



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

### CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

#### TESÍS DE GRADO

#### PROYECTO DE TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTROMECAÁNICA.

#### TEMA:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PICO-CENTRAL  
HIDROELÉCTRICA APROVECHANDO EL MOVIMIENTO DEL AGUA  
PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA  
HACIENDA ECOLÓGICA BAÑOS DE LA PARROQUIA ALAQUEZ –  
PROVINCIA DE COTOPAXI”**

#### AUTORES:

- *WILLIAM GEOVANNY LLANGO GUAMUSHIG*
- *EDISON CALIXTO GALLEGOS LALANGUI*

#### DIRECTOR:

- *ING. EFRÉN BARBOSA*

#### ASESOR METODOLÓGICO

- *MSC. EDWIN VACA*

LATACUNGA-ECUADOR

Julio, 2012

## **AUTORIA**

Los criterios emitidos en el presente trabajo de investigación “Diseño e implementación de una pico-central hidroeléctrica aprovechando el movimiento del agua para la generación de energía eléctrica en la Hacienda Ecológica Baños de la parroquia Alaquez – Provincia de Cotopaxi”, son de exclusiva responsabilidad de los autores.

.....  
William Geovanny Llango  
CI: 050268211-5

.....  
Edison Gallegos Lalangui.  
CI: 220006042-0

## **AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS**

Yo, Ing. Efrén Barbosa en calidad de Director de Tesis y cumpliendo con expuesto en el capítulo **IV, Art. 9**, literal f: del reglamento de graduación en el nivel de pregrado de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

**INFORMO QUE:** el grupo de postulantes conformado por los Srs. Llango Guamushig William Geovanny y Gallegos Lalangui Edison Calixto, egresados de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; han desarrollado su trabajo de investigación previo a la obtención del Título de Ingenieros en Electromecánica con el tema:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PICO-CENTRAL HIDROELÉCTRICA APROVECHANDO EL MOVIMIENTO DEL AGUA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA HACIENDA ECOLÓGICA BAÑOS DE LA PARROQUIA ALAQUEZ – PROVINCIA DE COTOPAXI.”**

En virtud de lo antes expuesto considero que los egresados se encuentran habilitados para presentarse al acto de la defensa de tesis.

Latacunga, Julio, 2012

-----  
Ing. Efrén Barbosa  
Director de Tesis.

## **CERTIFICADO DEL PROPIETARIO DE LA HACIENDA BAÑOS**

Arq. Hugo Pichucho y Fila, propietarios de la Hacienda Ecológica Baños.

CERTIFICA que los señores Llango Guamushig William Geovanny, portador de la cédula de ciudadanía N° 0502068211-5 y Gallegos Lalangui Edison Calixto, portador de la cédula N° 220006042-0, realizaron el **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PICO-CENTRAL HIDROELÉCTRICA APROVECHANDO EL MOVIMIENTO DEL AGUA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA HACIENDA ECOLÓGICA BAÑOS DE LA PARROQUIA ALAQUEZ – PROVINCIA DE COTOPAXI”**

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando a los interesados hacer uso del presente en la forma que estimen conveniente a sus intereses, siempre y cuando se use en forma legal.

Emito esta certificación al mes de Julio del dos mil doce.

.....  
Arq. Hugo Pichucho y Fila.

**PROPIETARIOS DE LA HACIENDA BAÑOS.**

## **AGRADECIMIENTO**

En especial a mi familia quienes con su apoyo y consideración me ayudaron a lograr la culminación de uno de mis propósitos en la vida.

A mi segunda escuela la Universidad Técnica de Cotopaxi por los conocimientos adquiridos y a todas aquellas personas que me apoyaron en la realización de la presente trabajo investigativo, en especial al Ing. Efrén Barbosa nuestro Director de Tesis, a la Familia Pichucho.

Finalmente un agradecimiento sincero a todos mis compañeros y compañeras quienes durante todo este tiempo de estudios supieron demostrar su compañerismo y lealtad en el transcurso de nuestra carrera.

***William Geovanny Llango Guamushig***

En especial agradecimiento a Dios por regalarme la vida, a mis padres que me apoyaron con amor, constancia y comprensión en mi carrera, ya que ellos son el pilar fundamental para lograr mis objetivos.

También deseo manifestar mi profundo agradecimiento de gratitud a la familia Pichucho, Ing. Efrén Barbosa, Dr. Edwin Vaca y a mi compañero de este presente proyecto quienes supieron brindar todas las orientaciones necesarias para el desarrollo eficiente de esta investigación.

***Edison Calixto Gallegos Lalangui.***

## **DEDICATORIA**

Lo dedico a Ti Dios que me diste la oportunidad de vivir y regalarme una familia maravillosa.

Con mucho cariño principalmente a mis Padres Luis y María que han estado conmigo en todo momento apoyándome, quienes a través de su esfuerzo y trabajo me dieron la oportunidad de tener una carrera para mi futuro y supieron inculcar en mí el deseo de superación, brindándome todo su amor, gracias por todo, gracias por creer en mí.

***William Geovanny Llango Guamushig***

Con todo mi amor, admiración y respeto dedico el presente trabajo a mi familia, especialmente a mis Padres, Sandra, Julián, Carmen que me han enseñado a enfrentar a las adversidades sin perder la dignidad, ni desfallecer en el intento. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño. Quienes han sabido apoyarme y motivarme positivamente para que pueda alcanzar y culminar una etapa de mi vida.

Dedico este trabajo también a mi hermanito Cristhian ya que él ha sido la inspiración y motivación para superarme.

***Edison Calixto Gallegos Lalangui.***

## *Resumen*

La energía eléctrica es uno de los servicios básicos para el desarrollo humano, sin embargo, en zonas rurales de difícil acceso los habitantes no cuentan con este beneficio. El acceso a través de la red nacional de distribución de energía eléctrica, se hace cada vez más costoso y complejo por la lejanía de las poblaciones.

Las fuentes de energía reutilizables como la solar, la eólica y la hidráulica, en una escala adecuada para el lugar establecido, son opciones que han demostrado ser apropiadas para las condiciones de los pueblos rurales.

Este proyecto de tesis propone el diseño e implementación de una Pico-Central hidroeléctrica en la Hacienda Ecológica “Baños” con el fin de suministrar de energía eléctrica al lugar.

Para el proyecto se ha recogido información específica del sector, como características geográficas, alturas y caudales disponibles del pequeño arroyo existente en el lugar, también se realizó un análisis del requerimiento de la demanda de energía eléctrica en la Hacienda. Con estos parámetros se procedió a realizar los respectivos cálculos para el sistema de generación hidroeléctrico.

Se ha investigado la teoría relacionada con pico centrales hidroeléctricas, incluyendo información de obras civiles, como la captación del agua, tanque de presión, tubería de presión, etc. y sistemas electromecánico, como turbinas, generadores, etc.

Este proyecto es la parte inicial de una serie de ideas tecnológicas para la generación de energía por medio de fuentes alternativas, posteriormente se ha seleccionado y dimensionado, los principales componentes de la Pico-central hidroeléctrica.

## *Abstract*

The electric power is one of the basic services for the human development; nevertheless, in rural zones of difficult access the people do not possess this benefit. The access across the national electrical line of distribution of electric power, becomes increasingly costly and complex by the distance of the populations.

The reusable sources of energy as the solar, the wind one and the hydraulics, in a scale adapted for the established place, are options that they have demonstrated to be adapted for the conditions of the rural cities.

This project of thesis proposes the design and implementation of one hydroelectric power station in the Ecological Estate Baños in order of to supply electric power to the place.

For the project has been chosen the specific information of the sector, as geographical characteristics, high altitude and variable flows of the river small in being the place, also was done an analysis of the requirement of the demand of electric power in the Estate. With these parameters proceeded to realize the respective calculations for the hydroelectric generation system.

The research about the theory of hydroelectric power stations was done, including information of civil works, as the capture of water, tank of pressure, pipeline of pressure, etc. And electromechanical systems, as turbines, generators, etc.

This project is the initial part of a series of technological ideas for the generation of energy by means of alternative sources, later it has selected and sized the principal components of the Pico-central.

## Certificación

Yo Lic. Pablo S. Cevallos portador de la cedula de ciudadanía050259237-1, en calidad de Docente del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi Certifico Que. La traducción del resumen de la Tesis cuyo Tema es: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PICO-CENTRAL HIDROELÉCTRICA APROVECHANDO EL MOVIMIENTO DEL AGUA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA HACIENDA ECOLÓGICA BAÑOS DE LA PARROQUIA ALAQUEZ – PROVINCIA DE COTOPAXI”**, cuyos autores son: Edison Calixto Gallegos Lalangui y William Geovanny Llango Guamushig, se ajusta a la realidad del Idioma Ingles y al contenido que se quiere dar.

Latacunga, Julio, 2012

Teacher

-----  
**Lic. Pablo S. Cevallos**  
**Docente de Ingles**

## **Presentación del proyecto**

El estudio plantea como una solución para el problema energético de las zonas aisladas: la implementación de pico-centrales hidroeléctricas, lo cual no solo ayudará con el problema del déficit energético, sino que además favorecería a la preservación del medio ambiente al ser una fuente muy poco contaminante.

El presente proyecto de tesis ha sido dividido en tres capítulos donde se desarrollan los siguientes temas:

En el capítulo I. Se presenta la introducción, y la investigación sobre la teoría de centrales hidroeléctricas, obras civiles y equipos electromecánicos, dentro del equipo electromecánico se presenta la clasificación de las turbinas hidráulicas; así como los pasos a seguir para determinar las dimensiones de referencia de la turbina. También se presenta el sistema de transmisión de potencia mecánica y las características del generador.

En el capítulo II. Se resumen los métodos para la medición de las precipitaciones, del caudal disponible, de la altura neta, para diseñar las obras civiles, recursos fundamentales para generar potencia y energía hidroeléctrica.

En el capítulo III. Se abordan los cálculos relacionados con la fabricación de una turbina pelton, se presenta el modo en el cual se acoplará la turbina al generador para dar forma al sistema de generación y además al sistema de distribución de energía hasta el consumidor.

Se muestra conclusiones y recomendaciones acerca de este trabajo.

## INDICE DE CONTENIDOS

	PAG.
Portada.	i
Autoría.	ii
Aval del director de tesis.	iii
Certificado del propietario de la Hacienda Baños.	iv
Agradecimiento.	v
Dedicatoria.	vi
Resumen.	vii
Abstrat.	viii
Certificación de traducción.	ix
Presentación del proyecto.	x
Índice.	xi
Índice de Figuras.	xix
Índice de Tablas.	xxii
Glosario de Términos.	xxiv
Lista de Símbolos.	xxvi

## CAPÍTULO I

### 1. FUNDAMENTO TEÓRICO.

INTRODUCCIÓN.	1
<b>1.1. Generación de energía eléctrica.</b>	1
1.1.1. Energía hidráulica.	2
1.1.2. Origen de la energía hidráulica.	2
1.1.3. Desarrollo de la energía hidráulica.	3
<b>1.2. Centrales eléctricas.</b>	3
1.2.1. Centrales hidroeléctricas.	3
1.2.2. Clasificación de las centrales hidroeléctricas.	4
<b>1.3. Importancia de las pequeñas centrales hidroeléctricas.</b>	5
1.3.1. Capacidad de generación de las pequeñas plantas hidroeléctricas.	6

<b>1.4. Pico-centrales hidroeléctricas.</b>	6
1.4.1. Ventajas del sistema Pico-central hidroeléctrico.	7
1.4.2. Potencia del Sistema Pico-centrales hidroeléctricos.	7
1.4.3. Eficiencia del Sistema Pico-centrales hidroeléctricos.	8
1.4.4. Componentes de un sistema Pico-Central Hidroeléctrico.	9
<b>1.5. Descripción de obras civiles.</b>	9
1.5.1. Bocatoma.	10
1.5.2. Aliviaderos.	12
1.5.3. Desarenador.	13
1.5.4. Tanque de Presión.	15
1.5.5. Canales.	15
1.5.5.1. Consideraciones para selección de canal.	15
1.5.5.2. Descripción de la sección transversal e inclinación de sus paredes.	16
1.5.5.3. Velocidad del flujo de agua a través del canal “V”.	17
1.5.5.4. Rugosidad “n” del material que recubre al canal.	17
1.5.5.5. Criterios de diseño.	17
1.5.6. Tubería de presión.	18
1.5.6.1. Materiales.	18
1.5.6.2. Métodos de unión.	19
1.5.6.3. Válvulas.	20
1.5.6.4. Soportes y Anclajes.	20
1.5.7. Casa de Máquinas.	21
1.5.8. Ubicación de la casa de máquinas.	21
<b>1.6. Equipo electromecánico.</b>	22
1.6.1. Turbinas Hidráulicas.	22
1.6.2. Clasificación de las turbinas Hidráulicas.	22
1.6.3. <b>Turbina Pelton.</b>	23
1.6.3.1. Características de la turbina Pelton.	24
1.6.3.2. Ventajas y Desventajas de la Turbina Pelton.	25
1.6.3.3. Diseño de la turbina Pelton.	25
1.6.4. Rotor.	27

1.6.5. Inyector.	28
1.6.6. Carcasa.	29
1.6.7. Sistema de Regulación.	29
<b>1.7. Sistema de transmisión de potencia mecánica.</b>	<b>29</b>
1.7.1. Transmisión por bandas.	30
1.7.2. Eje principal del rodete.	32
1.7.3. Rodamientos y chumaceras.	32
<b>1.8. Generadores.</b>	<b>33</b>
1.8.1. Generador de Corriente Alterna CA.	34
<b>a) Generador Síncrono.</b>	<b>34</b>
<b>b) Partes del Generador Síncrono.</b>	<b>34</b>
<b>c) Generador Asíncrono.</b>	<b>35</b>
1.8.2. Generadores de corriente continua.	36
1.8.3. Partes Básicas del generador de C.C	36
<b>1.9. Equipo eléctrico y Línea de transmisión.</b>	<b>37</b>
1.9.1. Elementos de control y de protección del sistema de generación.	37
1.9.1.1. Tablero de control.	37
1.9.1.2. Instrumentos de medición.	38
<b>a) Amperímetro.</b>	<b>38</b>
<b>b) Voltímetro.</b>	<b>38</b>
<b>c) Vatímetro.</b>	<b>38</b>
1.9.1.3. Sistema de protección.	39
<b>a) Interruptor Termo magnético.</b>	<b>39</b>
<b>b) Puesta a tierra.</b>	<b>39</b>
1.9.2. Línea de transmisión Eléctrica.	40
1.9.3. Conductor eléctrico (cables).	41
<b>a) Cables de alta tensión.</b>	<b>41</b>
<b>b) Cables de baja Tensión.</b>	<b>42</b>
<b>c) Conductores para instalaciones interiores.</b>	<b>43</b>

# CAPÍTULO II

## INVESTIGACION DE CAMPO

### 2. CARACTERIZACIÓN GENERAL.

<b>2.1. Estudio geográfico del sector.</b>	45
2.1.1. Localización del proyecto.	45
2.1.2. Características del proyecto.	46
<b>2.2. Análisis del requerimiento energético.</b>	46
<b>2.3. Datos técnicos.</b>	48
2.3.1. Caudal Disponible.	48
2.3.2. Método del caudal con flotador (Área y Velocidad).	48
2.3.3. Altura bruta ( $H_B$ ).	53
2.3.4. Método de la estación topográfica.	54
2.3.5. Altura neta. ( $H_n$ )	57
2.3.5.1. Determinación del diámetro interior de la tubería de presión.	57
2.3.5.2. Selección de la Tubería de Presión.	58
2.3.5.3. Longitud de la tubería de Presión.	59
2.3.5.4. Válvula de seguridad (Compuerta).	60
2.3.5.5. Cálculo de las pérdidas de Fricción en la Tubería de Presión.	60
<b>a) Diagrama de Moody.</b>	61
<b>b) Determinación del número de Reynolds. (<math>N_R</math>).</b>	62
<b>c) Determinación de la Rugosidad Relativa. (<math>S</math>).</b>	63
2.3.6. Determinación de las pérdidas secundarias.	64
<b>2.4. Determinación de la potencia a ser generada.</b>	66
2.4.1. Determinación de la potencia Hidráulica neta.	66
2.4.2. Potencia Eléctrica Generada.	67
<b>2.5. Parámetros de selección del equipo hidráulico y eléctrico, apropiados para el sistema PCH.</b>	67
2.5.1. Criterios de Selección del equipo hidráulico.	68
2.5.1.1. Altura del Salto.	68

2.5.1.2.	Selección de turbina en el Diagrama de Salto vs. Caudal.	69
2.5.1.3.	Velocidad específica.	69
2.5.2.	Equipo Eléctrico.	70
2.5.2.1.	Generador.	70
	<b>a) Generador Sincrónico.</b>	70
	• <b>Ventajas.</b>	71
	• <b>Desventajas.</b>	71
	• <b>Mantenimiento.</b>	71
	<b>b) Generador de Inducción o Asíncronos.</b>	71
	• <b>Ventajas.</b>	72
	• <b>Desventajas.</b>	72
	• <b>Mantenimiento.</b>	72
	<b>c) Generador de Corriente Continua.</b>	73
	• <b>Ventajas.</b>	73
	• <b>Desventajas.</b>	73
	• <b>Mantenimiento.</b>	73
	<b>d) Selección Práctica del Generador.</b>	74
2.5.2.2.	Sistema de control.	75
2.5.2.3.	Protecciones.	75
<b>2.6.</b>	<b>Metodología aplicada.</b>	76
<b>2.7.</b>	<b>Análisis e interpretación de resultados.</b>	77
2.7.1.	Análisis e interpretación de la entrevista.	77
2.7.2.	Conclusión de la entrevista aplicada.	79
2.7.3.	Análisis e interpretación de la encuesta.	79
2.7.4.	Conclusiones de la encuesta aplicada.	87

## **CAPÍTULO III**

### **3. APLICACIÓN Y VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA.**

<b>3.1.</b>	<b>Justificación.</b>	89
<b>3.2.</b>	<b>Objetivos.</b>	90

3.2.1. Objetivo General.	90
3.2.2. Objetivos Específicos.	90
<b>3.3. Formulación del problema.</b>	91
<b>3.4. Desarrollo de la propuesta.</b>	91
3.4.1. Obras Civiles.	91
3.4.1.1. Bocatoma.	91
3.4.1.2. Sistema de conducción.	92
3.4.1.3. Diseño del tanque de presión.	92
3.4.1.4. Desarenador y cámara de carga.	93
3.4.1.5. Casa de máquinas.	96
<b>3.5. Selección y diseño mecánico de la turbina.</b>	98
3.5.1. Número característicos de revoluciones $N_Q$ y $N_s$ .	98
3.5.2. Diseño de los parámetros de la Turbina Hidráulica.	99
3.5.2.1. Velocidad Óptima del Chorro. ( $C_1$ ).	99
3.5.2.2. Diámetro Pelton de la Turbina Hidráulica.	101
3.5.2.3. Sección Transversal del Chorro.	102
3.5.3. Determinación del número exacto de las Cucharas de la turbina.	103
3.5.4. Dimensionamiento de las cucharas o Alabes.	103
3.5.5. Dimensionamiento del Inyector. Función del diámetro del chorro.	106
3.5.5.1. Regulación de la turbina Pelton.	106
3.5.5.2. Tobera y Aguja.	108
<b>3.6. Diseño mecánico de la turbina.</b>	109
3.6.1. Diseño a fatiga de los Alabes.	110
3.6.2. Área transversal.	110
3.6.3. Momento de Inercia.	112
3.6.4. Cálculo del esfuerzo cortante.	113
3.6.5. Cálculo del esfuerzo Flector.	115
3.6.6. Límite de fatiga.	120
<b>3.7. Coeficiente de seguridad.</b>	122
<b>3.8. Diseño mecánico del eje.</b>	122
<b>3.9. Diseño de chaveteras.</b>	132
<b>3.10. Selección de chumaceras y rodamientos.</b>	134

<b>3.11. Diseño del sistema de transmisión.</b>	137
3.11.1. Potencia de Diseño o Potencia Corregida PC.	138
3.11.2. Relación de transmisión.	139
3.11.3. Selección de la banda.	140
3.11.4. Elección de los diámetros primitivos $d_2$ y $D_1$ de las poleas.	140
3.11.5. Distancia entre ejes.	141
3.11.6. Longitud primitiva de la banda.	141
3.11.7. Determinación de números de banda.	142
3.11.8. Velocidad de la banda.	143
3.11.9. Potencia nominal en Kw por banda.	143
<b>3.12. Diseño de la carcasa.</b>	144
3.12.1. Especificación de los materiales utilizados en la construcción.	145
<b>3.13. Determinación del tipo del generador en función a la altura, caudal y potencia demanda.</b>	146
3.13.1. Ventajas.	147
3.13.2. Desventajas.	148
<b>3.14. Elección del sistema de regulación de frecuencia y voltaje.</b>	148
3.14.1. Equipos de seccionamiento control y protección del sistema.	149
a) Panel de control o tablero.	149
b) Elementos de medición.	149
c) Protección contra sobrecarga.	150
d) Puesta a tierra.	150
<b>3.15. Línea de transmisión eléctrica.</b>	150
<b>3.16. Manual de operación y mantenimiento.</b>	153
3.16.1. Acciones de mantenimiento en bocatomas.	154
3.16.2. Acciones de mantenimiento en desarenadores.	154
3.16.3. Acciones de mantenimiento en la cámara de carga.	154
3.16.4. Acciones de mantenimiento en tuberías.	155
3.16.5. Acciones de mantenimiento en válvulas.	155
3.16.6. Acciones de mantenimiento en la turbina hidráulica.	156
3.16.7. Acciones de mantenimiento acoplamientos, rodamientos y fajas.	156
3.16.8. Acciones de mantenimiento del generador, equipamiento	

electromecánico y línea de transmisión.	157
3.16.9. Programa de mantenimiento preventivo.	157
<b>3.17. Proceso de ensamblaje y montaje de la Pico Central Hidroeléctrica.</b>	160
<b>3.18. Construcción del sistema.</b>	160
<b>3.19. Referencia de los equipos utilizados.</b>	163
<b>3.20. Detalles de planos de la pico central hidráulica.</b>	165
<b>3.21. Descripción de la pico central hidroeléctrica.</b>	165
3.21.1. Componentes externos.	165
3.21.2. Componentes internos.	165
<b>3.22. Ubicación de los equipos de la Pico central hidráulica.</b>	166
3.22.1. Cimentación y anclaje.	166
3.22.2. Nivelación.	168
3.22.3. Acoplamiento de la turbina, tubería de presión y válvula de protección del sistema.	168
3.22.4. Instalación de rodete y accesorios.	170
3.22.5. Templado de bandas.	171
<b>3.23. Pruebas antes de la puesta en marcha.</b>	171
<b>3.24. Verificación del proyecto implementado.</b>	173
<b>3.25. Análisis de resultados.</b>	176
<b>3.26. Justificación de la inversión.</b>	177
3.26.1. Estudio técnico de factibilidad.	179
3.26.1.1. Recuperación del proyecto.	181
<b>Conclusiones.</b>	183
<b>Recomendaciones.</b>	184
<b>Referencias bibliográficas.</b>	186
<b>Anexos.</b>	190

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Componentes de un sistema pico-central hidroeléctrica.	9
Figura 1.2 Desarenador y Dimensionamiento.	14
Figura 1.3 Tanque de Presión con Desarenador.	15
Figura 1.4 Esquema de un canal rectangular y trapezoidal.	16
Figura 1.5 Fotografía de equipo electromecánico con turbina Pelton.	24
Figura 1.6 Triángulos de velocidades de la cuchara Pelton.	26
Figura 1.7 Dimensiones principales de la cuchara Pelton.	27
Figura 1.8 Fotografía del rodete de turbina Pelton.	28
Figura 1.9 Esquema de un inyector.	28
Figura 1.10 Carcasa de la turbina Pelton.	29
Figura 1.11 Sistema de transmisión.	30
Figura 1.12 Esquema de transformación de energía en un generador eléctrico.	33
Figura 1.13 Generador eléctrico Síncrono.	34
Figura 1.14 Cables de aluminio desnudoaluminio “1350-h19 reforzados”	42
Figura 1.15 Cable de cobre.	42
Figura 1.16 Cables de Baja Tensión.	43
Figura 1.17 Conductores para instalaciones de interiores.	43
Figura 2.1 Área transversal de la vertiente.	49
Figura 2.2 Curva de caudales.	53
Figura 2.3 Medida de la altura bruta usando la estación topográfica.	54
Figura 2.4 Gráfica de la Altura Bruta y Pendiente.	56
Figura 2.5 Coeficientes de pérdida de energía en la entrada de tuberías.	64
Figura 2.6 Coeficiente de pérdidas en la rejilla.	65
Figura 2.7 Obtención de energía eléctrica.	80
Figura 2.8 Fuentes de energías ecológicas.	81
Figura 2.9 Conoce el sistema pico central.	82
Figura 2.10 Existen sectores que no estén provistos de energía eléctrica, cuales son:	83
Figura 2.11 Las empresas eléctricas satisfacen con su servicio a los sectores rurales.	84

Figura 2.12 Las PCH permitirá solucionar problemas de déficit de energía eléctrica.	85
Figura 2.13 Beneficio al reutilizar el agua después de generar electricidad.	86
Figura 3.1 Ubicación de boca toma.	92
Figura 3.2 Dimensionamiento del tanque de presión para la Hacienda Baños.	93
Figura 3.3 Desarenador y cámara de carga.	94
Figura 3.4 Tanque de presión.	96
Figura 3.5 Casa de máquinas.	97
Figura 3.6 Área de casa de máquinas para una pequeña central hidroeléctrica.	97
Figura 3.7 Entrada del chorro del agua y los ángulos que se forman a la salida de la cuchara.	101
Figura 3.8 Polígono de velocidades.	101
Figura 3.9 Partes de una cuchara Pelton.	104
Figura 3.10 Forma y dimensiones de los álabes de la turbina Pelton.	104
Figura 3.11 Inyector de turbina Pelton.	107
Figura 3.12 Carga floculante sobre la cuchara Pelton.	111
Figura 3.13 Área transversal, dimensiones en <i>mm</i> .	111
Figura 3.14 Área transversal para determinar el eje neutro.	112
Figura 3.15 Representación de la curva del esfuerzo fluctuante de corte que se produce en la cuchara Pelton.	114
Figura 3.16 Representación de la curva del esfuerzo fluctuante de flexión que se produce en la cuchara Pelton.	116
Figura 3.17 Sensibilidad a la muesca.	118
Figura 3.18 Factor de concentración de esfuerzos $kt = 2$ .	119
Figura 3.19 Disco central de turbina.	124
Figura 3.20 Diagrama de momentos en el eje de la turbina Pelton.	127
Figura 3.21 Diagrama cortante y momento flector producido en el eje.	128
Figura 3.22 Chavetero.	132
Figura 3.23 Chaveta din-6885-a 110 x80x80.	134
Figura 3.24 Chumacera <i>syk 40 tr</i> .	136

Figura 3.25 Diámetros de poleas.	141
Figura 3.26 Diseño 3d de carcasa.	146
Figura 3.27 Cucharin Pelton modelo.	160
Figura 3.28 Cucharin Pelton molde de madera.	160
Figura 3.29 Molde de cucharin.	161
Figura 3.30 Perforación de cucharines.	161
Figura 3.31 Construcción de carcasa.	162
Figura 3.32 Acoplamiento de rodete y chumaceras.	162
Figura 3.33 Instalación de inyectores.	163
Figura 3.34 Acoplamiento del generador y el sistema de transmisión.	163
Figura 3.35 Base de asentamiento del equipo mecánico.	167
Figura 3.36 Comprobación de balanceo de rueda.	167
Figura 3.37 Sujeción de equipo y comprobación de nivelado de base de asentamiento.	168
Figura 3.38 Conjunto inyector y sistema de regulación.	169
Figura 3.39 Fijación de la tubería de presión.	169
Figura 3.40 Fijación de rodete y accesorios.	170
Figura 3.41 Templado y alineación de bandas.	171
Figura 3.42 Curva caudal vs rpm turbina.	173
Figura 3.43 Curva apertura de válvula vs presión del sistema.	174
Figura 3.44 Curva caudal vs voltaje medido.	174
Figura 3.45 Curva caudal vs potencia.	174
Figura 3.46 Curva voltaje medido vs potencia con caudal variable.	175
Figura 3.47 Curva voltaje medido vs potencia con caudal fijo.	175
Figura 3.48 Consumo $Kw$ vs. <i>costo Kw-hora</i> .	180

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Velocidades limites por el cual se arrastra diversos materiales.	14
Tabla 1.2 Valores de pendientes.	17
Tabla 1.3 Velocidades angulares síncronas del rotor del generador en función de la frecuencia estandarizada.	35
Tabla 2.1 Determinación de la demanda energética de la Hacienda Ecológica Baños.	47
Tabla 2.2 Tiempos medidos.	50
Tabla 2.3 Factor de corrección.	51
Tabla 2.4 Hidrología de caudales obtenidos.	52
Tabla 2.5 Medidas obtenidas mediante la estación topográfica.	55
Tabla 2.6 Datos obtenidos para diseño de PCH.	57
Tabla 2.7 Comparaciones de las tuberías de presión.	58
Tabla 2.8 Características de tuberías PVC, de diámetro 160 mm.	59
Tabla 2.9 Resumen general de longitud de tubería de presión y presión de descarga.	60
Tabla 2.10 Propiedades del agua.	62
Tabla 2.11 Rango de alturas de salto de las Turbinas.	68
Tabla 2.12 Características de las velocidades específica de las Turbinas.	69
Tabla 2.13 Características de las Turbinas.	70
Tabla 2.14 Obtención de energía eléctrica.	80
Tabla 2.15 Fuentes de energías ecológicas.	81
Tabla 2.16 Conoce el sistema pico central.	82
Tabla 2.17 Existen sectores que no estén provistos de energía eléctrica.	83
Tabla 2.18 Sector vulnerable.	83
Tabla 2.19 Las empresas eléctricas satisfacen con su servicio a los sectores rurales.	84
Tabla 2.20 Las PCH permitirá solucionar problemas de déficit de energía eléctrica.	85
Tabla 2.21 Beneficio al reutilizar el agua después de generar electricidad.	86
Tabla 3.1 Proporciones de las cucharas Pelton en función del diámetro del chorro.	104

Tabla 3.2 Datos calculados para los álabes de la turbina Pelton.	106
Tabla 3.3 Proporciones de la tobera en función del diámetro del chorro.	108
Tabla 3.4 Datos calculados para la tobera.	109
Tabla 3.5 Valores de A y B.	120
Tabla 3.6 Valores de $F_S$ , según las condiciones de trabajo y carga.	138
Tabla 3.7 Equipo de consumo de energía.	148
Tabla 3.8 Programa de mantenimiento preventivo de la periodicidad de la pico central.	158
Tabla 3.9 Materiales utilizados en el equipo electromecánico.	164
Tabla 3.10 Valores del comportamiento de la turbina Pelton.	173
Tabla 3.11 Costo de construcción de la pico central.	178
Tabla 3.12 Valores promedio facturados para terceros 2011.	179

## GLOSARIO DE TERMINOS

**Aliviadero.-** vertederos de agua sobrantes.

**Arcilla.-** Es una roca sedimentaria clástica poco consolidada, constituida por una mayoría de partículas de tamaño inferior a 4 mm.

**Canal.-** Cauce artificial de agua, son conductos abiertos por donde circula el agua de un lugar a otro.

**Caudal.-** Cantidad de agua que circula por un conducto abierto o cerrado.

**Corriente eléctrica.-** Es el flujo de la energía eléctrica o de la electricidad se llama corriente, cuya unidad de medida son los amperios (A). Para generar una corriente eléctrica a través de un cable es necesario tener una “diferencia de tensión” entre sus dos extremos (diferencia de potencial).

**Energía.-** La energía es parte de todos los ciclos de la vida y es un elemento esencial para prácticamente todas las actividades. La energía es un concepto que se relaciona con varios procesos (como quemar combustibles o propulsar máquinas), así como con las observaciones de dichos procesos. La energía se define científicamente como la capacidad de hacer trabajo.

**Energía cinética.-** Es la de un objeto en movimiento como por ejemplo, el agua de un río. La velocidad y masa del objeto determinan, en gran parte, la cantidad de su energía cinética. Cuanto más rápido fluye el agua, más energía estará disponible.

**Energía Eléctrica.-** Es la más conocida como electricidad; es el flujo de los electrones en un material conductor, como un cable eléctrico.

**Energía Potencial.-** Es la posición de un objeto con respecto relativo de la tierra. Esta forma está almacenada y se convierte en energía cinética cuando el objeto desciende. Por ejemplo, el agua en un embalse tiene el potencial de disminuir y, cuanto más alta la presa, más energía potencial contiene el agua.

**Fuentes No-renovables.-** Están disponibles en cantidades limitadas y se agotan por su uso como los combustibles fósiles (carbón mineral, petróleo, gas natural). Estas tienen la característica de que, una vez utilizadas para la generación de energía, no se pueden volver a usar.

**Fuentes Renovables.-** No se agotan por su uso, como la energía del viento y del sol. El agua y la biomasa también se incluyen en esta categoría, aunque son renovables bajo la condición de que la fuente se maneje en forma apropiada, por ejemplo, las cuencas hidrológicas y plantaciones de árboles.

**Generador eléctrico.-** Es todo dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrico entre dos de sus puntos. Es la que recibe la energía mecánica de la Turbina hidráulica y la transforma en energía eléctrica, para luego entregársela al Tablero de Control de Medición y Regulador Automático de Velocidad.

**Hélice.-** La hélice es un dispositivo formado por un conjunto de elementos denominados palas o álabes, montados de forma concéntrica alrededor de un eje, girando alrededor de éste en un mismo plano.

**Potencia.-** Se define como la capacidad de suplir una cierta cantidad de energía durante un período de tiempo definido.

**Transformación de energía.-** La energía significa transformar una forma de ella en otra. Por ejemplo, aprovechando la fuerza del viento se convierte la energía cinética en mecánica, la cual, luego se puede convertir en eléctrica. Para obtener iluminación, se convierte la eléctrica en electromagnética o radiación.

**Tubería.-** Conducto formado de tubos por donde se lleva el agua, gases combustibles, etc.

**Tubo.-** Pieza hueca, de forma por lo común cilíndrica y gralte. Abiertos por ambos extremos son utilizados para transportar fluidos.

**Turbinas hidráulicas.-** Es el componente principal de una central hidroeléctrica, donde se transforma la energía contenida en el agua, en energía mecánica.

