se la deja caer genera energía cinética y aprovechar diversos fines. (Villalba, 2008)

En agua al encontrarse a una altura determinada posee una gran energía potencial definida en la ecuación 1; entonces al dejarla caer libremente conseguimos energía cinética. Es entonces que la energía hidráulica es la unión de la energía cinética asociada a la corriente del fluido con la energía potencial que se asocia con el salto del agua.(De Monroy, 2008)

Ahora si hablamos que la energía hidráulica es una energía renovable ya que el agua tiene un ciclo y está en un constante movimiento, entonces, las reservas técnicamente explotables estará entre 10000 a 20000 TWh al año. (Carta et al., 2009).

La reserva que posee en continente Sur Americano es de 4GW solamente por debajo del Asia que posee una reserva de 6GW. (Carta et al., 2009)



**Figura 7.** Distribución consumo de energía primaria en el mundo por fuentes. (B.P statistic Review of World Energy,2009).

En la figura 8 se puede evidenciar que América del Sur y América del central son de los continentes que más usa la hidráulica para la generación de energía eléctrica.

Cabe mencionar que la energía hidráulica es parte de la energía solar ya que es el sol quien inicia el proceso hidrológico evaporando las aguas de los ríos, lagos y océanos y es así como el agua se precipita hacia la tierra y da lugar a que el agua tenga una alta energía potencial al caer el agua de grandes alturas. (Villalba, 2008)

### 2.5.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

El principio de funcionamiento se basa en el aprovechamiento del agua que se encuentre a cierta altura, después se la desplaza a lo largo de una tubería en donde se aprovecha la energía cinética del agua y con esta velocidad será capaz de mover las turbinas que generaran energía cinética rotacional y estas será llevada ya en forma de energía eléctrica a nuestros hogares.

Se resume el funcionamiento con la siguiente gráfica:



**Figura 8.** Principio de funcionamiento.  
(Villalba, 2008)

### 2.6 CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Una central hidroeléctrica está formada por las siguientes partes (Madrid, 2009):

- Embalse.
- Presa.
- Rejillas de filtrado.
- Tubería forzada.
- Conjunto de grupo de alternador-turbinas.
- Turbina hidráulica.
- Eje.
- Generador eléctrico.



- Transformadores.

De acuerdo a la altura que el agua tiene se clasifican en (Cardozo, 2011):

- **De pequeña altura:** esta es una altura menor a los 15 metros de salto de agua.
- **De mediana altura:** con un salto de agua mayor a los 15 metros y menor a los 50 metros de altura.
- **De gran altura:** este salto de agua es mayor a los 50 metros de altura.

Ahora según la potencia instalada se clasifican en:

- **Micro central:** con una potencia menor a los 100KW.
- **Centrales de pequeña potencia:** estas están comprendidas entre una potencia mayor a los 100KW y menor a los 1000KW.
- **Centrales de media potencia:** con una potencia comprendida entre 1000KW y menor a los 10000KW.
- **De gran potencia:** con potencia mayor a los 10000KW.

La potencia de una central hidroeléctrica depende de dos factores fundamentales que son: el caudal y el salto del agua; se hace referencia a salto de agua a la altura mayor y a la altura menor que recorre el agua.

Entonces está dada por la ecuación (Villalba, 2008):

$$P = 9,8 \times C \times h \quad [11]$$

En donde:

P= Potencia de la central en KW.

9,8 es un factor que se usa como conversión para tener directamente en KW, si no fuese así estaría dado en  $\frac{Kgm}{s}$  y expresando el caudal en  $\frac{L}{s}$ .

C= Caudal del agua expresado en  $\frac{m^3}{s}$

h= Altura entre el punto más alto hasta la turbina.

No toda la potencia es aprovechada al máximo ya que depende de muchos factores como:

- Transporte del agua.

- Rendimiento de las turbinas.
- Rendimiento del alternador.

Es por eso que se establece una ecuación con  $\eta$  que es el coeficiente de rendimiento estimado, en donde la ecuación queda de la siguiente manera (Villalba, 2008):

$$P_{util} = \eta \times P \quad [12]$$

Y la energía generada está dada por la siguiente ecuación:

$$E = P \times t \quad [13]$$

En donde:

E= KWh.

t= en horas.

## 2.6.2 MINI CENTRALES HIDRÁULICAS

Las mini centrales hidroeléctricas funcionan al igual que una central hidroeléctrica, es decir, que aprovechan la energía cinética del agua para después llevarla a una caída de agua en la que se aprovecha la energía potencial del agua y esta moverá turbinas las cuales con movimiento rotacional genera energía eléctrica, entonces, la finalidad de una mini central hidroeléctrica es aprovechar la caída de agua y generar energía eléctrica.

Estas mini centrales aparecen para tener un menor impacto ambiental y un menor costo en su construcción, es así que aprovechan la hidrografía de la zona para generar energía eléctrica.

La organización Latinoamericana de energía OLADE ha clasificado a las mini centrales hidráulicas según la potencia instalada en:

- **Micro central:** estas generan desde 0-50Kw.
- **Mini centrales:** con una generación que va desde 50 hasta 500Kw.
- **Pequeñas centrales:** con una generación desde 500 a 5000kw.

(R. Ortiz, 2001)

Se clasifican las mini centrales por caída de agua en:

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

**Figura 9.** Clasificación de mini central hidroeléctrica.  
(R. Ortiz, 2001)

Mientras que el ISA clasifica a las mini centrales según su potencia instalada en:

- **Micro central:** menores a 0.1MW.
- **Mini centrales:** de 0.1 a 1 MW.
- **Pequeñas centrales hidroeléctricas:** de 1 a 10Mw.

(Criollo & Quezada, 2011)

Ahora se deberá hablar sobre la medida para el cálculo de la energía hidráulica para esto usaremos la siguiente ecuación (Carta et al., 2009):

$$P = \rho \times g \times Q \times h \quad [14]$$

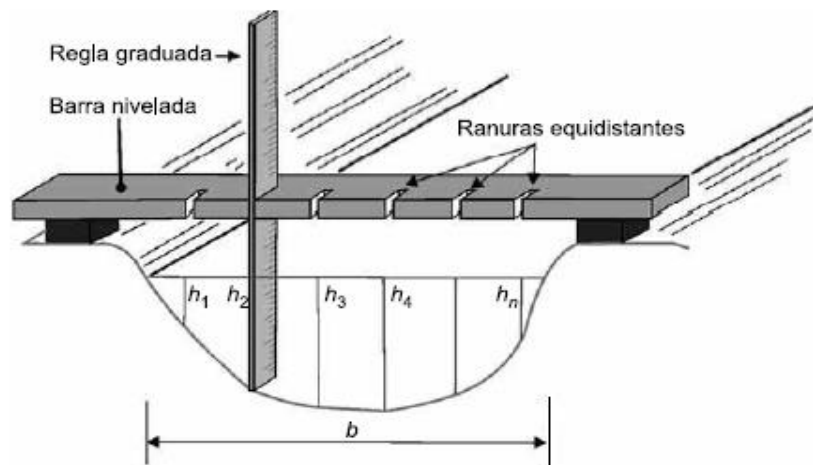
En donde:

- $\rho$ = Densidad.
- $g$ = Gravedad.
- $Q$  = Caudal.
- $h$ = Salto de agua.

Para el cálculo del caudal se utiliza la ecuación 9  $Q = A \times v$  en donde:

- $v$  = Velocidad de la corriente del agua.
- $A$  = Es la sección atravesada por la corriente de agua.

Para el cálculo de la sección transversal se pueden discretizar n trapecios como los que se muestran a continuación:



**Figura 10.** Cálculo de la sección transversal.  
(Carta et al., 2009)

Entonces se determina el área de la sección transversal mediante la ecuación (Carta et al., 2009):

$$A = b \frac{h_1+h_2+\dots+h_n}{n} \quad [15]$$

Para el cálculo de la velocidad de la corriente de agua se podrán usar varias técnicas. Aquí se enumeran varias de estas:

- **OTT molinete universal C31:** mide la corriente de agua en diferentes puntos de la sección transversal. Aquí lo que se hace es ya teniendo varias mediciones en diferentes partes de la sección transversal se procede a la suma de los productos del área de sección transversal de cada parte y se realizan estimaciones con medias.



**Figura 11.** OTT molinete universal C31.  
(Carta et al., 2009)

- **OTT sistema acústico Doppler:** este realiza un monitoreo continuo de las velocidades del flujo del agua en ríos o canales.



**Figura 12.** OTT sistema acústico Doppler.  
(Carta et al., 2009)

Para la medición del salto de agua en la actualidad se usan tecnologías modernas, esta medición va desde el punto más alto de caída de agua hasta el punto más bajo que en donde se encontraran las turbinas.

Entonces en la actualidad se usan los teodolitos electrónicos los cuales tienen una gran precisión, aquí se debe tener en cuenta que el salto de agua es proporcional a  $H^{3/2}$ , entonces, un error del 5% en la medida de la caída de agua originara un error de 7.6% en la potencia que se estimara para la central.



**Figura 13.** Teodolito electrónico.  
(Carta et al., 2009)

## **2.7 PROBLEMAS QUE SE PUEDEN PRESENTAR EN UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA.**

### **2.7.1 GOLPE DE ARIETE**

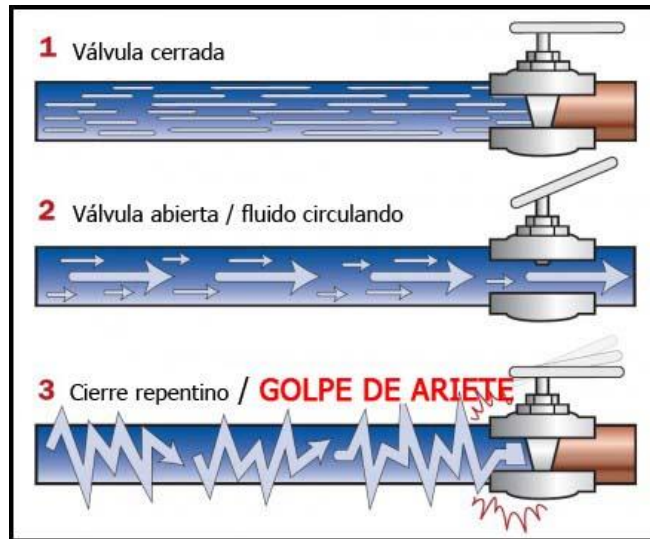
En un fenómeno que se presenta en las tuberías que conducen la corriente de agua hacia la turbinas, este fenómeno se presenta con fluctuaciones en su caudal dentro de las tuberías, esto da lugar a una variación en la presión interna de la tubería lo que causa danos y averías a la tubería forzada. (Carta et al., 2009).

Cuando una válvula de cierre brusco actúa esto detiene el paso del agua que fluye en la tubería y la energía de presión es transmitida a la válvula y a las paredes de la tubería. Esto genera unas ondas expansivas que al no tener salida por la válvula de salida buscan otra salida en el otro extremo y así es que se encuentran con otro obstáculo sólido y otra vez regresan a la válvula de salida. La velocidad de las ondas de presión es igual a la velocidad del sonido por lo que su explosión hace que se disipe por la pérdida de fricción. (Lahlou, 2009)

Las causas que generan el golpe de ariete son cuatro:

- **Arranque de la bomba:** esto puede ocasionar un colapso rápido en el espacio vacío que existe aguas debajo de la bomba.
- **Fallo de potencia en la bomba:** esto crea un cambio rápido en la energía que se suministra al flujo de agua, causando un aumento en la presión en el lado de succión y disminución en el lado de la descarga.
- **Cierre y abertura de la válvula:** el cierre brusco de la válvula de salida cambia bruscamente la velocidad del fluido en donde podrá existir una oscilación de la presión.
- **Operaciones inapropiadas:** lo más común es implementar medios para mitigar el golpe de ariete sin conocer que este no es un problema.

(Lahlou, 2009)



**Figura 14.** Golpe de ariete.  
(Fernandez, 2011)

Al no ser controlado el golpe de ariete ocasionará los siguientes danos:

- Daños s las tuberías.
- Daño a las válvulas.
- Fugas.
- Reducir la vida útil del sistema.

(Lahlou, 2009)

El golpe de ariete sigue siendo un desafío para los ingenieros ya que está presente siempre en sistemas hidráulicos, el golpe de ariete es mayor o menor esto depende del sistema hidráulico y su funcionamiento.

En la mayoría de casos cuando existe el golpe de ariete lo que se procede es hacer una chimenea para que el exceso de presión salga por ahí y no cause danos a la tubería o a las turbinas.

### **2.7.2 CAVITACIÓN**

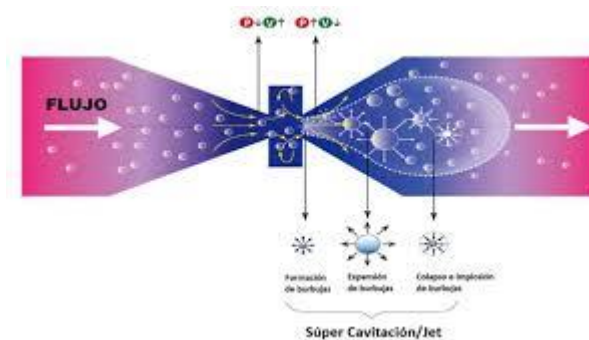
La cavitación es un fenómeno que ocurre en las tuberías forzadas y en los alabes de las turbinas, son una especie de burbujas localizadas de vapor en un líquido, generalmente se presentan en superficies solidas las cuales limitan el líquido.

La cavitación es causada por la reducción hidrodinámica de la presión que esta da lugar a la vaporización del líquido.

Los aspectos negativos de la cavitación son:

- Ruido.
- Vibraciones.
- Desgaste del material.
- Daños a los componentes que conforman el sistema hidráulico.
- Perdida en el rendimiento del sistema hidráulico.

(Carta et al., 2009)



**Figura 15.** Cavitación.  
(Fernandez, 2011)

El daño que ocasiona la cavitación es enorme en los alabes de una turbina hidráulica ya que cuando los alabes se mueven rápidamente es menor la presión que existe alrededor de ellos. Entonces cuando el líquido alcanza la presión de vapor y se vaporiza forma las burbujas en el líquido en donde el desgaste de los alabes es muy alto disminuyendo su vida útil.

## 2.8 TURBINAS HIDRÁULICAS.

Para la producción de energía hidroeléctrica se necesita de una máquina capaz de transformar la energía cinética y potencial del agua en energía mecánica de rotación con la que se podrá generar energía eléctrica esta máquina son las turbinas hidráulicas.(Robles & Fernandez, 2012)

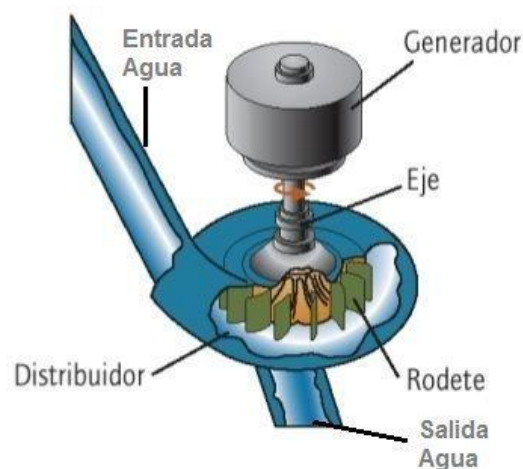


Las turbinas hidráulicas son aquellas que aprovechan la energía cinética y potencial del agua transformándola en energía rotacional la cual genera energía eléctrica.(Cardozo, 2011)

Una turbina hidráulica es considerada una turbo maquina en donde absorbe la energía de las corriente de agua y la restituye en energía mecánica. Puesto que es considerada una turbo maquina se basa en la ecuación de Euler que posteriormente analizaremos (Renedo, 2011)

El aprovechamiento hidroeléctrico se basa en dos elementos fundamentales como lo es el caudal del fluido y la altura de salto del mismo. Hoy en día se fabrican diferentes turbinas según sea la necesidad que se requiera es así que tenemos varios tipos de turbinas hidráulicas, en donde cada una de estas se usan para diferentes aplicaciones con una misma finalidad que es la generación de energía eléctrica.(Robles & Fernandez, 2012)

Las partes que conforma una turbina son las siguientes:



**Figura 16.** Turbina hidráulica.  
(Fernandez,2011)

- **Generador:** es el encargado de transformar la energía mecánica de rotación en energía eléctrica.
- **Tubería forzada:** es la que permite la llegada del fluido hacia las turbinas.

- **Rodete:** es en donde el agua golpe con energía potencia y aquí se genera el momento mecánico rotación con el cual se generara energía eléctrica.
- **Eje:** es el que transmite la energía mecánica rotación hacia el generador.
- **Salida de agua:** es la tubería que se encarga del descargue del agua a su cauce normal una vez que ya se haya aprovechado el agua.

Entonces las turbinas hidráulicas se clasifican en donde grandes grupos que son:

- Turbinas de acción.
- Turbinas de reacción.