## LISTA DE SÍMBOLOS

<i>a</i>	: Área.
<i>A</i>	: Amperios.
<i>B</i>	: Base.
<i>cv</i>	: Caballos vapor.
<i>Q</i>	: Caudal.
<i>cm</i>	: Centímetros.
<i>ft</i>	: Pies.
°	: Grados
<i>g</i>	: Gravedad.
<i>H</i>	: Altura.
<i>H<sub>n</sub></i>	: Altura neta.
<i>H<sub>B</sub></i>	: Altura bruta.
<i>Kg</i>	: Kilogramos
<i>Kw</i>	: Kilowatios.
<i>L</i>	: Longitud.
<i>l</i>	: Litros.
<i>l/s</i>	: Litros sobre segundos.
<i>m</i>	: Masa molar.
<i>m</i>	: Metro.
<i>m/s</i>	: Metros sobre segundos.
<i>m<sup>2</sup></i>	: Metro cuadrado.

$m^3$	: Metro cubico.
$mm$	: Milímetros.
MCH	: Micro central hidroeléctrico.
P	: Potencia.
Plg	: Pulgadas.
PCH	: Pico central hidroeléctrico.
rpm	: Revoluciones por minuto
s	: Segundos.
V	: Voltios.
W	:Watts.

# CAPÍTULO I

## FUNDAMENTO TEORICO

### INTRODUCCIÓN.

Hace más de tres décadas se inició el desarrollo de tecnologías aplicables en el campo de las energías renovables, y una de las opciones que más atención ha recibido son las pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH), precisamente con la finalidad de abastecerles de energía eléctrica a las comunidades rurales, que se encuentran alejadas del sistema nacional interconectado. La energía hidráulica es una energía reutilizable, que sustituye a los combustibles de origen fósil; tiene un reducido impacto ambiental, ya que el agua utilizada como combustible no se consume y puede ser utilizada a su paso sin desmejorar su calidad. El recurso energético de una PCH se obtiene aprovechando la energía cinética que adquiere el caudal " $Q$ " al final de una caída " $H$ ", la cual hace girar una turbina hidráulica, posteriormente por intermedio de un sistema de transmisión de poleas y un generador transforman la energía mecánica en energía eléctrica.

#### 1.1. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Según GOMEZ (2002), manifiesta que "La generación de energía eléctrica se obtiene en las centrales hidráulicas o hidroeléctricas que utilizan como fuente de energía primaria el agua, que energéticamente se expresa en términos de caudal y velocidad. La energía hidráulica, gracias a la denominada

turbina hidráulica, se transforma en energía mecánica que se manifiesta por un par mecánico y una velocidad en un eje de acoplamiento en el generador eléctrico”.

En la actualidad, la generación de electricidad por medio de los aprovechamientos hidráulicos sigue siendo una excelente vía para el desarrollo de los países de Latinoamérica. En particular, brinda una solución muy viable, técnica y económica para resolver las necesidades de las comunidades aisladas de la red nacional, donde generalmente disponen de ríos y pequeñas quebradas con las características apropiadas para la instalación de pequeños o medianos equipos. Esto permite disponer de energía mecánica o eléctrica para atender las necesidades básicas de una agroindustria o una pequeña comunidad rural. Una de las grandes ventajas que presentan los aprovechamientos hidráulicos es que se pueden implementar soluciones de pequeña escala (micro plantas) con tecnología ya probada y de muy fácil acceso en los países de Latinoamérica.

#### **1.1.1. Energía hidráulica.**

Según ANDREW (1983), “Se refiere al aprovechamiento de la energía potencial que es igual al producto de (m. g. h.) que se transforma en energía cinética al dejarla caer libremente ( $1/2 m. V^2$ )”;

Aprovechando esta propiedad podemos transformar esta, en energía mecánica por rotación de un eje acoplado a una rueda hidráulica o turbina. La misma transmite una energía rotacional que hace girar al generador eléctrico por un sistema de transmisión de poleas, de esta manera transforma la energía mecánica en energía eléctrica, que puede ser aplicada a una gran variedad de equipos y usos productivos.

#### **1.1.2. Origen de la energía hidráulica.**

Según ITDG-PERU (1995) “La utilización de la energía hidráulica data de la época de los griegos, quienes empleaban la rueda hidráulica para bombear agua. Esta tuvo mucha importancia durante la Revolución Industrial; impulsó las industrias textiles, del cuero y los talleres de construcción, a principios del siglo

XIX. Aunque las máquinas de vapor ya estaban perfeccionadas, el carbón era escaso y la madera poco satisfactoria como combustible, por lo que la energía hidráulica ayudó al crecimiento de las nuevas ciudades industriales que se crearon en Europa y América.

### **1.1.3. Desarrollo de la energía hidráulica.**

Según ONI (2004) “El aprovechamiento de la energía potencial del agua para producir electricidad constituye, en esencia, la energía hidroeléctrica y es por tanto, un recurso reusable y autóctono. El conjunto de instalaciones e infraestructura para aprovechar este potencial se denomina central hidroeléctrica. En el año de 1881 se construyó en Inglaterra, la primera planta hidroeléctrica. La producción de energía hidroeléctrica a gran escala empezó en 1895, cuando se construyó una represa de 3,75 MW (mega watts o megavatios) en las cataratas del Niágara, Estados Unidos”.

En la actualidad, la generación de electricidad por medio de los aprovechamientos hidráulicos sigue siendo una excelente vía para el desarrollo de los países de América Central. En particular, brinda una solución muy viable técnica y económicamente para resolver las necesidades de las comunidades aisladas de la red nacional, donde generalmente disponen de ríos y pequeñas quebradas con las características apropiadas para la instalación de pequeños o medianos equipos.

## **1.2. CENTRALES ELÉCTRICAS.**

Las centrales eléctricas son aquellas instalaciones que dotan del recurso energético mediante la conversión de un movimiento mecánico que es generado por un caudal a un distinto nivel.

### **1.2.1. Centrales hidroeléctricas.**

Según ZOPPETTI (1982), Manifiesta que “Son instalaciones que generan energía eléctrica utilizando caídas de agua, sin costo de combustible. Su operación es simple, mantenimiento mínimo y vida útil prolongada”.

Según Manual OLADE Volumen I (1988), “Son aquellas que aprovechan la energía potencial del agua que se almacena en un embalse en desnivel, el agua desciende y en su trayectoria se transforma en energía cinética que es la que hace girar la turbina acoplada a un alternador quien produce la energía eléctrica”.

Pueden construirse en tamaños que permiten satisfacer demandas de energía eléctrica de grandes ciudades, así como también de pequeñas localidades e incluso de viviendas individuales que se encuentran en zonas rurales alejadas de las grandes redes eléctricas.

### **1.2.2. Clasificación de las centrales hidroeléctricas.**

Las centrales hidráulicas se clasifican conforme al caudal que se maneja para la capacidad de generación para lo cual algunos autores clasifican de la siguiente manera.

SANTO POTEES (1989), Manifiesta que “Las plantas hidráulicas se clasifican en general en:

- a) Plantas hidráulicas a caudal libre (llamadas también plantas fluyente o de filo del agua”).
- b) Plantas primaria a caudal libre.
- c) Plantas con regulación de agua.
- d) Plantas con embalse para regulación mensual-anual.
- e) Plantas de generación regulada con bombeo”.

Brevemente describimos, las características generales y usos de estos tipos de plantas de generación que son las siguientes.

**a).- Planta a caudal libre o de agua fluyente:** Son las plantas que utilizan en cada momento la cantidad de agua disponible del río, la cual puede o no cubrir la necesidad de demanda, según las características de la carga. No posee en consecuencia, ninguna clase de dispositivo de almacenamiento de agua, siendo la presa de derivación dispuesta únicamente para mantener un nivel fijo. En general son plantas de pequeña potencia, usadas para servicio limitado en relación con la energía disponible, por caudal y por salto en la fuente hidráulica; o plantas secundarias con respecto a plantas básicas de mayor potencia, a las cuales prestan

el servicio complementario de cubrir los picos de carga exigidos sobre la carga básica.

**b).- Plantas primarias a caudal libre:** Es una clase especial de la anterior de las cuales la potencia de generación es inferior o igual a la potencia de salto correspondiente al caudal mínimo del río, o solo superior durante periodos muy pequeños del año, durante los estiajes más prolongados.

**c).- Plantas con pequeñas regulación:** Es un pequeño embalse para acumulación de caudal horario no utilizado durante las horas de poca carga aumenta enormemente la utilización de la planta, permitiendo cubrir con ella una mayor porción de la demanda. Estas plantas son de uso muy frecuente en países muy montañosos no altamente industrializados, en donde el crecimiento de consumo eléctrico es lento y la producción de energía va casi siempre con marcha retardada con respecto al crecimiento actual del consumo industrial.

**d).- Plantas con embalse para regulación anual-mensual:** Una planta hidráulica regulada con un gran embalse puede realmente trabajar como una planta de servicio general, cubriendo la demanda básica y los picos de la misma; o bien, en los grandes sistemas eléctricos para uso industrial, sirve como planta para picos solamente.

**e).- Plantas reguladas por almacenamiento con bombeo:** Consiste en un sistema que almacene energía hidráulica potencial durante las horas o periodos de depresión de carga, mediante bombeo del agua sobrante al embalse elevado de regulación, para utilizarla luego en las turbinas durante los periodos de mayor demanda.

### **1.3. IMPORTANCIA DE LAS PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS.**

En la actualidad tienen importancia la explotación de pequeñas hidroeléctricas: Pico, Micro y Mini centrales, como alternativa para la generación de energía

eléctrica en zonas rurales donde no llega una red energética, además del beneficio económico a su gran valor social y ecológico. No se descarta incluso su conexión a sistemas mayores, cuando sea posible y favorable.

Para las aéreas rurales con pobladores alejados de las redes de distribución, constituyen el ámbito principal donde la hidro-generación de energía a pequeña escala encuentra su aplicación potencial, en tanto se cuente con recursos hídricos locales suficientes. Los requerimientos de electricidad son básicamente domésticos y en menor escala productiva, los usos domésticos atienden iluminación, comunicación, conservación de alimentos y calentamiento de agua. Las aplicaciones productivas están centradas al bombeo de agua para riego, accionamiento de motores y maquinarias en general.

### **1.3.1. Capacidad de generación de las pequeñas plantas hidroeléctricas.**

Según ITDG (2010), “Un criterio utilizado para agrupar pequeños proyectos hidroeléctricos es el de la potencia de generación”.

- Pico-Centrales Hidroeléctricas: hasta 5 Kw.
- Micro-Centrales Hidroeléctricas: de 5 a 100 Kw.
- Mini-Centrales Hidroeléctricas: de 100 a 1 000 Kw.
- Grandes Centrales Hidroeléctricas: Su potencia supera los 5000 Kw.

## **1.4. PICO-CENTRALES HIDROELÉCTRICOS.**

Según VIANI e ITDG (1995), manifiestan que “El sistema Pico-hidro refiere a instalaciones hidroeléctricas con niveles de generación eléctrica menores de 5 Kw. Sistemas hidroeléctricos de este tamaño gozan de ventajas en términos de costos y simplicidad, comparados con sistemas hidroeléctricos de mayores capacidades, debido a distintos procedimientos que se aplican en los pasos de diseño, planificación e instalación de los pico-sistemas. Recientes innovaciones en la tecnología pico hidro han hechos que se convierta en una tecnología energética económicamente viable aún en partes del mundo muy pobres e inaccesibles”.

Además es una fuente de potencia versátil. Puede generar electricidad C.A.(corriente alterna) permitiendo el funcionamiento de equipos eléctricos estándar, y la distribución de la electricidad a toda una localidad. Ejemplos comunes de los aparatos que funcionan en sistemas pico-hidros son: lámparas para iluminación, radios, televisores, refrigeradoras, y equipos de procesamiento de alimentos. Con algunos diseños pico hidro es posible también sacar fuerza mecánica directamente del eje de la turbina, permitiendo el funcionamiento de maquinarias tales como herramientas para talleres, molinos de granos, y otros equipos de procesamiento de los productos agrícolas locales.

#### **1.4.1. Ventajas del sistema Pico-central hidroeléctrico.**

Según el manual ITDG (1995), “Las ventajas de un sistema pico conforme a cada uno de los elementos de conforma el equipo se detallan a continuación”.

- ✓ Para Pico-Centrales se requieren caudales pequeños, por lo cual existen numerosas fuentes aprovechables de agua, muchas veces un manantial o un arroyo pequeño proveen suficiente agua para la instalación de una Pico-Central hidroeléctrico.
- ✓ La maquinaria de un Pico-Central es pequeña y compacta. Los componentes pueden ser fácilmente transportados a sitios remotos y de difícil acceso.
- ✓ Es posible la fabricación local de los equipos. Los principios de diseño y procesos de fabricación son fáciles de aprender.
- ✓ Este tipo de instalaciones cuidadosamente diseñadas tienen costos por kilovatio menores que el de las instalaciones fotovoltaicas, sistemas electrógenos o de viento, sistemas de generación diesel, aunque tengan un costo inicial menor, resultan más costosos sobre su vida útil debido al alto costo del combustible.

#### **1.4.2. Potencia del Sistema Pico-centrales hidroeléctricos.**

La potencia del Sistema Pico-centrales hidroeléctricos se mide en watts (w) o kilovatios (Kw). 1000 w equivalen a 1 Kw. Las instalaciones de potencia del

sistema Pico-Hidro producen potencias eléctricas máximas de 5 Kw. Cuando se habla de un proyecto hidroeléctrico es importante distinguir entre los tres tipos de potencia, visto que cada tipo de potencia tendrá un valor distinto. La potencia del agua (potencia hidráulica) siempre será mayor que la potencia mecánica y que la potencia eléctrica. Eso se debe al hecho que, al convertirse la potencia de una forma en otra, una parte de la potencia se pierde en cada etapa de la transformación. La mayor pérdida usualmente ocurre en la conversión de la potencia hidráulica en potencia mecánica, cuando el chorro de agua impacta en el rodete de la turbina. En una instalación bien diseñada y bien construida, aproximadamente un tercio (30%) de la potencia del chorro de agua se perderá en esta transformación. Las pérdidas pueden ser aún mucho mayores en instalaciones mal hechas. 20% a 30% adicionales se perderán en el generador en la transformación de la potencia mecánica en electricidad. Algo de potencia también se pierde en la Tubería forzada. El agua en contacto con las paredes internas de la tubería se lenta y pierde fuerza debido al roce de la fricción. Esta pérdida de potencia se expresa en metros de pérdida de desnivel. Su valor típicamente es de entre 20% a 30% del desnivel total. Antes de tomar en cuenta estas pérdidas en la tubería, a la caída o el desnivel se le refiere como el desnivel bruto, después de restar las pérdidas se le llama desnivel neto.

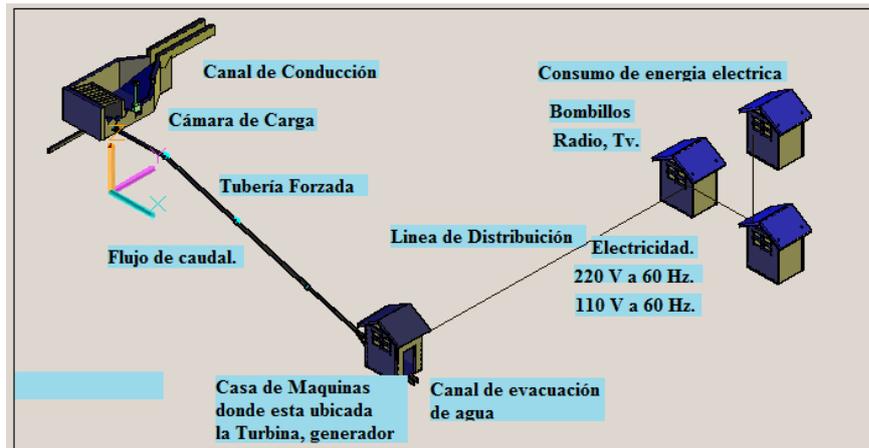
#### **1.4.3. Eficiencia del Sistema Pico-centrales hidroeléctricos.**

Según el manual ITDG (1995), La eficiencia del Sistema Pico-centrales hidroeléctricos es la palabra que se utiliza para expresar qué tan buena o mala es la conversión de la potencia de un tipo a otro. Una turbina que tiene una eficiencia del 70%, convertirá el 70% de la potencia hidráulica en potencia mecánica (los restantes 30% se pierden). La eficiencia del sistema resulta de la combinación de todos los procesos en conjunto. La eficiencia del sistema para la generación de electricidad utilizando tecnología pico hidro típicamente es de entre 40% a 50%.

#### 1.4.4. Componentes de un sistema Pico-Central Hidroeléctrico.

Un sistema pico hidroeléctrico aprovecha la potencia de una caída de agua. El siguiente esquema muestra los componentes de un sistema pico-hidro. Cada uno de los componentes se describe en mayor detalle a continuación.

**Figura 1.1** COMPONENTES DE UN SISTEMA PICO-CENTRAL HIDROELÉCTRICA.



**Fuente:** Un Manual Práctico para Instalaciones de hasta 5 Kw, en Terrenos de Pendientes Phillip Maher y Nigel Smith. Pág. 1-2.

**Elaborado por:** Postulantes.

#### 1.5. DESCRIPCIÓN DE OBRAS CIVILES.

Según manual de diseño de PCH OLADE (1985), “La obra civil de un sistema pico-central está formada por una serie de componentes principales a saber: bocatoma, aliviadero, desarenador, canal de conducción, cámara de carga, tubería de presión y casa de fuerza. Estos componentes deben cumplir eficientemente su función con respecto al agua y al medio ambiente”.

El diseño de los componentes de la obra civil debe permitir un funcionamiento eficaz a la hora de transportar el agua hasta la turbina. El transporte del agua, es fundamental ya que su función será de mantener y/o proporcionar al agua la presión suficiente y necesaria para hacer girar la turbina y de ese modo generar la energía deseada.

### 1.5.1. Bocatoma.

Según manual de diseño de PCH OLADE (1985), manifiesta que “La bocatoma es una de las partes más importantes de la obra civil, ya que en ella se concentran la mayor parte de componentes que harán posible la circulación del agua hacia la cámara de equilibrio, por medio del canal de derivación”.

Otra de sus funciones sería la de impedir la introducción de materiales sólidos y flotantes por medio de rejillas y desarenadores, como también procurar proteger el sistema de posibles inundaciones que pueda sufrir el río mediante un aliviadero. Para el diseño de una bocatoma hay que tener en cuenta muchos aspectos como son la ubicación, la pendiente del cauce, el caudal del río quebrada, el acarreo de los materiales erosionados y otros aspectos no menos destacados como pueden ser la geología del lugar o la importancia de la obra que se tendría que llevar a cabo. Haciendo referencia a la ubicación, la bocatoma debería situarse en tramos rectos y estables del río, nunca en las curvas, ya que ahí es donde se acumulan la mayor parte de sedimentos del río.

El conjunto boca toma está constituido por los siguientes elementos:

- **Barraje.-** Es una estructura de derivación que se coloca transversalmente al río, dicha estructura tiene la función de elevar el nivel del agua del río para así obtener el caudal necesario para el funcionamiento de la central.

Normalmente en centrales de poca potencia, donde el caudal requerido para su funcionamiento no es elevado y cuando en ríos donde su cota es superior a la cota inferior a la ventana de captación y permite el acceso al caudal de diseño a través de la misma, se colocan unas simples estructuras, como unos espigones, formados por rocas, troncos, etc., para conseguir desviar parte del caudal del río hacia la captación.

De no ser así, si el aprovechamiento es de mayor importancia se suelen colocar unos barrajes llamados azudes. Estos elevan la cota del río lo suficiente como para conseguir el caudal necesario dejando pasar por la cresta del azud el caudal

sobranante, teniendo en cuenta que deben ser capaces también de evacuar el caudal de posibles avenidas normalmente incorporando un aliviadero.

Para este tipo de proyecto donde no son caudales importantes, los azudes son contruidos con piedras apiladas de no más de un metro, dependiendo de la altura del río.

➤ **Descarga de fondo.-** Es una compuerta que se coloca al lado del barraje a un nivel inferior por el cual pasa a un conducto que facilitara la eliminación de los posibles materiales que se van acumulando en el fondo de este.

En algunos casos dicha compuerta forma parte del propio barraje (azud), esto conlleva la construcción de un pequeño puente por encima del azud para abrir compuertas.

➤ **Solera de captación.-** Situada unos 30 cm por encima de la antecámara y antes de la rejilla anterior a la compuerta de admisión, crea un pozo de sedimentos donde se depositan los materiales en suspensión.

➤ **Antecámara o zona de decantación.-** Su función es acumular todos los sedimentos posibles que puedan acarrear daños. Los mismos serán eliminados por medio de la compuerta de descarga de fondo colocada a una cota inferior a esta.

➤ **Reja de admisión.-** Antes de la compuerta de admisión se coloca una rejilla de acero inoxidable de no más de cinco centímetros de abertura para retener los materiales tales como piedras o ramas que se podrían introducir al canal. Si se prevé el paso de broza gruesa se puede añadir otra rejilla más fina. Normalmente las rejas necesitan de un mantenimiento, por lo que se aconseja que sean extraíbles.

➤ **Compuerta de admisión.-** Colocada después de la rejilla fina, esta se encarga de dar entrada del agua al canal de conducción y de retención de la misma en

el caso de que sea necesario hacer alguna reparación. Generalmente estas compuertas son de metal o madera y son accionadas manualmente.

- **Canal.-** Es el encargado de transportar el agua al desarenador y posteriormente a la cámara de equilibrio. Frecuentemente presenta una forma regular aunque se puede dar el caso de que sea irregular. Hay dos tipos de canales, canal abierto o por medio de una tubería. Normalmente para un sistema pico-central hidráulico, a no ser por las características del terreno, este canal es abierto.
- **Desripador.-** Se encuentra ubicado antes de la reja de captación a unos centímetros por debajo para atrapar los sedimentos pesados que ingresan por la bocatoma.
- **Contrasolera y colchón de agua.-** En la colocación del azud, se adquiere una elevación considerable del río. Dicha elevación, en el momento de la caída del agua por el azud erosionaría el lecho del río que a la vez afectaría a toda la estructura de la bocatoma. Para evitar esta situación, se le coloca una Contrasolera que no es más que el diseño de un resalto o colchón amortiguador, como su propio nombre indica, para amortiguar la caída del agua sobre el lecho del río, así evitando la erosión del mismo.

### 1.5.2. Aliviaderos.

El Manual de centrales Hidráulicas (2000), manifiesta que “El aliviadero es un regulador del caudal en el canal. Adicionalmente está combinado con compuertas de control que provee una manera de variar el caudal. Para un esquema de PCH, las compuertas pueden ser reemplazadas por una estructura de reja y troncos que retengan el caudal o por un cloque tipo puente”.

Toda central corre el riesgo de sufrir desperfectos a causa de caudales superiores de los de diseño. Por este motivo en ninguna central debe faltar un aliviadero

encargado de regular el nivel del agua y de ese modo proteger el sistema de los riesgos que puede sufrir.

### **1.5.3. Desarenador.**

El río lleva consigo ramas, piedras, y otros materiales sólidos, los cuales son retenidos en las rejas de admisión, pero no las partículas de arena ni los materiales de menor tamaño que la abertura de la rejilla, por ello es necesario la colocación de un desarenador para que la velocidad del agua que llega por el canal de conducción sea disminuida para facilitar, que dichos materiales que pueden ocasionar daños en los álabes de la turbina, sean asentadas en el fondo del desarenador donde podrán ser eliminadas oportunamente. Esto ocurre especialmente en tiempo de crecidas cuando entran a las conducciones grandes cantidades de sedimentos. Durante las crecientes, la cantidad de sólidos en los ríos de montaña puede llegar a ser del 4% al 6% en volumen del caudal, y del 0.2% al 1,0% en los ríos de llanura. Tanto el desarenador como la cámara de carga deben cumplir con cinco principios básicos: Según manual de diseño de PCH OLADE (1985), manifiesta que:

- 1) La longitud y el ancho de los mismos deben ser los adecuados para que los sedimentos se depositen sin ser demasiado voluminosos, Figura 1.2.
- 2) Deben permitir una fácil eliminación de los sedimentos.
- 3) Los sedimentos deben ser eliminados a través de las compuertas y a la vez se debe evitar la erosión del suelo construyendo una superficie empedrada similar a la del aliviadero.
- 4) Se debe impedir las turbulencias que a causa de los cambios de superficie podrían introducir sedimentos en la tubería de presión.
- 5) Deben tener capacidad suficiente para permitir la acumulación de sedimentos.

El propósito del desarenador es el de eliminar partículas de material sólido suspendidas en el agua. Para que estas se decanten se debe disminuir la velocidad de entrada mediante la variación de la pendiente anterior del canal.

La velocidad de la corriente en el desarenador no debe ser superior a 0.5m/s, dado que en velocidades superiores las partículas no se decantan.

Según Dubual las velocidades límites por debajo de las cuales el agua cesa de arrastrar diversos materiales son:

**Tabla 1.1** VELOCIDADES LIMITES POR EL CUAL SE ARRASTRA DIVERSOS MATERIALES.

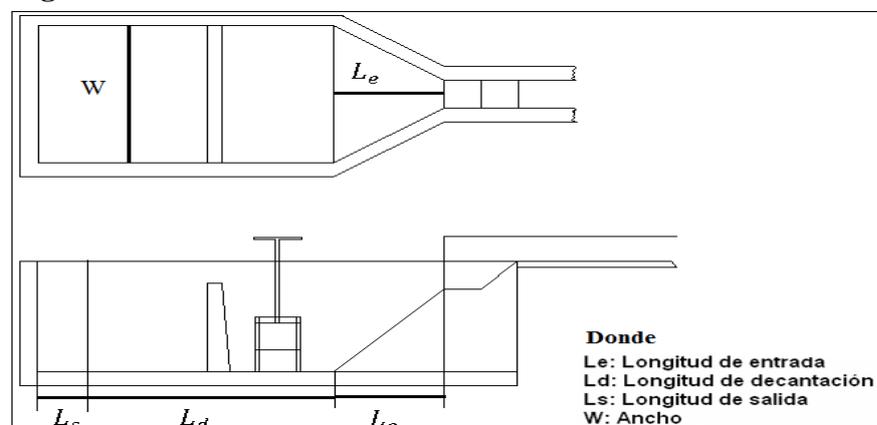
Material	Velocidad
Arcilla	0.081 m/s
Arena fina	0.16 m/s
Arena gruesa	0.216 m/s

**Fuente:** ITDG. Manual de mini y micro centrales hidroeléctricas. Una guía para el desarrollo de proyectos. Pág. 83.

**Elaborado por:** Postulantes.

Esta es la velocidad de sedimentación con la que caen las partículas al fondo del tanque, por influencia de la fuerza de gravedad. Según Arkhangalski, las velocidades de sedimentación para diferentes diámetros de partículas detallado en el **Anexo Tabla IV - 1**.

**Figura1.2** DESARENADOR Y SU DIMENSIONAMIENTO.



**Fuente:** OLADE. Manual de Evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de micro centrales hidroeléctricas. Pág. 77-79

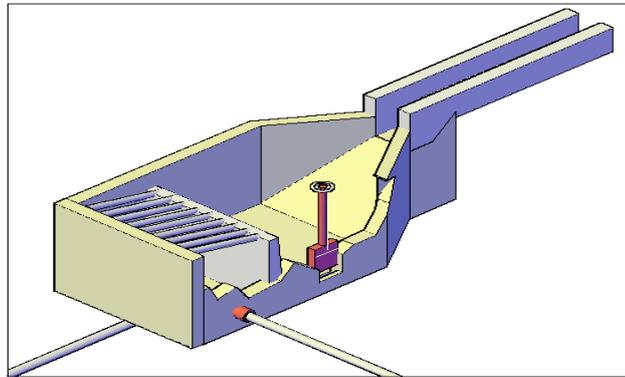
**Elaborado por:** Postulantes.

#### 1.5.4. Tanque de presión.

El diseño del tanque de presión sigue el mismo procedimiento para el desarenador en general, excepto que la parte de la salida es reemplazada por la rejilla y el área de entrada de la tubería de presión. La pared de división debe ser 20 cm más alta que la profundidad del colector.

Es importante cuidar que la entrada de la tubería de presión esté completamente sumergida a una distancia debajo del nivel del agua de al menos 3 veces el diámetro de la tubería.

**Figura1.3 TANQUE DE PRESIÓN CON DESARENADOR.**



**Fuente:** OLADE. Manual de Evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de micro centrales hidroeléctricas. Pág. 78

**Elaborado por:** Postulantes.

#### 1.5.5. Canales.

El canal es un componente importante de las obras civiles de una pico-central hidráulica, su principal función es conducir el agua desde la bocatoma hasta la cámara de carga o tanque de presión, pasando por los desarenadores y otros mecanismos que pueden construirse en el trayecto.

##### 1.5.5.1. Consideraciones para selección de canal.

Existen varios tipos de secciones para canales, los cuales pueden ser colocados para una instalación particular. Los varios tipos considerados son:

- ✓ Canal simple de tierra sin revestimiento.
- ✓ Canal con revestimiento de ladrillo o cemento.
- ✓ Canales de concreto.
- ✓ Canales hechos de planchas de acero galvanizado, madera, tuberías o medias tuberías.

Es importante escoger correctamente el tipo de canal para cada parte de la ruta. Existen tres factores básicos que se deben considerar para determinar el tipo de canal y su material, así como sus dimensiones y caída.

#### 1.5.5.2. Descripción de la sección transversal e inclinación de sus paredes.

La inclinación de las paredes del canal evita que éste colapse por el flujo del agua. Normalmente se escogen canales con secciones trapezoidales, a excepción de canales de madera, acero, cemento o mampostería donde su sección es rectangular por facilidad de construcción. La pendiente del canal está dada por la siguiente ecuación:

**Ecuación (1.1)**

$$N = \frac{T - B}{2H}$$

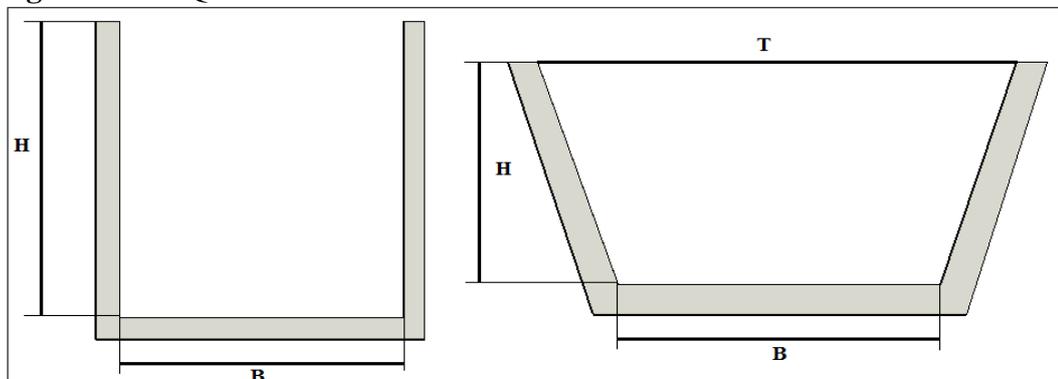
**Dónde:**

**T** = Ancho superior.

**B** = Ancho inferior.

**H** = Profundidad.

**Figura 1.4** ESQUEMA DE UN CANAL RECTANGULAR Y TRAPEZOIDAL.



**Fuente:** ITDG. Manual de mini y micro centrales hidroeléctricas. Una guía para el desarrollo de proyectos. Pág. 85-86.

**Elaborado por:** Postulantes.

**Tabla 1.2 VALORES DE PENDIENTES.**

<b>Material</b>	<b>Pendiente N</b>
<i>a) Sección Trapezoidal</i>	
* Suelos limo arenosos	2,0
* Suelos limo arcillosos	1,5
* Arcilla común y limo	1,0
* Arcilla compuesta	0,58
* Concreto	0,58
<i>b) Sección Rectangular</i>	0

**Fuente:** OLADE. Manual de Evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de micro centrales hidroeléctricas. Pág. 62.

**Elaborado por:** Postulantes.

#### **1.5.5.3. Velocidad del flujo de agua a través del canal “V”.**

Los flujos excesivamente rápidos pueden erosionar el canal y flujos excesivamente lentos resultaran en deposición de sedimentos y obstrucción del canal.

#### **1.5.5.4. Rugosidad “n” del material que recubre al canal.**

La rugosidad del material, más las pérdidas por fricción y la pendiente del canal influyen en el proceso del flujo de agua por el canal y su pérdida de energía.

Para canales con poca profundidad ( $< 1m$ ) que mantengan pequeña vegetación en orden de proteger las paredes del canal es,  $n = \frac{0.04}{\sqrt{H}}$ .

En el **Anexo Tabla VI-2** se dan algunos valores del factor de rugosidad “n” típicos para varios materiales.

#### **1.5.5.5. Criterios de diseño.**

- ✓ La velocidad del agua debe ser adecuada para asegurar que los sedimentos no se acumulen en el fondo del canal o tubería, y que no cause la erosión en las paredes internas del canal.

- ✓ Se debe minimizar las pérdidas por la altura o caída del canal.
- ✓ El canal debe estar libre de sedimentación y también protegido de cualquier destrucción por crecidas, piedras o hundimientos.
- ✓ Se debe considerar los costos mínimos posibles del material, construcción y por mantenimiento.

### **1.5.6. Tubería de presión.**

Son las encargadas de transportar un cierto caudal desde del tanque de presión hasta la casa de máquinas, sin embargo, constituye en muchas veces el rublo más caro del presupuesto total del proyecto hidroeléctrico. Es por tanto necesario optimizar el diseño minimizando el costo a lo largo de la vida útil del proyecto y el costo inicial de inversión; asegurando costos bajos en los trabajos de reparación y mantenimiento.

#### **1.5.6.1. Materiales.**

Según manual de diseño de PCH OLADE (1985), Los siguientes factores deben ser considerados cuando se decide cual material se usa para un proyecto hidrogenación:

- ✓ Presión de diseño.
- ✓ Método de ensamblaje o unión.
- ✓ Diámetro de la tubería y pérdidas por fricción.
- ✓ Tamaño y facilidad de instalación.
- ✓ Accesibilidad al sitio.
- ✓ Terreno.
- ✓ Tipo de suelo.
- ✓ Diseño y mantenimiento.
- ✓ Condiciones climáticas.
- ✓ Disponibilidad.
- ✓ Costos relevantes.
- ✓ Transporte al sitio.

Los siguientes materiales son comúnmente usados para tuberías de presión para pequeños sistemas de centrales hidroeléctricas:

- ✓ Acero comercial.
- ✓ Policloruro de vinilo no sintético (PVC).
- ✓ Policloruro de alta densidad (HDPE).
- ✓ Policloruro de densidad media (MDPE).
- ✓ Hierro dúctil centrifugado.
- ✓ Asbesto – cemento.
- ✓ Concreto.
- ✓ Duelas de madera.
- ✓ Plástico reforzado con fibra de vidrio (GRP).

#### **1.5.6.2. Métodos de unión.**

Por lo general, las tuberías vienen en longitudes estándares y deben ser unidas entre sí utilizando alguno de los métodos existentes entre para ello en el sitio a instalarla. Al escoger el mejor método de unión para un sistema determinado deben considerarse los siguientes aspectos:

- ✓ Adecuación al material de la tubería seleccionada.
- ✓ Nivel de habilidad del personal que instala la tubería.
- ✓ Facilidad de instalación.

Los métodos de unión entre tuberías se encuentran más o menos dentro de estas categorías:

- ✓ Embridadas
- ✓ Espiga y encaje.
- ✓ Mecánicas.
- ✓ Soldadas.
- ✓ Juntas de expansión.

### 1.5.6.3. Válvulas.

Las válvulas controlan el flujo del agua a través de la tubería. Es práctico ubicar una válvula en el extremo final de la tubería, en la unión con la turbina, para desacoplar la tubería llena de agua; pero no es necesario ubicar una válvula al inicio de la tubería. Existen en el mercado algunos tipos de válvulas; pero para esquemas de pequeñas centrales hidroeléctricas, se utilizan válvulas tipo mariposa y tipo compuerta. Escoger la mejor válvula se hace en función del costo (llegando a ser bastante caras acorde a su tamaño), disponibilidad y capacidad de controlar la presión.

### 1.5.6.4. Soportes y anclajes.

Según soluciones prácticas ITDG (2010), “Los anclajes, bloques de apoyo y bloques de retención son usados para contrarrestar el movimiento de la tubería de presión. Estos deben ser ubicados en el suelo original y no en rellenos. El área de soporte debe ser calculada para soportar la tubería sin exceder la carga segura que soporta el suelo. Se debe proveer de un drenaje para prevenir la erosión de las fundaciones de los soportes”.

- ✓ **Distancia entre bloques:** tanto para soportes y anclajes, es posible en general, utilizar el criterio de colocar un soporte por cada longitud de tubería.
- ✓ **Bloques de apoyo (soportes):** Los apoyos soportan el peso de la tubería y el agua, restringiendo los movimientos hacia arriba y debajo de la tubería, pero permiten movimientos longitudinales.
- ✓ **Bloques de anclajes (anclajes):** Un anclaje es un bloque reforzado con concreto evitando completamente el movimiento de la tubería. Éste debe ser ubicado siempre en las curvas (verticales y horizontales); también en el punto donde la tubería ingresa a la casa de máquinas. También son ubicados en las secciones rectas de la tubería, cada uno junto a una junta de expansión.

### **1.5.7. Casa de máquinas.**

Según el manual de diseño de PCH OLADE (1985), “Es la estructura que aloja todo el equipo electromecánico, en los que se transforma la energía cinética del agua en energía mecánica y posteriormente en eléctrica. Una normalización del diseño de la casa de máquinas se puede obtener en función de la posición del eje del grupo turbina generador. Este puede ser horizontal o vertical. En proyectos para pequeñas centrales hidroeléctricas, el grupo de eje horizontal ofrece más facilidades para su montaje y mantenimiento, por tal motivo es el más usado”.

La transformación de la energía cinética en mecánica, y de mecánica en eléctrica requiere como mínimo dentro de la casa de máquinas de los siguientes equipos:

- ✓ Empalme entre la tubería de presión y la entrada a la válvula: Esta reducción empalma la tubería de presión con las dimensiones de la válvula.
- ✓ Válvula: Es un elemento que está ubicado entre la tubería de presión y la turbina, permite el paso o el cierre total del flujo del caudal.
- ✓ Turbina: Permite la transformación de la energía cinética en mecánica. Dispone de un regulador de velocidad que permite ajustar el caudal a la demanda de energía eléctrica.
- ✓ Generador: Permite la transformación de energía mecánica en energía eléctrica.
- ✓ Canal de salida de las aguas turbinadas: El agua procedente de la turbina sale al río por medio de un tubo difusor; también lo puede hacer a través de una galería que se une con un canal.

### **1.5.8. Ubicación de la casa de máquinas.**

La ubicación de la casa de máquinas se decide teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- ✓ Debe colocarse cercana al afluente.

- ✓ Tener en cuenta que en el canal de desagüe no se acumulen sedimentos que disminuyan la sección.
- ✓ Zonas con terrenos estables, y fuera del alcance de riadas.
- ✓ Un lugar con buena cimentación
- ✓ Prever una posible ampliación
- ✓ Facilidad de acceso
- ✓ Facilidad de adquirir terrenos.
- ✓ Un factor principal en la ubicación de la casa de máquinas es que la disposición de los equipos armonice con el panorama exterior.

## **1.6. EQUIPO ELECTROMECAÁNICO.**

El equipo electromecánico de un sistema pico-central está formada por una serie de componentes principales a saber: turbinas hidráulicas, generador, sistema de transmisión.

### **1.6.1. Turbinas Hidráulicas.**

“La Turbina Hidráulica es un motor rotativo que convierte en energía mecánica, la energía de una corriente de agua. El elemento básico de la turbina es la rueda, rotor o rodete, que cuenta con palas, hélices, cuchillas o cubos colocados alrededor de su circunferencia, de tal forma que el fluido en movimiento produce una fuerza tangencial, que impulsa la rueda y la hace girar. Esta energía mecánica se transfiere a través de un eje, para proporcionar el movimiento de una máquina, un generador eléctrico o una hélice. También son llamadas primotores o motores primarios”. FRAZINI (1999).

### **1.6.2. Clasificación de las turbinas Hidráulicas.**

Por ser turbo máquinas siguen la misma clasificación de estas, y pertenecen, obviamente, al subgrupo de las turbo máquinas hidráulicas y al subgrupo de las

turbo máquinas motoras. En el lenguaje común de las turbinas hidráulicas se suele hablar al cambio de presión en el rodete o al grado de reacción

Según FRAZINI y FINNEMORE (1999), manifiestan que “Las turbinas hidráulicas se clasifican en dos grandes grupos, turbinas de acción y turbinas de reacción”.

Las turbinas de acción son aquellas en las cuales el agua impacta en el alabe de la turbina a presión atmosférica; en este caso el agua es dirigida hacia los alabes a través de un inyector, que convierte la energía potencial del agua en energía mecánica a través de cambios de sección.

En las turbinas a reacción el agua llega a los alabes de la turbina a una presión superior a la presión atmosférica, pero también a una velocidad alta, es decir, su ingreso conlleva la introducción de energía cinética y energía potencial, que son transformadas por la turbina en energía mecánica y rotación.

Sin embargo, la clasificación más difundida de las turbinas hidráulicas es según el salto y el caudal relativo de trabajo a la que están sometidas estas máquinas: turbinas hidráulicas de grandes caídas y pequeños caudales (en este grupo solo entran las turbinas de acción); turbinas de medianas caídas y medianos caudales (en este grupo hay turbinas de acción pero también de reacción); y turbinas de pequeñas caídas y grandes caudales (en este grupo están las turbinas de reacción), aunque en la actualidad se está desarrollando un cuarto grupo de turbinas que trabajan a alturas físicas cero, también denominadas turbinas de río. Estas funcionan utilizando la altura dinámica del agua contenida en la velocidad del agua.

### **1.6.3. Turbina Pelton.**

Es el modelo más antiguo de turbinas y una de los más utilizadas en el mundo, esta máquina funciona por el impacto del chorro de agua sobre los alabes (o cucharas).

**Figura 1.5 FOTOGRAFÍA DE EQUIPO ELECTROMECAÁNICO CON TURBINA PELTON.**



**Fuente:** Central Hidroeléctrica “ILLUCHE 2”.  
**Elaborado por:** Postulantes.

La turbina Pelton es una máquina de diseño y construcción robusta, de alta confiabilidad y permite altas eficiencias. A diferencia de la mayoría de los demás modelos, se caracteriza también por su alta eficiencia cuando trabaja a caudales parciales. En la actualidad se fabrican micro, mini y pico-turbinas Pelton de múltiples inyectores.

Las turbinas Pelton se utilizan frecuentemente en pequeños aprovechamientos por su sencillez de fabricación, fácil montaje y altos rendimientos, especialmente cuando se trata de turbinas con un solo inyector o un máximo de dos.

En turbinas Pelton de pequeñas potencias generalmente se utilizan inyectores de descarga abierta, sin válvulas de aguja. Este arreglo se hace particularmente conveniente cuando se utilizan reguladores electrónicos de carga y cuando no hay necesidad de uso de reservorios.

#### **1.6.3.1. Características de la turbina Pelton.**

- ✓ Es una turbina de acción, de flujo tangencial, formada por una o más toberas y un rodete provisto de un determinado número de cucharas.
- ✓ El rango de aplicación de las turbinas Pelton está delimitado a velocidades específicas bajas. Cabe decir que aprovecha grandes saltos y caudales reducidos, pudiéndose obtener eficiencias del orden del 85%

- ✓ Para su fabricación requiere de una planta industrial que cuente con: fundición, equipos de soldadura y corte, máquinas herramientas básicas como torno, cepillos y taladro. Generalmente se fabrica el rodete y las toberas por fundición. Manual OLADE Turbinas Pelton (1988).

### 1.6.3.2. Ventajas y Desventajas de la Turbina Pelton.

- ✓ Más robusta.
- ✓ Menos peligro de erosión de los álabes.
- ✓ Reparaciones sencillas.
- ✓ Infraestructura sencilla.
- ✓ No es buena para pequeñas caídas.
- ✓ Su velocidad de rotación es rígidamente determinada por el salto neto. Manual OLADE Turbinas Pelton (1988).

### 1.6.3.3. Diseño de la turbina Pelton.

En la turbina Pelton, el salto neto se convierte en energía cinética, para determinar la velocidad del chorro como se indica en la figura 1.6, y se utiliza la ecuación:

**Ecuación (1.2)**

$$C_1 = K_c \sqrt{2 * g * H_n}$$

**Dónde:**

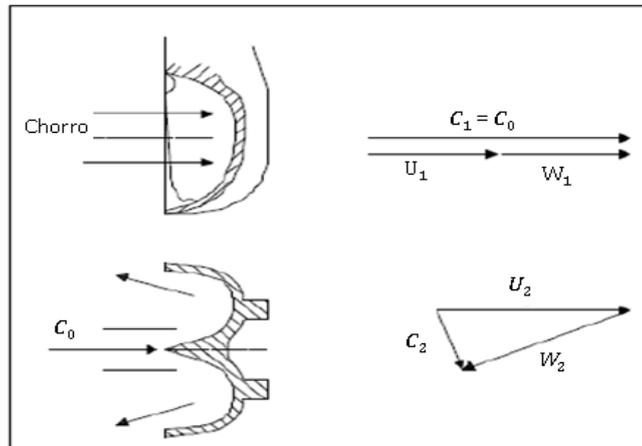
$C_1$  = Velocidad óptima del chorro. [m/seg]

$K_c$  = Coeficiente de Tobera. [0.95 – 0.98]

$g$  = Constante de gravedad. [9.81 m/seg<sup>2</sup>]

$H_n$  = Altura neta. [m].

**Figura 1.6 TRIÁNGULOS DE VELOCIDADES DE LA CUCHARA PELTON.**



**Fuente:** Apuntes para un manual de diseño, estandarización y fabricación de equipos para pequeñas centrales hidroeléctricas." Turbina Pelton". Vol. II.  
**Elaborado por:** Postulantes.

Para determinar el diámetro del chorro se utiliza la siguiente ecuación:

**Ecuación (1.3)**

$$d = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * c_1}}$$

**Dónde:**

**Q**= Caudal de diseño. ( $\frac{m^3}{seg}$ )

**C<sub>1</sub>**= Velocidad óptima del chorro. [m/seg]

Para determinar el diámetro Pelton se utiliza la siguiente ecuación:

**Ecuación (1.4)**

$$D_p = \frac{60 * U_1}{\pi N_T}$$

**Dónde:**

**D<sub>p</sub>** =Diámetro primitivo.

**U<sub>1</sub>**= Velocidad tangencial. [m/seg]

**N<sub>T</sub>** = Velocidad de giro de la turbina. (rpm.)

Para determinar el número de las Cucharas de la turbina se utiliza la siguiente ecuación:

**Ecuación (1.5)**

$$Z = 14 + \frac{D}{2d}$$

**Dónde:**

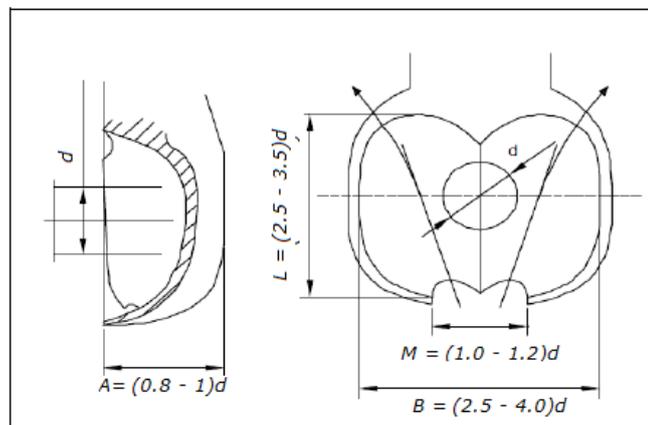
**Z** = Número de álabes.

**D** = Diámetro Pelton

**d** = Diámetro del chorro.

El dimensionamiento de las cucharas o alabes de la turbina Pelton son proporcionales al diámetro del chorro, esto se conforman por dos semielipsoide que forma una arista o nervio que divide al chorro de agua en dos partes, en la siguiente figura se puede observar.

**Figura 1.7** Dimensiones principales de la cuchara Pelton.



**Fuente:** Apuntes para un manual de diseño, estandarización y fabricación de equipos para pequeñas centrales hidroeléctricas. "Turbina Pelton". Vol. II  
**Elaborado por:** Postulantes.

**Dónde:**

**B** = Ancho de la cuchara.

**L** = Longitud de las cucharas.

**M** = Ancho de corte de la cuchara.

**1.6.4. Rotor**

Este es elemento llamado rodete, rueda, etc. Es el órgano esencial que está compuesto por un disco provisto de cucharas montadas en su periferia, las cucharas pueden estar empernadas, soldadas o fundidas convirtiéndose en una sola pieza con el disco.

**Figura 1.8 FOTOGRAFÍA DEL RODETE DE TURBINA PELTON.**



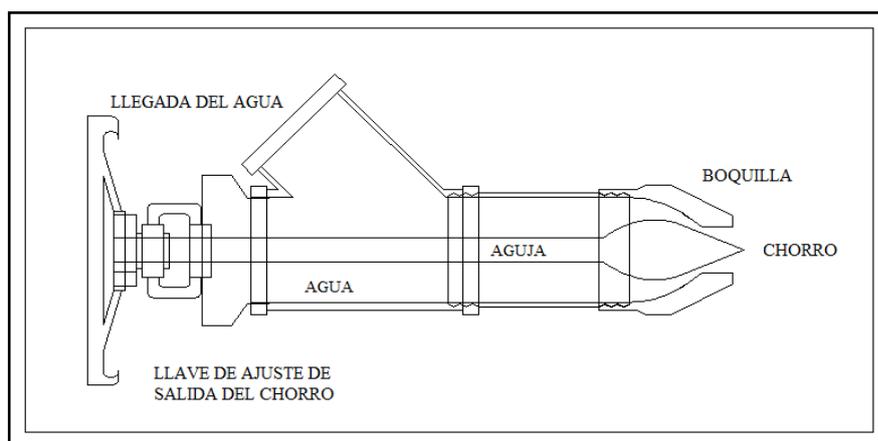
**Fuente:** Central Hidroeléctrica “ILLUCHE 2”  
**Elaborado por:** Postulantes.

### 1.6.5. Inyector

Es un elemento fijo, no posee velocidad angular y en él se produce un cambio de energía de potencial a cinética, en la cual consiste en una boquilla o tobera en la cual permite que el fluido salga en forma de chorro. Se puede utilizar más de un inyector dependiendo del diseño.

Este dispositivo contiene una aguja de cierre, cuyo movimiento disminuye o aumenta la apertura de la boquilla y con esto el caudal.

**Figura1.9 ESQUEMA DE UNINYECTOR.**



**Fuente:** Apuntes para un manual de diseño, estandarización y fabricación de equipos para pequeñas centrales hidroeléctricas. “Turbina Pelton”. Vol. II.  
**Elaborado por:** Postulantes.

### 1.6.6. Carcasa.

Es cubierta metálica que cubre al inyector, el rotor y otros elementos mecánicos de la turbina. El principal objetivo es evitar que el agua salpique al exterior luego de abandonar las cucharas. Para la fabricación de la carcasa, **el ancho de la carcasa es igual a 5 veces el ancho de las cucharas, también el ancho interno de la carcasa es mayor o igual a 15 veces el diámetro del chorro**, a fin de evitar que el agua que sale de la cuchara choque contra las paredes y realice una acción de frenado hidráulico. Manual de diseño OLADE-BIP (1985).

**Figura 1.10** CARCASA DE LA TURBINA PELTON.



**Fuente:** <http://usuarios.lycos.es/jrcuenca/Spanish/turbinas/T-3.1.2.htm>.

### 1.6.7. Sistema de regulación.

La regulación de la turbina Pelton se realiza a través de la aguja la cual avanza o retrocede en el orificio de la salida de la tobera y permite reducir o aumentar la sección del chorro la cual impacta sobre las cucharas.

## 1.7. SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA MECÁNICA.

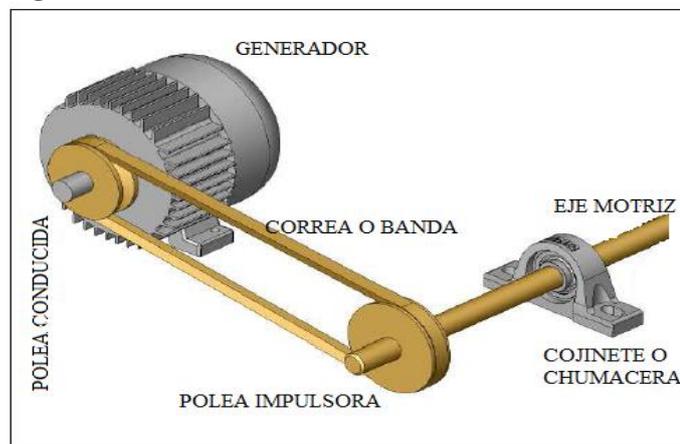
En un sistema pico-central hidroeléctrico, se produce una continua conversión de energía hidráulica a mecánica en la turbina, y de energía mecánica a eléctrica en el generador. La velocidad de giro de la turbina está relacionada con la caída neta del

caudal y las dimensiones del rodete. En las grandes centrales hidroeléctricas se justifica en construir los rodetes de la turbinas con dimensiones que permitan garantizar una velocidad de giro igual a la del generador y permitiendo su acoplamiento directo. En las pequeña central hidroeléctrica se puede emplear rodetes con dimensiones normalizadas por los fabricantes, en consecuencia, la velocidad de la turbina rara vez coincide con la velocidad de los generadores. Por esta razón deben emplearse sistemas de transmisión de movimiento y de potencia mecánica.

Los elementos mecánicos involucrados en el sistema de transmisión serán los siguientes:

- ✓ Una rueda impulsora.
- ✓ Una rueda conducida.
- ✓ Ejes que soportan las ruedas.
- ✓ Soportes de los ejes. (Cojinetes de rodamientos o deslizamiento)
- ✓ Acoplamientos.

**Figura 1.11 SISTEMA DE TRANSMISIÓN.**



**Fuente:** ITDG. Manual de Mini y Micro centrales Hidráulicas: Una guía para el desarrollo de proyectos. Pág. 163  
**Elaborado por:** Postulantes.

### 1.7.1. Transmisión por bandas.

Tienen amplia aplicación en el caso de pequeñas centrales hidroeléctricas. La capacidad de transmisión de potencia depende de la fricción entre las bandas y las

ruedas que, a su vez, depende del coeficiente de rozamiento y del ángulo de contacto de la faja con la polea menor.

ZUBICARAY (1977), manifiesta “El sistema de transmisión de bandas tienen las siguientes ventajas: Posibilidad de unir el árbol conductor con el conducido; aparte de los cojinetes no requiere lubricación; el funcionamiento es relativamente suave sin golpes originado por la propia transmisión, el costo es bajo”. La longitud requerida de la banda se determina mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación (1.23)**

$$L = 2C + \frac{\pi (D + d)}{2} + \frac{(D - d)^2}{4C} [\text{Plg.}]$$

**Dónde:**

**L** = Longitud requerida de la banda.

**C** = Distancia entre centros.

**D** = Diámetro de paso de la polea mayor.

**d** = Diámetro de paso de la polea menor.

La distancia entre centros (C) se determina de acuerdo con las restricciones de espacio impuestas por los equipos motriz y conducido. En caso que no haya restricción alguna, la distancia entre centros puede tomarse como el mayor valor entre las expresiones.

**Ecuación (1.24)**

$$C = \frac{(D + 3d)}{2}$$

Para determinar el número de bandas, se calcula la capacidad de transmisión de potencia por banda. Se emplea la siguiente ecuación:

**Ecuación (1.25)**

$$\text{Pot. nominal} = [2.19 * a * \left(\frac{10^3}{V}\right)^{0.09}] - \frac{6.2 * c}{(Kd * d)} - \frac{26.6 * e * V^2}{10^6} * \frac{V}{1000}$$

**Dónde:**

**Pot. nominal** = Capacidad de transmisión de potencia por banda

**a, c, e** = Constantes que corresponden a una sección de banda determinada.

**V** = Velocidad tangencial. [m/min]

**d** = Diámetro de la polea menor. [cm]

La capacidad nominal obtenida debe corregirse para la longitud de correa y el arco de contacto.

**Ecuación (1.26)**

$$\text{Pot. nominal ajustada} = \text{Pot. Nominal} * K_{\theta} * K_L.$$

**Dónde:**

$K_{\theta}$ . = Es el coeficiente de corrección por un arco de contacto.

$K_L$ . = Corrige el efecto de longitud.

El número de bandas se obtiene con la siguiente ecuación:

**Ecuación (1.27)**

$$\# \text{ de bandas} = \frac{\text{Potencia Corregida}}{\text{Pot. nominal ajustada}}$$

### **1.7.2. Eje principal del rodete.**

Este es rígido y está unido al rotor e instalado adecuadamente sobre los cojinetes debidamente lubricados, el eje permite transmitir el movimiento de rotación al eje del generador.

### **1.7.3. Rodamientos y chumaceras.**

Según el manual SKF “El rodamiento es un elemento mecánico que reduce la fricción entre un eje y las piezas conectadas a éste por medio de rodadura, que le sirve de apoyo y facilita su desplazamiento”.

La ecuación ampliada para el cálculo de la vida de un rodamiento es la siguiente:

$$L_{na} = a_1 * a_2 * a_3 * a_4 * L_{10}$$

**Dónde:**

a1: factor de ajuste de la vida en función de la fiabilidad.

a2: factor de ajuste de la vida en función del material de rodamiento.

a3: factor de ajuste de la vida en función de las condiciones de trabajo.

a4: factor de ajuste de la vida en función de la vida útil requerida.

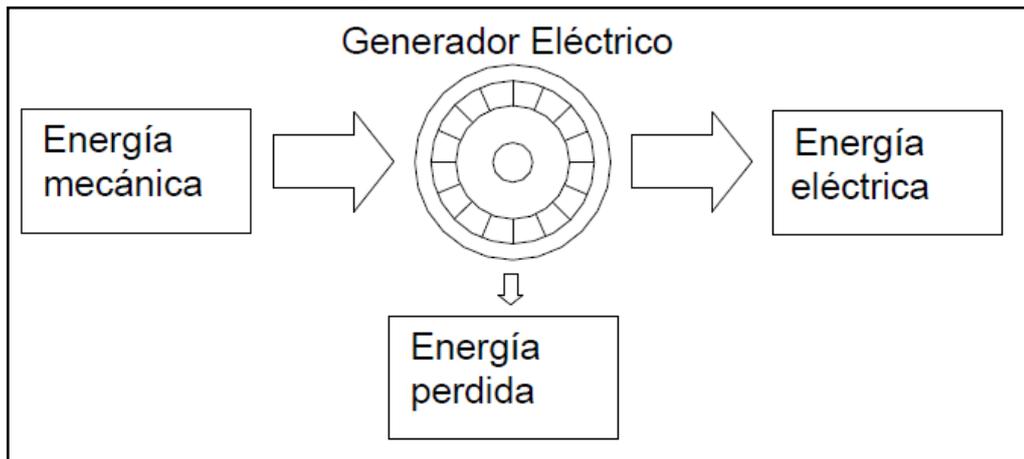
L10: vida de Weibull calculada.

Lna: vida ajustada para una fiabilidad del (100-n) por ciento.

## 1.8. GENERADORES.

Según FRAILE (2003), manifiesta que. “Los generadores eléctricos son máquinas que transforma la energía mecánica en energía eléctrica. Aprovecha un movimiento rotativo de un eje que pertenece a un motor de combustión interna, una turbina hidráulica, etc. El principio de funcionamiento de estas máquinas se basan en la ley de inducción magnética, mediante la cual, cuando un conductor eléctrico se mueve en un campo magnético se produce una corriente eléctrica a través de él, permitiendo así la transformación de energía mecánica aplicada sobre un eje en energía eléctrica para su uso”.

**Figura1.12** ESQUEMA DE TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA EN UN GENERADOR ELÉCTRICO.



**Fuente:** Maquinas Eléctricas. Pág. 449-452.

**Elaborado por:** Postulantes.

Los generadores eléctricos son bastante comunes, porque la potencia eléctrica es una fuente de energía limpia y eficiente. Casi todas las máquinas eléctricas rotan alrededor de un eje llamado el árbol de la máquina. Los generadores se impulsan mediante una fuente de potencia mecánica, que suele llamarse motor primario del generador. El motor primario para un generador puede ser una turbina hidráulica, turbina de vapor, un motor diesel, un motor eléctrico, etc. Los generadores eléctricos, por el tipo de corriente eléctrica que generan, pueden ser de CA o de CC. Conforme se aprecia en el **Anexo VL tabla-3**.

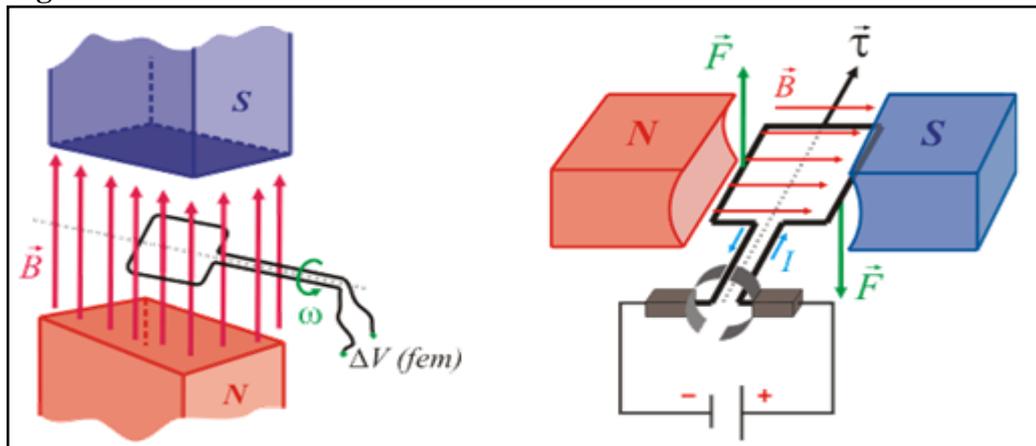
### 1.8.1. Generador de Corriente Alterna CA.

Los generadores de C.A. son máquinas eléctricas que convierten energía mecánica en energía eléctrica por intermedio de un sistema de transmisión. Hay dos clases principales de máquinas de CA, los sincrónicos y los asincrónicos.

#### a) Generador Síncrono.

THALER y WILCOX (1996), manifiestan que. “Un generador síncrono o sincrónico es aquel cuyo rotor gira a una velocidad que es múltiplo de la velocidad del campo magnético principal. La sincronía entre las velocidades da el nombre a este tipo de generadores disponen de un devanado en el rotor al que se le inyecta una corriente encargada de producir un campo magnético, al hacer girar el rotor mediante una maquina motriz primaria se produce un campo magnético giratorio que al cortar las bobinas del estator induce en ellas un conjunto de voltajes trifásicos”, como observamos en la figura siguiente. Los generadores sincrónicos son los más utilizados para transformar energía mecánica en eléctrica.

**Figura1.13** Generador eléctrico sincrónico.



Fuente: <http://acer.forestales.upm.es/basicas/udfisica/asignaturas/fisica/magnet/generador.html>

#### b) Partes del Generador Síncrono.

Los generadores sincrónicos están conformados por una parte fija denominada estator, y una móvil denominada rotor. El estator está formado por láminas de material ferro magnético con ranuras labradas en su interior en las que se alojan

los devanados sobre los que se induce el voltaje y este devanado es denominado devanado inducido. El rotor es la parte móvil de la máquina, está montado sobre cojinetes que le permiten girar libremente y aloja en su superficie un devanado denominado inductor. Las velocidades síncronas que debe girar el rotor del generador dependen del número de polos y de la frecuencia eléctrica del generador que se define por la siguiente ecuación:

**Ecuación (1.28)**

$$f = \frac{n_s \cdot p}{120}$$

**Donde:**

$n_s$  = Velocidad sincrónica en rpm.

$p$  = Número de polos.

En la siguiente tabla se indica la velocidad sincrónica con la frecuencia estandarizada de 60Hz, según el número de polos.

**Tabla 1.3 VELOCIDADES ANGULARES SÍNCRONAS DEL ROTOR DEL GENERADOR EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA ESTANDARIZADA.**

Frecuencia	Numero de Polos	Velocidades angulares síncronas
60 Hz	2	3600
	4	1800
	6	1200
	8	900
	10	720
	12	600

**Fuente:** ITDG. Manual de Mini y micro centrales hidráulica. Una guía para el desarrollo de proyectos. Pág. 197

**Elaborado por:** Postulantes.

### c) Generador Asíncrono.

Los generadores asíncronos, frecuentemente están compuestos por un inductor a flujo variable, a partir de un devanado generalmente trifásico ubicado en el estator (generación de un campo magnético giratorio) y un inducido con devanado cerrado, ubicado al rotor, donde se inducen las f.e.m y las corrientes a partir del flujo generado por el estator. La excitación de estos generadores, en el caso de que el rotor sea bobinado se realiza mediante escobillas, aunque se suelen utilizar los

generadores con jaula de ardilla ya que son mucho más baratos y robustos. Para el funcionamiento de estos generadores es preciso que el deslizamiento sea negativo, es decir, que la velocidad debe ser mayor a la velocidad de sincronismo.

Cuando el generador está directamente conectado a la red, no precisa de regulación de la tensión, ya que es la misma red quien le proporciona la tensión y la frecuencia.

### **1.8.2. Generadores de corriente continúa.**

Las máquinas de corriente continua son generadores que convierten energía mecánica en energía eléctrica de corriente continua, y motores que convierten energía eléctrica de corriente continua en energía mecánica. La mayoría las máquinas de corriente continua son semejantes a las máquinas de corriente alterna ya que en su interior tienen corrientes y voltajes de corriente alterna. Las máquinas de corriente continua tienen corriente continua sólo en su circuito exterior debido a la existencia de un mecanismo que convierte los voltajes internos de corriente alterna en voltajes corriente continua en los terminales. Este mecanismo se llama colector, y por ello las máquinas de corriente continua se conocen también como máquinas con colector.

Según FRAIRE (2003), Manifiesta que “Los generadores de Corriente continua o dinamos convierten una energía mecánica de entrada en energía eléctrica de salida en forma de corriente continua”.

En la actualidad estos generadores han caído en desuso a han sido sustituidos por rectificadores, generalmente por silicio, que transforman C.A. de la red en C.C. en forma estática y con mayor rendimiento.

### **1.8.3. Partes Básicas del generador de Corriente Continua.**

La máquina de corriente continua consta básicamente de las partes siguientes:

- ✓ **Inductor.-** Es la parte de la máquina destinada a producir un campo magnético, necesario para que se produzcan corrientes inducidas, que se desarrollan en el inducido.
- ✓ **Inducido.-** Es la parte giratoria de la máquina, también llamado rotor, consta de un devanado, de un colector y núcleo del inducido
- ✓ **Escobillas.-** Son piezas conductoras destinadas a asegurar, por contacto deslizante, la conexión eléctrica de un órgano móvil con un órgano fijo.
- ✓ **Entrehierro.-** Es el espacio comprendido entre las expansiones polares y el inducido; suele ser normalmente de 1 a 3 mm, espacio básico para evitar el rozamiento entre la parte fija y la móvil.
- ✓ **Cojinetes.-** Son las piezas que sirven de apoyo y fijación del eje del inducido.

## **1.9. EQUIPO ELÉCTRICO Y LÍNEA DE TRANSMISIÓN.**

El equipamiento eléctrico es necesario en la central hidroeléctrica, ya que es el encargado de la transformación de la tensión, de la medición de los diferentes parámetros de la corriente eléctrica, de la conexión a la línea de salida y de la distribución de la energía.

### **1.9.1. Elementos de control y de protección del sistema de generación.**

Los elementos de control ó seccionamiento son un grupo conformado por instrumentos de medición, los cuales nos indicaran el funcionamiento perfecto del equipo además de las variables que serán controladas con la regulación del flujo del caudal. Detallamos a continuación los siguientes.

#### **1.9.1.1. Tablero de control.**

Los tableros de control se suministran normalmente en un gabinete de uso general, fabricado en lámina de acero estirado en frío y pintado con pintura anticorrosiva y esmalte al horno de color gris claro. Dentro del gabinete se

instalan los componentes de medición y en la tapa los componentes de control protección y el cableado de interconexión. El tablero de control permite un fácil acceso a cualquier parte del equipo y una construcción clara y amplia, además así evitar el contacto de las personas, con las partes con tensión e impedir el ingreso de polvo, humedad y cuerpos extraños impidiendo el normal funcionamiento del sistema.

### **1.9.1.2. Instrumentos de medición.**

Cuando se emplea la energía eléctrica, es necesario controlarla y conocer exactamente los valores de la tensión, corriente y potencia capaces de ser producidas por el generador.

#### **a) Amperímetro.**

Es un instrumento que nos permite medir la intensidad de corriente eléctrica que circula por su interior en amperes A (cuanta corriente hay en el circuito o cuántos electrones circulan por unidad de tiempo). Se debe conectar en serie con la corriente a medir, de lo contrario provoca cortocircuitos por su baja resistencia interna, con los correspondientes daños; ALCALDE (1997).

#### **b) Voltímetro.**

Instrumento que sirve para medir la tensión eléctrica o voltaje aplicada en sus terminales (cuantos voltios o fuerza electromotriz hay en los puntos del circuito donde se conectan los terminales del instrumento). Por lo tanto debe conectarse en paralelo con la tensión a medir, o sea los terminales del voltímetro deben conectarse a los puntos donde quiere determinarse la tensión; ALCALDE (1997).