Esta clasificación se caracteriza ya que poseen variación de la presión de la corriente del fluido a través del rodete, esto está definido por la ecuación (Renedo, 2011):

$$\sigma = \frac{\text{Altura de presión absorbida por el rodete}}{\text{Altura total absorbida por el rodete}} = \frac{H_p}{H_t} \quad [16]$$

En donde las turbinas de acción tienen  $\sigma = 0$  ya que el movimiento del rodete y del agua tiene el mismo sentido.

Las turbinas a reacción tienen  $\sigma \neq 0$  ya que el movimiento del rodete y del agua tiene diferente sentido.

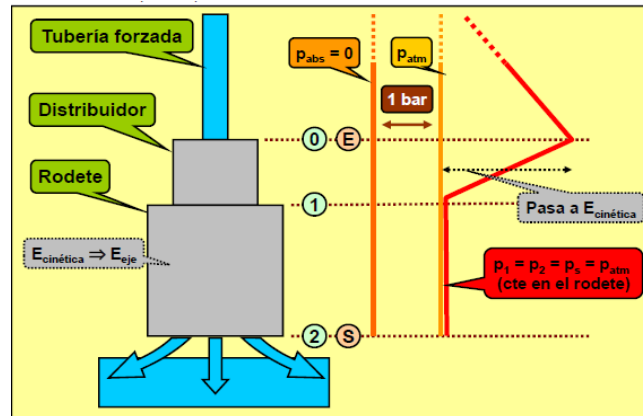
(Renedo, 2011)

### 2.8.1 TURBINAS DE ACCIÓN

Se conoce que el grado de reacción  $\sigma = 0$ , el funcionamiento está dado por el agua que sale por el distribuidor e ingresa al rodete con presión manométrica nula ya que el rodete no se encuentra lleno de agua y es por eso que toda la energía que se transmite por el rodete es energía cinética. A lo largo de la tubería forzada se mantendrá constante la velocidad si la sección es constante.

El rodete trabaja a presión constante en donde  $p_1=p_2$  y ya que la turbina no posee tubo de aspiración se cumple que  $p_1=p_2=p_{atm}$ .

(Renedo, 2011)



**Figura 17.** Turbina de acción.  
(Renedo, 2011)

Las turbinas de acción se clasifican en:

- Turbinas tipo Pelton.
- Turbinas tipo Turgo.
- Turbinas de flujo cruzado.

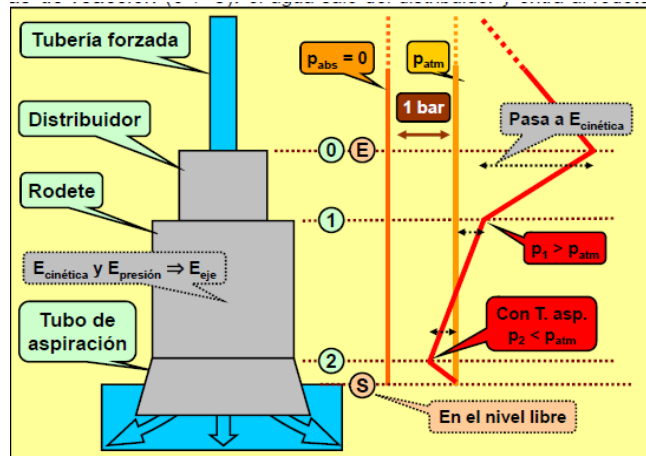
(Association, 1998)

## 2.8.2 TURBINAS DE REACCIÓN

Se conoce que el grado de reacción  $\sigma \neq 0$ , su funcionamiento está dado con el agua que ingresa por el canal distribuidor y golpea al rodete con presión manométrica positiva, siendo así turbinas de admisión total.

En el rodete la presión disminuye obteniendo  $p_1 > p_2$  pudiendo llegar a ser menor que la presión atmosférica, en el tubo de aspiración la energía de presión aumenta hasta llegar a la presión atmosférica a para disminuir la energía cinética.

(Renedo, 2011)



**Figura 18.** Turbinas de reacción.  
(Renedo, 2011)

Aquí podemos encontrar dos variedades de turbinas de acción las cuales son:

- Turbinas tipo Francis.
- Turbinas tipo Kaplan.

## 2.9 MICRO TURBINAS HIDRÁULICAS.

Las micro turbinas aparasen ante una necesidad en Torellano, Alicante en España ya que los agricultores de la zona solicitaron a Abel Martínez junto a Francisco Martínez a que generen algún dispositivos para sus sistemas de riego es ahí que la inventiva de estos jóvenes hace que cree una micro turbina hidráulica la cual se acopla con facilidad a las tubería y que genera energía suficiente para mover las bombas de agua.

Las micro turbinas son capaces de funcionar inmersas en tuberías presurizadas, deben contar con un caudal constante y alturas de agua; son del tamaño de una caja de zapatos. Hoy en día tiene un rendimiento del 60% pero va en crecimiento ya que ya genera la electricidad suficiente para abastecer a dos viviendas.

(Repsol innovation, 2013)

Las micro turbinas hidráulicas son de fácil instalación ya que pueden estar presentes en las tuberías que abastecen de agua potable a los hogares.

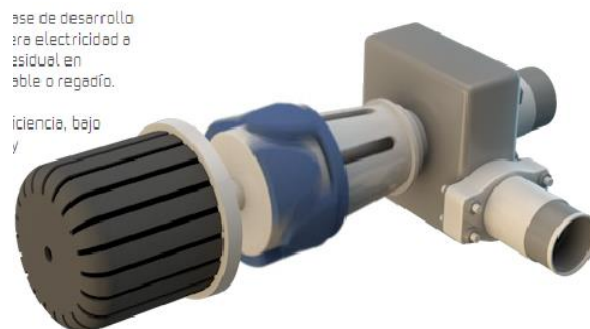
El sistema está comprendido por un sistema mecánico de rotación, con palas las cuales son hechas de polímeros y un generador eléctrico el cual va acoplado al mecanismo y a las palas.

La corriente eléctrica que genera esta micro turbina hidráulica permite ser usada directamente en instalaciones eléctricas, también trabaja con cualquier tipo de fluido sea líquido o gaseoso.

Trabaja a partir de 5 bares de presión con un caudal de  $36 \frac{m^3}{h}$ , no produce impacto ambiental y es de fácil amortización es decir el consumo de energía se lo recuperaría en algunos años y sería rentable.

(Traxco S.A)

La Universidad de Elche garantiza su funcionamiento de 600 vatios/hora lo cual dará energía eléctrica a dos viviendas sin ningún problema ya que el consumo estimado para un hogar con 4 integrantes es de 300 a 350 vatios/hora.

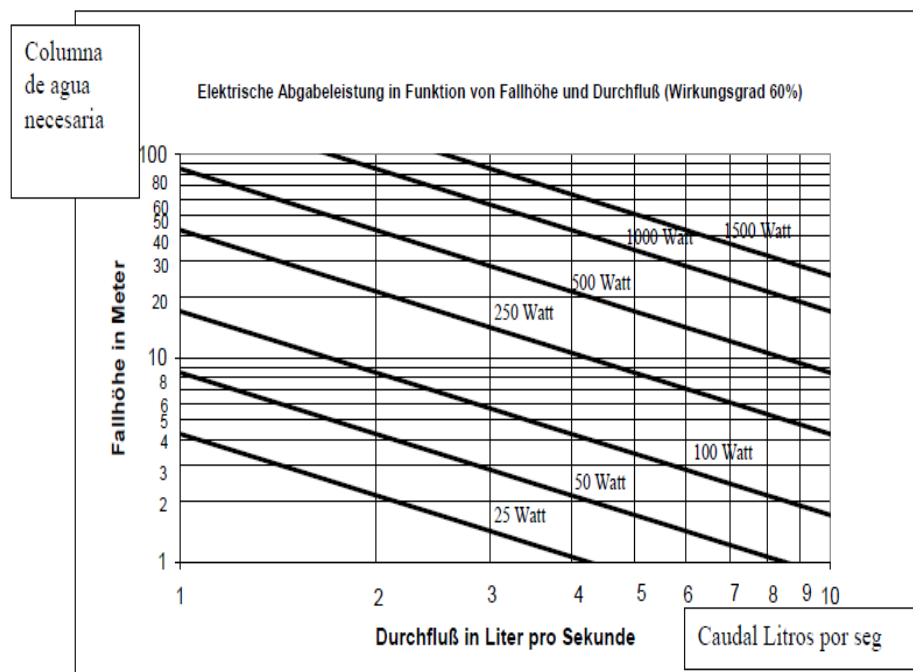


**Figura 19.** Micro turbina.  
(Repsol,2014)

A continuación se presentan algunos modelos de micro turbinas hidráulicas tipo Pelton distribuidos por Christof Horn y Cia Ltda :

- KT 100: con una potencia de 2 a 100 watts, con un voltaje de 24 a 38 voltios AC, con un voltaje rectificado de 24 voltios, con 28 cm de altura y diámetro de 35 cm, con un peso de 10 kg, el caudal mínimo para su funcionamiento es de 0,8 litros/ segundos y una altura de columna de agua de 20 metros.
- KT 400: con una potencia de 100 a 400 watts, con un voltaje de 24 a 38 voltios AC, con un voltaje rectificado de 24 voltios, con 32 cm de altura y diámetro de 35 cm, con un peso de 14 kg, el caudal mínimo para su funcionamiento es de 3,2 litros/ segundos y una altura de columna de agua de 20 metros.
- KT 650: con una potencia de 400 a 650 watts, con un voltaje de 24 a 38 voltios AC, con un voltaje rectificado de 24 voltios, con 45 cm de altura y diámetro de 48 cm, con un peso de 26 kg, el caudal mínimo para su funcionamiento es de 5 litros/ segundos y una altura de columna de agua de 20 metros.

La potencia se refleja según la altura del agua y se refleja en la siguiente tabla:



**Figura 20.** Grafica de potencia caudal.  
(Repsol,2014)

### **3. METODOLOGÍA Y DISEÑO**

## 3.1 METODOLOGÍA MECATRÓNICA

### 3.1.1 INTRODUCCIÓN

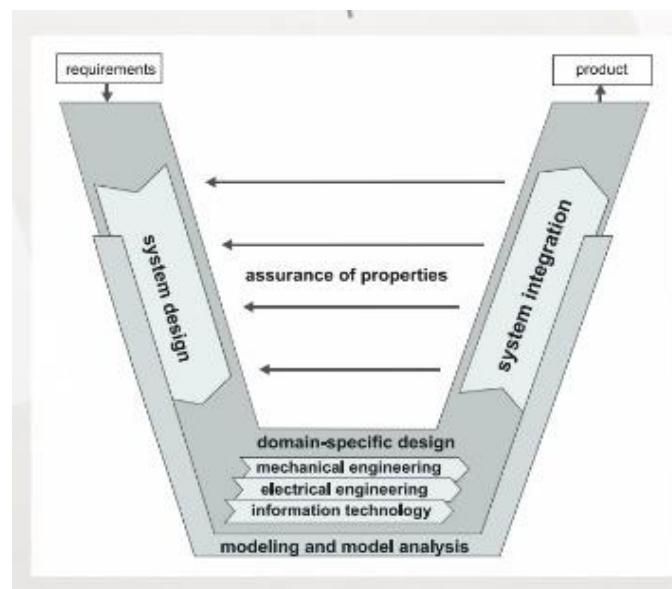
Para la elaboración de un producto o el diseño del mismo se pueden evidenciar varios métodos o técnicas para el desarrollo y la resolución de posibles problemas que puedan presentarse; el propósito de tener una metodología para desarrollar máquinas mecatrónicas es que nos permita involucrar a las tres ingenierías como lo es la mecánica, electrónica e informática en un solo paso y realizar una sinergia entre todas las ingenierías que involucra la ingeniería mecatrónica, de esta manera podemos reducir:

- Los tiempos de implantación y diseño.
- Los costos en la fabricación asociados al diseño y a la implantación.

La metodología permite tener una visualización clara de la parte en la que nos encontramos al diseñar el producto como también la visualización de la dirección de proyecto.

(J. C. Ortiz, 2014)

### 3.1.2 METODOLOGÍA EN V



**Figura 21.** Modelo en V.  
(Albarran, 2010)

Esta metodología o modelo en V mecatrónico fue desarrollado por la administración federal Alemana en la que como se puede evidenciar la



comprenden 7 elementos que son fundamentales para el desarrollo de esta metodología, estos elementos son:

- Requerimientos y restricciones.
- Diseño del sistema.
- Dominio específico del sistema.
  - Ingeniería mecánica.
  - Ingeniería eléctrica.
  - Tecnología informática.
- Modelado de los sistemas y análisis.
- Integración de los sistemas.
- Verificación y retroalimentación según los requerimientos del cliente.
- Entrega del producto final.

(Albarran, 2010)

Para el trabajo de titulación se aplicará la metodología mecatrónica en V y se involucrará todos los elementos que comprende esta metodología.

A continuación la metodología para el trabajo de titulación:

### **3.1.3.1 REQUERIMIENTOS**

Los requerimientos fueron dados por TOPESA S.A, en donde se estudió los diferentes procesos y se tomó como caso de estudio un horno que se encarga del pavonado y galvanizado de tornillos y pernos; la micro turbina hidráulica que se usará es para el sistema de enfriamiento de aceite, el cual usa una tubería de 4 pulgadas y aquí es donde se realizará el acople de la micro turbina hidráulica.

La energía que generará la micro turbina hidráulica deberá ser capaz de abastecer al sector de oficinas el cual contempla iluminación, computadoras, impresoras.

### **3.1.3.2 RESTRICCIONES**

Como restricciones se tiene:

- Tubería de 4 pulgadas.
- Caudal de la bomba centrífuga de  $79 \frac{m^3}{h}$ .

### **3.1.3.3 DISEÑO DEL SISTEMA**

Para este proyecto se utilizará dos sistemas:

- Sistema mecánico.
- Sistema eléctrico.

Cada uno de los diferentes sistemas mostrados estarán compuestos de elementos con los cuales se puede tener una idea de cómo sería el sistema acompañados de diagramas unifilares para su mejor comprensión.

### **3.1.3.4 SISTEMA MECÁNICO**

Para el diseño del sistema mecánico se estudiará el caudal presente en la tubería de 4 pulgadas el cual depende directamente de la bomba centrífuga y la presión que existe dentro del sistema, una vez conocidos esos parámetros se podrá realizar los diferentes planos mecánicos en los cuales se podrá evidenciar los materiales que se podrían usar.

### **3.1.3.5 SISTEMA ELÉCTRICO**

Para el sistema eléctrico se deberá estudiar los diagramas de la empresa para poder realizar el dimensionamiento de conductores y protecciones que requiere el sistema eléctrico.

### **3.1.3.6 MODELAMIENTO Y SIMULACIÓN DE LOS SISTEMAS**

El modelamiento del sistema mecánico se lo realizara en un software CAD en el cual se podrá incorporar la micro turbina al sistema hidráulico del proceso.

### **3.1.3.7 INTEGRACIÓN DE LOS SISTEMAS**

Conociendo el sistema mecánico y eléctrico se procede a una integración de los dos sistemas, en donde cada uno de ellos funcionarán de manera independiente pero trabajarán para un mismo sistema que en este caso es la micro turbina hidráulica.

### **3.1.3.8 VERIFICACIÓN DEL SISTEMA**

La verificación del sistema se realizará a través de Solid Flow en donde se observará la turbulencia existente dentro de la micro turbina hidráulica y los puntos críticos como también se visualizará las partes en donde hay un mayor desgaste por el impacto del agua, además la velocidad de la micro turbina hidráulica, la pérdida de presión y el torque del elemento.

## **3.2 DISEÑO**

### **3.2.1 GENERALIDADES PARA EL DISEÑO**

El trabajo de titulación se usará como caso de estudio a TOPESA S.A; la empresa se encarga en el mercado ecuatoriano de la fabricación de tornillos, pernos y remaches; cumple con procesos de fabricación según las normas ANSI en ISO pulgadas e ISO métricas; para la realización de pernos y tornillos usan un horno de tratamiento térmico que da el acabado a los productos hechos por la fábrica; en este horno se realizan procesos como:

- Pavonado.
- Galvanizado.
- Limpieza en tinas de aceite.
- Segmentación.

Es en esta máquina donde el proceso del agua es constante ya que ingresa a los radiadores para enfriar y mantener a temperaturas constantes las tinas de aceite en las cuales son sumergidos los tornillos y los pernos; este proceso es de 24 horas los 365 días del año.

La empresa extrae el agua de una tina la cual es abastecida por un ojo de agua, el nivel de la tina es siempre al máximo y el exceso de agua vuelve a

la tierra; cabe mencionar que esta agua no posee ningún tipo de minerales y es agua natural.

En la zona de la extracción del agua usan una bomba centrífuga de marca Goulds wáter technology, el modelo es el 3656 en donde como especificaciones generales se tiene que:

- Capacidad hasta: 350GPM ( $79 \frac{m^3}{h}$ ) funcionando a 1750 RPM.
- La presión de succión es de 7 bares.
- El motor es de 10 HP con un voltaje trifásico de 380/460 V.



**Figura 22.** Bomba centrífuga modelo 3656.  
(Technology, 2011)

Esta bomba centrífuga es la que abastece de agua a las tinas de aceite para mantener la temperatura constante, las temperaturas son:

- En el proceso de cementación o temple 880 grados centígrados.
- En el proceso de revenido 450 grados centígrados.
- Y para el proceso del pavonado la temperatura es de 180 grados centígrados.