#### **c) Watímetro.**

Es un instrumento electrodinámico para medir la potencia eléctrica o la tasa de suministro de energía eléctrica de un circuito eléctrico dado. El dispositivo

consiste en un par de bobinas fijas, llamadas bobinas de corriente, y una bobina móvil llamada bobina de potencial; ALCALDE (1997).

Las bobinas fijas se conectan en serie con el circuito, mientras la móvil se conecta en paralelo. Además, en los vatímetros analógicos la bobina móvil tiene una aguja que se mueve sobre una escala para indicar la potencia medida. Una corriente que circule por las bobinas fijas genera un campo electromagnético cuya potencia es proporcional a la corriente y está en fase con ella. La bobina móvil tiene, por regla general, una resistencia grande conectada en serie para reducir la corriente que circula por ella.

### **1.9.1.3. Sistema de protección.**

Es bien sabido que la mayoría de los sistemas eléctricos necesitan ser aterrizados y que esta práctica probablemente se inició en los primeros días de los experimentos eléctricos.

#### **a) Interruptor Termomagnético.**

Es un medio de protección y desconexión a base de elementos mecánicos termomagnético de fácil accionamiento y de rápida respuesta a la falla eléctrica, ensamblados en caja moldeada. Los interruptores termomagnéticos más comerciales son los de uno y dos polos, de un rango de 15 á 50 amperes y son utilizados para todo tipo de servicios de instalaciones eléctricas, principalmente de uso doméstico y comercial. Los de rango de 60 á 100 A de uno y dos polos así como los de tres polos en toda su gama, y los de mayor capacidad de amperaje son utilizados en zonas con mayor demanda de carga eléctrica para uso residencial, comercial e industrial; ALCALDE (1997).

#### **b) Puesta a tierra.**

Puesta a tierra es una conexión conductora, ya sea intencional o accidental, por medio de la cual un circuito eléctrico o equipo se conecta a la masa de la tierra o a

algún cuerpo conductor de dimensiones relativamente grandes que cumple la misma función que la masa de la tierra.

La puesta a tierra de instalaciones eléctricas está relacionada con la seguridad. El sistema de puesta a tierra se diseña normalmente para cumplir dos funciones de seguridad. La primera es establecer conexiones entre el equipo y los demás elementos.

Toda estructura metálica conductiva expuesta que puede ser tocada por una persona, se conecta a través de conductores de conexión eléctrica. La mayoría de los equipos eléctricos se aloja en el interior de cubiertas metálicas y si un conductor energizado llega a entrar en contacto con éstas, la cubierta también quedará temporalmente energizada. La conexión eléctrica es para asegurar que, si tal falla ocurriese, entonces el potencial sobre todas las estructuras metálicas conductivas expuestas sea virtualmente el mismo. La segunda función de un sistema de puesta a tierra es garantizar que, en el evento de una falla a tierra, toda corriente de falla que se origine, pueda retornar a la fuente de una forma controlada. Por una forma controlada se entiende que la trayectoria de retorno está predeterminada, de tal modo que no ocurra daño al equipo o lesión a las personas.

### **1.9.2. Línea de transmisión Eléctrica.**

La red de transporte de la energía eléctrica es la parte del sistema constituida por todos los elementos necesarios para llevar, partiendo de la generación hasta los puntos de consumo a través de grandes distancias, para ello, los volúmenes de energía eléctrica producidos deben ser transformados, elevándose su nivel de tensión, esto se hace considerando que para un determinado nivel de potencia a transmitir, al elevar el voltaje se reduce la intensidad de corriente eléctrica que circulará, reduciéndose las pérdidas por efecto Joule.

Según COYNE en su libro Electricidad Práctica Aplicada manifiesta que “La transmisión y distribución de energía eléctrica ofrece muchas oportunidades a los electricistas bien instruidos y constituyen una de las ramas más interesantes y lucrativas del trabajo en el campo de la electricidad.

Una de las principales ventajas de la electricidad en forma de C.A es que puede transformarse hasta un voltaje muy alto para que resulte más económica su transmisión a largas distancias”.

Esto es importante ya que la energía generada en las centrales eléctricas se transmite por lo general, a voltajes elevados hasta las sub estaciones y desde éstas es distribuida a los usuarios o abonados a un voltaje de consumo.

La parte fundamental de la red son los elementos que intervienen para transportar la energía eléctrica mediante línea de alta tensión, medio físico que facilita llegar a determinados sitios la energía recorriendo grandes distancias, los conductores suelen ser de cobre o aluminio debido al costo del material, los mismos que están suspendidos en postes y torres de alta tensión.

### **1.9.3. Conductor eléctrico (cables).**

Son materiales cuya resistencia al paso de la electricidad es muy baja. Los mejores conductores eléctricos son metales el cobre, el hierro, el aluminio los metales y sus aleaciones.

#### **a) Cables de alta tensión.**

Según ALCALDE (1997), Clasifican a los conductores eléctricos de alta tensión conforme al material que están constituidos y debido a la capacidad de transmisión de voltaje de la siguiente manera.

**1.- Cables de aluminio desnudo.-** Los Conductores de Aluminio Desnudo son usados para transmisión y distribución de energía eléctrica en líneas aéreas, el metal más utilizado para su fabricación es el aluminio 1350-H19, aleación de aluminio 6201-T81 y acero recubierto con zinc o con aluminio, las principales configuraciones de los Cables de Aluminio Desnudo son:

- Conductores AAC: formados por alambres de aluminio 1350-H19.

- Conductores AAAC: formados por alambres de aleación de aluminio 6201-T81.
- Conductores ACSR/GA: formados por alambres de aluminio 1350-H19 reforzados con alambres de acero recubierto con zinc, conductor ACSR.

**Figura 1.14 CABLES DE ALUMINIO DESNUDO ALUMÍNIO “1350-H19REFORZADOS”**



Fuente: ELECTROCABLES.

**2.- Cables de cobre desnudo.-** Los Conductores de cobre desnudo son usados para transmisión y distribución de energía eléctrica en líneas aéreas, sistemas de puesta a tierra y como conductores de neutro.

**Figura 1.15 CABLES DE COBRE.**



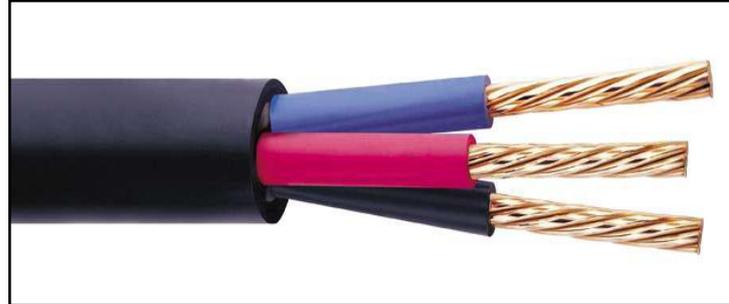
Fuente: ELECTROCABLES.

#### **b) Cables de baja Tensión.**

Generalmente se utilizan en redes que van desde la salida de los transformadores de distribución hasta la conexión con los equipos, se consideran cables de baja tensión aquellos cuyo voltaje de operación es como máximo de 1000 V entre fases, dentro de esta familia se encuentran principalmente cables para 600 V que

están compuestos por uno o varios conductores de cobre y materiales que componen el aislamiento o la chaqueta que son plásticos.

**Figura 1.16** CABLES DE BAJA TENSIÓN.



Fuente: ELECTROCABLES.

### c) Conductores para instalaciones interiores.

Los Alambres THHN/THWN son para las instalaciones eléctricas residenciales y proyectos eléctricos comerciales e industriales, en circuitos alimentadores, ramales y redes interiores secundarias industriales, conexiones de tableros, salidas de motores y sistemas generales de distribución de energía por bandejas o ductos en las instalaciones subterráneas.

Los cables y alambres THHN/THWN se aplican en instalaciones de sitios abrasivos o contaminados con aceite, grasas, gasolina y otras sustancias químicas que existen en los talleres especialmente.

Este tipo de conductores son diseñados para una tensión de operación de 600 V, con conductores de cobre (opcional en aluminio), aislamiento en PVC para una temperatura de operación de 90°C y cubierta externa en nylon.

**Figura1.17** CABLES DE INSTALACIONES INTERIORES.



Fuente:www.ingelcom.com.ec

El tema de generación de energía eléctrica por medio del movimiento del agua fue necesario introducirlo para conocer sus diferentes aplicaciones desde su fuente de generación con los diferentes tipos de turbinas hidráulicas que utilizan las centrales de generación, además de los indicadores e instrumentos de medición que se utilizan durante la transmisión de voltaje.

En el capítulo siguiente analizaremos una encuesta realizada a un grupo de profesionales que están inmiscuidos en el área de generación eléctrica, además de los parámetros medidos y datos tomados para el proceso de diseño de la pico central hidroeléctrica para la Hacienda Ecológica Baños.

# **CAPÍTULO II**

## **INVESTIGACIÓN DE CAMPO**

### **2. CARACTERIZACIÓN GENERAL.**

En este capítulo precisamos la localización y el estudio hidrológico del proyecto, el análisis del requerimiento y consumo en la Hacienda Ecológica “Baños”. Luego, con lo cual se determinará los datos técnicos que serán utilizados, para la selección adecuada del equipo de la pico-central hidroeléctrica. Seguidamente se ejecutará una comparación de preguntas realizadas a un grupo de profesionales del área eléctrica mezclados en el ámbito de generación hidroeléctrica conjuntamente con sus conclusiones.

#### **2.1. ESTUDIO GEOGRÁFICO DEL SECTOR (Recolección de información).**

##### **2.1.1. Localización del proyecto.**

El sistema pico-central hidroeléctrica (PCH), será ubicada en la hacienda llamada “Baños”, esta hacienda se encuentra ubicada a 30 Km del cantón Aláquez, la vía de acceso a esta hacienda es de tercer orden, pudiendo llegar en vehículo en un tiempo considerado de una hora y media.

La hacienda Ecológica Baños se encuentra limitada con los siguientes puntos:

- NORTE: Quebrada del río Aláquez, que deslinda en parte con el sector la Percha, para continuar luego con el mismo río Aláquez, sector Cimarrones.

- SUR: Rio Pansachi, sector Mushuncucho que deslinda en parte con el sector Contadero, para continuar con la quebrada de Agualongo.
- ESTE: Terreno de la misma propiedad, que incluyen los sectores de Morro Alumis, Peñas de Tablón y Quebrada de carretera nueva.
- OESTE: La hacienda Barrancas.

Las características de la hacienda “Ecológica Baños”, tiene una extensión aproximada de 4.370 hectáreas, distribuidas entre los 3.600-4.000m.s.n.m. La flora y fauna es característica de la formación ecológica de Bosque muy Húmedo Montano.

### **2.1.2. Características del proyecto.**

Este proyecto se centra en el diseño hidráulico, elementos mecánicos y eléctricos de una PCH (Pico-central hidroeléctrica) a implementarse, la cual es la motivación para el desarrollo de las energías renovables en nuestra provincia.

- ✓ El proyecto se orientará hacia la implementación de una PCH, aprovechando el canal existente, al fin de reducir la inversión y minimizar el impacto ambiental.
- ✓ Determinación de las condiciones hidráulicas de operación, (caudal de diseño y altura neta.). A partir de estas condiciones diseñar la turbina a instalarse.
- ✓ Dimensionar los distintos elementos mecánicos de la PCH.
- ✓ Elaborar los planos de los elementos mecánicos y de la implementación de la PCH.

La PCH aprovechará el caudal de riego existente para producir energía eléctrica, por lo que su instalación no implicará cambios.

## **2.2. ANÁLISIS DEL REQUERIMIENTO ENERGÉTICO.**

El objetivo de estudiar el requerimiento energético de la hacienda Baños, es con el fin de mejorar las condiciones de vida, a través del aprovechamiento del recurso

hídrico que circula por este sector. Para poder determinar la demanda energética es necesario de analizar las principales actividades relacionadas con el uso eléctrico en el sector para la implementación del proyecto hidroeléctrico.

El cálculo de la demanda energética se hará en base al uso eléctrico relacionado con actividades domesticas y alumbrado público. No se tomara en cuenta actividades relacionadas a la agroindustrial, pues no se conoce en cuanto tiempo esta actividad empiece a utilizar energía eléctrica, sin embargo el sistema generador de energía será diseñado con la opción de crecimiento en la demanda energética.

A continuación en la Tabla 2.1. Se detalla el requerimiento energético de la hacienda “Ecológica Baños”

**Tabla 2.1 DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE LA HACIENDA ECOLÓGICA BAÑOS.**

<b>NOMBRE DEL PROYECTO: PCH "Baños"</b>			
<b>LOCALIZACION : Hacienda Ecológica Baños "Aláquez"</b>			
<b><u>APARATOS ELECTRICOS</u></b>			
<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANT.</b>	<b>P (W)</b>	<b>P. Total (w)</b>
Puntos de alumbrado	4	100	400
Puntos de Apliques	20	25	500
Radio o Grabadora	1	100	100
Calentador de agua	1	1000	1000
Refrigeradora	1	300	300
Minicomponente	1	200	200
Plancha	1	1000	1000
Televisor	2	250	500
DVD	2	100	200
Licuada	1	250	250
<b><i>TOTAL DE REQUERIMIENTO ENERGETICO</i></b>			4450

**Fuente:** La sección A-11 de la Norma de Distribución Eléctrica de la empresa Quito S.A.  
**Elaborado por:** Postulantes.

Una gran cantidad de potencia eléctrica será utilizada en los sistemas domésticos térmicos, como el calentador de agua, etc., debido a que el clima de esta región es frío, pues el sector es de tipo paramo.

### **2.3. DATOS TÉCNICOS.**

La capacidad de generación mediante el uso del caudal está determinada por el salto o caída (energía potencial) que se pueda obtener para el diseño, el mismo que depende de la topografía del terreno.

Existen diversos métodos que pueden utilizarse para medir tanto la altura como el caudal, normalmente la exactitud está ligada a la utilización de equipos e instrumentos sofisticados o de elevado costo. Por esta razón, frecuentemente resulta conveniente y necesario dedicar un tanto la exactitud de la medición por la comodidad o por el bajo costo resultante de la utilización de métodos artesanales.

#### **2.3.1. Caudal Disponible.**

El estudio hace una referencia a un pequeño arroyo cerca del caserío de la Hacienda Ecológica “Baños”. La medición del recurso hídrico ofrece una mejor perspectiva del comportamiento del caudal, dado que no se posee esta información, utilizamos el método convencional empleado en ríos grandes y medianos, consiste en medirla sección transversal del río, en un punto dado, y la velocidad media de la corriente de agua que la atraviesa. Para ello hay que contar con una estación de aforos, aguas abajo de un tramo recto de razonable longitud, en lo que se conoce como “**sección de control**”, donde se pueda establecer, de una manera fiable, una relación entre alturas de lámina y caudales

#### **2.3.2. Método del caudal con flotador (Área y Velocidad).**

Este es un método práctico, en el mismo que permite obtener el caudal en forma puntual, se basa en la medición del tiempo para una determinada distancia que

recorre un volumen de agua delimitado por el lecho de la corriente, el caudal se determinó de la siguiente forma:

- ✓ Elegimos un tramo de sección recta y homogénea del curso del canal.
- ✓ Medimos una longitud de  $L= 1m$ . en el tramo seleccionado.
- ✓ Medimos la sección transversal del canal de tierra. Ver figura 2.1.
- ✓ El espejo de agua que circula por el canal es de  $h = 25$  cm.

Para la obtención del área que utiliza el agua en el canal para su circulación, se procedió a calcular mediante la siguiente ecuación.

### Ecuación 2.1

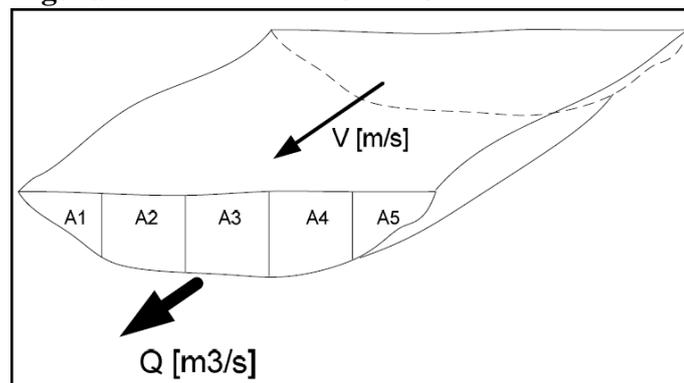
$$\text{Área} = \text{Ancho} * \text{Profundidad} (A= b*h)$$

Remplazando los valores conocidos en la ecuación (2.1) tenemos:

$$\text{Área} = 0.6 * 0.25 \implies \text{Área} = 0.15 \text{ m}^2$$

Para realización de la medición de la velocidad se utilizó la técnica del flotador, en la cual esta técnica es muy práctica, en la cual se basa en la medición del tiempo para una distancia conocida. A continuación se describe los parámetros conocidos:

**Figura2.1** ÁREA TRANSVERSAL DE LA VERTIENTE.



**Fuente:** Micro-centrales hidroeléctrica. Una introducción al trabajo de campo  
Pág. 16-18.

- ✓ Elegimos un tramo recto y homogéneo del curso del riachuelo.
- ✓ Medimos una longitud de  $1m$ .

- ✓ Utilizamos un cronometro para el tiempo.
- ✓ Determinamos un elemento liviano que sirve como flotador. (madera)
- ✓ Colocamos el flotador antes de la distancia seleccionada.

A continuación se detalla en la Tabla 2.2 el tiempo que se demora en recorrer un flotador la distancia seleccionad.

**Tabla 2.2 TIEMPOS MEDIDOS.**

<b>Numero de Mediciones</b>	<b>Tiempo (seg.)</b>
T1	1.31
T2	1.43
T3	1.37
T4	1.56
T5	1.51
<b>T. promedio</b>	1.44

**Fuente:** Hacienda Ecológica “Baños”

**Elaborado por:** Postulantes.

Para determinarla velocidad del agua se determina con la relación entre la longitud y el tiempo representado por la siguiente ecuación.

### **Ecuación 2.2**

$$V = L / t$$

**Dónde:**

**V:** Velocidad superficial.

**L:** Longitud de riachuelo.

**T:** Tiempo promedio.

Remplazamos los valores en la ecuación (2.2) obtenemos el siguiente resultado.

$$V = 0.694 \text{ m/s.}$$

Una vez determinada la velocidad superficial del flujo del agua, esta velocidad deberá ser reducida por un factor de corrección para hallar la velocidad media de

la sección transversal. En la tabla 2.3 se conoce algunos valores promedios del factor de corrección.

**Tabla 2.3** FACTOR DE CORRECCIÓN.

Tipo o Canal o Arroyo	Factor de Corrección
Canal de concreto: Profundidad del agua mayor a 15 cm.	0,8
Canal de tierra: Profundidad del agua mayor a 15 cm.	0,7
Arroyo o Riachuelo: Profundidad del agua mayor a 15 cm.	0,5
Arroyos o Canales de tierra: Profundidades menores a 15 cm.	0,5:0,25

**Fuente:** Micro-centrales hidroeléctricas. Una introducción al trabajo de campo. Pág. 12-15

**Elaborado por:** Postulantes.

Procedemos a encontrar la velocidad media la cual se determina con la relación entre la velocidad superficial del agua y el factor de corrección para nuestro caso es de un riachuelo de profundidad mayor de 15 cm. Representado por la siguiente ecuación.

### Ecuación 2.3

$$V_m = V_s * F_c$$

**Dónde:**

$$V_m = V_{media}$$

$$V_s = V_{superficial}$$

$$F_c = \text{Factor de corrección.}$$

Reemplazamos los valores en la ecuación (2.3), los resultados son los siguientes.

$$V_{media} = 0.35 \text{ m/seg}$$

Obtenidos estos datos podemos determinar el caudal con la ecuación.

### Ecuación 2.4

$$\text{Área} * V_{media} = Q = \text{Constante} \left( \frac{m^3}{seg} \right)$$

Entonces reemplazamos los valores y determinamos el caudal disponible del riachuelo.

$$Q = 0.15m^2 * 0.35m/s \quad \Longrightarrow \quad Q = 0.052 \frac{m^3}{s}$$

Con el fin de obtener datos reales del caudal se procedió realizar mediciones del caudal en diferentes días en el riachuelo que pasa por la hacienda Ecológica “Baños”. En la siguiente tabla se puede observar el procesamiento estadístico de los datos obtenidos.

**Tabla 2.4** HIDROLOGÍA DE CAUDALES OBTENIDOS.

<i>Mes/2011</i>	<i>Velocidad (m/s.)</i>	<i>Tiempo (s.)</i>	<i>Caudal (m<sup>3</sup>)</i>
Octubre	0,35	1,44	0,053
	0,38	1,5	0,057
Noviembre	0,41	1,4	0,062
	0,31	1,3	0,047
	0,36	1,34	0,054
	0,39	1,37	0,059
Diciembre	0,34	1,36	0,051
	0,32	1,42	0,048
	0,33	1,36	0,050
	0,3	1,4	0,045
Enero	0,32	1,45	0,048
	0,32	1,5	0,048
	0,34	1,43	0,051
Febrero	0,35	1,4	0,053
	0,41	1,38	0,062
	0,44	1,36	0,066
Marzo	0,42	1,43	0,063
	0,41	1,42	0,062
	0,38	1,4	0,057
Abril	0,35	1,45	0,053
	0,34	1,44	0,051
	0,33	1,42	0,050

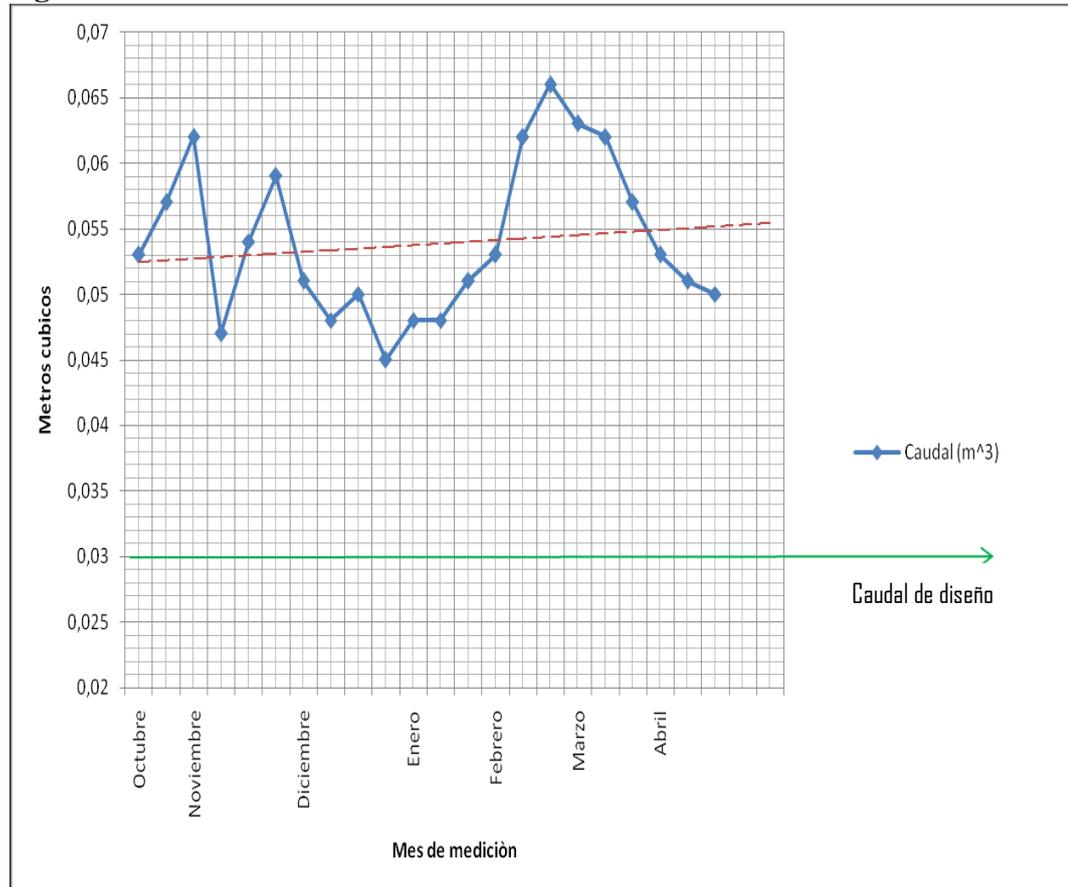
**Fuente:** Hacienda Ecológica “Baños”

**Elaborado por:** Postulantes.

Mediante el grafico podemos interpretar que los caudales con picos altos son de  $0.66 m^3$  durante el mes de Febrero y de  $0.45 m^3$ lo en el mes de Diciembre que

igual sigue siendo un caudal muy superior al del diseño. ( $30 \text{ m}^3$ ) con una tendencia lineal casi paralela a la del diseño, lo que nos demuestra que el caudal es suficiente para el proyecto.

**Figura2.2** CURVA DE CAUDALES.



**Fuente:** Base de datos Excel “caudales aforados”.

**Elaborado por:** Datos de tabla 2.4.

### 2.3.3. Altura bruta ( $H_B$ )

El aprovechamiento de los saltos o caídas de las masas de agua, producidas por desniveles existentes en los cauces por donde aquellas fluyen, tienen lugar no por la velocidad de esta, sino por la presión que puede obtenerse al descender las mismas para obtener de esta manera en su caída el trabajo aprovechable. A esta altura se la conoce como altura bruta o altura geodesia  $H_B$  y se puede determinar de varias formas. Por lo general el desnivel requerido para un proyecto pico-hidráulico debe ser por lo menos de  $20 \text{ m.}$ , de desnivel en adelante. El método

empleado para la medición de la altura en la Hacienda Baños será la estación topográfica.

#### **2.3.4. Método de la estación topográfica.**

La Estación topográfica es utilizada tanto en levantamientos planimétricos como altimétricos, independientemente del tamaño del proyecto. Los levantamientos realizados con este instrumento son rápidos y precisos, el cálculo se hace a través del software y el dibujo es asistido por computadora. Este es un método apropiado que nos permitirá capturar la información necesaria y determinar los puntos del terreno, dadas las condiciones del terreno resulta práctico emplearlo, este consiste en instalar la estación topográfica para la captura de datos, se inicia con el posicionamiento de los puntos de control, puntos que van a definir la línea de referencia o línea base que se requiere para orientar la estación topográfica.

**Figura 2.3 MEDIDA DE LA ALTURA BRUTA USANDO LA ESTACIÓN TOPOGRÁFICA.**



**Fuente:** Hacienda Ecológica “Baños”  
**Elaborado por:** Postulantes.

Los resultados se presentan en la tabla 2.5

**Tabla 2.5 MEDIDAS OBTENIDAS MEDIANTE LA ESTACIÓN TOPOGRÁFICA.**

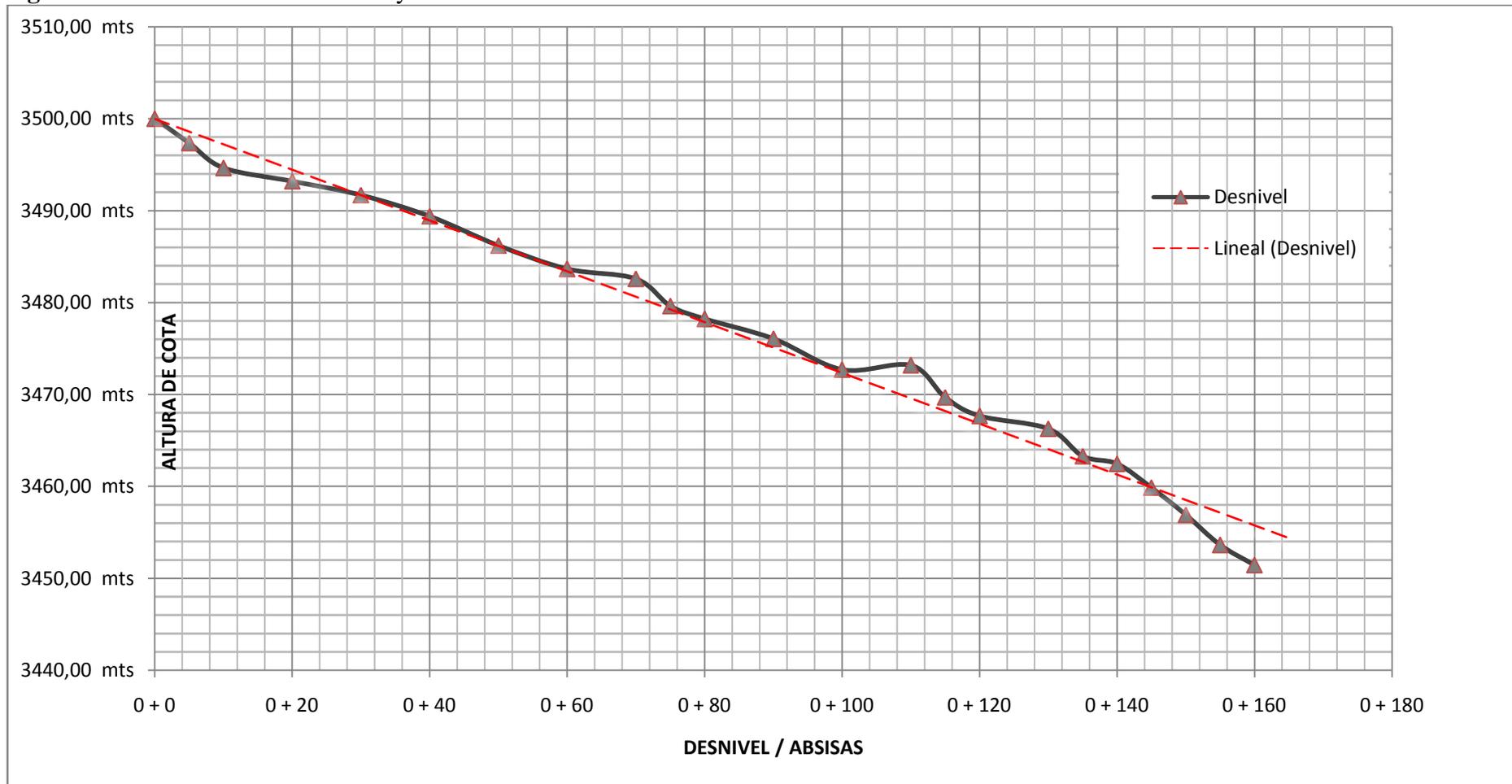
<b>Abscisas</b>	<b>Cuotas de Altura</b>
0 + 0	3500,00 <i>m</i>
0 + 5	3497,36 <i>m</i>
0 + 10	3496,24 <i>m</i>
0 + 20	3493,20 <i>m</i>
0 + 30	3491,69 <i>m</i>
0 + 40	3489,38 <i>m</i>
0 + 50	3486,20 <i>m</i>
0 + 60	3483,65 <i>m</i>
0 + 70	3482,58 <i>m</i>
0 + 75	3479,62 <i>m</i>
0 + 80	3478,22 <i>m</i>
0 + 90	3476,06 <i>m</i>
0 + 100	3472,71 <i>m</i>
0 + 110	3473,18 <i>m</i>
0 + 115	3469,70 <i>m</i>
0 + 120	3467,66 <i>m</i>
0 + 130	3466,28 <i>m</i>
0 + 135	3463,29 <i>m</i>
0 + 140	3462,46 <i>m</i>
0 + 145	3459,87 <i>m</i>
0 + 150	3456,91 <i>m</i>
0 + 155	3453,63 <i>m</i>
0 + 160	3451,46 <i>m</i>

**Fuente:** Hacienda Ecológica “Baños” “Sistema PCH”

**Elaborado por:** Postulantes.

Para tener una perspectiva de la altura y pendiente de la tubería se utiliza el programa Microsoft Excel con el cual se obtuvo la siguiente grafica

**Figura 2.4** Grafica de la Altura Bruta y Pendiente.



**Fuente:** Tabla 2.5. Medidas obtenidas mediante la Estación Topográfica.

**Elaborado por:** Postulantes.

En la siguiente tabla se describe los valores obtenidos mediante la figura 2.5

**Tabla 2.6 DATOS OBTENIDOS PARA DISEÑO DE PCH.**

<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>	
<b>Desnivel / altura bruta</b>	<b>48,54 m</b>
Pendiente	160,00 m
Distancia	152,45 m
Angulo de inclinación	17,66 °

**Fuente:** Valores obtenidos mediante la figura 2.5.

**Elaborado por:** Postulantes.

### 2.3.5. Altura neta. ( $H_n$ )

La altura neta ( $H_n$ ) es aquella energía aprovechada en forma de presión, consiste en restar la altura bruta y las pérdidas de carga o fricción debidas que son producidos por el rozamiento del agua con las paredes de la tubería de presión u otros accesorios. Procedemos a determinar la tubería por el cual circulará un caudal de 30 L/s el cual le denominaremos caudal de diseño.

#### 2.3.5.1. Determinación del diámetro interior de la tubería de presión.

La tubería de presión es el elemento más importante de las obras de derivación. Cumple la función de captar el agua en la base de la cámara de carga y conducirla hacia la turbina, transformando la energía potencial, existente por el agua a cierta altura. Para determinar el diámetro interno de la tubería de presión empleamos la siguiente ecuación.

**Ecuación 2.5**

$$D = \sqrt[7]{0.0052Q^3}$$

**Dónde:**

$D_i$  = Diámetro interno de la tubería de presión

$Q^3$  = Caudal (El caudal de diseño es de 30 litros/segundo)

Determinamos el diámetro interno de la tubería con la ecuación (2.5), al reemplazar los valores conocidos y tenemos el siguiente resultado.

$$D_i = \sqrt[7]{0.0052(0.03)^3}$$

$$D_i = 0.1049\text{m} \implies 104.9\text{mm}$$

$$D_i = 4.13\text{Plg.}$$

Como el diámetro obtenido mediante el cálculo no es comercial, entonces seleccionamos un diámetro de 6 pulgadas.

### 2.3.5.2. Selección de la Tubería de Presión.

Tubería de presión es aquella que transporta un fluido (agua) bajo presión, en nuestro caso desde la cámara de carga o tanque de presión hasta la turbina que está en la casa de máquinas o de fuerza. Por lo consiguiente la selección de la tubería de presión es uno de los parámetros más importantes para el buen funcionamiento del sistema pico generación, para lo cual debemos considerar los materiales frecuentes utilizados en estas instalaciones, teniendo en cuenta los diferentes tipos de uniones, su peso, su grado de dificultad en la instalación, costo y transporte al sitio del sistema a instalarse, entre otros parámetros para la selección. Los materiales más usados en tuberías para estos sistemas son: Acero comercial, Poli cloruro de vinilo (PVC), Polietileno de alta densidad y Asbesto cemento. Las propiedades de cada uno de los materiales utilizados en tuberías de presión se detallan en la tabla 2.4.