**Figura 23.** Bomba centrífuga en TOPESA S.A

La bomba con la que se trabajará el caudal es la que está conectada a la tubería de  $2 \frac{1}{2}$  pulgadas, a continuación se describe gráficamente como el agua es llevada a los radiadores y se presentan las tinas de aceite.



**Figura 24.** Tubería de  $2 \frac{1}{2}$  pulgadas.

El agua es conducida hasta una unión de las tuberías en forma de T en donde se agranda a una tubería de 4 pulgadas.



**Figura 25.** Tubería de 4 pulgadas.

Esta tubería es la que conduce el caudal hacia los intercambiadores.



**Figura 26.** Ingreso del agua al radiador.

Aquí el agua ingresa y enfría al aceite que se encuentra en la tina, se puede evidenciar en la imagen las tuberías de 4 pulgadas las que conducen el aceite hacia el intercambiador, una tubería lleva el agua para enfriar el aceite y la otra tubería es la que lleva el aceite a temperatura constante para el tratamiento de temple en la tina de aceite.





**Figura 27.** Tina para el proceso de temple a 880 °C en TOPESA.

El aceite que ingresa es el que fue enfriado por el agua, este proceso se lo realiza de manera constante 24 horas los 365 días del año.

Para el otro radiador que efectúa el mismo proceso pero este a una temperatura de 180 °C, es donde se realiza el proceso de pavonado de tornillos o pernos, esta tubería es de  $2 \frac{1}{2}$  y su tina de aceite es la que se presenta a continuación.



**Figura 28.** Tina de aceite a 180 °C para el proceso de Pavonado.

Una vez conocido lo que comprende el horno de tratamiento térmico de pernos y tornillos para el acabado mencionare la zona en donde se instalarían las micro turbinas hidráulicas tomando en cuenta que es una tubería presurizada en donde la presión del agua es constante en todo el proceso, esta presión es de 7 bares, cabe mencionar que es solo un diseño.

### 3.2.2 REQUERIMIENTOS MECÁNICOS DEL SISTEMA

Para el seleccionamiento de la micro turbina hidráulica se debe tomar en cuenta:

- Caudal.
- Salto o caída del agua.
- Presión.

#### Caudal

Se tiene una bomba centrífuga la cual posee un caudal de  $125 \frac{m^3}{h}$  a 3500 RPM, y un caudal secundario a 1750 RPM de  $75 \frac{m^3}{h}$ , se toma el caudal de  $79 \frac{m^3}{h}$  trabajando a 1750 RPM, entonces el caudal es de  $0,022 \frac{m^3}{s}$ .

Para hallar la velocidad del agua que ingresa a la micro turbina se calcula mediante la ecuación 9:

$$Q1 = A1 \times v1$$

En donde:

Q1= Caudal. ( $\frac{m^3}{s}$ )

A1= Área de la sección de la tubería inicial. ( $m^2$ )

v1= Velocidad del fluido al inicio de la tubería. ( $\frac{m}{s}$ )

Entonces se toma en cuenta la tubería de 2,5 pulgadas que es donde inicia la tubería y se tiene:

$$Q1 = v1 \times \frac{\emptyset^2 \times \pi}{4}$$

En donde:

$\emptyset$ = diámetro de la tubería de 2,5 pulgadas. ( $m$ )



Entonces:

$$0,022\left[\frac{m^3}{s}\right] = v_1 \times \frac{0,0625^2[m] \times \pi}{4}$$

$$v_1 = 7,17\left[\frac{m}{s}\right]$$

Siendo  $Q_1 = Q_2$ , entonces se puede encontrar  $v_2$  que se relaciona con la parte final de la tubería, se tiene lo siguiente:

$$Q_1 = Q_2$$

$$Q_2 = 0,022\left[\frac{m^3}{s}\right]$$

Entonces:

$$Q_2 = v_2 \times \frac{\phi_2^2 \times \pi}{4}$$

Donde:

$\phi_2 =$  diámetro de la tubería de 4 pulgadas. ( m )

Se tiene que la velocidad 2 es igual a:

$$0,022\left[\frac{m^3}{s}\right] = v_2 \times \frac{0,1^2[m] \times \pi}{4}$$

$$v_2 = 2,80\left[\frac{m}{s}\right]$$

### **Salto de caída de agua y presión.**

$$P_{teorica} = HB \times \rho \times g \times Q \quad [17]$$

En donde:

$P_{teorica} =$  es la potencia teórica. (Kw )

$HB =$  es la altura dinámica del sistema. (m)

$\rho =$  densidad del agua.  $\left(\frac{Kg}{m^3}\right)$

Hay que hallar la altura dinámica del sistema para esto se usa la siguiente ecuación:

$$HB = hf_{total} + \left[ \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 \right] - \left[ \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 \right] \quad [18]$$

En donde:

Hf total= pérdida de carga. (m)

P2= presión de salida a la micro turbina hidráulica.  $\left( \frac{N}{m^2} \right)$

v2= velocidad de salida del agua en la micro turbina hidráulica.  $\left( \frac{m}{s} \right)$

g= gravedad.  $\left( \frac{m}{s^2} \right)$

Z2= distancia de salida del agua de la micro turbina a la bomba.  
( m )

P1= presión de entrada a la micro turbina hidráulica.  $\left( \frac{N}{m^2} \right)$

v1= velocidad de entrada del agua en la micro turbina hidráulica.  
 $\left( \frac{m}{s} \right)$

Z1= distancia del ingreso del agua de la micro turbina a la bomba.  
( m )

Para encontrar la altura dinámica se debe hallar la pérdida de carga con la siguiente formula:

$$hf_{total} = \frac{f \times Leq \times v_2^2}{2 \times \emptyset \times g} \quad [19]$$

En donde:

f= coeficiente de fricción en la tubería.

Leq= longitud equivalente de toda la tubería equivalente del sistema. ( m )

v2= velocidad de salida del agua en la micro turbina hidráulica.  $\left( \frac{m}{s} \right)$

$\emptyset$ = diámetro de la tubería. ( m )

Para hallar la pérdida de carga es necesario saber el tipo de fluido que se tiene si es laminar o turbulento y eso se consigue con la ecuación de Reynolds:

$$Nre = \frac{\phi \times v \times \rho}{\mu} \quad [20]$$

En donde:

$\mu =$  Viscosidad del agua. (centipoise)

Entonces se procede con el cálculo:

$$Nre = \frac{0,1[m] \times 2,80[\frac{m}{s}] \times 1000[\frac{Kg}{m^3}]}{0.001[cp]}$$

$$Nre = \frac{280}{0,001}$$

$$Nre = 280000$$

Con este resultado se dice que el fluido es turbulento.

Ahora se procede con el cálculo de la rugosidad relativa, se tiene la siguiente ecuación:

$$Rre = \frac{\phi}{\epsilon} \quad [21]$$

En donde:

$\epsilon =$  Es la rugosidad absoluta del material. ( m )

La tubería es de un acero comercial y soldada en diferentes puntos, para esto se usa los siguientes valores:

RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES			
Material	$\epsilon$ (mm)	Material	$\epsilon$ (mm)
Plástico (PE, PVC)	0,0015	Fundición asfaltada	0,06-0,18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01	Fundición	0,12-0,60
Tubos estirados de acero	0,0024	Acero comercial y soldado	0,03-0,09
Tubos de latón o cobre	0,0015	Hierro forjado	0,03-0,09
Fundición revestida de cemento	0,0024	Hierro galvanizado	0,06-0,24
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024	Madera	0,18-0,90
Fundición centrifugada	0,003	Hormigón	0,3-3,0

**Figura 29.** Rugosidad absoluta de materiales.

(Merle, 2010)

En donde el valor de  $\epsilon$  esta donde en un rango de 0.003 a 0.009, se toma el mayor dando como resultado:

$$\epsilon = 9 \times 10^{-5} m$$

Entonces la rugosidad relativa es:

$$Rre = \frac{0,1}{9 \times 10^{-5}}$$

$$Rre = 1111,11$$

Una vez encontrado la rugosidad relativa, se procede al cálculo de la fricción que está dado por la ecuación:

$$f = \frac{0,25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3,7 \times Rre} + \frac{5,74}{Rre^{0,9}} \right) \right]^2} \quad [22]$$

$$f = \frac{0,25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3,7 \times 1111,11} + \frac{5,74}{441810^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f = \frac{0,25}{12,5071}$$

$$f = 0,01998$$

Ahora se procede a realizar un cálculo de la longitud que posee todo la tubería, en donde:

*longitud equivalente*

= Longitud tubería en línea recta + longitud de los accesorios

$$Leq = L + Lacc$$

[23]

$$L = 20.65 \text{ m}$$

Se calcula la longitud equivalente de los accesorios:

**Tabla 1.** Longitud equivalente de la tubería

Accesorio	Cantidad	Equivalente(m)	Longitud total (m)
Codo de 90° de 4"	1	0,2 m	0,2
Codo de 90° de 2,5"	4	0,1 m	0,4
Total			0,6

Entonces se tiene que:

$$Leq = 20.65[m] + 0,6[m]$$

$$Leq = 21,25[m]$$

Ahora si se puede hallar la pérdida de carga:

$$hf \text{ total} = \frac{0,01998 \times 21,25[m] \times 2,8^2 \left[\frac{m}{s}\right]}{2 \times 0,1[m] \times 9,8 \left[\frac{m}{s^2}\right]}$$

$$hf \text{ total} = \frac{3,33}{1,96}$$

$$hf \text{ total} = 1,69 [m]$$

Entonces la altura dinámica del sistema es:

$$HB = 1,69[m] + \left[ \frac{4,8 \times 10^5 \left[\frac{N}{m^2}\right]}{1000 \left[\frac{Kg}{m^3}\right] \times 9,81 \left[\frac{m}{s^2}\right]} + \frac{2,8^2 \left[\frac{m}{s}\right]}{2 \times 9,81 \left[\frac{m}{s^2}\right]} + 2[m] \right] - \left[ \frac{6,8 \times 10^5 \left[\frac{N}{m^2}\right]}{1000 \left[\frac{Kg}{m^3}\right] \times 9,81 \left[\frac{m}{s^2}\right]} + \frac{7,17^2 \left[\frac{m}{s}\right]}{2 \times 9,81 \left[\frac{m}{s^2}\right]} + 2[m] \right]$$

$$HB = -(1,69 + [50,96 + 0,39 + 2]) - [71,36 + 2,62 + 2])$$

$$HB = 20,94 \text{ [m]}$$

La presión que ingresa a la turbina hidráulica es de  $6,8 \times 10^5 \left[ \frac{N}{m^2} \right]$  y la presión que sale hacia los intercambiadores es de  $4,8 \times 10^5 \left[ \frac{N}{m^2} \right]$ .

Cabe mencionar algunos datos mínimos para el funcionamiento del intercambiador:



**Figura 30.** Intercambiador de tipo placas.

Datos técnicos del intercambiador de tipo placas:

- Máxima presión necesaria para su funcionamiento de 4 a 5 bares.
- Temperatura máxima de operación de 130 grados centígrados.
- Caudal máximo para su funcionamiento  $120 \frac{m^3}{h}$ .
- Caudal mínimo para su funcionamiento  $79 \frac{m^3}{h}$ .
- Superficie máxima de 3,80 metros cuadrados.

El funcionamiento del intercambiador es el siguiente:

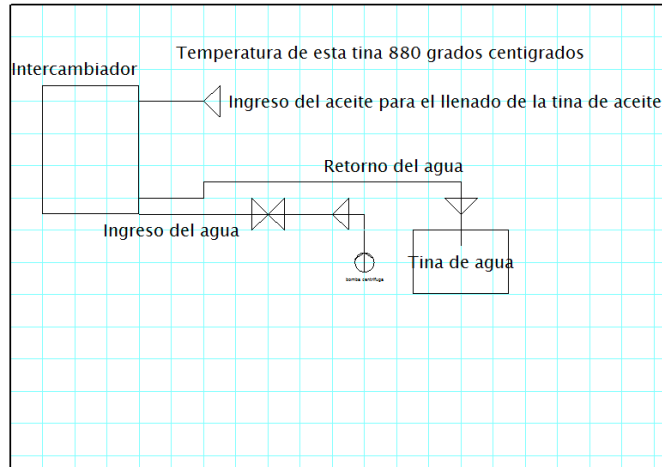


Figura 31. Funcionamiento externo del intercambiador.

El funcionamiento interno del intercambiador es el siguiente:

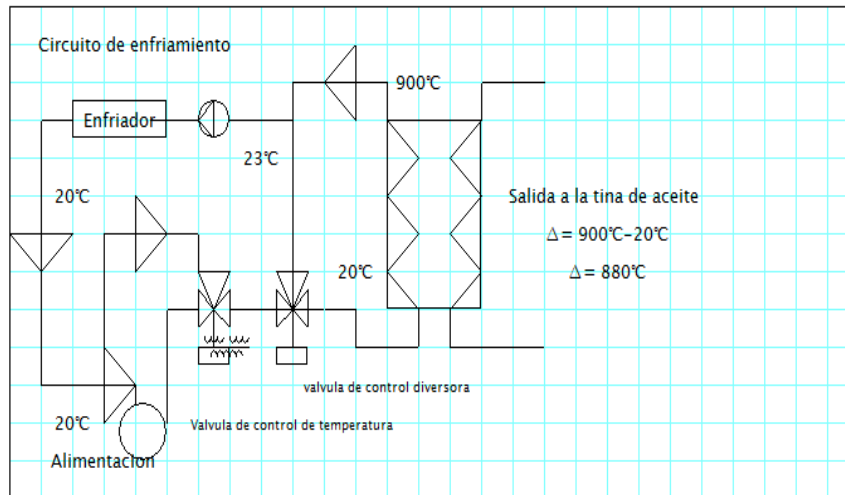


Figura 32. Funcionamiento interno del intercambiador.

Para el diseño del sistema de generación de energía eléctrica empleando micro turbinas hidráulicas para TOPESA S.A se deberá conocer cuál es la potencia teórica que nos generará la micro turbina hidráulica para esto se usa la siguiente formula:

$$P_{teorica} = 20,94[m] \times 1000 \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] \times 9,81 \left[ \frac{m}{s^2} \right] \times 0,022 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

$$P_{teorica} = 4519,27 W = 4,52Kw$$

### 3.2.3 SELECCIÓN DE LA MICRO TURBINA HIDRÁULICA.

Una vez conocido la potencia teórica y el espacio que se tiene para el posicionamiento de la micro turbina se procede con la selección de la mejor

opción acorde con los datos obtenidos, entonces, la mejor opción después de una exhaustiva búsqueda es la micro turbina hidráulica Micro Regen importada por la empresa Tecnoturbines.

PRODUCTO	MicroRegen	HydroRegen
<b>MATERIALES DE LA TURBINA</b>		
Cuerpo principal	Fundición	
Tapa del cuerpo principal	Fundición	
Rodete	Fundición (opcional bronce o acero inoxidable)	
Eje	Acero templado (opcional acero inoxidable)	
Juntas	DPAF, libre de asbestos	
<b>DATOS TÉCNICOS DE LA TURBINA</b>		
Salto de presión [metros]	15 a 110	15 a 130
Caudal [litros/segundo]	10 a 90	60 a 560
Diámetros de entrada/salida [mm]	50 a 150	65 a 350
Presión máxima	PN16 (PN40 bajo pedido)	PN16, PN25 (depende del modelo)
Rango de velocidad [rpm]	1500 a 3000	1000 a 3000
Diseño constructivo	Eje vertical; entrada y salida alineadas	
<b>GENERADOR</b>		
Tipo	3 fases, síncrono PM, IEC TEFC	3 fases, asíncrono de jaula de ardilla, IEC TEFC
Voltaje de salida [Vac]	100 a 400	400 a 690
Aislamiento eléctrico	Clase F (155)	
Eficiencia	IE4	IE2 o IE3 (según modelo)
IP	IP55	
<b>DATOS GLOBALES (SALIDA A RED)</b>		
Rango y tensión de la red [Vac] <sup>(1)</sup>	180 a 264 (1 fase) 320 a 480 (3 fases)	342 a 528 (3 fases) o 450 a 759 (3 fases) dependiendo de la potencia
Frecuencia de la red [Hz] <sup>(1)</sup>	50±3 o 60±3	47 a 63
Potencia de salida [kW]	2 a 25	25 a 315 <sup>(2)</sup>
Eficiencia global [%]	60 a 75	70 a 80
IP Cuadro de control	IP65	
<b>PROTECCIONES</b>		
Protecciones estándar	Sobretensión, sobrecorriente, cortocircuito y embalamiento. Anti-isla, huecos de tensión, tiempo seguro de reconexión,	

**Figura 33.** Especificaciones de la micro turbina hidráulica MicroRegen. (Tecnoturbines, 2016)

**Tabla 2.** Datos técnicos versus los calculados

Catálogo	Datos técnicos de la turbina	Cumplimiento
	Cálculos	
Salto de presión en metros 15 a 100 metros.	20,94 m	Si
Caudal 10 a 90 litros/ segundos.	22 l/s	Si
Presión máxima (bajo pedido).	6,8 bar	Si

Ahora se encuentra la potencia real de la micro turbina hidráulica con una eficiencia del 75%, se tiene que:

$$P_{real} = P_{teorica} \times \eta \quad [24]$$

En donde:

$\eta$ = eficiencia de la turbina.

$$P_{real} = 4,52Kw \times 0,75$$

$$P_{real} = 3,39Kw$$



Ahora el lugar en donde es factible según lo calculado anteriormente colocar la micro turbina hidráulica para generar la potencia calculada es:



**Figura 34.** Lugar de la micro turbina hidráulica.

Una vez encontrado la potencia que generará la micro turbina hidráulica se puede realizar un diagrama unifilar de todos los elementos que va a usar para su buen funcionamiento; aquí se usará el programa Proficad el cual sirve para generar diagramas unificables mecánicos, eléctricos y neumáticos.

### **ELEMENTOS MECÁNICOS PARA EL MONTAJE DE LA MICRO TURBINA HIDRÁULICA.**

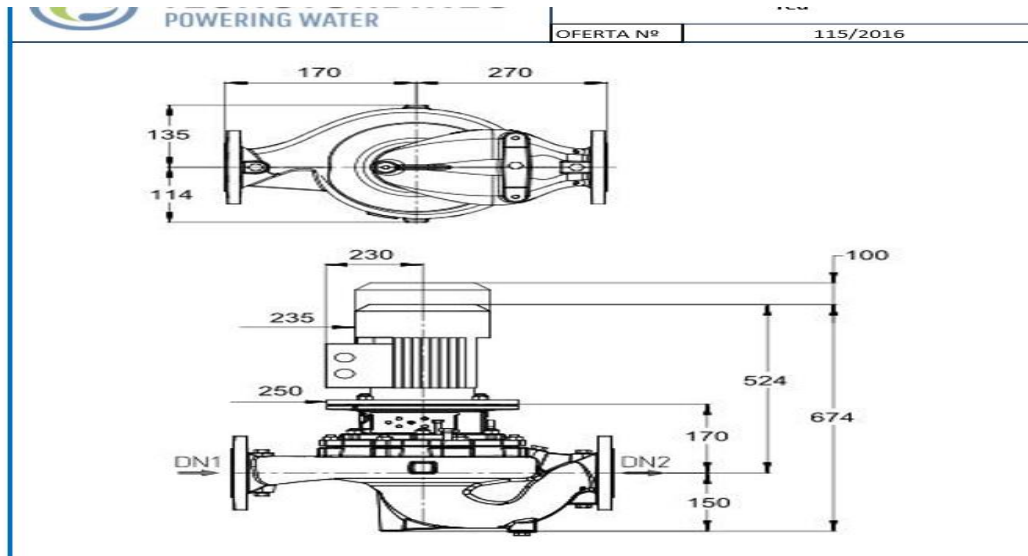
Después de una búsqueda y análisis de los diferentes catálogos se tomó la decisión que la que cumple con los requisitos de características, generación acorde a lo necesario y planos es:

- Micro turbina hidráulica MicroRegen, el proveedor es Tecnoturbines.

Para esto el diámetro de salida y de entrada de la micro turbina será de 4 pulgadas ya que de esta forma nos acoplamos perfectamente al sistema de tubería que tiene TOPESA S.A.

El caudal con el que el sistema trabaja es de 22 litros/ segundos de esta manera la bomba estará trabajando de una manera óptima.

Las dimensiones que posee la micro turbina MicroRegen son las siguientes:



**Figura 35.** Dimensionamiento de la MicroRegen.  
(Tecnoturbinas, 2016)

Una vez conocido ya las dimensiones de la micro turbina hidráulica se procederá a la selección de válvulas y bridas para el acople a las tuberías.

Al tener una tubería de 4 pulgadas se procede a seleccionar una brida deslizante para una tubería de 4 pulgadas, se selecciona este tipo de brida debido a su instalación rápida al sistema y a su bajo costo a continuación sus propiedades mecánicas:



### MATERIAL

#### BRIDAS DE ACERO AL CARBÓN FORJADO, CLASE 150

Los materiales usados en la fabricación de las Bidas de Acero al Carbón Forjado CIFUNSA cumplen ampliamente los requerimientos mínimos establecidos por la norma ASTM A-105, que rigen este tipo de conexión.

PROPIEDADES MECÁNICAS	ASTM A-105
Resistencia a la tensión, min, psi (mpa)	70 000 (485)
Punto de cedencia, min, psi (mpa)	36 000 (250)
Elongación en 2" o 50 mm, min, %	30
Reducción de área, min, %	30
Dureza, máx. , Hb	187

**Figura 36.** Propiedades mecánicas de bridas de acero al carbón forjado.  
(Catálogo de productos CIFUNSA, 2016)

**Tabla 3.** Tipo de brida usada

<b>Brida deslizante</b>			
<b>Medida nominal</b>	<b>Material</b>	<b>Numero de Barrenos</b>	<b>Diámetro exterior de la brida</b>
4 pulgadas	Acero forjado	8	9 pulgadas

(Catálogo de productos CIFUNSA, 2016)

Una vez seleccionada el tipo de brida que se usará en el acople de la micro turbina hidráulica se procede con el seleccionamiento de válvulas las cuales nos ayudarán para que si el sistema tiene problemas o necesita de mantenimiento pueda el agua circular y abastecer el proceso de tratamiento térmico para TOPESA S.A.

La válvula que se usará en el sistema será válvula tipo compuerta para tubería de 4 pulgadas ya que este tipo de válvula se la utiliza cuando se tiene caudal rectilíneo.

**Tabla 4.** Tipo de válvula usada

<b>Válvula tipo compuerta</b>			
<b>Medida nominal</b>	<b>Peso</b>	<b>Diámetro exterior</b>	<b>Longitud de turca volante</b>
4 pulgadas	47 Kg	9 pulgadas	10 pulgadas

(Walworth, 2016)

Al tener que realizar un desvío del caudal de agua dentro del sistema debido a un mantenimiento o averías en la micro turbina hidráulica se colocará un válvula en Y de hierro dúctil, de esta manera se podrá desviar y hacer cualquier manipulación en la micro turbina hidráulica.

**Tabla 5.** Características de válvula tipo Y

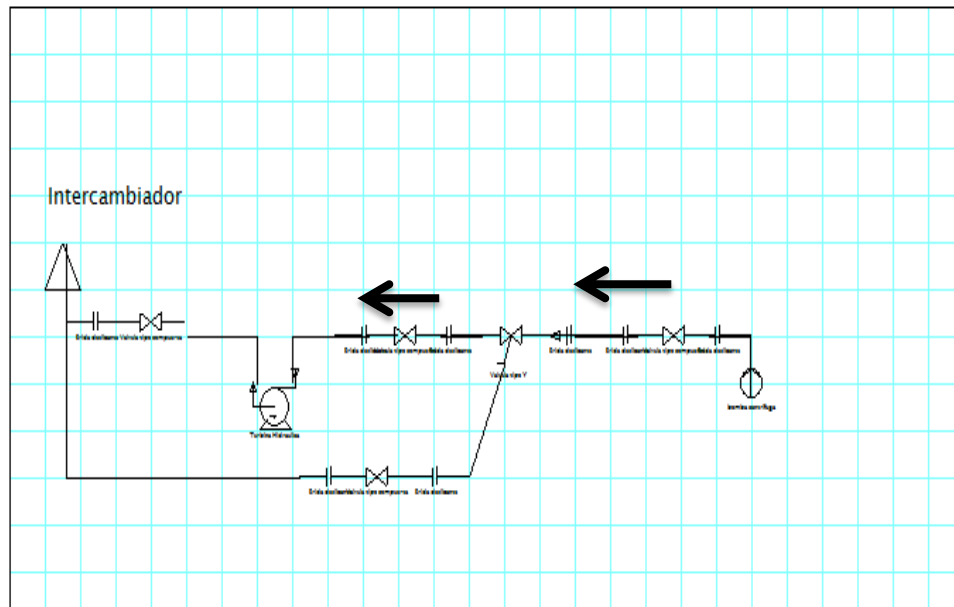
<b>Válvula tipo Y</b>		
<b>Medida nominal</b>	<b>Peso</b>	<b>Material</b>
4 pulgadas	29 Kg	Hierro dúctil

(Helbert, 2016)

Una vez seleccionado el tipo de bridas y válvulas que se usarán en el sistema de la micro turbina hidráulica se procede a realizar un diagrama

unifilar en Proficad de esta manera se puede evidenciar el posicionamiento de cada elemento que se usaran.

El diagrama unifilar hecho en Proficad queda de la siguiente manera:

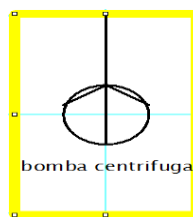


**Figura 37.** Diagrama unifilar mecánico en Proficad

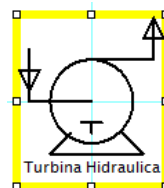
En el caso de alguna avería o daño en la micro turbina hidráulica el sistema funcionaria de la siguiente manera:

En donde:

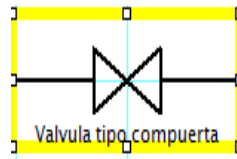
- Bomba centrífuga



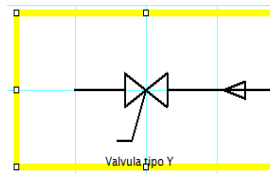
- Micro turbina hidráulica



- Válvula tipo compuerta



- Válvula tipo Y



- Brida deslizante

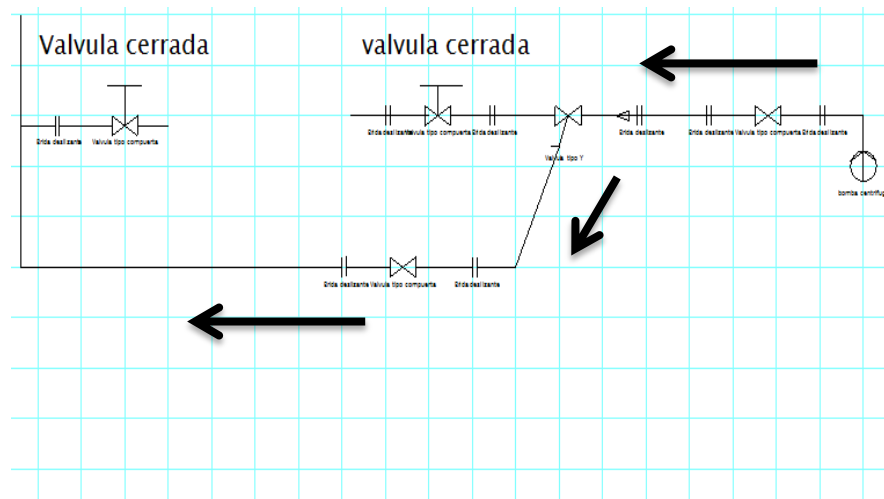


Figura 38. Diagrama unifilar mecánico en Proficad para mantenimiento de la micro turbina.

### 3.2.4 DISEÑO ELÉCTRICO

Se conoce la potencia que generará la micro turbina hidráulica, para esto se va al catálogo dado por TECNOTURBINES, en donde se puede evidenciar que la micro turbina hidráulica que se acopla a los datos ya calculados es el modelo MicroRegen la cual tiene los siguientes datos técnicos:

- Para redes trifásicas el voltaje de salida es de 380.
- Potencia de salida 3,39 KW.

<b>DATOS TÉCNICOS DE LA TURBINA</b>		
Salto de presión [metros]	15 a 110	15 a 130
Caudal [litros/segundo]	10 a 90	60 a 560
Diámetros de entrada/salida [mm]	50 a 150	65 a 350
Presión máxima	PN16 (PN40 bajo pedido)	PN16, PN25 (depende del modelo)
Rango de velocidad [rpm]	1500 a 3000	1000 a 3000
Diseño constructivo	Eje vertical; entrada y salida alineadas	
<b>GENERADOR</b>		
Tipo	3 fases, síncrono PM, IEC TEFC	3 fases, asíncrono de jaula de ardilla, IEC TEFC
Voltaje de salida [Vac]	100 a 400	400 a 690
Aislamiento eléctrico	Clase F (155)	
Eficiencia	IE4	IE2 o IE3 (según modelo)
IP	IP55	

**Figura 39.** Datos técnicos de la micro turbina hidráulica MicroRegen.

El voltaje con el cual la fábrica TOPESA S.A trabaja es de 380 voltios; con el valor de la potencia que generará la micro turbina hidráulica MicroRegen y el voltaje se procede con el cálculo de la corriente para posteriormente realizar el dimensionamiento del conductor que se va a utilizar.

La corriente para sistemas trifásicos se calcula(Latincasa, 2012):

$$I = \frac{P_{real} \times 1000}{\sqrt{3} \times V \times f_p} \quad [25]$$

En donde:

- I= corriente para una red trifásica. (A)
- P<sub>real</sub>: potencia real generada por la micro turbina hidráulica. (KWh)
- V= voltaje de la red. (v)
- f<sub>p</sub>= factor de potencia (valor típico 0,9)

$$I = \frac{3,39(Kw) \times 1000}{\sqrt{3} \times 380(v) \times 0,9}$$

$$I = 5,72 (A)$$

Con la corriente ya calculada se procede con el dimensionamiento del cable:

<b>Intens. de Corriente Máxima admisible para conductores de cobre</b>	
<b>Secc. (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Int. Máx. (A)</b>
1	10,5
1,5	13
2,5	18
4	24
6	31
10	43
16	59
25	77
35	96
50	117
70	149

**Figura 40.** Corriente máxima admisible para conductores de cobre. (Latincasa, 2012)

Para la corriente la calculada la más próxima es la corriente de 10,5 (A), en donde la sección sería de 1 mm<sup>2</sup>, la cual se denomina como (s).

Es necesario también el cálculo de la caída de tensión la cual está dada por la ecuación(Latincasa, 2012):

$$u = \frac{1,73 \times L \times I \times fp}{c \times s}$$

[26]

En donde:

u= caída de tensión. (v).

L= longitud de las líneas (m).

I= corriente del sistema(A).

fp= factor de potencia.

c= conductividad eléctrica (para el cobre es de 56)

s= sección del conductor ( $mm^2$ )

Para poder calcular la caída de tensión es necesario conocer el factor de potencia, en este caso se lo conoce y es de 0,9.

Ahora si se puede encontrar la caída de tensión:

$$u = \frac{1,73 \times L \times I \times fp}{c \times s}$$

$$u = \frac{1,73 \times 20(m) \times 5,72(A) \times 0,9}{56 \times 1(mm^2)}$$

**u = 3,18 voltios.**

Entonces al no tener una alta caída de tensión se procede a buscar un cable que soporte el amperaje indicado con anterioridad, dicho cable sale de la siguiente tabla:

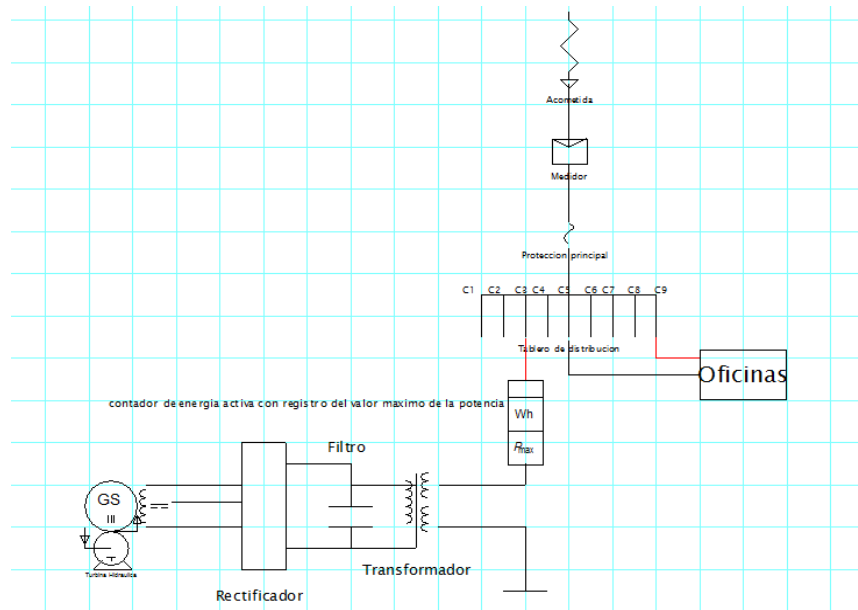
<b>Tubos en canalizaciones fijas en superficie</b>					
Diámetros exteriores mínimos de los tubos en función del número y la sección de los conductores o cables a conducir					
Sección nominal de los conductores unipolares ( $mm^2$ )	Diámetro exterior de los tubos (mm)				
	Número de conductores				
	1	2	3	4	5
1,5	12	12	16	16	16
2,5	12	12	16	16	20
4	12	16	20	20	20
6	12	16	20	20	25
10	16	20	25	32	32
16	16	25	32	32	32
25	20	32	32	40	40
35	25	32	40	40	50
50	25	40	50	50	50
70	32	40	50	63	63
95	32	50	63	63	75
120	40	50	63	75	75
150	40	63	75	75	--
185	50	63	75	--	--
240	50	75	--	--	--

Para más de 5 conductores por tubo o para conductores aislados o cables de secciones diferentes a instalar en el mismo tubo, su sección interior será, como mínimo igual a 2,5 veces la sección ocupada por los conductores.