**Tabla 2.7** COMPARACIONES DE LAS TUBERÍAS DE PRESIÓN.

Material	Perdida de fricción	Peso	Corrosión	Costo	Presión de trabajo
Acero comercial	3	3	3	2	5
PVC	5	5	4	4	4
Polietileno	5	5	5	3	4

Rango: Malo=1, Excelente = 5.

Fuente: [www.plastigama.com.ec](http://www.plastigama.com.ec)

Elaborado por: Postulantes.

Una vez efectuadas las comparaciones entre los diferentes materiales empleados para las tuberías de presión, para nuestro proyecto hemos seleccionado la tubería PVC de alta presión, la misma que cumple las características adecuadas. Para una tubería PVC de 6 pulgadas de diámetro nominal tenemos las siguientes características.

**Tabla 2.8** CARACTERÍSTICAS DE TUBERÍAS PVC, DE DIÁMETRO 160 MM.

Diámetro Exterior (mm)	Diámetro Interior (mm)	Espesor (mm)	Presión de trabajo (Mpa)
160	153.8	3,1	0.5

Fuente: [www.plastigama.com.ec](http://www.plastigama.com.ec)

Elaborado por: Postulantes.

### 2.3.5.3. Longitud de la tubería de presión

La tubería a ser empleada en el proyecto está dimensionada para 4 plg. No obstante queremos tener mayor presión al final de la línea; en este caso entrada a los inyectores la cual será en tubería de 2 ½ plg. Por esta razón captamos primeramente el caudal en tubería de 6 plg. Intermedio de 4 plg y entrada a los inyectores de 2 ½ plg. Ver **Anexo III plano 1/15** Para obtener la presión adecuada determinamos la velocidad del agua en cada tramo de las distintas tuberías para luego obtener la presión de descarga al final del tramo del agua empleado la siguiente ecuación.

#### Ecuación 2.4

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

$$V_1 = \frac{4(0.03)}{\pi 0.135^2}$$

$$V_1 = 1.61 \text{ m/s}$$

$$P_1 = 28 \text{ mts} * 0.0981$$

$$P_1 = 3 \text{ Bares (40 PSI)}$$

$$V_2 = \frac{4(0.03)}{\pi 0.1^2}$$

$$V_2 = 3.81 \text{ m/s}$$

$$P_2 = 46 \text{ mts} * 0.0981$$

$$P_1 = 4.5 \text{ Bares (66 PSI)}$$

$$V_3 = \frac{4(0.03)}{\pi 0.0153^2}$$

$$V_3 = 7.79 \text{ m/s}$$

$$P_3 = 49 \text{ mts} * 0.0981$$

$$P_1 = 5 \text{ Bares (70 PSI)}$$

**Tabla 2.9** RESUMEN GENERAL DE LONGITUD DE TUBERÍA DE PRESIÓN Y PRESIÓN DE DESCARGA.

Velocidad del agua	Longitud de tubería (m)	Presión interna de tubería		Cantidad de tubería		
1,6 m/s	90	3 Bar	40 PSI	15	tubos de	6 Plg
3,8 m/s	60	4,5 Bar	66 PSI	10	tubos de	4 Plg
7,8 m/s	10	5 Bar	70 PSI	2	tubos de	2,5 Plg
	160	Longitud total de pendiente				

**Fuente:** Longitud de tubería de presión y presión de descarga de Figura 2.6.

**Elaborado por:** Postulantes.

#### 2.3.5.4. Válvula de seguridad (Compuerta).

Para el control de la turbina hemos de instalar una valvula de gaveta (compuerta) para controlar el flujo del suministro de agua con una mayor eficiencia, puesto que el tiempo de apertura o cierre requiere algunos segundos evitando que se produzca sobre presión en la tubería forzada. que posteriormente podría destrozarse.

Este efecto por sobrepresión es más propenso de ocurrir con válvulas de mariposa y de globo que son capaces de un cierre rápido. **En el Anexo V.** Se presenta las características de la valvula de cierre.

#### 2.3.5.5. Cálculo de las pérdidas de Fricción en la Tubería de Presión.

En el transporte de un fluido (Agua) existe pérdidas de energía, principalmente por rozamiento, entre el fluido (Agua) y las paredes de la tubería, calcularlas estas pérdidas nos permitirá encontrar la altura neta. Las pérdidas de carga que se producen en la tubería de presión se calculan mediante la siguiente ecuación de Darcy y Weisbach.

## Ecuación 2.6

$$h_f = f * (L/D) * v^2/2g.$$

### Dónde:

$h_f$  = Perdidas por fricción. (m)

$f$  = Factor de fricción del material.

$L$  = Es la longitud de la tubería de presión (160,00 m)

$D$  = Es el diámetro de la tubería de presión. (m)

$V$  = Velocidad media en la tubería de presión. (m/s.)

$g$  = Es la constante de gravitación. (9.81 m/seg<sup>2</sup>)

Para determinar la velocidad de circulación del fluido (agua) en la tubería lo hacemos mediante la ecuación de la continuidad de la ecuación (2.4) y despejando nos queda la siguiente ecuación.

## Ecuación 2.7

$$V = Q / A$$

### Dónde:

$V$  = Velocidad media en la tubería de presión.

$Q$  = Caudal de diseño. (0.03  $\frac{m^3}{seg}$ )

$A$  = Área de la tubería de sección transversal circular. ( $\pi/4 D^2$ ).

De ese modo tenemos:

$$V = \frac{4*(0.03)}{\pi*(0.1538)^2}$$

$$V = 1.617 \text{ m/s}$$

### a) Diagrama de Moody.

Para hallar el factor de fricción del material, tendremos que hacer uso del diagrama que fue representada por **Moody en el año 1944 (ver Anexo Figura VI-3)**, y que hoy es una de las figuras con mayor utilidad en cálculos dinámicos de fluidos.

**b) Determinacion del número de Reynolds. ( $N_R$ ).**

El número de Reynolds recibe el nombre en honor a Osborne Reynolds, quien el año 1883 lo descubrió. Este número adimensional proporciona una indicación de la pérdida de carga, causada por los efectos viscosos, en este caso la viscosidad del agua, por lo tanto mayor es el número de Reynolds, menor es la importancia de la viscosidad y viceversa. El número de Reynolds se calcula con la siguiente ecuación.

**Ecuación 2.8**

$$N_R = \frac{D \cdot V}{\nu}$$

**Donde:**

$N_R$  = Número de Reynolds.

$D$  = Diámetro de la tubería de presión. [m]

$V$  = Velocidad en la tubería de presión. [m/seg]

$\nu$  = Viscosidad cinemática del agua. [m<sup>2</sup>/seg].

La viscosidad cinemática del agua para diferentes temperaturas se detallan en la tabla 2.10.

**Tabla 2.10 PROPIEDADES DEL AGUA.**

	<b>P. Especifico</b>	<b>Densidad</b>	<b>Viscosidad Dinámica</b>	<b>Viscosidad Cinemática</b>
<b>Temperatura</b>	$\rho$	$P$	$\mu$	$\Gamma$
<b>°C</b>	<b>KN/m<sup>3</sup></b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>	<b>N-s/m<sup>2</sup></b>	<b>m<sup>2</sup>/seg</b>
0	9.81	1000	1.75*10 <sup>-3</sup>	1.75*10 <sup>-6</sup>
5	9.81	1000	1.52*10 <sup>-3</sup>	1.52*10 <sup>-6</sup>
<b>10</b>	<b>9.81</b>	<b>1000</b>	<b>1.308*10<sup>-3</sup></b>	<b>1.308*10<sup>-6</sup></b>
15	9.81	1000	1.15*10 <sup>-3</sup>	1.15*10 <sup>-6</sup>

**Fuente:** Hidráulica básica. Pág. 56

**Elaborado por:** Postulantes.

A la hora del cálculo, se consideró que hay una temperatura de 10°C de manera que la viscosidad cinemática es de 1.308\*10<sup>-6</sup> [m<sup>2</sup>/seg]. De ese modo reemplazamos en la ecuación [2.8] y obtenemos el siguiente resultado.

$$N_R = \frac{0.1538 \cdot 1.617}{1.308 \cdot 10^{-6}} \Rightarrow N_R = 1.90 \cdot 10^5$$

**c) Determinación de la Rugosidad Relativa. (S).**

La rugosidad relativa también es adimensional, y es la relación entre el valor típico de rugosidad del material y el diámetro de la tubería de presión. Para determinar la rugosidad relativa [S] se utiliza la siguiente ecuación.

**Ecuación 2.9**

$$S = K/D$$

**Donde:**

**K** = Rugosidad absoluta del material. [mm]

**D** = Diámetro de la tubería. [mm]

Para nuestro caso la rugosidad relativa para tubería PVC es  $K = 0.003$ [mm]

De ese modo reemplazando en la ecuación [2.9] tenemos:

$$S = \frac{0.003 \text{ mm}}{153.8 \text{ mm}} = 1.95 * 10^{-5}$$

Con estos dos datos obtenidos tanto el número de Reynolds y la Rugosidad relativa, utilizamos el diagrama de Moody, obtenemos el factor de fricción del material.

Por lo cual el factor de fricción es igual a  $f = 0.017$ .

Una vez obtenido el factor de fricción, podemos calcular las pérdidas por fricción en la tubería o pérdidas primarias, utilizando la ecuación [2.6] que es la ecuación general de Darcy-Weisbach.

$$h_f = f * (L/D) * v^2/2g.$$

Reemplazamos los valores en la ecuación [2.7] y de ese modo tenemos:

$$h_f = 0.017 \left[ \frac{160}{0.1538} \right] * \left[ \frac{(1.617)^2}{2 * (9.81)} \right]$$

$$h_f = 2.356 \text{ m.}$$

### 2.3.6. Determinación de las pérdidas secundarias.

Las pérdidas secundarias son las pérdidas de forma, que tienen lugar en las transiciones (estrechamiento o expansiones de la corriente), codos, válvulas, y en toda clase de accesorios de tubería. Las pérdidas secundarias se determinan con la siguiente ecuación.

**Ecuación 2.10**

$$H_{rs} = \frac{K \cdot V^2}{2g}$$

**Dónde:**

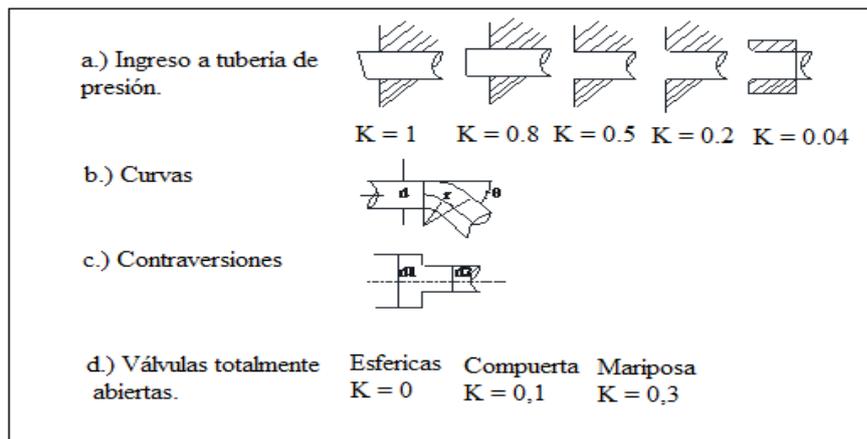
**H<sub>rs</sub>** = Pérdidas Secundarias (m)

**K** = Factor asociado a cada accesorio a utilizar.

Para nuestro proyecto se producirán las pérdidas secundarias en:

- ✓ Conexión de la tubería de presión con la cámara de carga K1
- ✓ En válvulas K2
- ✓ Acoplamientos de la tubería de presión K3
- ✓ En la rejilla K4

**Figura 2.5** COEFICIENTES DE PÉRDIDA DE ENERGÍA EN LA ENTRADA DE TUBERÍAS.



**Fuente:** Hidráulica básica. Pág. 68

**Elaborado por:** Postulantes.

1. Pérdidas por conexión, cámara de carga con tubería de presión.

Donde: **K<sub>1</sub>** = 0.04

$$\mathbf{Hrs} = \frac{0.04*(1.617)^2}{2(9.81)}$$

$$\mathbf{Hrs} = 0.00533m.$$

2. Pérdidas en la válvula de compuerta.

Donde:  $\mathbf{K}_2 = 0.1$

$$\mathbf{Hrs} = \frac{0.1*(1.617)^2}{2(9.81)}$$

$$\mathbf{Hrs} = 0.0133m$$

3. Pérdidas por acoplamiento de la tubería de presión.

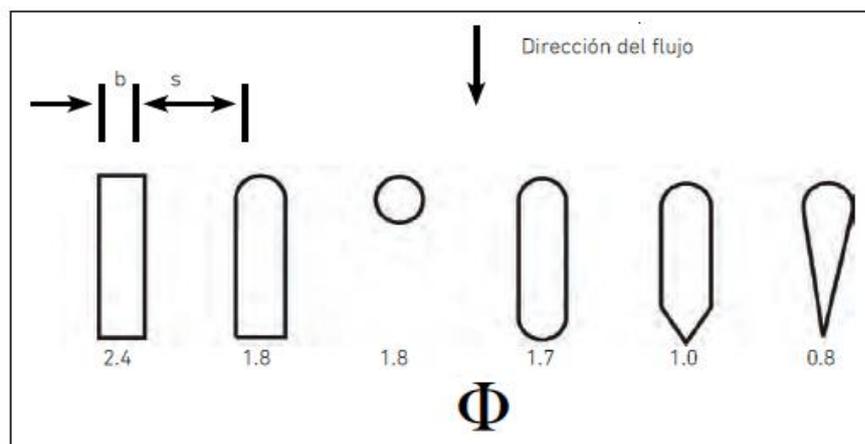
Donde:  $\mathbf{K}_3 = 0.04$

$$\mathbf{Hrs} = 3 \frac{0.04*(1.617)^2}{2(9.81)}$$

$$\mathbf{Hrs} = 0.01599m$$

4. Pérdidas en la rejilla.

**Figura2.6** COEFICIENTE DE PERDIDAS EN LA REJILLA.



**Fuente:** OLADE. Manual de Evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e Instalación de micro centrales hidroeléctricas Pág. 99.

**Elaborado por:** Postulantes.

Donde:  $\mathbf{K}_4 = 1.8$

$$\mathbf{Hrs} = \frac{1.8*(1.617)^2}{2(9.81)}$$

$$\mathbf{Hrs} = 0.239m$$

Al realizar la sumatoria de todas las pérdidas en cada una de los accesorios se obtiene:

$$\mathbf{Hrs} = 0.00533m + 0.0133m + 0.01599m + 0.239m$$

$$\mathbf{Hrs} = 0.273m$$

Con la suma de las pérdidas por fricción o pérdidas primarias y las pérdidas secundarias y posteriormente restamos el valor de la altura bruta, el resultado será la altura neta mediante la siguiente ecuación.

**Ecuación 2.11**

$$\mathbf{Hn} = \mathbf{Hb} - \mathbf{Hrp} - \mathbf{Hrs.}$$

De ese modo tenemos:

$$\mathbf{Hn} = 48.54 - 2.356 - 0.273.$$

$$\mathbf{Hn} = 45.9 \text{ m.}$$

## **2.4. DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA A SER GENERADA.**

Teniendo en cuenta el caudal y un desnivel entre la fuente hídrica y la generación, podemos calcular la potencia que vamos a generar del sistema de picogeneración.

### **2.4.1. Determinación de la potencia Hidráulica neta.**

Es la potencia neta de la fuente hídrica que podemos obtener al final de la tubería de presión, y la ecuación para obtenerla es:

**Ecuación 2.13**

$$\mathbf{P_h} = \mathbf{H_n} * \mathbf{Q} * \mathbf{g}$$

**Donde:**

$\mathbf{P_h}$  = Potencia Hidráulica (Watts)

$\mathbf{H_n}$  = Altura neta (m)

$\mathbf{Q}$  = Caudal lts/seg (30)

$\mathbf{g}$  = Gravedad ( $9.81m/seg^2$ )

Entonces al reemplazar los valores en la ecuación [2.13] tendremos:

$$P_h = 45.9 * 0.03 * 9.81$$

$$P_h = 13.50 \text{ [ Kw]}$$

#### 2.4.2. Potencia Electrica Generada.

Es la potencia que obtenemos en los bornes de nuestro generador, y esta en funcion del rendimiento mecanico, rendimiento de la turbina y del generador. Se la determina con la ecuación.

#### Ecuación 2.14

$$P_E = \eta_T * \eta_G * \eta_m * P_h$$

**Donde:**

$P_E$  = Potencia electrica [Kw]

$\eta_T$  = Rendimiento de la turbina. (0.76)

$\eta_G$  = Rendimiento del Generador. (0.9)

$\eta_m$  = Rendimiento mecánico. (0.92)

$P_h$  = Potencia hidraulica.

Reemplazando en la ecuación [2.14], obtendremos el siguiente resultado.

$$P_E = 0.76 * 0.9 * 0.92 * 13.50 \text{ [Kw]}$$

$$P_E = 8.50 \text{ [Kw]}$$

#### 2.5. PARÁMETROS DE SELECCIÓN DEL EQUIPO HIDRÁULICO Y ELÉCTRICO, APROPIADOS PARA EL SISTEMA PCH DE GENERACIÓN.

Cuando se presenta el diseñar una pequeña central para generar hidroelectricidad, la decisión del tipo de equipo hidráulico y eléctrico a utilizar debe ser el correcto, para el caso de nuestro proyecto procedemos a seleccionar de la siguiente forma.

### 2.5.1. Criterios de Selección del equipo hidráulico.

La elección de la turbina adecuada se realiza a través de nomogramas, en los que la introducción de los datos (salto y caudal de agua disponibles), permite extrapolar la tipología de turbina más adecuada y el tamaño en términos de potencia. Cada turbina tiene su propio rendimiento, en función del régimen de utilización de esta. El tipo, geometría y dimensiones de la turbina están acondicionados, esencialmente por los siguientes criterios:

- Altura de salto neta.
- Caudales a turbinar.
- Velocidad de rotación.

#### 2.5.1.1. Altura del Salto.

Es la distancia vertical, medida entre los niveles de la lámina de agua en la toma del canal de descarga, a la turbina de reacción. Conocida la altura neta (45.9 m.) hacemos uso de la tabla 2.11. donde se detalla, el rango de valores del salto neto vs. La turbina hidráulica con la que puede trabajar un sistema de generación, para Hacienda Baños tomamos en consideración el tipo de turbina Pelton.

**Tabla 2.11** RANGO DE ALTURAS DE SALTO DE LAS TURBINAS.

<b>Tipo de Turbina</b>	<b>Rango de salto (m.)</b>
Kaplan y Hélice	$2 < H < 20$
Francis	$10 < H < 350$
<b>Pelton</b>	<b><math>35 &lt; H &lt; 1300</math></b>
Michell-Banki.	$3 < H < 200$
Turgo	$50 < H < 250$

**Fuente:** OLADE. Manual de Evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de micro centrales hidroeléctricas Pág. 165.

### 2.5.1.2. Selección de turbina en el Diagrama de Salto vs. Caudal.

El caudal de diseño (30 l/s) de los datos provenientes de las mediciones y estudios hidrológicos realizados son previos a la elección de la turbina.

En **Anexo Figura VI-1 Diagrama de Salto vs. Caudal** está elaborado integrando los datos de varios fabricantes europeos, y muestra las envolventes operacionales de los tipos de turbinas más utilizadas. Los límites no son precisos, varían de fabricante a fabricante, en función de la tecnología utilizada, y tienen por ello un carácter exclusivamente orientativo.

### 2.5.1.3. Velocidad específica.

La velocidad específica constituye un excelente criterio de selección, el más preciso sin dudas que el convencional y conocidos de las envolventes operacionales que acabamos de detallar.

**Tabla 2.12** CARACTERÍSTICAS DE LAS VELOCIDADES ESPECÍFICA DE LAS TURBINAS.

Tipo de turbina	Ns
Pelton de una tobera	12 – 30
Pelton de dos toberas	14 – 40
Turgo	20 – 70
Michell-Banki (Flujo Cruzado)	20 – 200
Francis	80 – 400
Kaplan (Axial)	140 – 1000

**Fuente:** OLADE. Manual de Evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e Instalación de micro centrales hidroeléctricas Pág. 163.

**Elaborado por:** Postulantes.

Por lo tanto, lo que se hace en el método es calcular la velocidad específica con los valores de caída y caudal que se tengan, suponiendo una eficiencia entre el 65 y 90% y una velocidad en el eje de la turbina en el rango de 400 a 1800 r.p.m., que vendrían a ser las posibles velocidades sincrónicas del generador (determinadas por el número de polos y la frecuencia).

**Tabla 2.13** CARACTERÍSTICAS DE LAS TURBINAS.

<b>Tipo de turbina</b>	<b>Pelton</b>	<b>Turgo</b>	<b>Michell-Banki</b>	<b>Francis</b>	<b>Kaplan</b>
En caudales de: (l/s)	0.5-250	90-450	2-1000	110-1100	100-3000
En caídas de: (m)	30-500	30-100	3-100	10-100	3-15
Velocidad Específica: m/s	12-40	20-70	20-200	80-400	140-1000
Eficiencia	70-80 %	80 %	65-70 %	90 %	90 %

**Fuente:** ITDG. Manual de mini y micro centrales hidroeléctricas. Una guía para el desarrollo de proyectos. Pág. 127

**Elaborado por:** Postulantes.

Ya determinados los valores de caudal y altura neta anteriormente, y analizadas las características de las diferentes turbinas aplicadas para estos tipos de proyectos, hemos determinado aplicar para nuestro proyecto una turbina Pelton, con la cual se realizará el respectivo diseño.

## **2.5.2. Equipo Eléctrico.**

### **2.5.2.1. El generador.**

Básicamente para hacer una elección adecuada del generador, hay que tomar en cuenta dos aspectos, el requerimiento de potencia (demanda) y el uso que se le dará a esta energía. Estos definirán el tipo de generación (continua o alterna), la fase (en caso de ser alterna monofásica o bifásica) y el tipo de regulación (por carga o caudal).

Definidas estas variantes, queda por elegir el tipo de generador, el cual puede ser una máquina sincrónica o asíncrona (de inducción) teniendo presente que los alternadores son generadores sincrónicos y que los motores de inducción bajo ciertas condiciones pueden trabajar como generadores (del tipo asíncrono).

#### **a) Generador Sincrónico.**

El generador Síncrono es poco convencional y puede ser utilizado en grandes industrias para corrección de factor de potencia, en este caso, las velocidades del rotor y del estator tienden a igualarse, de ahí el nombre de Síncrono.

### **Ventajas.**

- ✓ Es la velocidad de giro de la maquina en rpm, que permanece invariable y origina en la corriente alterna, la frecuencia síncrona normalizada. La velocidad rotativa es dada por la máquina, en este caso la turbina hidráulica.
- ✓ Frecuencias sincrónicas normalizadas (50 y 60 Hz).
- ✓ El generador sincrónico tiene el bobinado de campo excitado por corriente continua y la tensión generada en la armadura es alterna, de ahí se denomina alternador.

### **Desventajas.**

- ✓ Los generadores de fabricación actual son de un solo cojinete, por lo que para uso con turbinas, se debe solicitar un generador especial con dos cojinetes.
- ✓ La regulación debe ser mantenida en rangos estrechos de regulación, comúnmente aceptan una caída de rango 5% de la velocidad, de lo contrario presenta exceso de calentamiento por sobre excitación y disminución de aire de enfriamiento.

### **Mantenimiento.**

- ✓ Los elementos de regulación deben estar en buen estado y operando normalmente.
- ✓ La regulación del regulador de velocidad y tensión deben ser correctas.
- ✓ El mal funcionamiento se debe exclusivamente en la turbina o en el regulador de velocidad y tensión.

#### **b) Generador de Inducción o Asíncronos.**

El generador asíncrono es un motor convencional y se utiliza el término asíncrono, por que teóricamente la velocidad del rotor nunca puede alcanzar a la velocidad del estator (Desplazamiento).

### **Ventajas.**

- ✓ Son de construcción simple, robusta y confiable.
- ✓ Son de fácil adquisición, a bajo costo, como motores.
- ✓ Soportan sobre velocidades del orden del 2005
- ✓ La tensión generada dependen de la magnitud de los condensadores, la velocidad de giro, la corriente y factor de potencia.

### **Desventajas.**

- ✓ Pérdida de potencia por menor llenado de ranuras con conductor de cobre, cuando el bobinado no es rizado en fábrica.
- ✓ Requiere protección por sobre tensiones que se presentan durante un embalamiento, falla del controlador de velocidad y regulación o resistencias de regulación, el modo más económico es colocar fusibles a los condensadores.
- ✓ El uso de un controlador de carga máxima para regular la tensión, requiere de un flujo de agua permanente.
- ✓ Como toda máquina de inducción, el desbalance de corrientes de carga va a provocar exceso de carga por lo que deben ser limitadas a un máximo de 10%.

### **Mantenimiento.**

- ✓ Se aplica un programa de mantenimiento común de las demás maquinas rotativas, en este caso se reduce a la lubricación de cojines. Etc.
- ✓ Los condensadores de excitación, se debe revisar su estado y si mantienen su capacidad.

### **c) Generador de Corriente Continua.**

#### **Ventajas.**

- ✓ Suministro de corriente sin rizado u ondulaciones de la onda de salida.
- ✓ Excelente repuesta que permite ser una fuente precisa para elementos de control

#### **Desventajas.**

- ✓ Los dispositivos y equipos electrodomésticos que conforman las cargas domésticas, iluminación e industriales utilizan corriente alterna.
- ✓ El uso está limitado a generación de pequeñas potencias para cargas de acumuladores y baterías.
- ✓ Para transportar este tipo de corriente no puede elevarse o reducirse con elementos económicos, y el centro de consumo debe ser lo más cercano posible al centro de generación.

#### **Mantenimiento.**

El mantenimiento de la máquina de corriente continua defiere poco del resto de máquinas eléctricas rotativas.

Para obtener una buena conmutación, las escobillas deben verificarse periódicamente, observando la libertad de movimiento en los porta carbones, así como la presión y la longitud suficientes.

El cuello del conmutador no es aislado y recibe toda la tensión generada, por lo que debe limpiarse del polvo del carbón desgastado y del aire de ventilación pues ocasionan de fuga a la masa.

#### **d) Selección Práctica del Generador.**

Una vez detallado las ventajas y desventajas de cada tipo de generador y revisando la necesidad presentada en el sector para este proyecto se determina por seleccionar un generador sincrónico por las siguientes razones:

- ✓ **La distancia de traslado de energía;** el generador sincrónico se puede acoplar fácilmente a un elevador de voltaje (transformador) y la distancia de generación hasta el punto de consumo se encuentra a una distancia, aproximadamente de 20 a 50 m, para nuestro proyecto de implementación la línea de transmisión es de 27 m.
- ✓ **Fácil de encontrar en el mercado;** este tipo de generador se puede extraer fácilmente de los generadores de combustión interna.
- ✓ **Generador monofásico o bifásico;** son muy utilizados en estas aplicaciones con potencias pequeñas y medianas.
- ✓ **Autoprotección de sobre corriente incorporada;** los generadores sincrónico actualmente vienen previstos de termo magnéticos de sobre corriente lo que es una ahorro considerable para el equipo de protección.
- ✓ **Alternador soporta corrientes de carga instantánea;** estos generadores soportan corrientes de carga instantánea, lo que generalmente producen los motores de inducción, es inevitable que en la zona utilicen estos elementos.

Conforme al criterio de selección se procedió a seleccionar el siguiente tipo de alternador-generador para cubrir las necesidades de la Hacienda Ecológica Baños.

**Marca:** TAM FORD - TO BSS 2613

**Voltaje:** 120 VAC.

**Potencia:** 7.25 Kw.

**Frecuencia:** 60 Hz.

**Polos:** 4

**Revoluciones:** 1800 rpm.

### 2.5.2.2. Sistema de control.

En una PCH y MCH, uno de los aspectos más importantes es mantener la tensión y la frecuencia dentro de niveles aceptables. Para los fines de este tipo de centrales, la tensión se debe mantener en un rango de + 7% su valor nominal y la frecuencia puede aumentar en un 5% su valor nominal pero nunca disminuir, según lo recomendado en 8%, esto para evitar daños en los artefactos eléctricos y aumentar la vida útil de las luminarias por lo mencionado procedemos a determinar los sistemas de protección para el sistema de generación eléctrico.

### 2.5.2.3. Protecciones.

Para la selección de equipo de protección para generadores de pequeñas centrales hidroeléctricas, indica que hay un mínimo de protecciones que se recomienda utilizar.

- ✓ **Relé térmico.-** Controla y detecta las elevaciones de las temperaturas de los devanados tanto del rotor como del estator.
- ✓ **Relé de protección de puesta a tierra.-** Detecta cualquier puesta a tierra en alguna de las espiras ya sea del rotor o del estator. En relación a la protección por falla a tierra, se considera que la protección diferencial, es la óptima, esto por cuanto es más sensible. A continuación se detalla más sobre esta.
- ✓ **Relé de protección diferencial.-** Se activa al alcanzar un cambio porcentual de fase, de corriente o cualquier otra cantidad eléctrica.
- ✓ **Relé de sobretensión.-** Funciona cuando la tensión sobrepasa un nivel determinado. Esto puede ser provocado por una variación considerable en la carga, lo cual produce un aumento en la tensión, que ocasiona daños al aislamiento.
- ✓ **Relé de sobreexcitación.-** Es una protección que se utiliza en generadores sincrónicos.

- ✓ **Relé de sobre corriente instantáneo.-** Se activa instantáneamente cuando se censa un valor excesivo de la corriente o una razón de crecimiento muy alta, indicando así una falla en el generador.
- ✓ **Relé de sobre velocidad.-** Es una de las protecciones más importantes con la que debe contar un generador asíncrono.
- ✓ **Relé de baja tensión.-** Funciona cuando el nivel de tensión sobrepasa un nivel determinado, esta condición se puede dar cuando el generador intente entregar más potencia de la que es capaz, disminuyendo la tensión en sus terminales y consecuentemente incrementando el nivel de corriente.

## **2.6. METODOLOGÍA APLICADA PARA VALIDACIÓN DE PROPUESTA.**

Para el desarrollo de la validación de la propuesta la metodología para recabar información en la implementación de la Pico central para la Hacienda Ecológica Baños, es la siguiente:

Dados los objetivos en nuestro trabajo de campo y la pequeña población de investigación que tenemos, trabajamos con profesionales inmiscuidos en los procesos de generación hidroeléctrica y la entrevista dirigida a uno de los propietarios de la Hacienda, a los cuales les denominaremos nuestro universo de exploración quienes nos permitieron obtener información directa de los índices que arrojan datos para el procedimiento de diseño de la pico central hidráulica.

Dado que se aplicó la técnica de la Observación en la toma de datos para nuestro proceso de diseño, los cuales fueron: El estudio geográfico e hidrográfico del sector y el aforamiento mensual del caudal, procedemos con la interpretación y análisis de resultados, en primer término, la codificación y tabulación de los datos obtenidos de las técnicas de investigación aplicadas, como son la Entrevista y la encuesta, los datos fueron procesados por el programa computacional Microsoft Excel, a partir del cual se graficaron tablas y gráficos circulares.

## **2.7. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.**

La técnica que hemos utilizado es la entrevista y la encuesta, el instrumento aplicado es el cuestionario, diseñado para recabar información acerca de la implementación de una pico central hidroeléctrica (**Ver Anexo N° I-II**).

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de la aplicación de la entrevista y la encuesta, y cada pregunta con el respectivo análisis e interpretación de los resultados obtenidos.

### **2.7.1. Análisis e interpretación de la entrevista.**

La siguiente entrevista se la realizó a uno de los propietarios de la Hacienda Ecológica Baños.

Mediante las preguntas realizadas, el propietario objetó lo siguiente:

#### **1.- Qué opinión tiene Ud. Acerca de la implementación de un sistema Pico central hidroeléctrico.**

La Universidad Técnica de Cotopaxi a través de sus estudiantes; plantea una solución técnica a la falta de energía eléctrica en la Hacienda Ecológica Baños, con la implementación de este sistema hidroeléctrico consideramos que es la solución práctica y la más adecuada para dotar del servicio eléctrico a la propiedad, ya que para la generación de la misma se aprovecha sus propios recursos naturales (Caudal y altura) por la cual se obtendrá una energía limpia, económica y libre de contaminación ruidosa; y así cumpliendo con el objetivo ecológico de la hacienda que es el de salvaguardar la vida de cada una de las especies que habitan en el sector.

## **2.- Cuales han sido las falencias en la Hacienda Baños al no tener el suministro de energía eléctrica.**

Prácticamente al encontrarse la Hacienda fuera de la línea de interconexión eléctrica padece de necesidades ante la falta del recurso energético como se los detalla a continuación:

El tener que usar formas de generar energía eléctrica que contaminan el medio ambiente en este caso el uso de los combustibles que utiliza un generador de combustión interna.

Al usar el combustible como elemento principal de generación se incrementa el costo del Kw. generado, además se suma el costo de mantenimiento del equipo de generación, es este caso el motor de combustión.

La energía que se obtiene a través del generador de combustión produce exceso de ruido, que tiende a ser una contaminación directa al medio ambiente, además el proceso de generación se dispone de pocas horas al día debido al costo y consumo del combustible.

El suministro de energía durante la noche hace vital para la manutención de los usuarios que residen en la Hacienda Baños, y prácticamente al no tener este servicio no pueden satisfacer sus necesidades básicas que les proporciona el diario vivir.

## **3.- Piensa Ud. Que los sistemas de generación a pequeña escala contribuyen el desarrollo de las zonas urbano-rural.**

¡Definitivamente si! Ya que existen muchos sectores rurales del país que no tiene dotación de energía eléctrica de la red pública por estar muy alejadas del anillo de interconexión, además estos sectores poseen fuentes de energía que pueden ser aprovechadas con este sistema de generación en pequeña escala permitiendo reducir el costo de la energía eléctrica, con la misma que contribuirá al desarrollo del sector.

#### **4.- Con la implementación del sistema Pico en la Hacienda Baños cuáles serán los objetivos a futuro.**

Actualmente la Hacienda Baños se encuentra realizando actividades de crianza de ovejas y bovinos de raza, actividad que se la realiza en la mañana y durante la noche los propietarios tienden a retornar a su hogar debido a la falta de iluminación, por lo que cuando el sector este con el suministro eléctrico se tendrá presente la implementación de un proyecto de turismo ecológico y la implementación de un proyecto de piscicultura todo esto garantizará el desarrollo ecológico del ecosistema y de la zona donde se encuentra ubicada la Hacienda.

#### **2.7.2. Conclusión de la entrevista aplicada.**

Mediante la información obtenida, se ha concluido que la utilización de fuentes renovables de energía reemplaza en su totalidad a las no renovables ya que las mismas tienen grandes beneficios ecológicos y económicos que proporcionan mayor eficiencia en un sistema PCH disminuyendo la situación del impacto ambiental. Para nosotros la implementación de un sistema de generación de energía eléctrica permite mantener una eficiencia óptima en el abastecimiento de la demanda de consumo para la Hacienda Baños contribuyendo al desarrollo de la misma.

#### **2.7.3. Análisis e interpretación de la encuesta.**

La presente encuesta se la aplico a profesionales que se encontraban relacionados con los procesos de generación de energía eléctrica, y técnicos conexos al área eléctrica y sector industrial los cuales ayudaron al proceso de investigación en el proyecto Pico Central Hidroeléctrico, siendo las siguientes preguntas:

**1.- Conoce Ud. cuál de las siguientes fuentes de energía provee electricidad a un costo considerablemente bajo.**

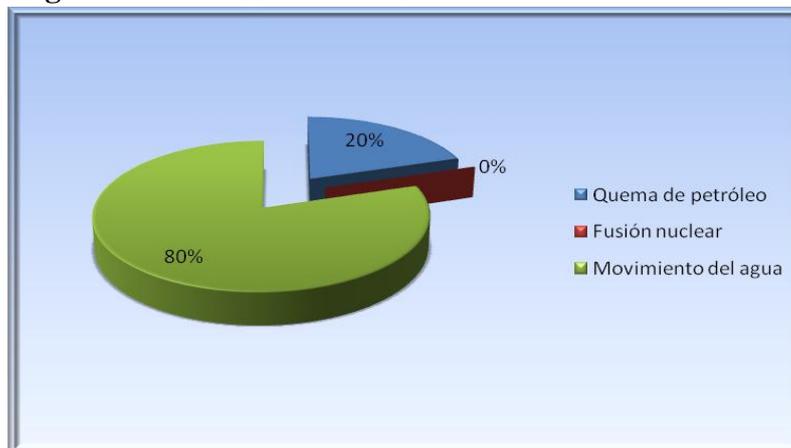
**Tabla2.14** OBTENCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Opción	Frecuencia	Porcentaje
Quema de petróleo	1	20%
Fusión nuclear	0	0%
Movimiento del agua	4	80%
Total	5	100%

**Fuente:** Universo de investigación.

**Elaborado por:** Postulantes.

**Figura2.7** OBTENCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.



**Fuente:** Datos de tabla 2.14.

**Elaborado por:** Postulantes.

**Análisis:** El aprovechamiento hidroeléctrico o movimiento del agua transforma la energía potencial a cinética, la cual aprovecha una masa de agua situada en un punto alto hasta otro bajo, siendo un caudal el principal elemento generador de electricidad debido a un movimiento además de existente en la región andina, evidenciado que este tipo de energía es bastante beneficiosa con el aspecto económico, además es un sistema de generación limpio y un combustible completamente reutilizable después del proceso de generación; mientras que la energía eléctrica obtenida de la quema de combustible resulta un tipo de energía barata, justificándose que son factibles en lugares donde no se pueda obtener una

el recurso energético o donde se requiera una capacidad de consumo inferior a los 2 Kw. Por un corto tiempo.

**2.- De las siguientes fuentes que se utilizan en el proceso de generación de electricidad; cual piensa Ud. que es la más ecológica.**

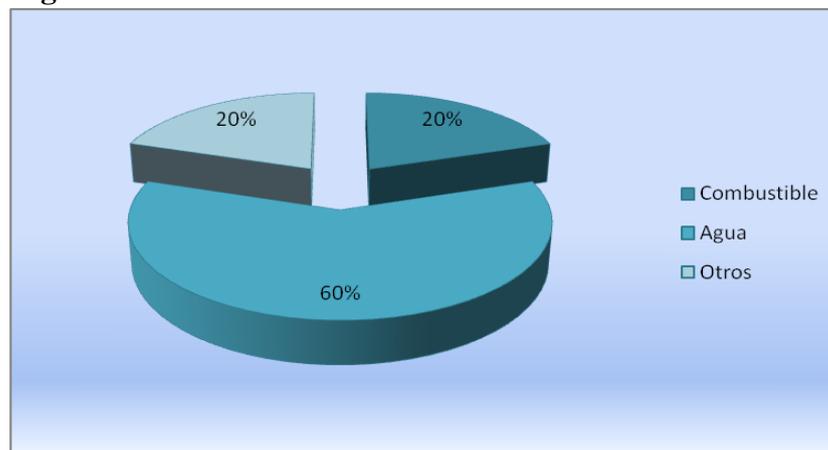
**Tabla 2.15 FUENTES DE ENERGÍAS ECOLÓGICAS.**

Opción	Frecuencia	Porcentaje
Combustible	1	20%
Agua	3	60%
Otros (eólica, mareomotriz, vapor).	1	20%
Total	5	100%

**Fuente:** Universo de investigación.

**Elaborado por:** Postulantes.

**Figura 2.8 FUENTES DE ENERGÍAS ECOLÓGICAS.**



**Fuente:** Datos de tabla 2.15.

**Elaborado por:** Postulantes.

**Análisis:** El proceso de generación hidroeléctrico en pequeña escala minimiza daños y perjuicios al sistema ecológico puesto que no puede necesitar de embalses para la captación del caudal, siendo este un recurso reusable sin producir contaminación e impacto ambiental, demuestra además que el agua como combustible de generación eléctrica es limpio y que en su transformación no contiene residuo alguno que afecte al ecosistema, mientras que las demás fuentes

de energía revelan que pueden ser ecológicas si se identifica la forma de extraer su origen sin causar perjuicio alguno, una de ellas es la energía eólica que posee un rango mínimo de generación y no causa daño al medio ambiente durante la generación.

### 3.- Conoce ó sabe que es un sistema Pico Central Hidroeléctrico.

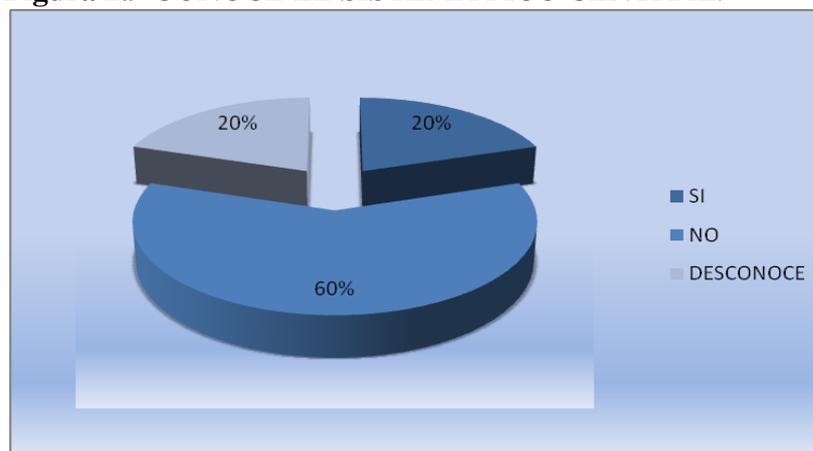
**Tabla 2.16** CONOCE EL SISTEMA PICO CENTRAL.

Opción	Frecuencia	Porcentaje
SI	1	20%
NO	3	60%
DESCONOCE	1	20%
Total	5	100%

**Fuente:** Universo de investigación.

**Elaborado por:** Postulantes.

**Figura 2.9** CONOCE EL SISTEMA PICO CENTRAL.



**Fuente:** Datos de tabla 2.16.

**Elaborado por:** Postulantes.

**Análisis:** Un sistema Pico central hidroeléctrico está en la capacidad de generar una potencia de 0 a 5 Kw, la misma que viene a ser una solución técnica para los sectores rurales inhabilitados de servicio, el talento humano responsable de las centrales hidroeléctricas tiene presente su área ,debido a que la generación se produce a gran escala, sin embargo se hace necesario dar a conocer proyectos de generación que puedan ayudar al desarrollo de zonas que posean riachuelos y sea utilizados como fuente de energía.

**4.- Según su criterio piensa que existan sectores que no estén provistos de energía eléctrica.**

**Determine en el cuadro cual serian el más vulnerable.**

**Tabla 2.17** EXISTEN SECTORES QUE NO ESTÉN PROVISTOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Opción	Frecuencia	Porcentaje
SI	4	80%
NO	1	20%
Total	5	100%

**Fuente:** Universo de investigación.

**Elaborado por:** Postulantes.

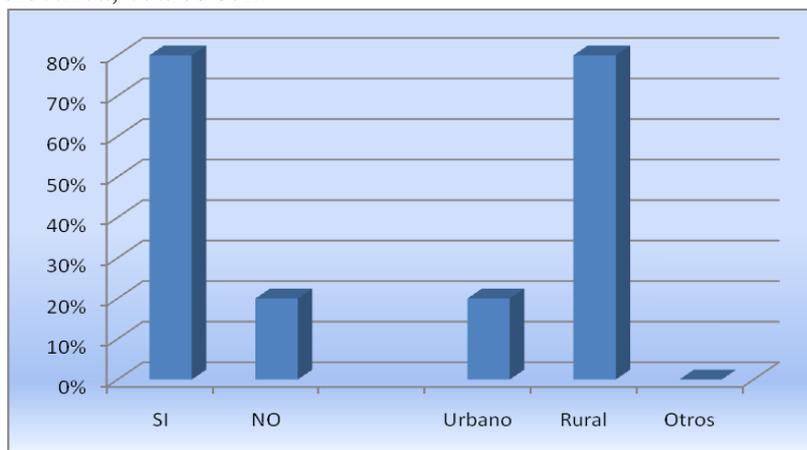
**Tabla N° 2.18** SECTOR VULNERABLE

Urbano	1	20%
Rural	4	80%
Otros	0	0%
Total	5	100%

**Fuente:** Datos de tabla 2.17.

**Elaborado por:** Postulantes.

**Figura2.10** Existen sectores que no estén provistos de energía eléctrica, cuales son:



**Fuente:** Datos de tablas 2.17 y 2.18.

**Elaborado por:** Postulantes.

**Análisis:** La demanda energética ha ido creciendo paulatinamente debido a la extensión del territorio, obligando a las empresa encargadas del suministro energético a extender su servicio, sin embargo existen algunos sectores que

realmente no están provistas de energía eléctrica debido a la distancia a la cual se encuentra la red de distribución. Los mismos son familias que decidieron asentarse a las afueras de la ciudad y que para gozar de la energía eléctrica tendrían que alargar una red, la misma que implicaría un costo considerable por el Kw instalado.

**5.- Actualmente piensa Ud. Que las empresas eléctricas satisfacen con su servicio a los sectores rurales.**

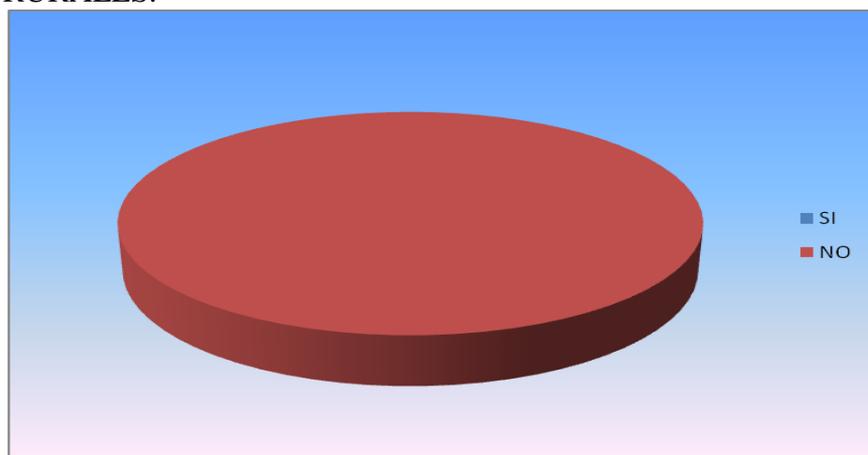
**Tabla 2.19 LAS EMPRESAS ELÉCTRICAS SATISFACEN CON SU SERVICIO A LOS SECTORES RURALES.**

Opción	Frecuencia	Porcentaje
SI	0	0%
NO	5	100%
Total	5	100%

**Fuente:** Universo de investigación.

**Elaborado por:** Postulantes.

**Figura 2.11 LAS EMPRESAS ELÉCTRICAS SATISFACEN CON SU SERVICIO A LOS SECTORES RURALES.**



**Fuente:** Datos de tabla 2.19.

**Elaborado por:** Postulantes.

**Análisis:** Muchas de las empresas encargadas de suministrar el servicio eléctrico no pueden llegar hasta los puntos de aplique debido a la deformidad del terreno, a la gran cantidad de recursos que se necesitaría para en todo caso dotar de

electricidad a una ó dos familias, generarían un costo adicional que perjudica el aspecto económico de las mismas. Los mismos que dan pauta a pequeños proyectos de generación eléctrica que son una alternativa para la solventar esta necesidad, el sistema pico central es una elección para los sectores rurales.

**6.- La implementación de PCH en zonas rurales permitirá solucionar problemas de déficit de energía eléctrica.**

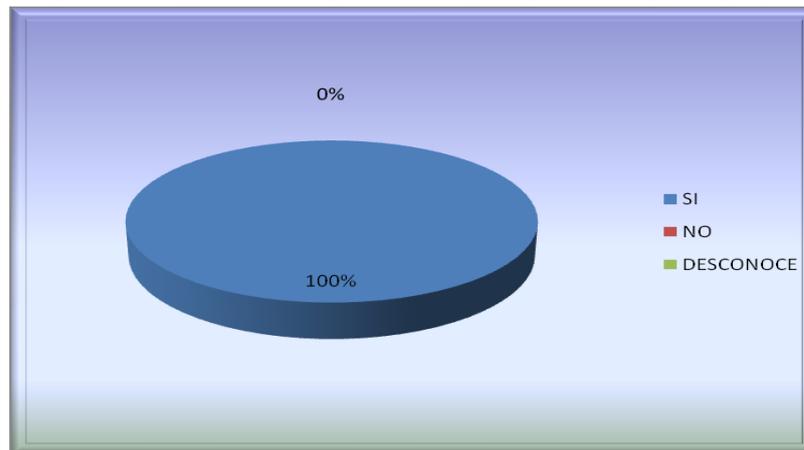
**Tabla 2.20 LAS PCH PERMITIRÁ SOLUCIONAR PROBLEMAS DE DÉFICIT DE ENERGÍA ELÉCTRICA.**

Opción	Frecuencia	Porcentaje
SI	5	100%
NO	0	0%
DESCONOCE	0	0%
Total	5	1

**Fuente:** Universo de investigación.

**Elaborado por:** Postulantes.

**Figura 2.12 LAS PCH PERMITIRÁ SOLUCIONAR PROBLEMAS DE DÉFICIT DE ENERGÍA ELÉCTRICA.**



**Fuente:** Universo de investigación.

**Elaborado por:** Postulantes.

**Análisis:** La implantación de estos sistemas son una solución práctica para los sectores que deseen explotar un medio como fuente de energía, el mismo que es un recurso hídrico que abunda en el sector y que son la base fundamental para implementar sistemas de generación de baja potencia en este caso un sistema pico

central hidroeléctrico, puesto que con la ejecución del proyecto se garantiza bienestar y el desarrollo de muchos de los sectores que se encuentran sin el servicio de electricidad.

**7.- En que otro beneficio cree Ud. que podemos reutilizar el agua, utilizada en proyectos de generación hidroeléctrica.**

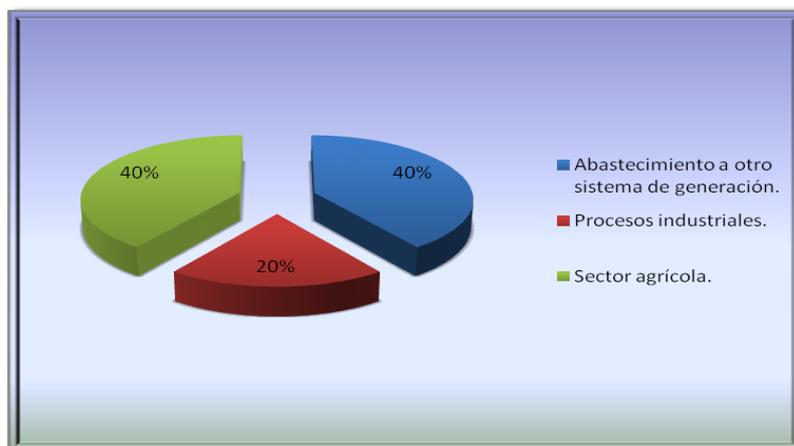
**Tabla 2.21** BENEFICIO AL REUTILIZAR EL AGUA DESPUÉS DE GENERAR ELECTRICIDAD.

Opción	Frecuencia	Porcentaje
Abastecimiento a otro sistema de generación.	2	40%
Procesos industriales.	1	20%
Sector agrícola.	2	40%
Total	5	100%

**Fuente:** Universo de investigación.

**Elaborado por:** Postulantes.

**Figura 2.13** BENEFICIO AL REUTILIZAR EL AGUA DESPUÉS DE GENERAR ELECTRICIDAD.



**Fuente:** Datos de tabla 2.21.

**Elaborado por:** Postulantes.

**Análisis:** La reutilización de un recurso garantiza la efectividad del mismo, es decir que durante el proceso de transformación no sufrió cambio alguno en sus propiedades, el recurso hídrico consumido en sistemas de generación puede abastecer a otra central hidroeléctrica aguas más abajo hasta el final en la que es captada para fines agrícolas un determinado sector la utiliza en procesos industriales con la condición de que esta agua tenga un buen uso durante su

manejo, con la resolución afirmamos que el agua es un recurso reutilizable por varias ocasiones atrayendo varios beneficios que garantiza la reutilización de un caudal aprovechado.

#### **2.7.4. Conclusiones de la encuesta aplicada.**

- El agua es un recurso renovable que puede ser utilizado como fuente de energía, de un costo considerablemente bajo para la generación de electricidad.
- Muchos sectores del Ecuador poseen afluentes de agua que se deberían aprovechar con mayor eficiencia.
- Algunos de los sectores rurales están demasiado alejados del anillo de interconexión por lo que para obtener el servicio de electricidad es demasiado costoso, debido a la gran cantidad de línea de transmisión, además la carga sería demasiado baja para el usuario.
- Se ha demostrado que en la actualidad muchas de las tecnologías son muy amigables con el hábitat, por tal circunstancia es necesario fomentar proyectos e iniciativas que surgen de la necesidad aprovechando al 100% los recursos que nos ofrecen el medio ambiente.

En el presente capítulo se ha procedido a establecer el estudio geográfico e hidrológico de donde se implementará la pico central además se ha determinado cada uno de los parámetros e indicadores para la selección de los equipos a ser empleados en nuestro proyecto, los principales indicadores se mencionan como: capacidad de generación en base a la altura y caudal aforado para la selección de la turbina y el tipo de generador, pendiente de recorrido del caudal identificando el tipo de tubería y la presión a la cual va a estar expuesta, además la cantidad de caudal para garantizar el perfecto funcionamiento del equipo de generación además los sistemas de protección para el equipo eléctrico.

## **CAPÍTULO III**

### **3. APLICACIÓN Y VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA.**

#### **PRESENTACIÓN.**

La provincia de Cotopaxi posee una gran cantidad de recursos naturales, entre ellos los hidráulicos, fuentes que pueden ser aprovechadas para la generación de energía eléctrica en zonas rurales, debido al recurso natural se realizan los estudios de factibilidad en la hacienda la Hacienda “Ecológica Baños”, situada a 30 Km. Sector Noroeste de la parroquia Aláquez; con el fin de implementar una pico central hidroeléctrica, la misma que servirá como base fundamental del desarrollo integral para la comunidad, con la finalidad de brindar mayor comodidad y cubrir sus necesidades a los usuarios del sector.

Los pico-centrales hidroeléctricos constituyen una alternativa energética viable, cohabitando en perfecta armonía con el hombre y el medio ambiente, la Hacienda Baños cuenta con el recursos hídrico para fomentar el desarrollo de un sistema energético que se aprovecha la energía reusable de pequeños y medianos cursos de agua y la transforma en energía eléctrica.

Estas tecnologías de energía renovable a pequeña escala presentan una alternativa económica y ambiental factible para la provisión de energía a sectores alejados del suministro eléctrico y de centros de distribución, además representan una forma de energía valiosa, porque con un impacto medioambiental muy bajo o mínimo, utilizan una fuente energética reutilizable.

La implantación del presente proyecto nos permitirá poner en destreza los conocimientos adquiridos, aplicándolos en el campo práctico para de esta forma dar a conocer a la comunidad una alternativa importante para su desarrollo.

### **3.1.JUSTIFICACIÓN.**

La propuesta de esta guía es implementar un sistema híbrido en el cual intervengan solo fuente de energía renovables (sistema hídrico), que reemplacen a las que operan con combustibles fósiles (Diesel), minimizando así los impactos medioambientales negativos que estos producen, disminuyendo los costos de instalación, generación y operación.

Este contenido consiste en aprovechar el agua que nace de los páramos del Cotopaxi dando origen a pequeños riachuelos, este es un recurso natural, abundante y reusable que tenemos a disposición en la Hacienda “Ecológica Baños”. Además es un sistema hidro-energía a pequeña escala apropiada para las condiciones de los usuarios de la hacienda, y no requieren de una inversión para combustibles fósiles.

Este proyecto no solo enriquece el conocimiento técnico personal de los investigadores acerca del tema; sino que también se transforma en un pequeño esfuerzo en comparación al de otras instituciones que contribuyen a la generación de energía eléctrica, que buscan un cambio en el pensamiento de la sociedad acerca de la conservación del medio ambiente y la independencia energética, en beneficio de un desarrollo que se proyecta hacia el futuro beneficiando al conjunto de la sociedad, dentro y fuera de los grandes centros urbanos.

Para el diseño e implementación de la Pico-central hidroeléctrica se realizó un análisis de los recursos del sector donde se obtuvieron los siguientes parámetros para el diseño, generándonos una altura bruta= 48.54 m. una determinación del caudal máximo de 64 l/s. en épocas de invierno.

Para nuestro diseño se hace como referencia la captación de 30 l/s. con una pendiente de 160 m. conforme a los parámetros elegidos se hace un cálculo rápido para la determinación de la potencia a generar, donde se obtuvo una potencia eléctrica de 8.47 Kw (**Ver cálculo de diseño en Anexos “III”.**)

Las pico-centrales hidroeléctricas, en la actualidad se considera un tema vital importancia por ser el agua una fuente inagotable de energía ya que es recurso renovable más utilizado a nivel mundial.

En los sistemas pico-hidroeléctricos, la naturaleza no se adapta a las dimensiones del sistema de generación eléctrica, sucede todo lo opuesto, se dimensiona el sistema de tal manera que se pueda aprovechar, sin afectar al medio ambiente, en el cual se convierten los pico-centrales hidroeléctricos en la mejor opción para aprovechar la energía hidráulica en la generación de energía eléctrica.

## **3.2. OBJETIVOS**

### **3.2.1. Objetivo General:**

- Diseñar e Implementar una Pico-central hidroeléctrica a través del aprovechamiento del movimiento del agua, para la hacienda Ecológica Baños de la parroquia Aláquez – Provincia de Cotopaxi.

### **3.2.2. Objetivo Específicos:**

- Ejecutar una investigación documental de la teoría de cómo se instala una pico-central hidroeléctrica, información y elementos que son necesarios para la generación de energía eléctrica, existentes dentro del mercado para asegurar la elaboración de nuestro sistema electromecánico y de esta forma reducir costos, optimizar gastos y evitar construcciones innecesarias.
- Desarrollar los parámetros de diseño para la instalación de los equipos electromecánicos del pico-central hidroeléctrico.

- Dotar de energía eléctrica propia a la Hacienda “Ecológica Baños” a bajo costo.
- Crear un documento informativo sobre el tema investigado, sacar conclusiones y recomendaciones del proyecto.

### **3.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.**

¿Cómo dotar de servicio energético eléctrico a la hacienda Ecológica Baños a través del sistema pico-central hidroeléctrica aprovechando el recurso hídrico local?

### **3.4. DESARROLLO DE LA PROPUESTA.**

#### **3.4.1 Obras Civiles.**

El esquema básico de las obras civiles para la PCH en la hacienda Baños, fue diseñada conforme a los requerimientos de caudal para el buen funcionamiento de la PCH, la misma que tendrá lugar una bocatoma, el canal de conducción, el desarenador, el tanque de presión y casa de máquinas donde va alojado el equipo electromecánico.

##### **3.4.1.1 Bocatoma.**

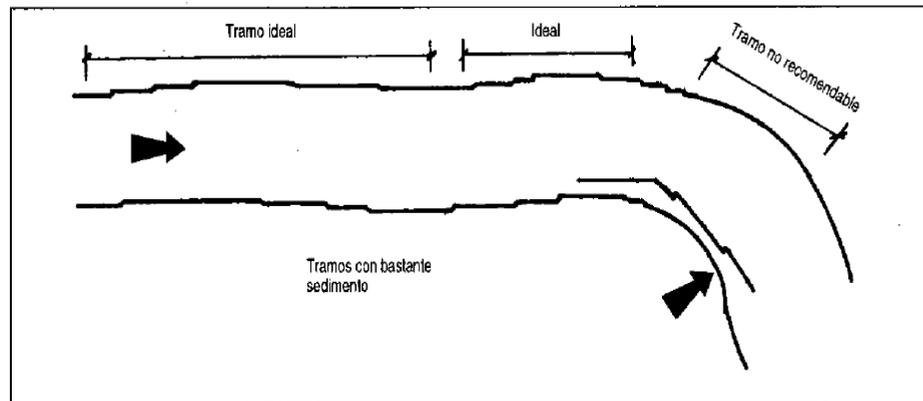
Los postulantes planteamos un diseño de la bocatoma el cual debe garantizar la captación de una cantidad constante de agua, en este caso el caudal de diseño es de 30 l/s. impedir en donde sea posible el ingreso de materiales sólidos o flotantes, conforme a lo mencionado este debe proteger al resto del sistema del ingreso de embalses que pudieran producirse en épocas lluviosas.

Podemos encontrar diferentes tipos de obras de captación, entre los cuales se agrupan dos principales:

- Por derivación directa.
- Con almacenamiento de carga.

Para nuestro proyecto utilizaremos la captación por derivación directa, por ser un proyecto de generación a pequeña escala. Así por ejemplo, el caudal de captación de la bocatoma de la HACIENDA ECOLOGICA BAÑOS, es de 30 l/s.

**Figura 3.1 UBICACIÓN DE BOCA TOMA.**



**Fuente:** Manual Pequeñas centrales hidroeléctricas ITDG.

#### **3.4.1.2. Sistema de conducción.**

Este será el encargado de conducir el caudal de agua necesario desde la boca toma hasta el tanque de presión. Para nuestro caso no utilizaremos el canal de tierra sin recubrimiento puesto que existe ya un canal en condiciones ya específicas para la implementación de la pica central. Los cuales utilizaremos en suelos que están bastante degradados por la erosión, el mismo que posee las características para la conducción de la cantidad de caudal adecuado para la alimentación del tanque de presión.

#### **3.4.1.3. Diseño del tanque de presión.**

De los datos obtenidos de generación disponemos de una capacidad de 8.5 Kw. Y la energía-Día ó requerimiento energético consideramos una carga de 4,5 Kw + 10%.

- Potencia de diseño = 8.5 Kw.
- Potencia total consumida = 5.5 Kw.
- Horas de uso de energía = 4 horas.
- Energía entregada = 22 Kw-hora

Caudal total

Ecuación (3.1)

$$Q_{total} = Q_{salida} = Q_{entrada}$$

$$Q_{consumo} = 30 \frac{l}{s} = 28.6 \frac{l}{s}$$

$$Q_{total} = 1.5 l/s$$

Volumen del tanque en relación a:

Ecuación (3.2)

$$V_{tanque} = Q_{total} * tiempo$$

$$V_{tanque} = 15 \frac{l}{s} * 10^{-3} * (4 * 3600 s)$$

$$V_{tanque} = 21600 m^3$$

De acuerdo a las condiciones del sitio, entonces podemos aproximar el volumen del mismo con las siguientes dimensiones.

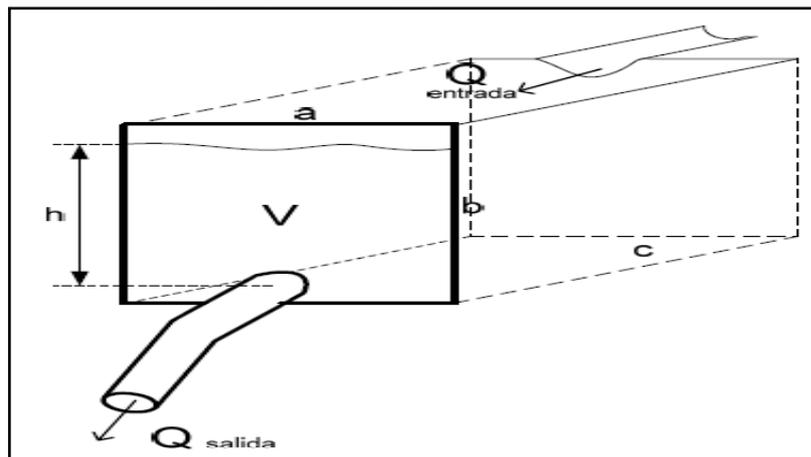
(a) = 2.5 m

(b) = 1.6 m

(c) = 5.5 m

Volumen total  $\cong 22 m^3$

**Figura3.2** DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE PRESIÓN PARA LA HACIENDA BAÑOS.



Fuente: Postulantes.

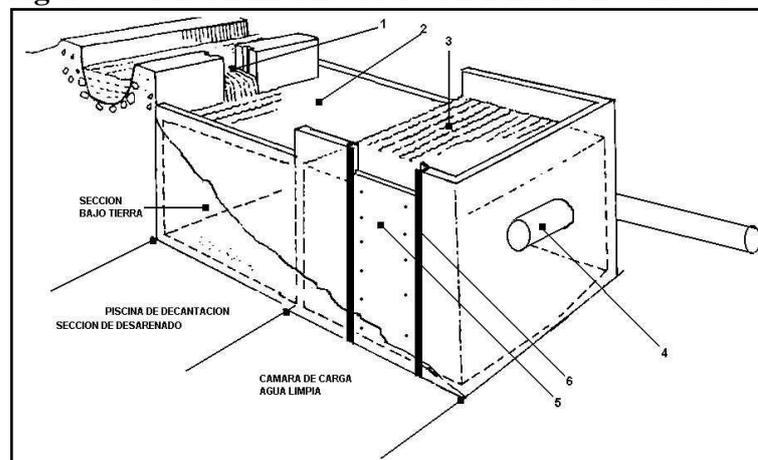
### 3.4.1.4. Desarenador y cámara de carga

Para la implementación de la PCH en la Hacienda Baños tomamos en consideración el desarenador longitudinal puesto que el agua viene en un canal con turbulencia, este nos permitirá reducir la velocidad del agua quedando suspendidos los materiales sólidos en el interior de la cámara de carga para retirarlo periódicamente.

Los elementos que componen nuestro desarenador y cámara de carga son:

1. Canal de desviación con entrada al decantador; en esta entrada se debe instalar una rejilla metálica para retener material grande (ramas, hojas, piedras, etc.).
2. Sección de desarenado.
3. Cámara de Carga.
4. Ducto hacia la casa de máquinas.
5. Compuerta para limpieza de la cámara.
6. Corredera de perfil en C para compuerta.

**Figura 3.3 DESARENADOR Y CÁMARA DE CARGA.**



Fuente: [http://www.gea.usm.cl/temporal/proyectos\\_cont.html](http://www.gea.usm.cl/temporal/proyectos_cont.html)

A continuación se tomó los siguientes criterios para el diseño del desarenador para el proyecto de implementación, según ITDG manual de mini y micro centrales hidroeléctricas (1995).

- La transición de entrada debe tener un ángulo de divergencia suave no mayor de  $12^{\circ} 30''$ .

- La velocidad del agua en la cámara de sedimentación varía entre 0.1 y 0.4 *m/s*.
- La profundidad media varía entre 1.5 y 4 *m*.
- La pendiente transversal generalmente varía de 1:5 a 1:8.
- La pendiente longitudinal del canal central de la cámara varía entre 2% y 6 %.
- El diámetro máximo del gramo debe estar dentro del rango de 0.15 a 0.40 mm.
- La capacidad de desarenación debe ser más de 1.5 a 2 la capacidad teórica.
- Los tiempos de sedimentación varían de acuerdo con el tamaño del gramo.
- Es necesario hacer un estudio de la cantidad y tamaño de sedimentos que trae el agua para asegurar una adecuada capacidad del desarenador y no necesitar un lavado con demasiada frecuencia.

Tomado en consideración lo enunciado podemos dimensionar la capacidad del desarenador a ser utilizado en el proyecto de generación en la Hacienda Baños. Ver planos en **Anexo IV**.

El desarenador y tanque de presión constituyen una sola obra civil para lo cual se procede a escavar un hoyo con dimensiones y geometría del plano seguidamente se coloca una sub-base de piedra de 20 cm; En la excavación para asegurar la cimentación del tanque se vierte hormigón en un espesor de 20 cm. ( $F_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ ) en todo el piso, conjuntamente se coloca en la parte intermedia un malla electro soldada para evitar fisuras en la base, ya Una vez realizado el piso se procede a realizar las paredes del tanque las mismas que serán de ladrillo y revestidas con cemento.

La implementación de la Pico Central demanda un caudal de paso por lo que el tanque de presión viene a ser un acumulador del agua sobrante ó no utilizada en el proceso de generación, es así que se instaló cuatro tanques en material PVC los cuales reemplazan a la capacidad de almacenamiento del tanque de presión ya diseñado ( $9.2 \text{ m}^3$ ) en este caso cada tanque tiene una capacidad de  $2.5 \text{ m}^3$ . Los mismos que fueron colocados sobre una base de arena compacta y a desnivel de altura con respecto al desarenador captando el agua por intermedio de mangueras en poliuretano (manguera de riego) en dimensión de  $2 \frac{1}{2}$  plg; la una interconexión entre los cuatro

tanques se la realizó por medio de una tubería de 160 mm acoplada directamente a la tubería de presión.

Mediante la circulación del agua por todo el sistema se pudo comprobar que los tanques cumplen con el objetivo para lo cual fue diseñado, el cual en el desarenador es la retener los cuerpos sólidos y en los tanques almacenar el agua para luego enviarla a la turbina.