**Figura 41.** Tipo de cable.  
(General cable,2016)

Es decir para conductores se usará un cable número 12.

El diagrama unifilar realizado en Profi Cad queda de la siguiente manera:



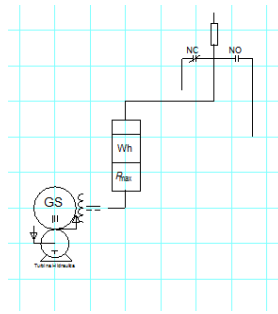
**Figura 42.** Diagrama unifilar eléctrico en Proficad.

Aquí se puede evidenciar que el sector de oficinas está abastecido por dos sistemas: el primero es la red pública por el circuito C5 y el otro con el nuevo sistema de generación de energía eléctrica que es la microturbina hidráulica micro Regen abastecida por el C9.

El funcionamiento es básicamente que el contador de energía activa que se instala genera un registro de las diferentes potencias que genera la microturbina hidráulica. Al tener una potencia inferior a lo programado, esta deja de pasar la energía y en este caso se conectaría a la red pública; de así la fábrica jamás parará.

Por otra parte, si está funcionando la red pública y entra a funcionar la microturbina hidráulica, aquí es un simple contactor el cual da paso a la microturbina hidráulica.





**Figura 43.** Diagrama unifilar con contactor NO, NC.

Al estar la bobina excitada la bobina se mantiene en NO, es decir, está abierta.

En el caso de no ser excitada la bobina ya que el registro de potencia no permite el paso de energía poniéndose en estado NC y el proceso en la fábrica usará a la red pública para el consumo de su energía eléctrica.

### 3.2.5 MODELAMIENTO DEL SISTEMA

La validación de resultados se realizará a través de Solid Flow; es un software que se encarga de la simulación y predice el funcionamiento a través de un entorno real, es un adicional que posee el Solidworks y que al pasar del tiempo se vuelve un software más poderoso y completo hasta para realiza los cálculos; los resultado de estos cálculos son bastante satisfactorios y muy aproximados a la realidad ya que al elemento se lo está sometiendo a circunstancias muy reales debido al ingreso de datos que tiene antes de iniciar el análisis.

Para el trabajo de titulación se usa Solidworks y Solid flow, en solid se realiza el sólido que es la micro turbina y en Solid flow se procederá a importar el archivo de solidworks para posteriormente visualizar los resultados arrojados por Solid flow.

Lo que se modela es:

- El eje.
- Las palas alrededor del eje.
- Y la tubería de 4 pulgadas por donde va a pasar el fluido.

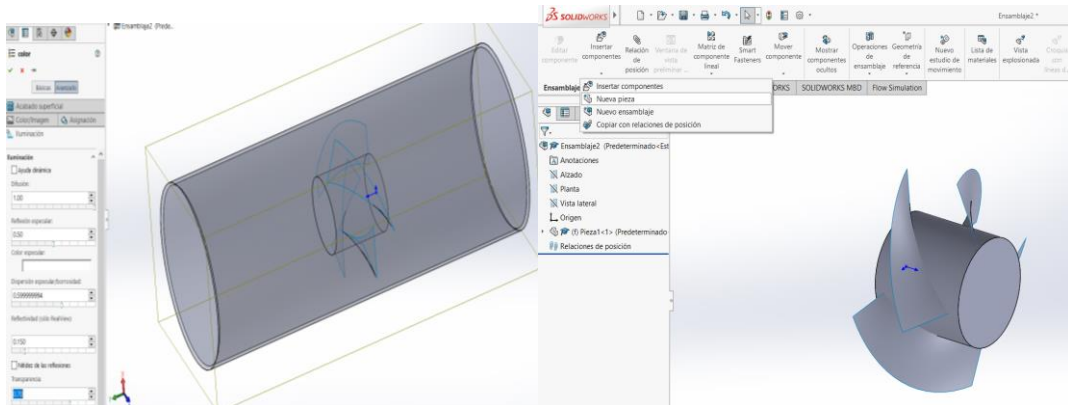


Figura 44. Modelamiento del eje y el sistema de palas.

Ya con el sistema listo se procede a realizar la simulación en el complemento de Solidworks, este complemento es el Solid flow; se procede a la activación del complemento y se ingresan las variables de entrada que se quiere que tengan el sistema:

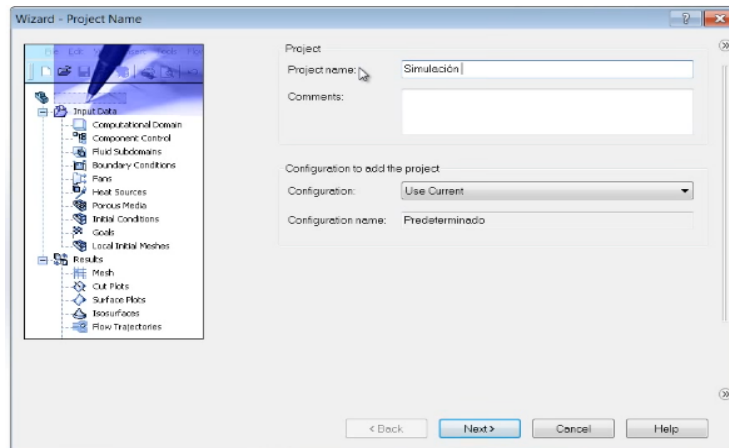
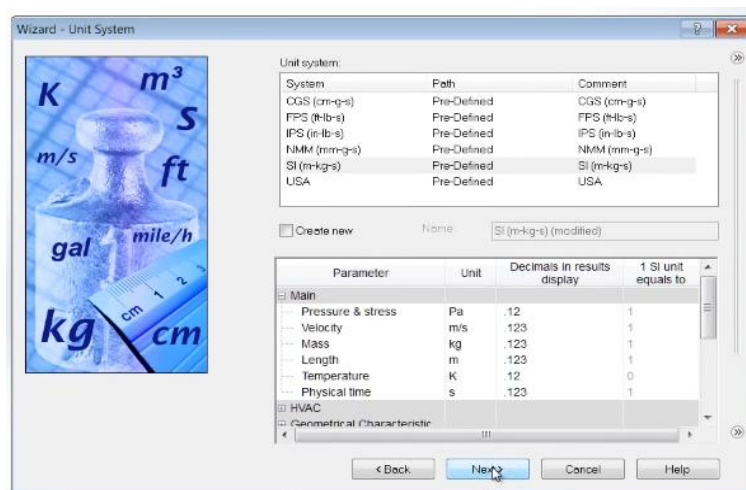


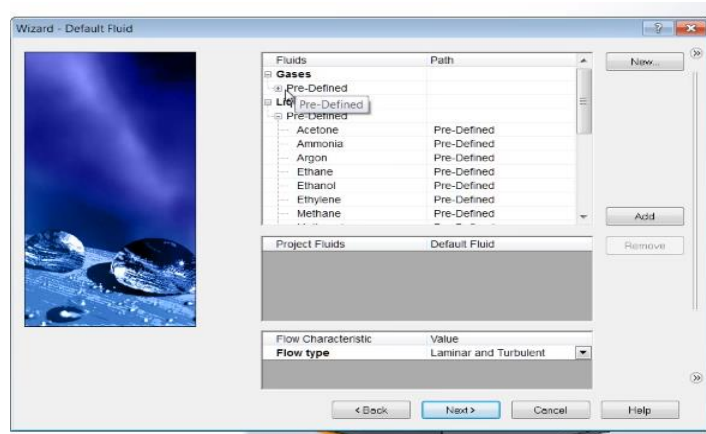
Figura 45. Inicio del Solid Flow.

Se escogen las unidades con la se quiere que el sistema trabaje, en este caso es el sistema internacional.



**Figura 46.** Elección del sistema internacional como unidad de medida en este sistema

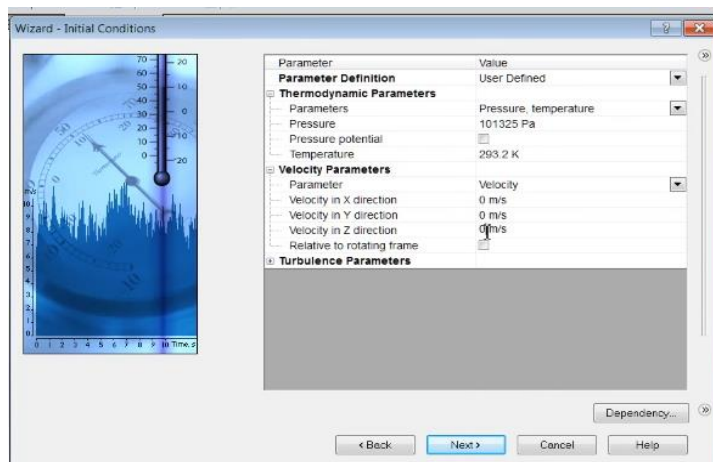
Una vez ya elegido el sistema de unidades a usar se procede a ingresar el fluido que se va a utilizar en este caso es agua.



**Figura 47.** Fluido del sistema Agua.

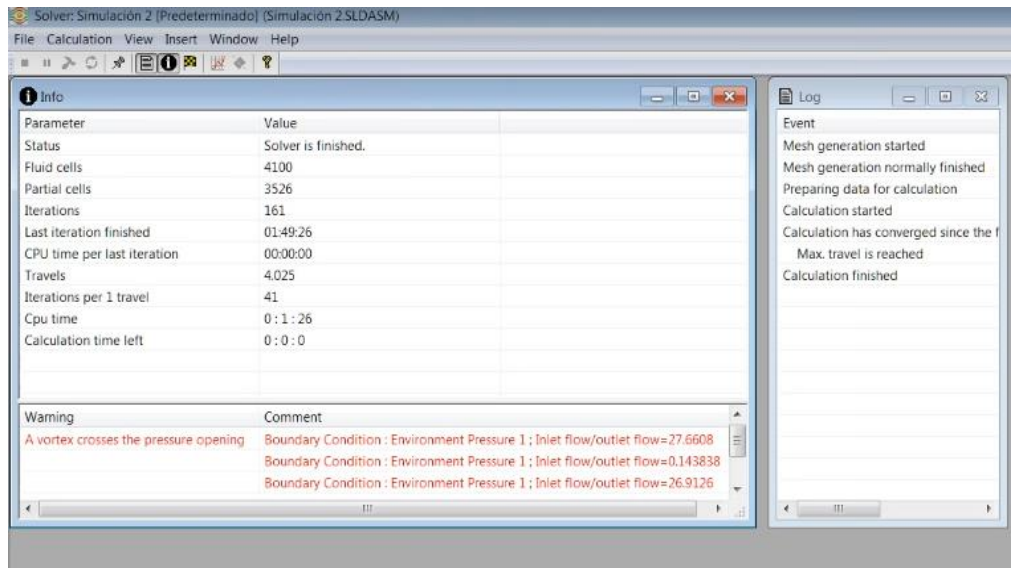
Finalmente en esta ventana se procede a ingresar las entradas del sistema:

- Caudal de  $0,022 \frac{m^3}{s}$ .
- Presión de  $6,8e+5$  Pa.
- Temperatura ambiente de  $23$  °C
- Velocidad de ingreso del agua a través de la tubería  $0,121 \frac{m}{s}$ .



**Figura 48.** Parámetros de entradas del sistema.

Se genera el mallado y el sistema empieza a correr si no existe alguna falla.

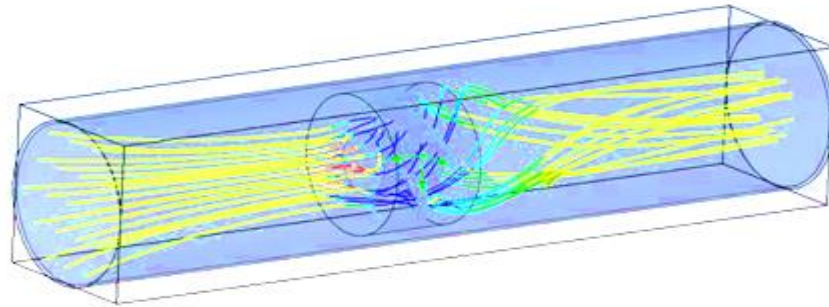


**Figura 49.** Simulación resuelta son ningún problema.

## **4. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Para validar los resultados se procede a analizar los diferentes parámetros que se consideran fundamentales en este proyecto, como los son la velocidad, el torque y la presión de todo el sistema.

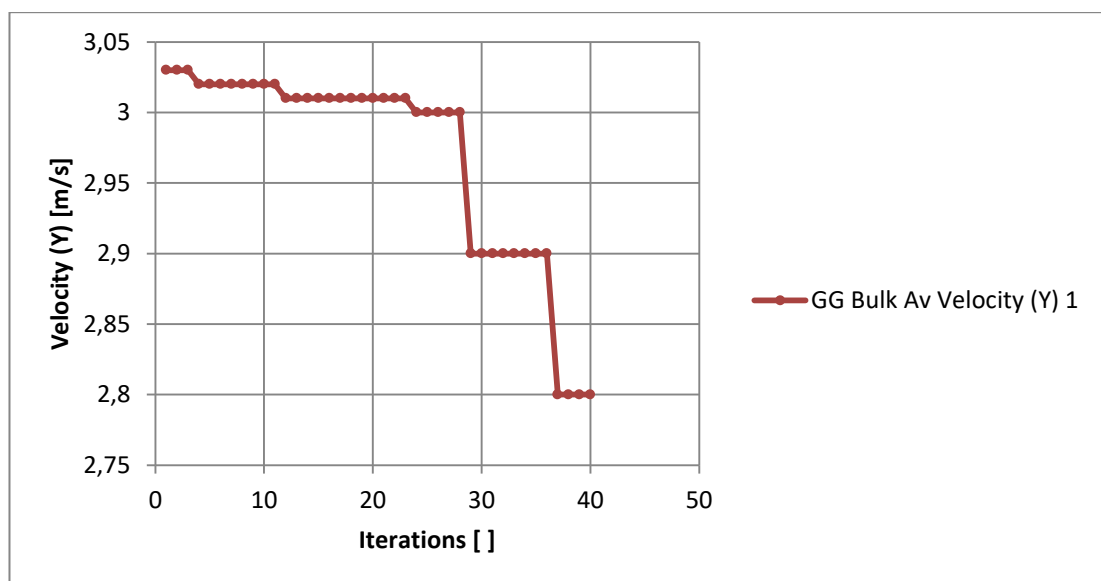
A continuación la imagen de la animación:



**Figura 50.** Animación en Solid Flow.

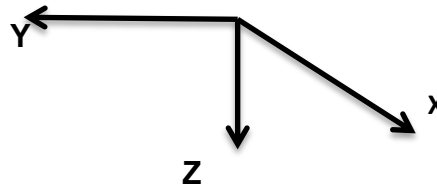
Al ver la animación no basta con un análisis, una de las ventajas que presenta el complemento del programa CAD es la versatilidad para el cálculo de diferentes velocidades, torques, presiones que actúan sobre el elemento; aquí se tomó como referencia las gráficas que ayudan a que este análisis sea satisfactorio.

A continuación se presenta las diferentes iteraciones que realizó el programa para llegar a las diferentes soluciones.



**Figura 51.** Resultados de velocidades con respecto al número de iteraciones.

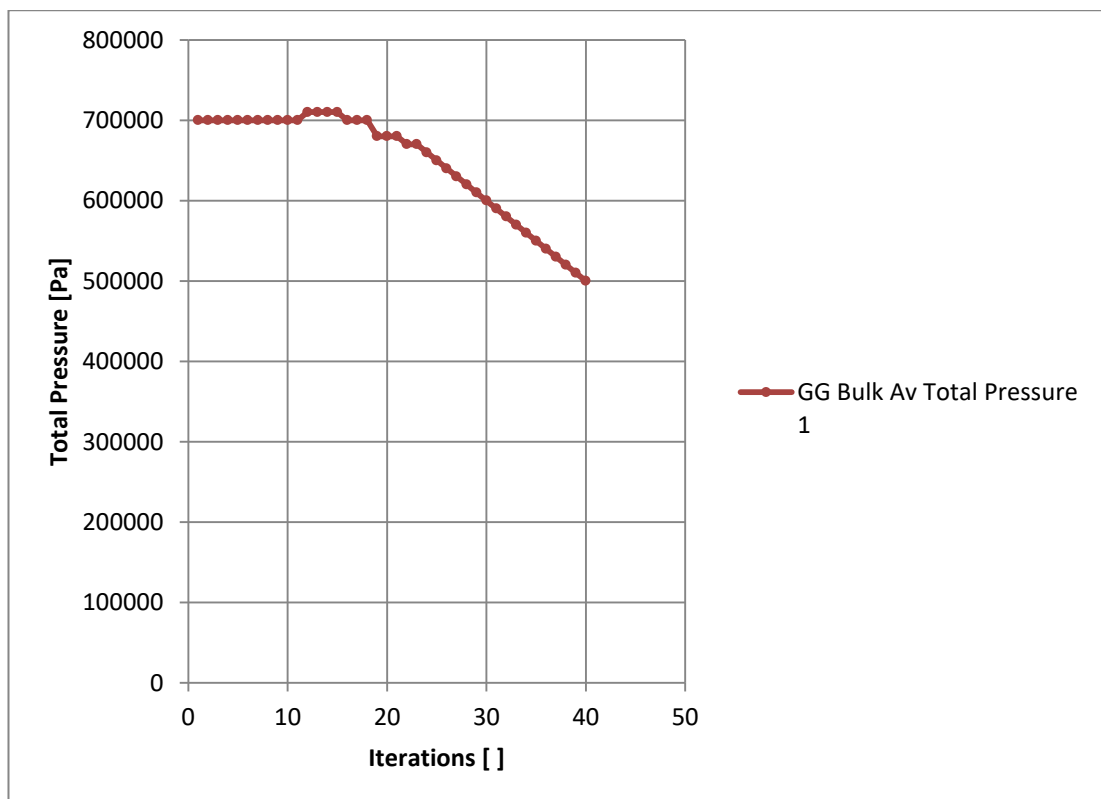
Como se evidencia en la gráfica mostrada en la velocidad en el eje Y ya que el sistema tiene el siguiente eje de coordenadas:



**Figura 52.** Eje de referencia del sistema.

Una vez ya conocido el eje de coordenadas con el que el sistema funciona es necesario saber que el programa toma alrededor de 40 iteraciones para ser estable. Cabe mencionar en el sentido de giro de la micro turbina hidráulica es anti horario.

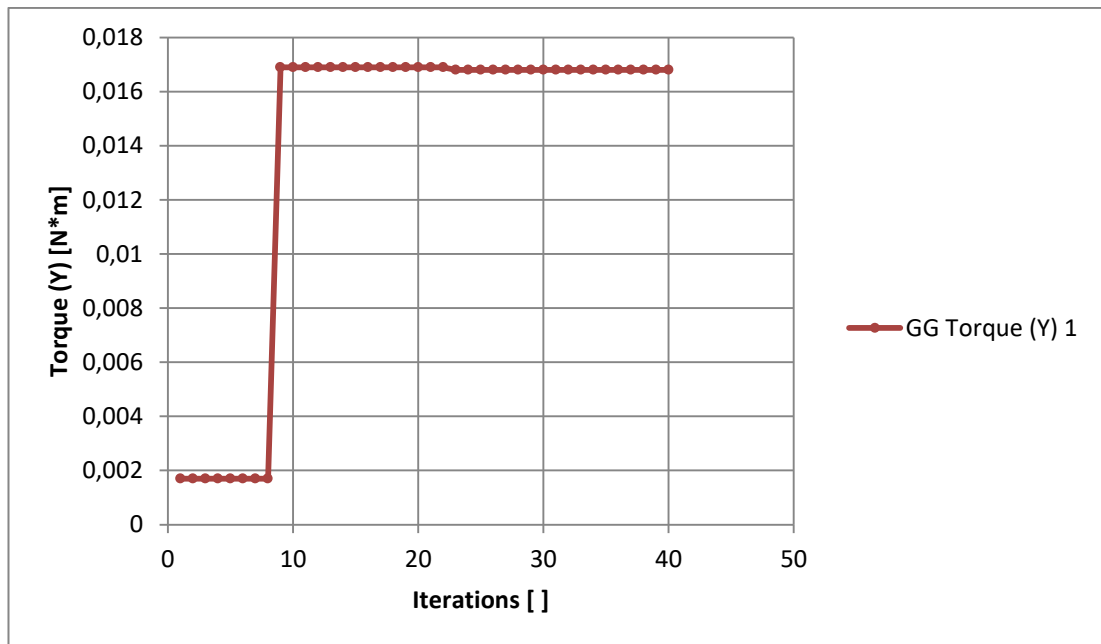
Entonces ahora se ve el número de iteraciones que tiene el sistema con respecto a la presión.



**Figura 53.** Gráfica de la presión del sistema con respecto al número de iteraciones.

Como se puede evidenciar en la gráfica a la presión le toma alrededor de 40 iteraciones para volverse un sistema estable.

Entonces al analizar la gráfica del torque se tiene:



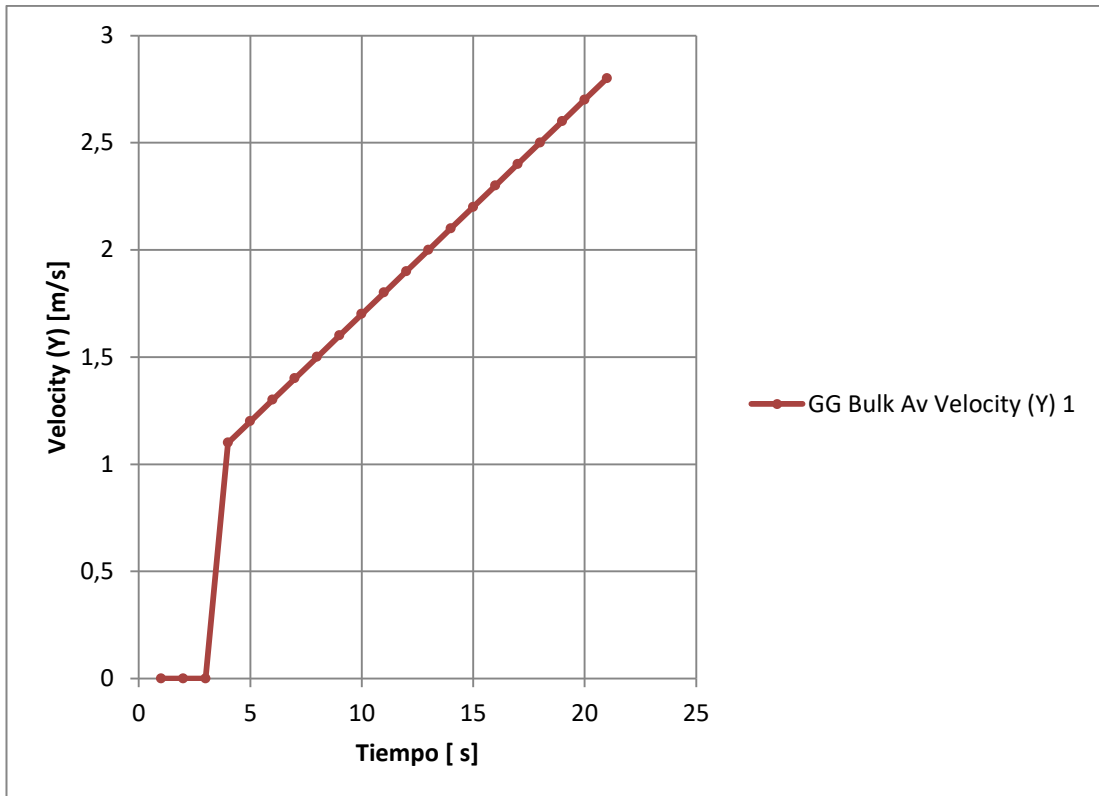
**Figura 54.** Grafica del Torque de la micro turbina hidráulica con respecto al número de iteraciones.

Aquí se evidencia que es un sistema estable ya que el programa hace en todas las gráficas las mismas iteraciones es decir el resultado será bastante confiable.

Una vez conocido las iteraciones del sistema que se tiene con las diferentes magnitudes que son importantes en este proyecto, se analiza a profundidad cada una de ellas.

Cabe mencionar que las gráficas que se presentan a continuación son para validar los resultados obtenidos matemáticamente, aquí se podrá evidenciar y validar si los resultados encontrados con anterioridad se aproximan ya sometiendo a la micro turbina hidráulica al fluido que es agua y caudal constante; las siguientes magnitudes están en función del tiempo.





**Figura 55.** Velocidad tangencial de la micro turbina hidráulica en función del tiempo.

Esta gráfica si se la analiza de inicio a fin, entonces, se tiene como velocidad al iniciar el ciclo de  $0 \frac{m}{s}$ , cuando llega a su punto máximo es a los 6 segundos en donde tiene una velocidad tangencial de  $3 \frac{m}{s}$  y finalmente ya en los 22 segundos el sistema conserva su velocidad que es de  $2,80 \frac{m}{s}$  y es aquí en donde se mantiene constante.

Al tener una velocidad tangencial de  $2,80 \frac{m}{s}$  esto deberá ser verificado y transformado a velocidad angular para esto se usa la siguiente fórmula:

$$v = w \times r \quad \text{[28]}$$

En donde:

$v$ = velocidad tangencial del sistema.

$w$ = velocidad angular del sistema.

$r$ = radio del eje de la micro turbina hidráulica.

Entonces se tiene:

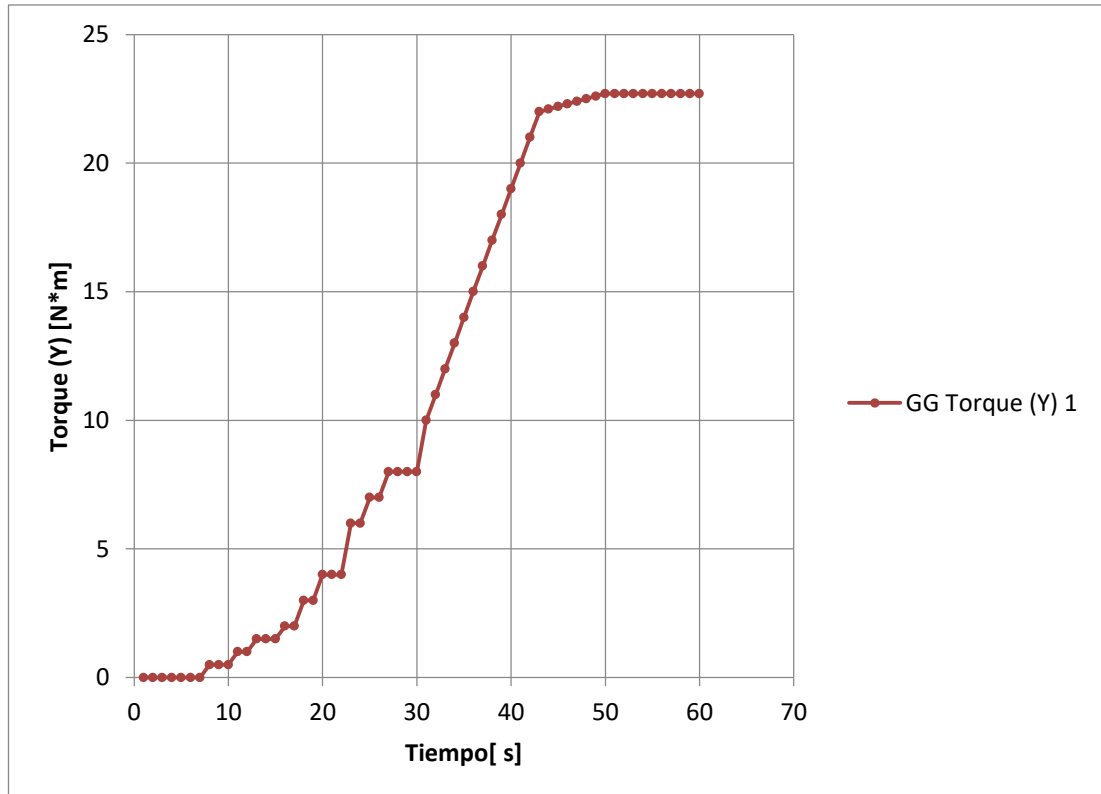
$$v = w \times r$$

$$2,80 \frac{m}{s} = w \times 0,0762 m$$

$$\omega = 36,75 \frac{rad}{s}$$

$$\omega = 350,90 \text{ RPM}$$

La gráfica del torque en función del tiempo es:



**Figura 56.** Torque de la micro turbina hidráulica en función del tiempo.

En la gráfica se puede ver que el torque máximo que alcanza la micro turbina hidráulica es de  $23 \text{ N} \times \text{m}$  y se llega a estabilizar y a ser un valor constante ya en todo el proceso en  $23 \text{ N} \times \text{m}$  a los 43 segundos, este valor es el que el programa nos arroja como resultado, entonces se procede con el análisis; utilizando la siguiente formula:

$$P \times 63000 = \tau \times v \quad [29]$$

En donde:

P= Potencia de la micro turbina hidráulica en Hp.

$\tau$ = torque del sistema en en  $lb \times pulg.$

v= velocidad del sistema en RPM.

Entonces:

$$\tau = \frac{P(Hp) \times 63000}{v(RPM)}$$

Se tiene 3,39 KW que se obtuvieron con anterioridad en Hp se tiene 4,54 Hp.

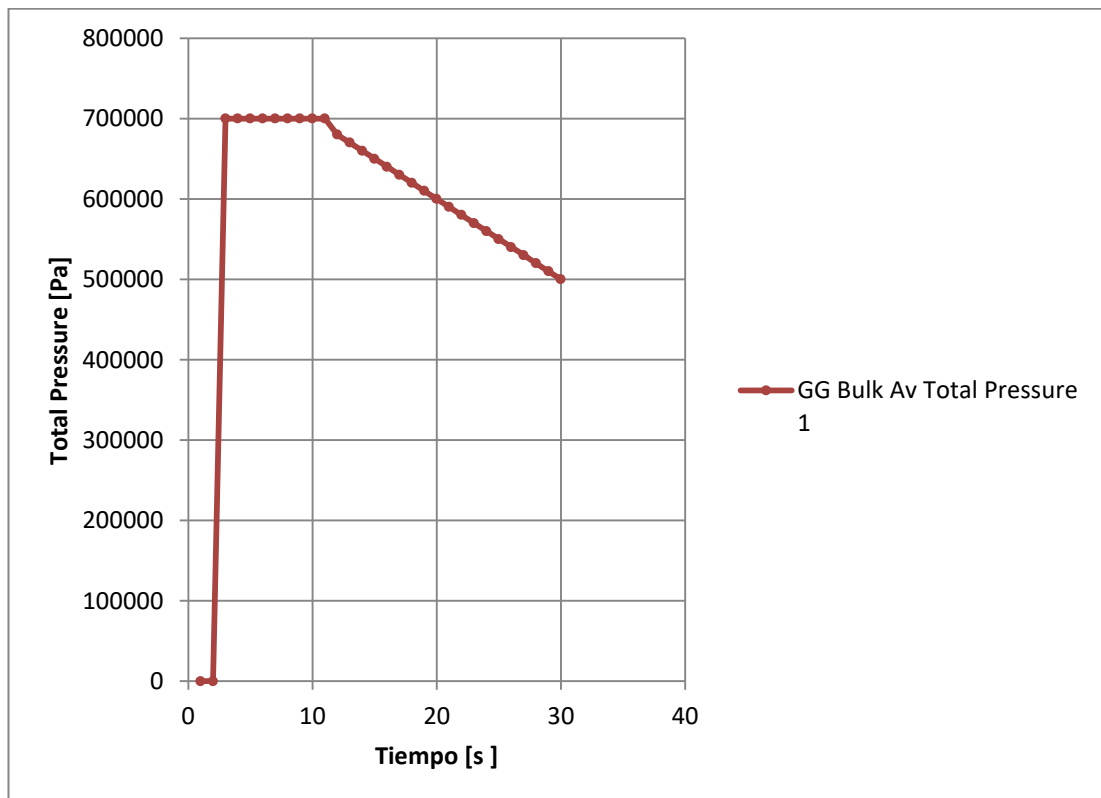
Al tener este valor se procede con el cálculo:

$$\tau = \frac{4,54 \text{ Hp} \times 63000}{1500 \text{ RPM}} = 190,78 \text{ lb} \times \text{pulg.}$$

$$\tau = 21,55 \text{ N} \times \text{m}$$

Con el resultado obtenido se puede verificar que el dato obtenido con anterioridad y el que nos arroja la simulación sin similares, es decir, es un dato real que se lo valido a través de la gráfica.

Finalmente se analiza la presión del sistema:



**Figura 57.** Presión dentro del sistema.

Como se puede evidenciar en la gráfica la presión máxima dentro de la tubería es de  $7 \times 10^5$  Pa y se llega a estabilizar en más o menos  $5 \times 10^5$  Pa, es decir, se mantiene constante durante toda la operación.