**Figura 3.4** TANQUE DE PRESIÓN.



Fuente: Hacienda Baños

#### **3.4.1.5. Casa de máquinas.**

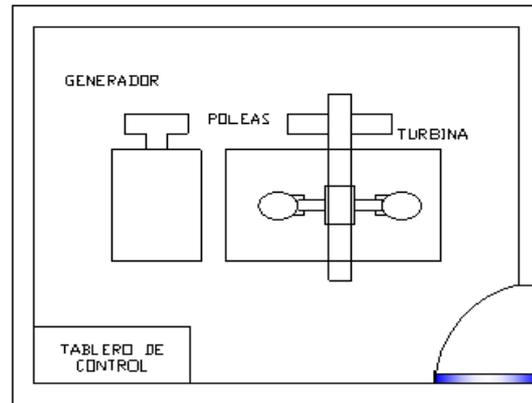
El área de la casa de máquinas para Pico Centrales se establece una estandarización en sus dimensiones y van de acuerdo a los rangos de la potencia generada por el sistema. De 5 a 30 Kw:  $3 m^2$  a  $4,5 m^2$ . Como se ve en la figura N° 3.6

Para nuestro caso tomamos en consideración en el diseño de la casa de máquinas; OLADE Manual de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas volumen III (1985).

- Dimensionamiento de los equipos electromecánicos.
- Zona o región en la se implementará la PCH; se tendrá que pensar en las características del lugar tales como clima, para proyectar la casa de máquinas.
- El esfuerzo admisible del suelo y los Materiales de construcción disponibles en el lugar.
- Facilidades de acceso.
- Simplicidad de la construcción.

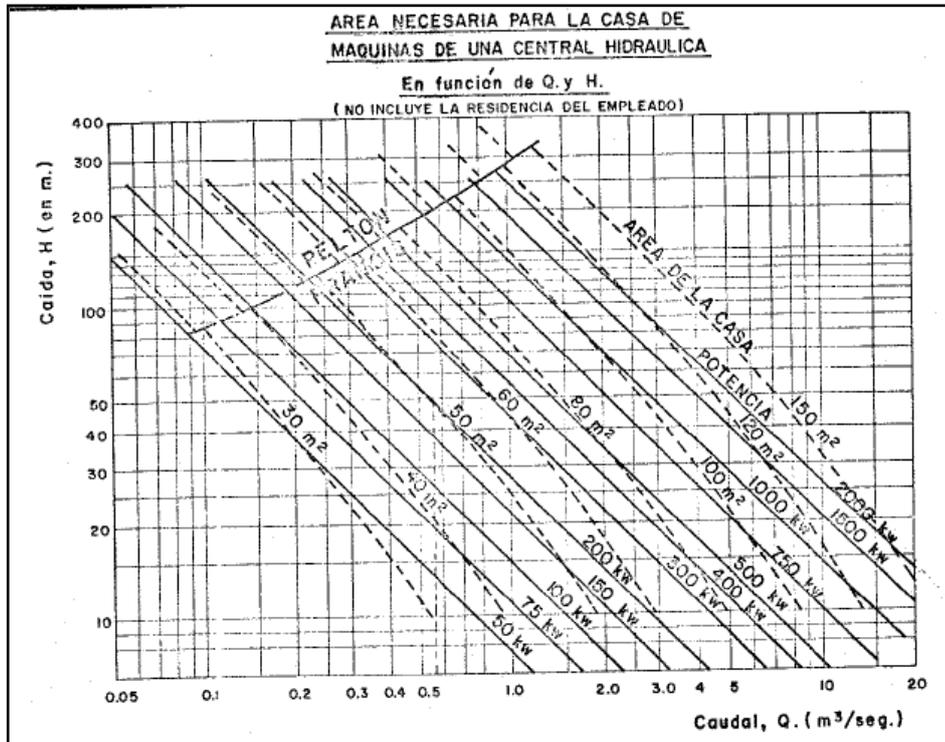
- Maquinas en relación al rio, investigando la elevación de la creciente máxima y comportamiento del rio en relación a su cauce.
- Los planos deben tener todos los detalles posibles para que puedan ser fácilmente interpretados.
- Considerar la necesidad de instalar un sistema de izaje para montaje y mantenimiento de los equipos.

**Figura 3.5 CASA DE MÁQUINAS.**



Elaborado por: Postulantes.

**Figura 3.6 ÁREA DE CASA DE MÁQUINAS PARA UNA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA.**



Fuente: Manual de diseño de pequeñas centrales hidráulicas "Obras civiles Pág. 33".

### 3.5. Selección y diseño mecánico de la turbina.

El diseño se realiza con el objetivo de determinar las dimensiones de los elementos importantes para proceder al montaje de sus componentes.

El diseño del inyector se realiza de tal forma que el agua acelere la velocidad de la turbina, transformando toda su energía potencial en cinética y que a la salida del mismo se oriente un chorro de agua de sección circular hacia las cucharas del rodete, ubicadas en la periferia de la rueda quien recibe el impulso del chorro de agua, absorbiendo su energía cinética y transmitiéndola al eje de la turbina para generar potencia mecánica.

Para el diseño de las cucharas o alabes se diseña una geometría que permita aprovechar al máximo la energía que se entrega al rodete.

#### 3.5.1. Número característicos de revoluciones $N_Q$ y $N_s$

Según Intermediate Technology Development Group ITDG Perú (1995), los números característicos se determinan aplicando las siguientes ecuaciones.

**Ecuación (3.3)**

$$N_Q = N * \frac{\sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H^3}}$$

**Ecuación (3.4)**

$$N_s = N * \frac{\sqrt{P}}{\sqrt[4]{H^5}}$$

**Donde:**

**P** = Potencia Hidráulica o Potencia neta turbinable. (13.50 Kw) (21.12 Cv.)

**Q** = Caudal que fluye por la turbina. ( $0.03 \frac{m^3}{s}$ )

**H** = Altura neta. (45.9m.)

**N** = Velocidad de giro de la turbina. (450 rpm.)

Al reemplazar en la ecuaciones antes mencionadas tendremos los siguientes resultados.

$$N_Q = 450 * \frac{\sqrt{0.03}}{\sqrt[4]{(45.9)^3}}$$

$$N_Q = 4.41 \text{ rpm. } N_Q = 4$$

$$N_s = 450 * \frac{\sqrt{21.12}}{\sqrt[4]{(45.9)^5}}$$

$$N_s = 17.30 \text{ rpm. } N_s = 17$$

Como resultado tenemos la selección de una turbina Pelton con dos mediante la **Tabla 2.12. (Características de velocidades específica de las turbinas), y en el Anexo VI-1 (Diagrama de Salto vs. Caudal para seleccionar la turbina)** Siendo los números característicos son los más determinantes para la selección y diseño de los inyectores, luego de realizar la comparación con los números característicos y el diagrama de salto observamos que el rango de aplicación de la turbina pelton es de dos inyectores.

### 3.5.2. Diseño de los parámetros de la Turbina Hidráulica.

El diseño hidráulico de la turbina se refiere a la geométrica y dimensionamiento que deben tener los elementos de la turbina pelton seleccionada la cual garantizará una velocidad de giro, el diámetro exacto y número de alabes alojados en la turbina y el diámetro del chorro necesario para garantizar las rpm necesarias para el sistema de transmisión.

#### 3.5.2.1. Velocidad Óptima del Chorro. ( $C_1$ )

Para una turbina pelton existen dos coeficientes de velocidad esenciales, determinados según el manual de diseño estandarizado OLADE (1988), que nos permite definir parámetros importantes de la turbina. Esta velocidad se refiere a la del chorro del agua a la salida del inyector y a la entrada de la cuchara y está determinada por la ecuación.

**Ecuación (3.5)**

$$C_1 = K_C \sqrt{2 * g * H_n}$$

**Donde:**

$C_1$  = Velocidad óptima del chorro. [m/s]

$K_C$  = Coeficiente de Tobera.

$G$  = Constante de gravedad. [9.81 m/s<sup>2</sup>]

$H_n$  = Altura neta. [45.9m.]

Este  $K_C$  coeficiente suele variar entre 0.97 y 0.99, para nuestro caso será de 0.97.

Entonces al reemplazar la ecuación tenemos:

$$C_1 = 0.97 \sqrt{2 * (9.81) * (45.9)}$$

$$C_1 = 29.10 [m/s].$$

En la salida de la cuchara se forma un diagrama de velocidades donde la velocidad tangencial  $U_1 = U_2 = U$ . se puede observar en la figura 3.8 El triángulo de velocidades, por lo tanto se calcula por medio de la siguiente expresión.

**Ecuación (3.6)**

$$U_1 = K_U * C_1$$

**Donde:**

$U_1$  = Velocidad tangencial. [m/seg]

$C_1$  = Velocidad óptima del chorro. [m/seg]

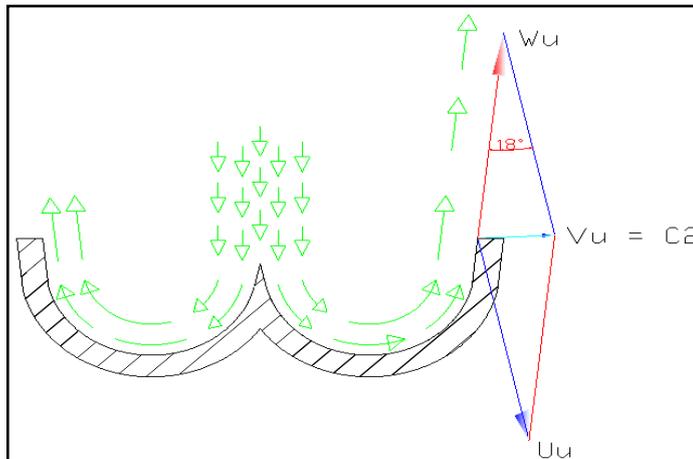
$K_U$  = Coeficiente de la velocidad tangencial y su valor varía entre 0.47.

Entonces al reemplazar la ecuación tenemos:

$$U_1 = 0.47 * 29.10 [m/s]$$

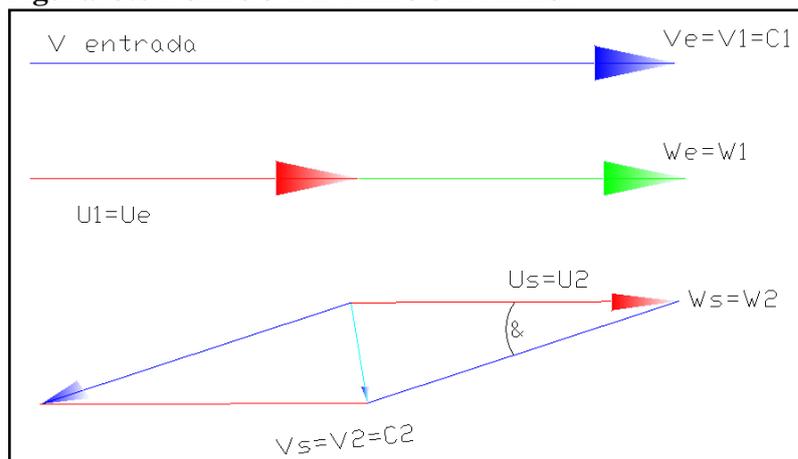
$$U_1 = 13.67 [m/s]$$

**Figura 3.7** ENTRADA DEL CHORRO DEL AGUA Y LOS ÁNGULOS QUE SE FORMAN A LA SALIDA DELA CUCHARA.



**Fuente:** Diseño e implementación de un prototipo de una pico central hidraulica para uso rural.  
**Elaborado por:**Postulantes.

**Figura 3.8** POLIGO DE VELOCIDADES.



**Fuente:** Diseño e implementación de un prototipo de una pico central hidraulica para uso rural.  
**Elaborado por:**Postulantes.

### 3.5.2.2. Diametro Pelton de la Turbina Hidraulica.

Según el manual de diseño estandarizado OLADE (1988), el diámetro primitivo se refiere a la rueda intermedia donde van alojados los alabes, además es un valor referencial de diseño el cual determinamos con la siguiente ecuación.

**Ecuación (3.7)**

$$D_P = \frac{60 * U_1}{\pi N_T}$$

**Dónde:**

$D_P$  = Diámetro primitivo.

$U_1$  = Velocidad tangencial. [m/s]

$N_T$  = Velocidad de giro de la turbina. (450 rpm.)

Entonces tenemos:

$$D_P = \frac{60 * 13.67}{\pi * 450}$$

$$D_P = 0.580m.$$

El diámetro Pelton quedará establecido por 60 cm, esto es más que todo para la facilidad en el momento de que se construya.

### 3.5.2.3. Sección Transversal del Chorro.

Este valor de la sección transversal del chorro o la sección de salida en el inyector se calcula mediante la siguiente ecuación.

**Ecuación (3.8)**

$$d = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * c_1}}$$

**Dónde:**

$Q$  = Caudal de diseño. ( $0.03 \frac{m^3}{s}$ )

$c_1$  = Velocidad óptima del chorro. [m/seg]

Entonces tenemos:

$$d = \sqrt{\frac{4 * (0.03)}{\pi * 29.10}}$$

$$d = 0.036m.$$

El diámetro del chorro será de 36 mm.

### 3.5.3. Determinación del número exacto de las Cucharas de la turbina.

Normalmente el número de álabes se encuentra entre 17 y 26 por rueda. Un aumento de la velocidad específica significa una disminución del número de álabes. El número de álabes deben ser tal que el agua proveniente del chorro no tenga lugar para pasar entre dos álabes sin acción sobre alguno de ellos.

Para determinar el número de alabes se utiliza la siguiente ecuación de A. Ribaux.

**Ecuación (3.9)**

$$Z = 14 + \frac{D}{2d}$$

**Dónde:**

**Z** = Número de álabes.

**D** = Diámetro Pelton

**D** = Diámetro del chorro.

Al reemplazar la ecuación tendremos:

$$Z = 14 + \frac{0.6m}{2 * 0.036m}$$

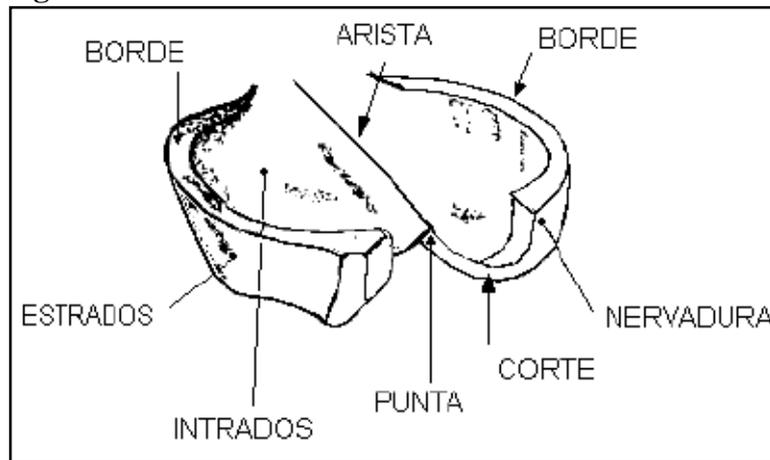
$$Z = 21.22$$

Determinado el número de alabes para nuestro proyecto, obtenemos que la turbina hidráulica tendrá 21 cucharas; figura 3.9.

### 3.5.4. Dimensionamiento de las cucharas o Alabes.

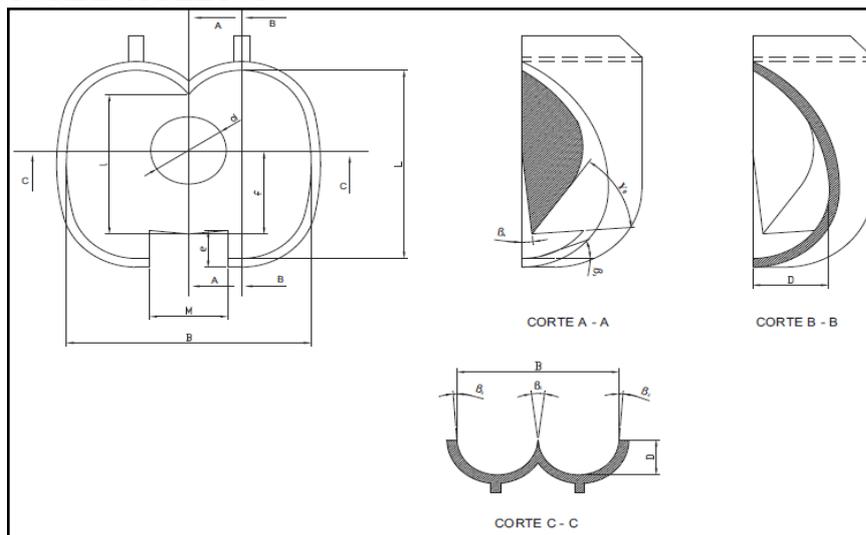
El dimensionamiento de las cucharas o alabes de la turbina Pelton son proporcionales al diámetro del chorro, esto se conforman por dos semi elipsoide que forma una arista o nervio que divide al chorro de agua en dos partes, en la figura 3,9 se puede observar la forma de la cuchara.

**Figura 3.9 PARTES DE UNA CUCHARA PELTON.**



**Fuente:** OLADE Manual de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas.

**Figura 3.10 FORMA Y DIMENSIONES DE LOS ÁLABES DE LA TURBINA PELTON.**



**Fuente:** OLADE Manual de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas.

Las dimensiones de la cuchara están en función del diámetro del chorro, utilizando la siguiente tabla lo determinamos.

**Tabla 3.1 PROPORCIONES DE LAS CUCHARAS PELTÓN EN FUNCIÓN DEL DIÁMETRO DEL CHORRO.**

B	L	D	f	M	E	$\beta_1$	$\beta_2$	I	$\beta_3$	$\beta_4$	J
2,5d	2,5d	0,85d	0,8d	1,0d	0,3d	4°	10°	1,6d	2°	0°	0,1d
a	A	a	a	A	A	a	a	a	a	a	A
4,0d	3,5d	1,3d	1,1d	1,2d	0,6d	20°	30°	1,7d	5°	20°	0,2d

**Fuente:** OLADE Manual de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas.

**Elaborado:** Postulantes.

**Donde:**

- B** = Ancho de la cuchara.  
**L** = Longitud de las cucharas.  
**D** = Profundidad de las cucharas.  
**F** = longitud de la cuchara desde el corte hasta el centro del chorro.  
**M** = Ancho de corte de la cuchara.  
**E** = Longitud radial del corte de la cuchara.  
**I** = Longitud de la cuchara en la mitad de la misma.  
**J** = Espesor de la cucharas.  
 $\beta_1$  = Angulo de entrada del agua a la cuchara.  
 $\beta_2$  = Angulo de salida del agua a la cuchara.  
 $\beta_3$  = Angulo formado por las medias cucharas.  
 $\beta_4$  = Angulo de la punta de la cuchara.

Las dimensiones de los alabes de la turbina pelton, se calculan de acuerdo al diametro del chorro o seccion de la salidad del inyector, donde se detallan a continuacion. Teniendo en cuenta que el diametro del chorro es de 36 mm.

<b>B</b>	= (2,5 a 4,0) $d = 3d$	<b>B</b>	= 108 mm
<b>L</b>	= (2,5 a 3,5) $d = 2,8d$	<b>L</b>	= 100.8 mm
<b>D</b>	= (0,85 a 1,3) $d = 0,9d$	<b>D</b>	= 32.4mm
<b>f</b>	= (0,8 a 1,1) $d = 0.98d$	<b>f</b>	= 35.28 mm
<b>M</b>	= (1,0 a 1,2) $d = 1,02d$	<b>M</b>	= 36.72 mm
<b>e</b>	= (0,3 a 0,6) $d = 0,42d$	<b>e</b>	= 15.12 mm
<b>I</b>	= (1,6 a 1,7) $d = 1,62d$	<b>I</b>	= 58.32 mm
<b>J</b>	= (0,1 a 0,2) $d = 0,12d$	<b>J</b>	= 4.32 mm
$\beta_1$	= (4° a 20°)	$\beta_1$	= 18°
$\beta_2$	= (10° a 30°)	$\beta_2$	= 20°
$\beta_3$	= (2° a 5°)	$\beta_3$	= 4°
$\beta_4$	= (0° a 20°)	$\beta_4$	= 10°

De acuerdo con el diametro del chorro o salida del inyector, a continuacion se ubicará las dimensiones de la cuchara obtenidas para el diseño y fabricacion y presentada en la tabla 3,2.

**Tabla 3.2 DATOS CALCULADOS PARA LOS ÁLABES DE LA TURBINA PELTON.**

<b>B</b>	<b>L</b>	<b>D</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>e</b>	<b><math>\beta_1</math></b>	<b><math>\beta_2</math></b>	<b>I</b>	<b><math>\beta_3</math></b>	<b><math>\beta_4</math></b>	<b>J</b>
10 8 m m	100. 8 mm	32. 4 mm	35.2 8 mm	36.7 2 mm	15.12m m	18 °	20 °	58.32m m	4°	10 °	4.3 2 mm

**Fuente:** Apartir de datos de tabla 3.1

**Elaborado:** Postulantes.

### **3.5.5. Dimensionamiento del Inyector en función del diámetro del chorro.**

La tubería de presión entrega el agua a una turbina Pelton pero termina en un inyector en forma de tobera convergente, con una aguja de cierre cónica, que cumple las funciones de alimentador, regulador del caudal, cierre hermético para conservar todo el sistema a presión constante y principalmente el convertidor de la energía potencial del agua en energía cinética para la que la turbina gire en virtud de la velocidad determinada.

En la figura 3.11 se aprecia el esquema de un inyector, donde se observa la tobera y la aguja de cierre, la posición de la aguja determina el grado de apertura de la tobera. La aguja es desplazada por medio de un sistema manual.

#### **3.5.5.1.Regulación de la turbina Pelton.**

La regulación de la turbina, se realiza de forma manual por intermedio del inyector el cual posee en su interior una aguja que al desplazarse en forma axial por medio de un volante, el cual reduce la sección de paso del flujo de agua permitiendo de esta forma regular el caudal que fluye por la tobera y en consecuencia la velocidad de la turbina.

El diámetro del tubo de inyección se calcula con la siguiente ecuación, según el manual de diseño estandarizado OLADE (1988).

**Ecuación (3.10)**

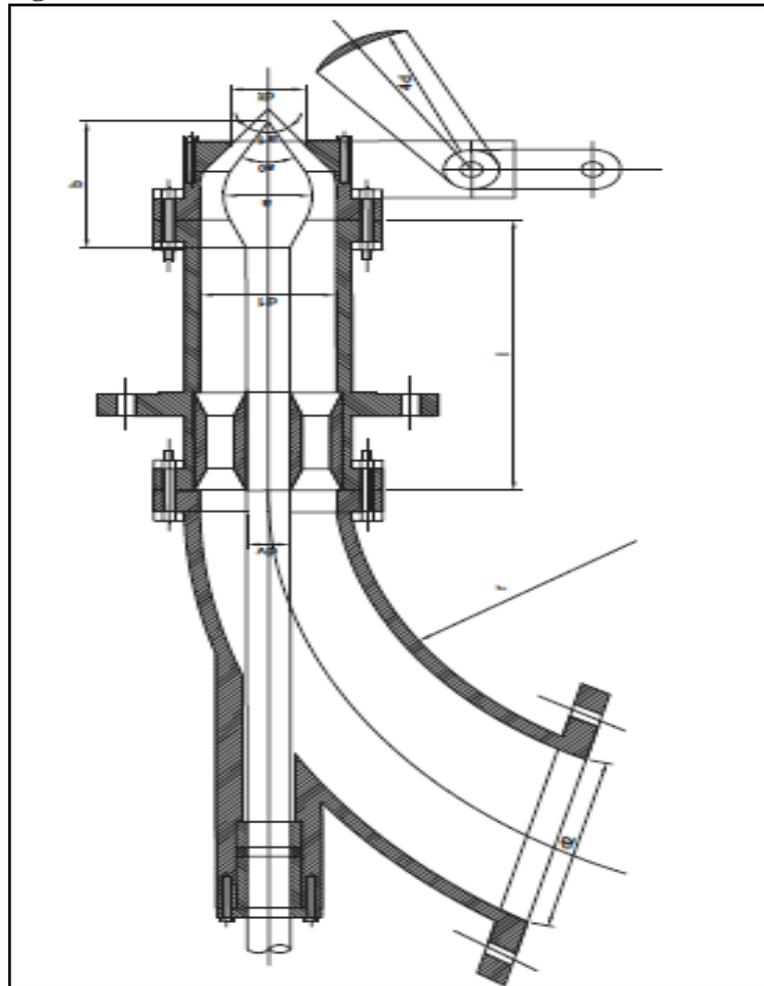
$$D_i = \sqrt{\frac{4 \frac{Q}{2}}{\pi * V_i}}$$

**Dónde:**

$D_i$  = Diámetro del inyector

$V_i$  = Velocidad del agua del inyector.

**Figura 3.11** INYECTOR DE TURBINA PELTON.



**Fuente:** Manual ITDG; Diseño de Micro centrales Hidráulicas “regulador de velocidad”.

Entonces:

$$V_i = 0.1 \sqrt{2 g H n}$$

Introduciendo los datos en la ecuación, se encuentra la velocidad del agua en el inyector.

$$V_i = 0.1 \sqrt{2 (9.8) (45.9)}$$

$$V_i = 2.9 \text{ m/s.}$$

Para encontrar el diámetro del inyector se determina con la ecuación 3,10 dando como resultado lo siguiente:

$$D_i = \sqrt{\frac{4 \left(\frac{0,03}{2}\right)}{\pi * 2.9}}$$

$$D_i = 0.08115 \text{ m}$$

$$D_i = 81.15 \text{ mm}$$

### 3.5.5.2. Tobera y Aguja.

Las dimensiones de la tobera y la aguja deben ser determinadas de acuerdo con la tabla XI, en función del diámetro del chorro.

**Tabla 3.3** Proporciones de la tobera en función del diámetro del chorro.

<b>A</b>	<b>a<sub>0</sub></b>	<b>a<sub>1</sub></b>	<b>d<sub>t</sub></b>	<b>X</b>	<b>d<sub>v</sub></b>	<b>B</b>	<b>d<sub>2</sub></b>	<b>I</b>	<b>R</b>	<b>d<sub>1</sub></b>
1,42d	40°	60°	1,1d	0,5d	0,58d	3,25d	4,5d	6d	15d	2,5d
a	A	a	A	A	A	A	a	a	A	A
1,62d	60°	90°	1,4d	1,16d	0,667d	3,7d	4,6d	12,1d	25d	4,0d

**Fuente:** OLADE Manual de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas.

**Elaborado:** Postulantes.

### Dónde:

- a** = Diámetro máximo de la aguja.
- a<sub>0</sub>** = Ángulo de la punta de la aguja.
- a<sub>1</sub>** = Ángulo de la punta del inyector.
- d<sub>t</sub>** = Diámetro de la punta del inyector.
- x** = Recorrido máximo de la aguja.
- d<sub>v</sub>** = Recorrido máximo de la aguja.
- b** = Longitud de la aguja.

- $d_2$  = Diámetro mayor en la curvatura del inyector.
- $l$  = Longitud del tramo recto del inyector.
- $r$  = Radio de curvatura del inyector.
- $d_1$  = Diámetro del tramo recto del inyector.

Todas las dimensiones de la tobera, calculadas en función del diámetro del chorro, 28 mm puesto que se diseña para 2 inyectores se describen a continuación:

$a$	= (1,42d a 1,62d)	= 1.50d	$a$	= 42mm
$a_0$	= (40° a 60°)		$a_0$	= 45°
$a_1$	= (60° a 90°)		$a_1$	= 70°
$d_t$	= (1,1d a 1,7d)	= 1.2d	$d_t$	= 33.6 mm
$x$	= (0,5d a 1,16d)	= 1d	$x$	= 28 mm
$d_v$	= (0,58d a 0,667d)	= 0.58d	$d_v$	= 16.24 mm
$B$	= (3,25d a 7,3d)	= 4d	$b$	= 112 mm
$d_2$	= (4,5d a 4,6d)	= 4.55d	$d_2$	= 127.4 mm
$l$	= (6,0d a 12,1d)	= 7d	$l$	= 196 mm
$r$	= (15d a 25d)	= 20d	$r$	= 560 mm
$d_1$	= (2,5d a 4,0d)	= 3d	$d_1$	= 84 mm

De acuerdo con el diametro del chorro o salida del inyector, a continuacion se ubicará las dimensiones de la tobera, obtenidas para el diseño y fabricacion y presentada en la siguiente tabla.

**Tabla 3.4 DATOS CALCULADOS PARA LA TOBERA.**

<b>A</b>	<b>a<sub>0</sub></b>	<b>a<sub>1</sub></b>	<b>d<sub>t</sub></b>	<b>X</b>	<b>d<sub>v</sub></b>	<b>B</b>	<b>d<sub>2</sub></b>	<b>l</b>	<b>r</b>	<b>d<sub>1</sub></b>
37 mm	45°	70°	33,6 mm	28 mm	16,24 mm	112 Mm	127,4 mm	196 mm	560 mm	84 mm

**Fuente:** A partir de datos de tabla 3.3

**Elaborado:** Postulantes.

### 3.6. DISEÑO MECÁNICO DE LA TURBINA.

Los cálculos mecánicos se realizan para definir si la resistencia del material utilizado para cada pieza es suficiente para soportar los esfuerzos a los que se la

solicita, como un complemento del diseño de detalle y en muchos casos también sirven para definir la geometría final de cada pieza.

Se recomienda que la dimensión del ancho interno de la carcasa sea mayor o igual a quince veces el diámetro del chorro de la tobera, a fin de evitar que el agua que sale de las cucharas choque con las paredes y realice una acción de frenado hidráulico al salpicar contra las cucharas.

### **3.6.1. Diseño a fatiga de los Alabes.**

Los alabes a estar sometidos a la acción tangencial del agua proveniente del inyector sufren entre los esfuerzos principales como:

- ✓ Flexión.
- ✓ Cortante.

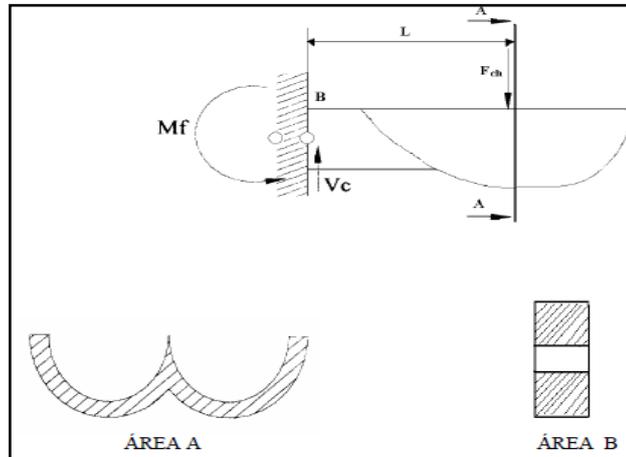
Se diseña a fatiga las cucharas debido a que la fuerza de impacto del chorro de agua actúa solamente un cierto tiempo en una revolución del rodete, existiendo una carga fluctuante sobre la cuchara.

Como se muestra en la figura. 3.12, vamos a tomar dos secciones como las más críticas, pero en la sección A-A, solo actúa un esfuerzo fluctuante de corte y no de flexión debido al hecho de que la fuerza puntual del chorro está aplicada a dicha sección, mientras que en la sección B-B encontramos el mismo esfuerzo de corte más un esfuerzo flector y se puede verificar que el área B es menor que A. por lo que el análisis de la cuchara se la realizará en la zona B, en donde se procede a encontrar sus propiedades como son el área transversal y el momento de inercia.

### **3.6.2. Área transversal.**

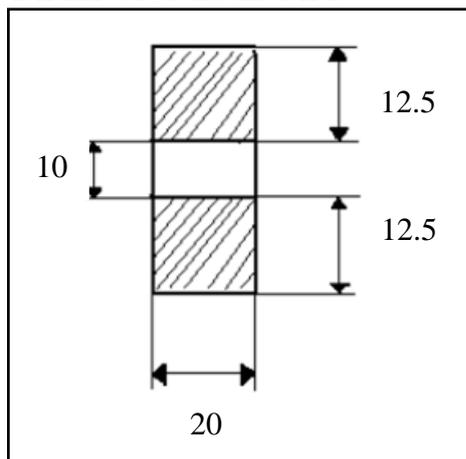
La región más crítica del área la cuchara, que soportarán los esfuerzos es rectangular, con dos orificios, ubicados respectivamente donde van sujetados la cuchara con el rodete. Como se indica en la figura. 3.13.

**Figura 3.12 CARGA FLOCULANTE SOBRE LA CUCHARA PELTON.**



Fuente:Postulantes

**Figura 3.13 ÁREA TRANSVERSAL, DIMENSIONES ENMM.**



Elaborado por:Postulantes.

A partir de las dimensiones procedemos a encontrar el área, aplicando la siguiente ecuación.

**Ecuación (3.11)**

$$A_T = B * h$$

Reemplazando los valores tenemos un área:

$$A_T = 20 * (35-10)$$

$$A_T = 500 \text{ mm}^2$$

$$A_T = 5 \text{ cm}^2$$

### 3.6.3. Momento de Inercia.

Para establecer, el momento de inercia con respecto al eje X, utilizaremos el teorema de Steiner, por medio de la ecuación.

**Ecuación (3.12)**

$$I_{EN} = \sum I_{CG} + \sum AY^2$$

**Dónde:**

$I_{EN}$  = Momento de inercia al respecto al eje neutro, en  $\text{cm}^4$

$I_{CG}$  = Momento de inercia de cada área, en  $\text{cm}^4$

$Y$  = distancia del eje neutro al centro de gravedad de cada área, cm

Determinamos la distancia del eje neutro al eje de referencia, para esto se utilizara la ecuación y el gráfico.

**Ecuación (3.13)**

$$Y_{EN} = \frac{\sum A*Y}{\sum A}$$

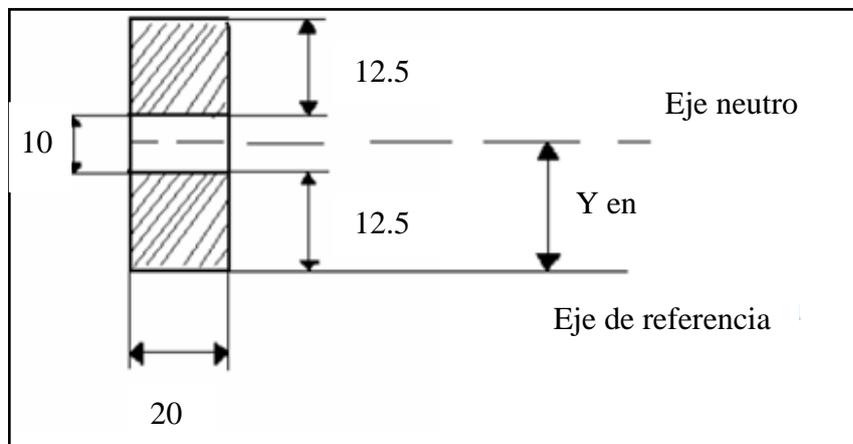
**Dónde:**

$Y_{EN}$  = Distancia del eje de referencia al eje neutro, en cm.