Ahora sí se analizan las especificaciones que nos entrega la bomba centrífuga como especificaciones en su manual se tiene:

<p><b>Suction pressure to:</b> 100 PSIG (7 bars)</p> <p><b>Maximum temperature to:</b> 212°F (100°C) with standard seal or 250°F (121°C) with optional seal.</p> <p><b>Motor:</b> NEMA standard JM frame or JP frame for 3656 or T-frame for 3756. Open drip-proof, totally enclosed fan cooled and explosion proof enclosures available. Single phase (115/208 – 230 V), ½ to 3 HP (208 – 230 V) 5 HP and (230V only) on 7½, 10 HP. Three phase (208 – 230/460 V) standard note that 20 and 25 HP are (230/460 V).</p> <p><b>Direction of Rotation:</b> Clockwise viewed from motor end.</p>	<p><b>Presión de succión hasta:</b> 100 PSIG (7 bars)</p> <p><b>Temperatura máxima:</b> 212 °F (100 °C) con sello estándar o 250 °F (121 °C) con sello optativo.</p> <p><b>Motor:</b> Bastidor NEMA JM estándar en el modelo 3656 y bastidor NEMA T estándar en el modelo 3756. Las cubiertas disponibles son: abierta a prueba de filtración, totalmente encerrada con enfriamiento por ventilador y a prueba de explosiones. Monofásico (115/208 – 230 V), ½ a 3 HP; (208 – 230 V) 5 HP y (230 V solamente) 7½ a 10 HP. Trifásico (208 – 230/460 V) estándar. Los motores de 20 a 25 HP son de 230/460 V.</p>
---	---

**Figura 58.** Especificaciones de la bomba centrífuga.









Se tiene como presión de operación de hasta 7 bares en donde se tiene  $7 \times 10^5$  Pa, entonces se considera el dato arrojado por el simulador y el dato que da las especificaciones se tiene que son similares y se puede decir que el dato esta validado; cabe mencionar que se trabaja con la presión de succión.


Según los datos calculados la generación de energía eléctrica que proporcionara la micro turbina hidráulica será de:

$$\begin{aligned}
 \text{Energía} &= \text{Pot} \times t \\
 &= 3,39(\text{Kw}) \times 8 (h) \\
 &= 27,12 \text{ Kwh}
 \end{aligned}$$

Entonces es necesario analizar el consumo de la fábrica, se lo hará mediante el uso de una tabla de la empresa eléctrica de Quito que nos ayuda con el cálculo aproximado del consumo de energía para el sector de oficinas de la fábrica.

**Tabla 6.** Consumo de la fábrica mediante una tabla de la empresa eléctrica de Quito

<b>CONSUMOS PROMEDIOS DE UNA VIVIENDA U OFICINA</b>					
La tabla siguiente permite realizar un cálculo básico del consumo eléctrico de su vivienda u oficina.					
Para ello debe colocar el número de aparatos en la columna "Nº de aparatos" y el número de horas en "Horas utilizado diariamente".					
El consumo propuesto corresponden a promedios recogidos de distintos aparatos eléctricos, si conoce el consumo exacto de su aparato puede variar la cifra sugerida en la columna "Potencia nominal del aparato" logrando un resultado más exacto.					
Categoría o tipo de artefacto y su potencia nominal en W		Potencia nominal del aparato	Nº de aparatos	Horas utilizado diariamente	Consumo en kwh
	Lámparas de bajo consumo y tubos fluorescentes	9 W			0
		11 W			0
		15 W			0
		20 W	8	8	1.28
	Lámparas incandescentes	25 W			0
		40 W			0
		60 W			0
		75 W	8	8	4.8
	Calefactores de cuarzo, halógenas o aire caliente	1600 W			0
		1300 W			0
		1100 W			0
					0
	Televisores	90 W	1	8	0.72
		125 W			0
					0
					0
	Planchas	1500 W			0
		1300 W			0
					0
					0
	Cargador celular Secador de pelo Equipo musical Radio pequeña	13 W			0
		1200 W			0
		150 W			0
		11 W	1	8	0.088
	Microondas Batidora - Licuadora	1000 W			0
		600 W			0
					0
					0
	Computador Impresora Scanner	50 W	8	8	3.2
		500 W	4	5	10
		300 W	2	4	2.4

	Fax	<b>120 W</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>0.36</b>
	Refrigeradores, freezer o refrigeradores con freezer	<b>170 W</b>			0
		<b>250 W</b>			0
					0
					0
<b>Consumo Total Aproximado (Kwh)</b>					<b>22.848</b>

(Empresa eléctrica de Quito, 2016)

El consumo diario de la fábrica en las oficinas es de **22,85 Kwh**, entonces, la generación de energía eléctrica por parte de la micro turbina hidráulica Micro Regen es suficiente para abastecer al sector de oficinas ya que es de **27,12 Kwh**.

#### 4.1 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

Según la universidad Nacional de Buenos Aires en Argentina, facultad de ingeniería en construcción y estructuras para saber la factibilidad de un proyecto se deben hacer las siguientes preguntas:

- ¿Para qué hacerlo?
- ¿Porque hacerlo?
- ¿Dónde?
- ¿Cuándo?
- ¿Cómo?
- ¿Cuánto cuesta?
- Objetivo
- Conviene. ¿Es rentable?
- Tecnologías.
- Costos y financiamientos.

Para ello se responderán las preguntas generadas con anterioridad:

- ¿Para qué hacerlo?  
Para generar energía eléctrica alternativa para TOPESA S.A
- ¿Porque hacerlo?  
Porque en la actualidad se está buscando distintas formas de generar energía y que mejor que aprovechando las aguas residuales de un proceso en la fábrica.
- ¿Dónde?  
En la fábrica.
- ¿Cuándo?

En este caso el cuándo no se puede establecer ya que el tema del proyecto es titulación cae son en el ámbito de diseño.

- ¿Cómo?

Implementado una micro turbina hidráulica de marca Micro regen en la tubería de 4 pulgadas en el proceso de galvanizado y pavonado de tornillos y pernos en la fábrica.

- ¿Cuánto cuesta?

El precio de este proyecto esta evaluado en 20000 dólares americanos.

- Objetivo

Los objetivos son:

- Identificar las necesidades de la pequeña industria basadas en el consumo energético y generación de energía eléctrica.
- Estudiar la disponibilidad de aguas cercanas a la industria y analizar los procesos dentro de esta, para identificar si es posible reutilizar esta agua en la generación de energía eléctrica.
- Estudiar las diferentes tecnologías de micro turbinas hidráulicas.
- Encontrar la mejor opción disponible para micro turbina hidráulica que se acople a las necesidades y recursos de la industria (de acuerdo a cada caso).
- Diseñar el sistema de generación de energía eléctrica generada por la micro turbina hidráulica dentro de la empresa.

- Conviene. ¿Es rentable?

Sí, es conveniente ya que es una tecnología nueva y muy amigable con el medio ambiente.

No, no es rentable a corto plazo

- Tecnologías.

Si, con tecnología de última generación.

- Costos y financiamientos.

El costo es de \$ 13779,21y el financiamiento no está definido ya que esto dependerá exclusivamente de la empresa TOPESA S.A.

Ahora se realizará un estudio de factibilidad técnico económico para así saber el dimensionamiento real de los costos relacionado con los diferentes beneficios y la viabilidad del proyecto:

## 4.2 ESTUDIO DE MERCADO.

Para la realización de un estudio de mercado iniciare explicando los costos que implican en este proyecto:

**Tabla 7.** Costo de la implantación de la micro turbina hidráulica Micro Regen

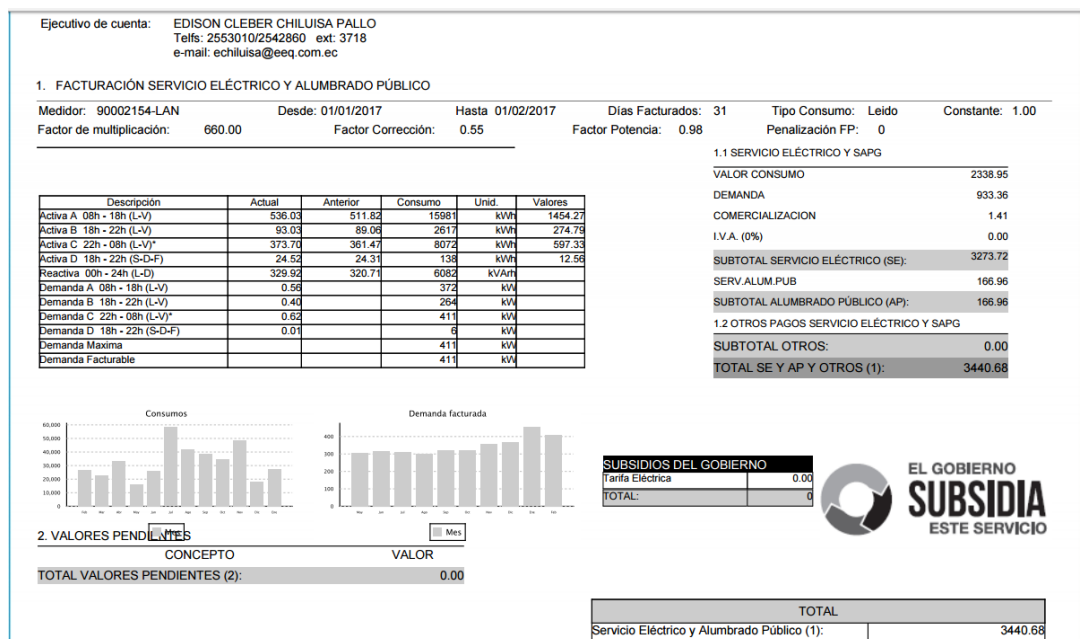
Elemento	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Micro turbina hidráulica	1	\$10934,03	\$10934,03
Válvulas tipo compuerta	3	\$155,32	\$ 465,96
Válvulas tipo Y	1	\$856,50	\$ 856,50
Bridas deslizantes	8	\$52,09	\$ 416,72
Mano de obra	1	\$500,00	\$ 500,00
Contadora registro de potencia	1	\$200,00	\$ 200,00
			<b>\$ 13373,21</b>

Cabe mencionar que el costo de las tuberías son asumidas por la empresa ya que poseen mucho material sobrante de otros trabajos.

Si se analiza la oferta existente en el mercado es muy poco ya que son muy pocas las empresas que proporcionan información de este nuevo estilo de generación de energía eléctrica basándose en turbinas hidráulicas.

Al no existir mucha oferta la demanda es escasa en estos tipos de productos ya que al ser una tecnología nueva son pocos los fabricantes que se animan a la construcción de dicho elemento ya que todo está en pruebas.

## 4.3 FACTIBILIDAD DEL PROYECTO



**Figura 59.** Consumo mensual de TOPESA en KW



NOTIFICACIÓN DE PAGO POR LA TASA DE RECOLECCIÓN DE BASURA DEL MUNICIPIO DEL CANTÓN QUITO		
RUC:	1768155310001	Suministro: 90000767-1
Nombre:	TORNILLOS, PERNOS Y TUERCAS	Cédula / R.U. 1790006840001
Dirección servicio: E4 AV. TURUBAMBA S61-130 PB ETERNIT(BRR.CORAZON) TURUBAMBA BAJO		
Fecha de Emisión: 03/02/2017		
	CONCEPTO	VALOR
	TASA RECOLECCION BAS	377.46
<b>TOTAL TASA DE RECOLECCIÓN DE BASURA (5):</b>		<b>377.46</b>

CONSEJO NACIONAL ELECTORAL

RESUMEN DE VALORES A PAGAR	
Total Sector Eléctrico (A) :	3440.68
Total tributo cuerpo de bomberos (4)	22.5
Total tasa de recolección de basura (5)	377.46
Total otros rubros terceros (6)	0
<b>TOTAL A PAGAR (USD):</b>	<b>3840.64</b>

**Figura 60.** Pago total mensual de consumo de energía eléctrica de TOPESA

**Tabla 8.** Consumo total de Kw y valor a pagar por el consumo

	Consumo total de KW	Valor a pagar por consumo
	1454.27	
	274.79	
	597.33	
	12.56	
<b>Total</b>	<b>2338.95</b>	<b>\$ 3,840.64</b>

Conocido el consumo y el pago que realiza la fábrica al mes de la energía eléctrica que se ha consumido se realiza un promedio de las diferentes tasas que se pagan según las diferentes horas del día; el valor será de 10 centavos de dólar.

La micro turbina hidráulica estará en la capacidad de generar 27,12 Kwh y de esta manera generará un ahorro a la empresa.

Este dinero que resulta como ganancia no se lo reflejara en dinero físico pero se puede evidenciar que la Micro turbina Micro Regen abastece de energía eléctrica sin ningún problema al sector de recepción de TOPESA S.A.

Como se puede evidenciar en este trabajo de titulación el proyecto no es factible ya que según datos del CONELEC un proyecto de esta escala se

debe tener una ganancia neta en 5 años; entonces, al generar tan poca energía para la fábrica el proyecto no es viable ya que el costo hoy en día de la micro turbina es muy elevado y este tipo de energías alternativas serán rentables cuando estas tecnologías sean más fáciles de fabricar y utilizando materiales más baratos para abaratar costos.

## **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## CONCLUSIONES

- Se logró identificar las necesidades de la fábrica basadas en el consumo energético y se llegó a la conclusión que el sector de oficinas sería un gran candidato para ser abastecido de energía eléctrica con el nuevo sistema de generación de energía eléctrica con una micro turbina hidráulica Micro Regen, se escogió ese lugar ya que es una de las zonas que tiene un consumo de energía eléctrica moderado y tranquilamente se podrá abastecer de energía ya que cuando existen apagones se abastece esa zona pero no en su totalidad ya que tienen que disminuir el encendido de algunas computadoras y no encender algunos focos.
- Se estudió los diferentes procesos que usa la empresa y se tomó como caso de estudio al proceso de pavonado y galvanizado que usa el agua para el enfriamiento de tinas de aceite después de esto se realizó un estudio de aguas en el que se tuvo como resultado que el agua es poco dura y de esta manera el agua no posee minerales que puedan dañar los alabes de la micro turbina hidráulica.
- Es importante mencionar que al ser una sistema de generación de energía eléctrica alternativo y nuevo la disponibilidad de algunos elementos aun es difícil de hacerlo a demás que es costoso y esto también influye significativamente en el precio ya que si se pudiera disminuir el precio de la micro turbina el proyecto podría ser factible; el costo de la micro turbina representa el 81,76% de costo total del proyecto.
- Se pudo evidenciar que el proyecto no es factible, para el sector de oficinas ya que trabaja apenas 8 horas diarias es decir el factor de planta que se tiene ahí es de 0,3 este valor es muy bajo; pero si la energía que se generara se la podría acoplar a otro sistema que necesite poca energía eléctrica se podrá hacer de este sistema un proyecto que genere más ahorro para la fábrica.
- Se diseñó los diferentes sistemas mecánicos, eléctricos y se validó los resultados; en el sistema mecánico se diseñó todo lo referente a la selección según sea la necesidad de las válvulas, bridas, bomba centrífuga la cual ya formaba parte del proceso de pavonado y galvanizado dentro de la fábrica de esta manera se llegó a diseñar un sistema el cual puede funcionar sin o con micro turbina ya que esta necesitara de un mantenimiento y este proceso no debe para nunca. Para el sistema eléctrico se vio que la caída de tensión no es un

impedimento para la instalación así que la posición de la micro turbina hidráulica con relación a los tableros de control no existe ningún problema.

- Para la validación de resultados se usó un complemento de un software CAD que se llama SOLID FLOW el cual nos ayudó para evidenciar la velocidad angular de la micro turbina hidráulica, la presión que existe dentro del sistema y además que el torque que posee la micro turbina hidráulica.
- Se evidencio que los datos obtenidos a través de tablas arrojadas como resultados del proceso de la simulación son muy similares a los calculados matemáticamente en este proyecto, entonces se pudo de esta manera validar los resultados.

## RECOMEDACIONES

- Es importante conocer la disponibilidad y calidad de agua para de esta manera saber si causara algún daño al funcionamiento de la micro turbina hidráulica ya que si existiera muchas impurezas en las aguas estas causaran mucho daño al funcionamiento y desgaste en las aspas de la micro turbina, esto ocasionaría un mantenimiento continuo y generara más gasto.
- Se debe tomar en cuenta el estudio de las diferentes tecnologías de micro turbinas hidráulicas ya que se necesita que se acople a los diferentes voltejes y corrientes de la fábrica y al tener un sistema trifásico se debe buscar micro turbinas que se acoplen a este sistema.
- En la parte de diseño, al ser un sistema de generación alternativo este deberá ser desmontable con facilidad para de esta manera pueda el proceso seguir trabajando sin ningún problema, es decir, el sector de oficinas debe funcionar de dos formas con la red pública y con el sistema de generación de energía eléctrica que usa una micro turbina Micro Regen.
- Si se desea realizar una futura instalación se deben analizar muchos aspectos como el diámetro de los pernos que se sujetara las bridas, el catalogo está ahí entonces es importante usar los datos de este proyecto de titulación para tener datos seguros no exactos pero que al momento de una instalación están muy cercanos a la realidad.

## BIBLIOGRAFIA

- Albarran, J. (2010). Nota para ingenieros de proyectos. IES
- Association, E. S. H. (1998). Como llevar a buen fin un proyecto de mini central hidroelectrica. THOMPSON PARANINFO
- Belendez, A. (1992). Dinamica de fluidos y fluidos reales. Acustica, fluidos y termodinamica (pp. 42–43). Politecnica de Alicante, Universidad de Alicante.
- Canut, A., Guerra, F., Guzman, B., & Struck, A. Numero de Reynolds (2008). Universidad Iberoamerica de la ciudad de Mexico.
- José Roldan Vilorio – Neumática, hidráulica y electricidad aplicada – THOMPSON PARANINFO
- Cardozo, C. (2011). Centrales hidroelectricas. Componentes basicos de un proyecto hidroelectrico. In Centrales hidroelectricas (p. 104). OLADE
- Carta, J., Calero, R., Colmenar, A., & Castro, M. (2009). Centrales de energias renovables. generacion electrica con energias renovables. Pearson.
- Criollo, X., & Quezada, C. (2011). Diseno de una mini central de energia hidroelectrica en la planta de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Cuenca. Universidad Politecnica Salesiana de Cuenca.
- Richard W. Greene – Válvulas, selección, uso y mantenimiento – McGraw-Hill
- De Monroy, C. (2008). Hidraulica. IES
- Kroon, J. R., M. A. Stoner, and W. A. Hunt. 1984. "Water Hammer: Causes and Effects." Journal of the American Water Works Association. 76: 39–45
- Lahlou, M. (2009). Golpe de ariete. Tecnologia En Breve, 1.4. National Environment Services Center.
- Latincasa. (2012). Seleccin del calibre de un conductor electrico. Seleccin Del Calibre de Un Conductor Electrico, 7. Latincasa.
- Macias de la Rica, J. M. (2012). Ensayo de micro turbinas hidraulicas para la generacion de energia electrica en zonas

desabastecidas.Universidad Carlos III de Madrid.

- Crane - Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías – McGraw-Hill.
- I.E.Idelchick – Handbook of hydraulic resistance – CRC Press.
- Madrid, A. (2009). Energías Renovables. National Environment Services Center.
- Martín, I., Salcedo, R., & Font, R. (2011). Flujo interno de fluidos incompresibles y compresibles. In Mecánica de fluidos (pp. 15–16). Universidad de Alicante.
- Merle, C. P. (2010). Mecánica de fluidos.Pearson
- Ortiz, J. C. (2014). Metodología aplicada al desarrollo de máquinas mecatrónicas (pp. 5–10).National Instrument.
- Ortiz, R. (2001). Pequeñas centrales hidroeléctricas. McGraw Hill.
- Renedo, C. (2011). Turbinas hidráulicas.Universidad de Cantabria.
- Robles, A., & Fernández, D. (2012). Centrales de generación de energía eléctrica.Universidad de Cantabria.
- Soria, E. (2010). Hidráulica. Energía Renovable Para Todos, 20.Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid.
- GRAINGER Jhon J – William d. Stevenson (2006). McGraw Hill.
- Suárez Barbuzano, J. C. (2006). El tubo de Venturi. El Tubo de Venturi, 2–3.Centro Canario del Agua.
- Technology, G. W. (2011). 3656/3756 S Group.
- Vallejo, & Zambrano. (2008). Física Vectorial 2. McGraw Hill.
- Vera, C., Camilloni, I., & Komblitt, A. (2010). El ciclo del agua. Buenos Aires.Las ciencias en el mundo contemporáneo.
- Villalba, H. (2008). Energía hidráulica.IES.



## 6- ANEXOS

**Anexo 1.**  
**Manual de la bomba centrífuga**

**TECHNICAL BROCHURE**  
B363756S



# 3656/3756 S-Group

CAST IRON, BRONZE FITTED CENTRIFUGAL PUMPS

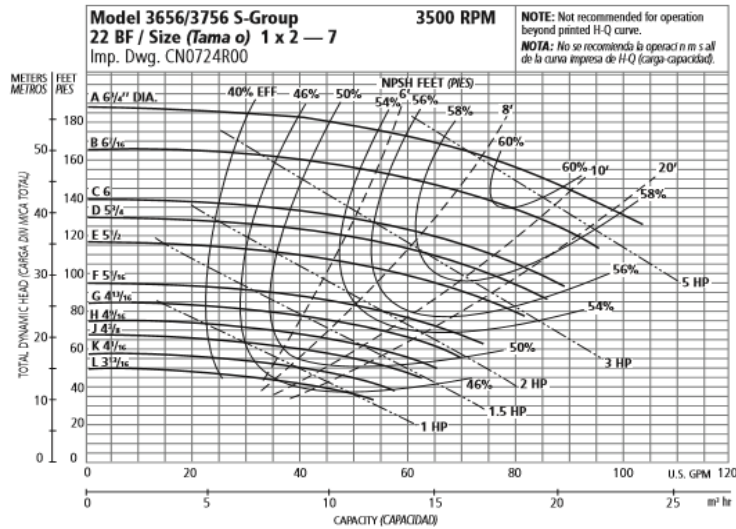
# Goolds Water Technology

## Commercial Water

### PERFORMANCE CURVES – 60 HZ, 3500 RPM CURVAS DE DESEMPEÑO – 60 HZ, 3500 RPM

These curves show the performance of the 3656 and 3756 at 3500 RPM and 1750 RPM, 60 Hz, and at 2900 RPM and 1450 RPM, 50 Hz. Standard impeller trims are shown.

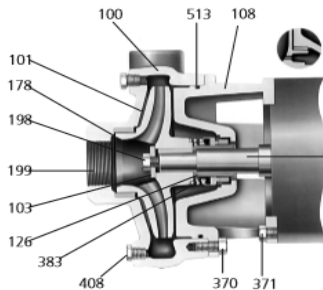
Estas curvas ilustran el desempeño de los modelos 3656 y 3756 operando a 3500 RPM y 1750 RPM en 60 Hz, y a 2900 RPM y 1450 RPM en 50 Hz. Se muestran los diámetros de impulsor estándar.



# Goolds Water Technology

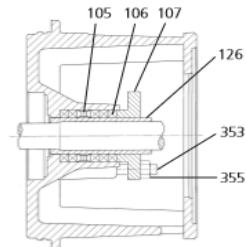
## Commercial Water

### 3656 S-GROUP MATERIALS OF CONSTRUCTION MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN - GRUPO S, MODELO 3756



Back wearing ring on S-Group (2 1/2 x 3 - 7) only  
Anillo de desgaste posterior en el Grupo S (2 1/2 x 3 - 7) únicamente.

AISI 1045 steel motor shaft extension (typical)  
Extensión del eje del motor de acero AISI 1045 (típico)



Packed Box Arrangement  
Caja prensaestopas

Item No. No. ítem	Description Descripción	Materials, Materiales		
		All Iron Todo hierro	Bronze Fitted Accesorios de bronce	All Bronze Todo bronce
100	Casing, Carcasa	1001	1001	1101
101	Impeller, Impulsor		1101	
103	Casing wear ring, Anillo de desgaste de la carcasa		1618	1618
108	Adapter, Adaptador		1001	1001
184	Seal housing, Cubierta del sello ①	One piece with adapter, Una pieza con adaptador 1101		
126	Shaft sleeve, Camisa del eje	AISI Type 300 series stainless steel Acero inoxidable serie AISI tipo 300		
198	Impeller bolt, Perno del impulsor			
199	Impeller washer, Arandela del impulsor			
178	Impeller key, Chaveta del impulsor	Carbon Steel, Acero al carbono		
370	Hex head cap screw (adapter to case), Tornillo de cabeza hexagonal (del adaptador a la cubierta)	Steel SAE 1200 Grade 5 Acero SAE 1200 grado 5		
371	Hex head cap screw (adapter to motor), Tornillo de cabeza hexagonal (del adaptador al motor)			
383	Mechanical seal, Sello mecánico	See seal chart, Ver tabla del sello		
408	Pipe plug 1/4" or 3/8", Tapón de tubos de 1/4" o 3/8" de pulgada	Steel, Acero	Bronze, Bronce	
513	O-ring, Anillo en O	BUNA-N, BUNA-N		
<b>Material Code, Código de material</b>		<b>Engineering Standard, Norma de Ingeniería</b>		
1101		Cast iron ASTM A48 CL20, Hierro fundido ASTM A48 CL20		

① For separate seal housing and adapter construction, all bronze material only, see repair parts page.

Para la construcción separada del compartimiento del sello y el adaptador, materiales de bronce únicamente, consulte la página de piezas de repuesto.

**NOTE:**  
Pumps will be shipped with top-vertical discharge position as standard. For other orientations, remove casing bolts — rotate discharge to desired position — replace and tighten bolts to 25 ft./lbs. Note that discharge may extend below motor mounting surface in bottom-horizontal position; adequate clearance must be provided.

**NOTA:**  
Las bombas salen de la fábrica con la descarga orientada en posición vertical superior de manera estándar. Para modificar la orientación, retirar los pernos de la carcasa, hacer girar la descarga hasta la posición deseada.

## SPECIFICATIONS

### Capacities to:

550 GPM (125 m<sup>3</sup>/hr) at 3500 RPM  
350 GPM (79 m<sup>3</sup>/hr) at 1750 RPM

### Heads to:

280 feet TDH (85 m) at 3500 RPM  
67 feet TDH (20 m) at 1750 RPM

### Working pressure to:

175 PSIG (12 bars)

### Suction pressure to:

100 PSIG (7 bars)

### Maximum temperature to:

212°F (100°C) with standard seal or 250°F (121°C) with optional seal.

### Motor:

NEMA standard JM frame or JP frame for 3656 or T-frame for 3756. Open drip-proof, totally enclosed fan cooled and explosion proof enclosures available. Single phase (115/208 – 230 V), ½ to 3 HP (208 – 230 V) 5 HP and (230V only) on 7½, 10 HP. Three phase (208 – 230/460 V) standard note that 20 and 25 HP are (230/460 V).

### Direction of Rotation:

Clockwise viewed from motor end.

## ESPECIFICACIONES

### Capacidad hasta:

550 GPM (125 m<sup>3</sup>/hr) a 3500 RPM  
350 GPM (79 m<sup>3</sup>/hr) a 1750 RPM

### Cargas hasta:

280 pies (85 m) carga dinámica total a 3500 RPM  
67 pies (20 m) carga dinámica total a 1750 RPM

### Presión de operación hasta:

175 PSIG (12 bars)

### Presión de succión hasta:

100 PSIG (7 bars)

### Temperatura máxima:

212 °F (100 °C) con sello estándar o 250 °F (121 °C) con sello optativo.

### Motor:

Bastidor NEMA JM estándar en el modelo 3656 y bastidor NEMA T estándar en el modelo 3756. Las cubiertas disponibles son: abierta a prueba de filtración, totalmente encerrada con enfriamiento por ventilador y a prueba de explosiones. Monofásico (115/208 – 230 V), ½ a 3 HP; (208 – 230 V) 5 HP y (230 V solamente) 7½ a 10 HP. Trifásico (208 – 230/460 V) estándar. Los motores de 20 a 25 HP son de 230/460 V.

## TYPICAL APPLICATIONS

- Booster service
- Spraying systems
- Irrigation
- Water circulation
- Liquid transfer
- General purpose pumping

## APLICACIONES TÍPICAS

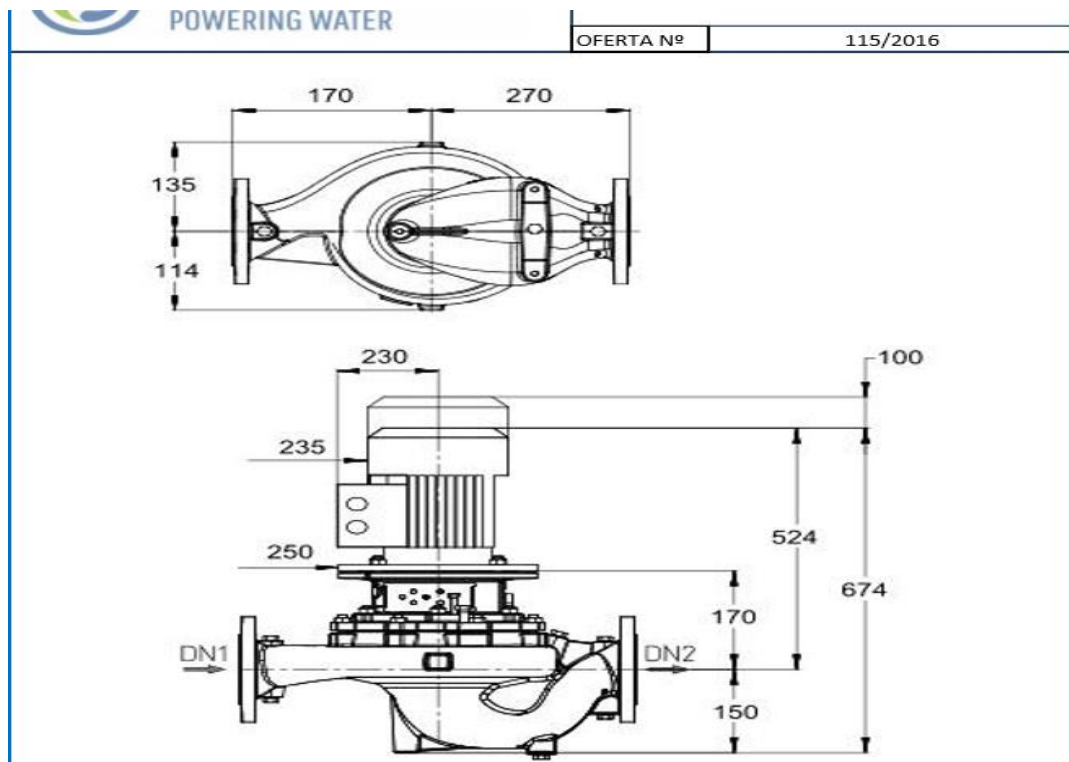
- Servicio de refuerzo
- Sistemas de rociado
- Sistemas de riego
- Circulación de agua
- Transferencia de líquidos
- Aplicaciones de bombeo en general

## Anexo 2.

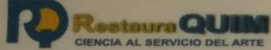
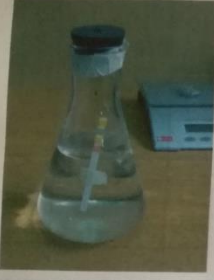
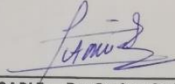
### Manual de la micro turbina hidráulica tipo Regen

PRODUCTO	MicroRegen	HydroRegen
<b>MATERIALES DE LA TURBINA</b>		
Cuerpo principal	Fundición	
Tapa del cuerpo principal	Fundición	
Rodete	Fundición (opcional bronce o acero inoxidable)	
Eje	Acero templado (opcional acero inoxidable)	
Juntas	DPAF, libre de asbestos	
<b>DATOS TÉCNICOS DE LA TURBINA</b>		
Salto de presión [metros]	15 a 110	15 a 130
Caudal [litros/segundo]	10 a 90	60 a 560
Diámetros de entrada/salida [mm]	50 a 150	65 a 350
Presión máxima	PN16 (PN40 bajo pedido)	PN16, PN25 (depende del modelo)
Rango de velocidad [rpm]	1500 a 3000	1000 a 3000
Diseño constructivo	Eje vertical; entrada y salida alineadas	
<b>GENERADOR</b>		
Tipo	3 fases, síncrono PM, IEC TEFC	3 fases, asíncrono de jaula de ardilla, IEC TEFC
Voltaje de salida [Vac]	100 a 400	400 a 690
Aislamiento eléctrico	Clase F (155)	
Eficiencia	IE4	IE2 o IE3 (según modelo)
IP	IP55	
<b>DATOS GLOBALES (SALIDA A RED)</b>		
Rango y tensión de la red [Vac] <sup>(1)</sup>	180 a 264 (1 fase) 320 a 480 (3 fases)	342 a 528 (3 fases) o 450 a 759 (3 fases) dependiendo de la potencia
Frecuencia de la red [Hz] <sup>(3)</sup>	50±3 o 60±3	47 a 63
Potencia de salida [kW]	2 a 25	25 a 315 <sup>(2)</sup>
Eficiencia global [%]	60 a 75	70 a 80
IP Cuadro de control	IP65	IP54
<b>PROTECCIONES</b>		
Protecciones estándar	Sobretensión, sobrecorriente, cortocircuito y embalamiento. Anti-isla, huecos de tensión, tiempo seguro de reconexión,	

<b>AMBIENTE</b>		
Temperatura de trabajo / Temperatura de refrigeración	-20 a +60°C (máximo recomendado 45°C)	-10 a 55°C (máximo recomendado 40°C)
Humedad	10 a 90% sin condensación	10 a 80% sin condensación
Altitud [m]	2000 sin perder prestaciones	1000 sin perder prestaciones



## Anexo 3. Análisis de aguas.

 <p style="font-size: small; text-align: center;"> <b>RestauraQUIM</b>              CIENCIA AL SERVICIO DEL ARTE              Ramón Roca E3-41 y Av. 9 de Octubre              Teléfono: 593 2 2546514              E-mail: rqltda@andino.net         </p>		EMPRESA: Topesa  SOLICITA: Sr. Gabriel Clavijo	
FECHA:	05/06/2016	MUESTRA	agua
ANALISIS No.	RQ 0204	SE DESEA INVESTIGAR	Dureza total
TECNOLOGIA:	Complexometría	<b>RESULTADOS</b>	
	ANALISIS QUIMICO DE DUREZA TOTAL	Dureza total reportada como Carbonato de calcio:	
		100 mg / L como CaCO <sub>3</sub>	
		Clasificación de tipo de agua:	
		agua poco dura	
<b>OBSERVACIONES:</b> muestra de agua cristalina sin sólidos en suspensión , con pH neutro (7,0)		 RESPONSABLE: Dr. Carlos Ordóñez, M.Sc ASESOR QUIMICO EXTERNO	