$A$  = Área en  $\text{cm}^2$ .

$Y$  = Distancia del eje de referencia hasta el centro de gravedad de cada área, en cm.

**Figura 3.14** ÁREA TRANSVERSAL PARA DETERMINAR EL EJE NEUTRO



Fuente: Postulantes.

Reemplazando los valores conocidos en la ecuación 3.11 obtenemos.

$$Y_{EN} = \frac{(2.0 * 1.25) * 0.75 + (2.0 * 1.25) * 2.75}{(2.0 * 1.25) + (2.0 * 1.25)}$$

$$Y_{EN} = 1.75\text{cm.}$$

Entonces determinamos el momento de inercia del área transversal de la cuchara por medio de la ecuación.

**Ecuación (3.14)**

$$I_{CG} = \frac{b * h^3}{12}$$

Reemplazando los valores conocidos en la ecuación, tenemos:

$$I_{CG} = \frac{2 * (1.25)^3}{12} + \frac{2 * (1.25)^3}{12}$$

$$I_{CG} = 0.651\text{cm}^4$$

Luego determinamos:

$$\sum A * Y^2 = (2 * 1.25) \left( \frac{1.25}{2} + 0.5 \right)^2 + (2 * 1.25) \left( \frac{1.25}{2} + 0.5 \right)^2$$

$$\sum A * Y^2 = 6.328\text{cm}^4$$

Reemplazando los valores encontrados en la ecuación 3.12, se tiene el momento de inercia del área transversal de la cuchara que es:

$$I_{EN} = (\sum I_{CG} + \sum AY^2)$$

$$I_{EN} = (0.651 + 6.328)\text{cm}^4$$

$$I_{EN} = 6.979\text{cm}^4$$

**3.6.4. Cálculo del esfuerzo cortante.**

El esfuerzo cortante  $\tau$  se produce debido a la reacción  $V_c$  que actúa sobre la sección de la cuchara empotrada.

Para determinar el esfuerzo cortante  $\tau$ , debemos encontrar la fuerza del chorro, mediante la ecuación:

**Ecuación (3.15)**

$$F = 102 * Q_o * C_2 * (\text{Cos}\beta_1 + 1)$$

**Dónde:**

**F** = Fuerza máxima sobre la cuchara, en [Kg.]

**Q<sub>o</sub>** = Caudal máximo en cada tobera, 0.03 [m<sup>3</sup>/s]

**C<sub>2</sub>** = Velocidad del chorro, 29.10 [m/s.]

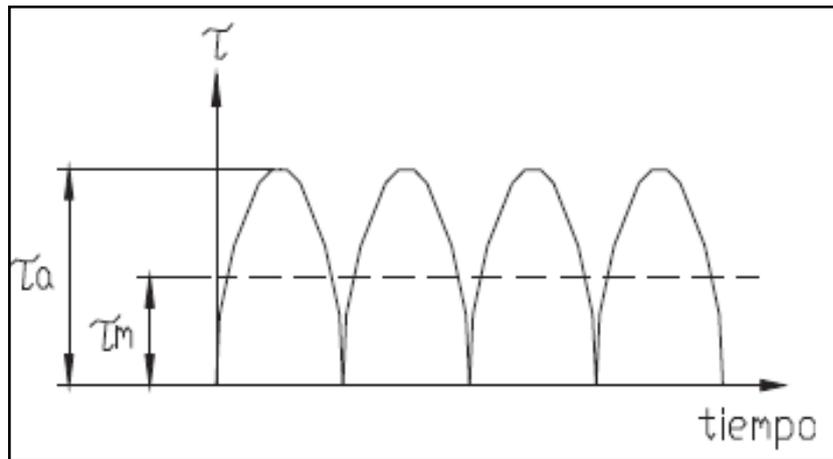
**β<sub>1</sub>** = Ángulo de cuchara en el punto de salida, 18°

Reemplazando los valores conocidos en la ecuación, se tiene una fuerza de:

$$F = 102 * 0,03 * 29,10 * (\text{Cos}18 + 1)$$

$$F_{ch} = 174.55 \text{ Kg.}$$

**Figura 3.15** REPRESENTACIÓN DE LA CURVA DEL ESFUERZO FLUCTUANTE DE CORTEQUE SE PRODUCE EN LA CUCHARA PELTON.



**Fuente:** Diseño e implementación de un prototipo de una pico central hidráulica para uso rural. Postulantes.

Como se mencionó anteriormente, los esfuerzos que se producen son fluctuantes sin inversión completa como se indica en la figura 3,15 por lo que utilizaremos la ecuación:

**Ecuación (3.16)**

$$\tau_{max.} = \frac{F_{ch}}{A_t}$$

**Dónde:**

**τ<sub>max.</sub>** = Esfuerzo cortante máximo.

**F<sub>ch</sub>** = Fuerza del Chorro. (174.55 Kg.)

**A<sub>t</sub>** = Área transversal de la sección B. (5cm<sup>2</sup>)

Al sustituir los valores antes obtenidos en la ecuación se obtiene el siguiente resultado.

$$\tau_{max.} = 34.91 \text{ Kg/ cm}^2$$

$\tau_{min.} = 0$ ; porque la fuerza del chorro no actúa en ciertos intervalos en la cuchara.

Para el diseño debemos encontrar  $\tau_a$  y  $\tau_m$ , mediante las ecuaciones:

**Ecuación (3.17 ; 3.18)**

$$\tau_a = \frac{\tau_{max.} + \tau_{min.}}{2} \quad ; \quad \tau_m = \frac{\tau_{max.} - \tau_{min.}}{2}$$

Pero como  $\tau_{min.} = 0$ ; entonces  $\tau_a = \tau_m$ , reemplazando el valor de  $\tau_{max.}$  tenemos:

$$\tau_a = \tau_m = 17.455 \text{ Kg/ cm}^2$$

**3.6.5. Cálculo del esfuerzo Flector.**

El momento flector que produce la fuerza del chorro en el empotramiento de la cuchara Pelton con el rodete, se determina con la siguiente ecuación:

**Ecuación (3.19)**

$$Mf = Fch * L$$

**Dónde:**

**Mf** = Momento Flector [Kg-cm]

**Fch** = Fuerza del Chorro [174.55 Kg]

**L**= Distancia desde la aplicación de la fuerza del chorro en la cuchara hasta el empotramiento [6 cm].

$$Mf = 174.55 * 6$$

$$Mf = 1047.3 \text{ [Kg-cm]}$$

Con el resultado obtenido se procede a calcular el esfuerzo flector máximo, con la ecuación:

**Ecuación (3.20)**

$$\sigma_{max} = \frac{Mf * Y_{EN}}{I_{EN}}$$

**Dónde:**

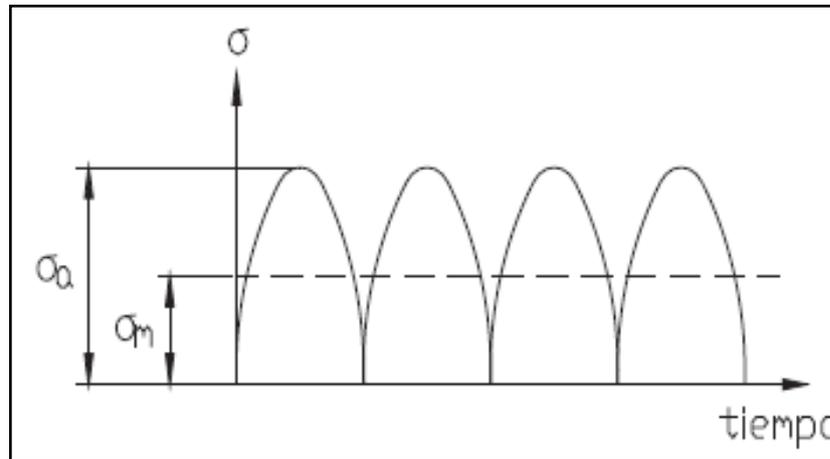
$I_{EN}$  = Momento de inercia. [6.979 cm<sup>4</sup>]

$Y_{EN}$  = Distancia al centro de gravedad desde la base de la sección. [1.75 cm]

$$\sigma_{max} = \frac{1047.3 * 1.75}{6.979}$$
$$\sigma_{max} = 262.61 \text{ Kg/cm}^2$$

$\sigma_{min.} = 0$ , debido que la fuerza del chorro no actúa en ciertos instantes en la cuchara.

**Figura 3.16** REPRESENTACIÓN DE LA CURVA DEL ESFUERZO FLUCTUANTE DE FLEXIÓN QUE SE PRODUCE EN LA CUCHARA PELTON.



**Fuente:** Diseño e implementación de un prototipo de una pico central hidráulica para uso rural.

El esfuerzo flector también fluctúa como se indica en la figura 3.16 por lo que debemos determinar al igual que en el esfuerzo cortante los  $\sigma_a$ ,  $\sigma_m$ , por medio de las ecuaciones:

**Ecuación (3.21)**

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max.} + \sigma_{min.}}{2} \quad ; \quad \sigma_m = \frac{\sigma_{max.} - \sigma_{min.}}{2}$$

Pero como  $\sigma_{min.} = 0$ ; entonces  $\sigma_a = \sigma_m$ , reemplazando el valor de  $\tau_{max.}$  tenemos:

$$\sigma_a = \sigma_m = 131.305 \text{ Kg/cm}^2$$

Al tratarse de dos esfuerzos el de corte y el de flexión, que actúa al mismo tiempo sobre la cuchara (alabe) se utilizarán las ecuaciones, de superposición de esfuerzos planteada por VON MISSES HENKY para calcular un solo esfuerzo o equivalente  $\sigma_{equi}$ .

**Ecuación (3.22)**

$$\sigma_{a\ equi} = \sqrt{(Kf_f * \sigma_{fa} + Kf_a * \sigma_{aa})^2 + 3 (Kf_t * \tau_{ta} + Kf_c * \tau_{ca})^2}$$

$$\sigma_{m\ equi} = \sqrt{(\sigma_{fm} + \sigma_{am})^2 + 3 (\tau_{tm} + \tau_{cm})^2}$$

**Dónde:**

$\sigma_{fa}$  y  $\sigma_{fm}$  = Esfuerzo a y m cuyos valores son [131.305 Kg/ cm<sup>2</sup>]

$\sigma_{aa}$  y  $\sigma_{am}$  = Esfuerzo axial a y m, en nuestro caso no hay por lo que es cero.

$\tau_{ta}$  y  $\tau_{tm}$  = Esfuerzo por torsión a y m, no se tiene por lo que es cero.

$\tau_{ca}$  y  $\tau_{cm}$  = Esfuerzo cortante a y m, cuyos valores son [17.455 Kg/ cm<sup>2</sup>]

Por lo expuesto anteriormente las ecuaciones se reducen.

**Ecuación (3.23)**

$$\sigma_{a\ equi} = \sqrt{(Kf_f * \sigma_{fa})^2 + 3 (Kf_c * \tau_{ca})^2}$$

$$\sigma_{m\ equi} = \sqrt{(\sigma_{fm})^2 + 3 (\tau_{cm})^2}$$

**Dónde:**

$Kf_f$  = Factor para mayor esfuerzo flector.

$Kf_c$  = Factor para mayorar esfuerzos cortantes.

➤ **Para flexión**

Este factor se determina con la ecuación:

**Ecuación (3.24)**

$$Kf_f = q (K_t - 1) + 1$$

**Dónde:**

$q$  = Sensibilidad a la muesca.

$K_t$  = Factor teórico de concentración de esfuerzos.

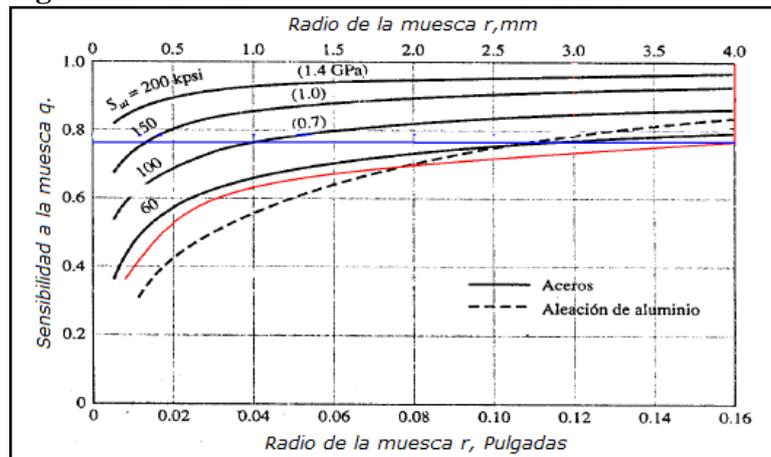
Debido al hecho de que el alabe es de fabricación artesanal se considera un acero de baja calidad.

$$S_{ut} = 300 \text{ Mpa (43 Kpsi)} = 3000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$S_y = 170 \text{ Mpa (24 Kpsi)} = 1700 \text{ Kg/cm}^2$$

Donde el parámetro que se obtiene en función del radio de la muesca;  $r = 5 \text{ mm}$ , y de la resistencia  $S_{ut}$  como se indica en la figura 3.17.

**Figura 3.17 SENSIBILIDAD A LA MUESCA.**



**Fuente:** Tesis "Diseño e instalación de una Pico central Hidroeléctrica en la Hacienda La Isabela" Análisis a fatiga de los alabes; Pág. 98

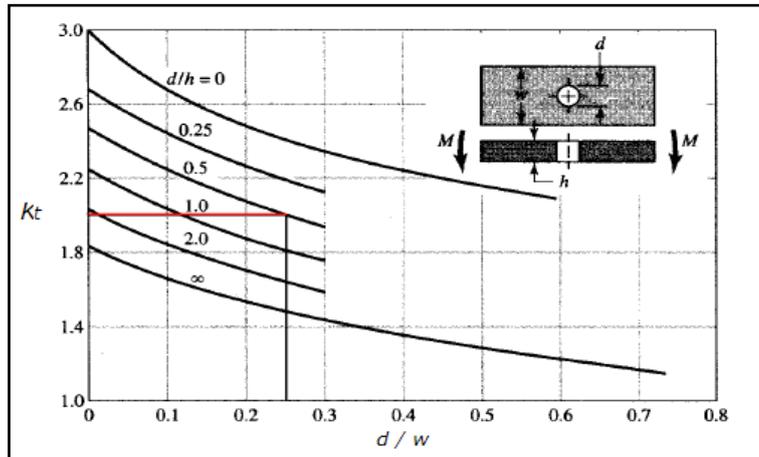
Se toma el valor de  $q = 0.78$

Para encontrar el factor de concentración de esfuerzos  $K_t$ , se utiliza el siguiente gráfico, para lo cual determinados las siguientes relaciones:

$$\frac{d}{w} = \frac{1}{4} = 0.25 \quad \frac{d}{h} = \frac{1}{2} = 0.5$$

En la figura 3.18. Determinamos el valor de  $K_t$ :

**Figura 3.18** FACTOR DE CONCENTRACIÓN DE ESFUERZOS  
 $K_t = 2$



**Fuente:** Tesis “Diseño e instalación de una Pico central Hidroeléctrica en la Hacienda Isabela” Análisis a fatiga de los alabes; Pág. 98

Los valores ya determinados los reemplazamos en la ecuación 3.24, se obtiene el siguiente resultado:

$$Kf_f = q (K_t - 1) + 1$$

$$Kf_f = 0.78 (2 - 1) + 1$$

$$Kf_f = 1.78$$

✓ **Para Corte :**

Al no tener un diagrama para el factor de concentración de esfuerzos para corte  $K_t$ , entonces se tomara un coeficiente de mayoración de:

$$Kf_c = 3$$

Una vez obtenidos los coeficientes de mayoración, determinamos los esfuerzos equivalentes reemplazando los datos en las ecuaciones respectivamente, dando como resultado.

$$\sigma_{a\text{equi.}} = \sqrt{(Kf_f * \sigma_{fa})^2 + 3 (Kf_c * \tau_{ca})^2}$$

$$\sigma_{a\text{equi.}} = \sqrt{(1.78 * 131.305)^2 + 3 (3 * 17.455)^2}$$

$$\sigma_{a\text{equi.}} = 250.70 \text{ Kg/ cm}^2 //$$

$$\sigma_{m\text{equi.}} = \sqrt{(\sigma_{fm})^2 + 3 (\tau_{cm})^2}$$

$$\sigma_{m\text{equi.}} = \sqrt{(131.305)^2 + 3 (17.455)^2}$$

$$\sigma_{m\text{equi.}} = 134.74 \text{ Kg/ cm}^2 //$$

Con los esfuerzos equivalentes, calculamos el factor de seguridad (**n**) mediante la ecuación de Goodman:

**Ecuación (3.25)**

$$\frac{\sigma_{aequi.}}{Se} + \frac{\sigma_{mequi.}}{Sut} = \frac{1}{n}$$

### 3.6.6. Límite de fatiga.

El límite de fatiga lo calculamos con la ecuación:

**Ecuación (3.26)**

$$Se = Ka * Kb * Kc * Kd * Ke * Se'$$

**Donde:**

**Ka** = Coeficiente por superficie.

**Kb** = Coeficiente por tamaño.

**Kc** = Coeficiente de confiabilidad.

**Kd** = Coeficiente por temperatura.

**Ke** = Factor para concentración de tensiones.

**Se'** = Valor que depende del tipo de esfuerzo y material [Kg/ cm<sup>2</sup>].

Decretamos los valores de los parámetros anteriores del siguiente modo:

**Ecuación (3.27)**

$$Ka = a * Sut^b$$

**Tabla 3.5 VALORES DE A Y B.**

Acabado superficial	A		b	Coeficiente de variación C
	Kpsi	Mpa		
Esmerilado	1,34	1,58	-0,086	0,12
Maquinado o laminado en frío	2,67	4,45	-0,265	0,058
Laminado en caliente	14,5	56,1	-0,719	0,11
Como sale de forja	39,8	271	-0,995	0,145

**Fuente:** Tesis “Diseño e instalación de una Pico central Hidroeléctrica en la Hacienda La Isabela”  
Análisis a fatiga de los alabes; Pág. 100.

**Elaborado por:** Postulantes.

**Dónde:**

$$a = 56.1$$

$$b = -0.719$$

Al reemplazar los valores ya determinados en la ecuación 3.27:

$$K_a = 56.1 * 300^{-0.719}$$

$$K_a = 0.93$$

Al tratarse de un área rectangular antes de calcular  $K_b$  debemos encontrar la dimensión efectiva  $d_e$  con la ecuación:

**Ecuación (3.28)**

$$d_e = 0.808 * (B * h)^{1/2}$$

Dónde:  $B = 20$  mm y  $h = 35$  mm

$$d_e = 0.808 * (20 * 35)^{1/2}$$

$$d_e = 21.37 \text{ mm.}$$

El valor de  $K_b$  determinamos con la ecuación:

**Ecuación (3.29)**

$$K_b = 1.24 d^{-0.107}$$

$$K_b = 1.24 * (21.37)^{-0.107}$$

$$K_b = 0.89$$

$$K_c = 0.897$$

Para una confiabilidad del 90%.

$$K_d = 1$$

Factor de temperatura.

$$K_e = \frac{1}{K_f} = 1$$

Por ya estar mayorado con  $K_f$  los esfuerzos equivalentes.

Determinamos  $Se'$  con la ecuación:

**Ecuación (3.30)**

$$Se' = 0.5 * Sut$$

$$Se' = 0.5 * 3000 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

$$Se' = 1500 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

Reemplazamos todos los coeficientes modificados en la ecuación 3.22 se obtiene:

$$Se = Ka * Kb * Kc * Kd * Ke * Se'$$

$$Se = 0.93 * 0.89 * 0.897 * 1 * 1 * 1500$$

$$Se = 1113.67 \text{ [Kg /cm}^2\text{]}$$

### 3.7. COEFICIENTE DE SEGURIDAD.

Una vez encontrado todos los parámetros necesarios reemplazamos los valores en la ecuación de Goodman 3.25, y despejando encontramos **n**, se tiene un factor de seguridad de:

$$\frac{\sigma_{aequi.}}{Se} + \frac{\sigma_{mequi.}}{Sut} = \frac{1}{n}$$
$$\frac{250.70}{1113.67} + \frac{134.74}{3000} = \frac{1}{n}$$
$$n = 3.70$$

Este factor de seguridad nos indica que las dimensiones de la cuchara son muy buenas y que el sobre dimensionamiento nos permite que la cuchara tenga una vida más extensa en cuanto se refiere a corrosión, y al mismo tiempo que nos facilita para su proceso de fabricación.

### 3.8. DISEÑO MECÁNICO DEL EJE.

Durante el diseño del eje de la turbina tomamos en consideración tres parámetros fundamentales que influyen directamente del peso de la turbina.

$F_H$  = Fuerza de chorro sobre la cuchara trasladada al eje.

$F_V$  = Fuerza provocada por el peso del rodete de la turbina.

$F_{RES}$  = Fuerza resultante debido a  $F_H$  y  $F_V$ .

Para determinar el peso del rodete de la turbina  $F_V$ . Primero se debe determinar el peso de cada una de las cucharas, seguidamente el peso del disco. Como no se

dispone el peso de cada cuchara, podemos determinar utilizando el molde de madera, el cual es utilizado en el proceso de fundición de las cucharas. Determinamos el volumen del material que contiene este molde utilizando la ecuación.

**Ecuación (3.31)**

$$\rho = \frac{m}{V}$$

**Dónde:**

**P** = Densidad del material (madera de laurel  $\rho = 670 \text{ Kg. /cm}^3$ ) (según biblioteca electrónica ATRIUM DE LA MADERA TOMO 1.)

**m** = Masa del material 0.080Kg.

**V** = Volumen de la cuchara.

Despejando el volumen de la ecuación 3.31 se tiene.

$$V = \frac{m}{\rho}$$

Ya determinado el volumen, se puede emplear la densidad del hierro fundido para encontrar el peso real de la cuchara.

$$V = \frac{0.080\text{Kg}}{670 \text{ Kg./m}^3}$$

$$V = 1.194 \times 10^{-04} \text{m}^3$$

$$m = \rho \text{ del hierro fundido} * V$$

Se ha determinado el peso de una sola cuchara, nuestro rodete está conformado por un número de 21, por lo que al valor de la masa multiplicamos por 21 para obtener el peso total de las cucharas.

**Ecuación (3.32)**

$$m = \rho_{\text{fundido}} * V$$

$$m = 7200 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 1.194 \times 10^{-04} \text{cm}^3$$

$$m = 0.859 \text{ Kg.}$$

$$m = 0.859 \text{ Kg.} \times 21 \text{ cucharas}$$

$$m = 18.91 \text{ Kg.} \cong 19 \text{ Kg.}$$

Para determinar el peso del disco del rodete se calcula determinamos el volumen de este en donde las dimensiones la observamos en el siguiente gráfico.

**Figura 3.19 DISCO CENTRAL DE TURBINA.**



**Fuente:** Funciones TIRADO Hnos.

$$\theta_{disco} = 470$$

$$a_{disco} = 40$$

$$\rho_{fundris} = 7200 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$V_{disco} = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$m_{disco} = m1 - m2$$

$$m1 = 7200 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * \frac{\pi 470 \text{ m}^2}{4} * 0.04 \text{ m.}$$

$$m1 = 49.96 \text{ Kg}$$

$$m2 = (7200 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * \frac{\pi 0.33 \text{ m}^2}{4} * 0.01) * 2$$

$$m2 = 12.31 \text{ kg.}$$

$$m_{disco} = 49.96 \text{ kg.} - 12.31 \text{ kg.}$$

$$m_{disco} = 37.64 \text{ kg.}$$

También tomamos en consideración el peso del perno en este caso es un perno 5/16 x 3” que en este caso una unidad de perno pesa alrededor de 0,055 Kg. Por unidad. Cada cucharin tiene dos pernos de sujeción lo que nos da como resultado de.

$$m_{\text{pernos}} = 0.055 \text{ kg.} \times 42 \text{ unidades}$$

$$m_{\text{pernos}} = 2.31 \text{ Kg.}$$

Entonces el peso total del rote será igual al peso de todas las cucharas, más el peso del disco.

$$m_{\text{total}} = m_{\text{cucharas}} + m_{\text{disco}} + m_{\text{pernos}}$$

$$m_{\text{total}} = 19 \text{ Kg.} + 37 \text{ Kg.} + 2.31 \text{ Kg.}$$

$$m_{\text{total}} = 58.31 \text{ Kg.}$$

$$m_{\text{total}} = 128.28 \text{ lbs.}$$

La fuerza resultante viene expresada por las siguientes ecuaciones.

$$F_R = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \quad \text{Ecuación (3.33)}$$

Siendo:

$$F_x = F (\sin \alpha + \cos \alpha) \quad \text{Ecuación (3.34)}$$

$$F_y = F \cos \alpha - \text{sen } \alpha + P_r \quad \text{Ecuación (3.35)}$$

**Dónde:**

$P_r$  = Peso estimado del rodete.

$\alpha$  = Ángulo de inclinación de la tobera, 15° recomendado para turbinas de eje horizontal con dos toberas, Manual OLADE volumen II (1988).

Además la fuerza ejercida por el chorro sobre la turbina (F) se determina con la siguiente ecuación. **Ecuación (3.36)**

$$F = \frac{974 P_t}{D_p * N_t}$$

**Dónde:**

$P_t$  = Potencia al freno de la turbina, en (Kw).

$N_t$  = Numero de revoluciones de la turbina, en (rpm).

$D_p$  = Diámetro pelton del rodete, en (m).

**Ecuación (3.37)**

$$P_t = \frac{P_g}{\eta_g * \eta_{tr}}$$

**Dónde:** $P_g$  = potencia del generador, en (Kw). $\eta_g$  = Eficiencia del generador (0.96). $\eta_{tr}$  = Eficiencia de la transmisión (0.96).

Empleando la ecuación, obtenemos el valor de la potencia al freno (Pt).

$$P_t = \frac{8.5 \text{ Kw}}{0.96 * 0.96}$$

$$P_t = 9.22 \text{ Kw}$$

Con ecuación 3.34 se obtiene el valor de la fuerza (F).

$$F = \frac{974 * 9.22 \text{ Kw.}}{0.6 * 450 \text{ rpm}}$$

$$F = \frac{8983.2}{270}$$

$$F = 33.26 \text{ Kg.}$$

Como ya se conoce el valor de la F, y con la ayuda de las ecuaciones 3.33, 3.34 y 3.35 los cálculos de  $F_{res}$ ,  $F_v$ ,  $F_y$  respectivamente.

$$F_x = F (\sin \alpha + \cos \alpha)$$

$$F_x = 33.26 \text{ Kg} (\sin 15 + \cos 15)$$

$$F_x = 40.73 \text{ kg.}$$

$$F_y = F (\cos \alpha + \sin \alpha) + Pr \text{ (peso estimado del rodete)}$$

$$F_y = 33.26 (\cos 15 - \sin 15)$$

$$F_y = 33.26 \text{ Kg} (\cos 15 - \sin 15) + 56$$

$$F_y = 79.51 \text{ Kg.}$$

$$F_R = \sqrt{(40.73^2 + 79.51^2)}$$

$$F_R = 89.34 \text{ Kg.}$$

Como se observa en la figura 3.20 en la que el eje soporta un esfuerzo de flexión debido a la  $F_R$  y el esfuerzo de torsión producido por el torque que realiza el chorro de agua sobre el rodete, el cual ya se lo determina de la siguiente.

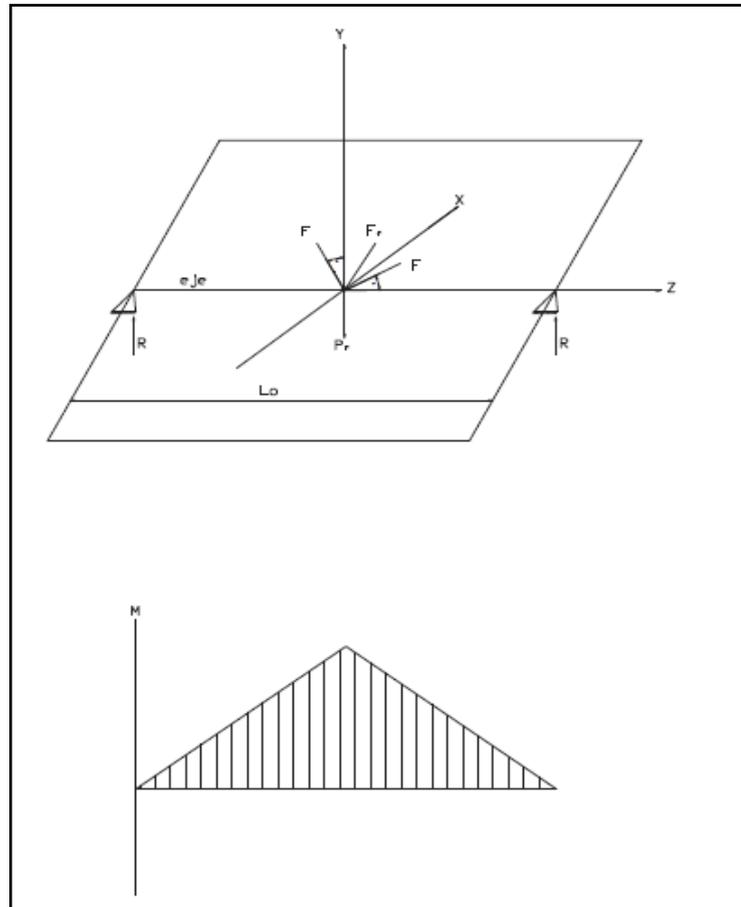
**Ecuación (3.38)**

$$P_{neta} = \frac{T * N}{97342.47}$$

$$T_{max} = \frac{P_{neta} * 97342.47}{N}$$

$$T_{max} = \frac{8.50 * 97342.47}{450} = 1838.69 \text{ Kg-cm.}$$

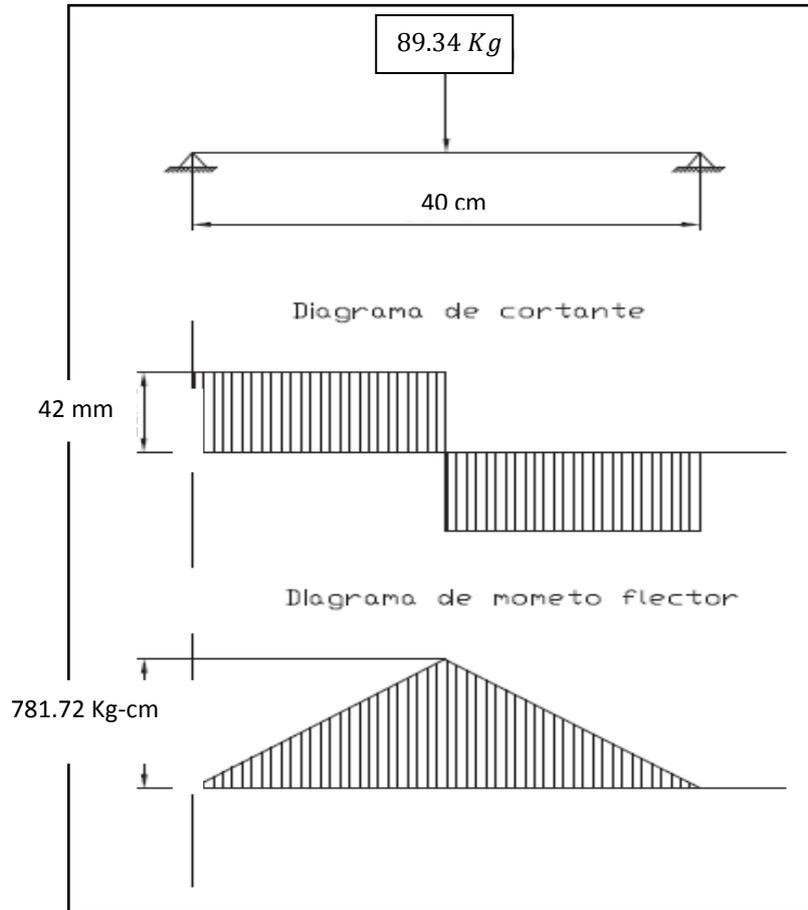
**Figura: 3.20** DIAGRAMA DE MOMENTOS EN EL EJE DE LA TURBINA PELTÓN.



**Elaborado por:** Postulantes.

El momento flector máximo  $M_{Flector - máximo}$  se lo observa a continuación en el diagrama cortante y momentos que se producen en el eje.

**Figura 3.21** DIAGRAMA CORTANTE Y MOMENTO FLECTOR PRODUCIDO EN EL EJE.



Elaborado por: Postulantes.

**Ecuación (3.39)**

$$M_{\text{Flector-máximo}} = \frac{L * F_{\text{res}}}{4}$$

**Dónde:**

$L$  = Distancia máxima del eje suspendida de punto a punto

Por lo que se tiene:

$$M_{\text{Flector-máximo}} = \frac{40 * 89.34}{4}$$

$$M_{\text{Flector-máximo}} = 893.4 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}}$$

Seguidamente se estima el diseño estáticamente.

Como el eje estará en contacto directo con el agua se seleccionará un acero inoxidable 705 = AISI 4340 ver **Anexo VI**, I. BOHMAN. Manual de aceros del colegio Don Bosco (2000), con las siguientes propiedades mecánicas.

$$S_y = \text{Limite de fluencia} = 90 - 110 \text{ Kg/mm}^2$$

$$S_{ut} = \text{Limite ultimo a la tracción} = 70 \text{ Kg/mm}^2$$

$$S_e' = \text{Limite de fatiga} = 26,36 \text{ Kg/mm}^2$$

Considerando un factor de corrección para el límite de fatiga, según J. SHIGLEY. Diseño de Ingeniería Mecánica (1979), en el eje se tiene.

$$S_e = 0.68 * S_e'$$

$$S_e = 1792 \text{ Kg./cm}^2$$

Una vez que se tiene todos los diámetros se calcula el diámetro a cargas estáticas mediante la siguiente expresión.

#### Ecuación (3.40)

$$d_{i_{eje}} = \left[ \frac{32 * n}{\pi * S_y} * (M_{flec \ max.}^2 + 3 \frac{T_{max}^2}{4})^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

n = Factor de seguridad = 3, recomendado para condiciones de diseño.

$$d_{i_{eje}} = \left[ \frac{32 * 3}{\pi * 110} * (893.4^2 + 3 \frac{1838.69^2}{4})^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$d_{i_{eje}} = \left[ \frac{96}{8805.89} * (798163.56 + 2535585.68)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$d_{i_{eje}} = [0.01090 * 1825.855756]^{\frac{1}{3}}$$

$$d_{i_{eje}} = \sqrt[3]{19.90}$$

$$d_{i_{eje}} = 2.70 \text{ cm.}$$

Se puede calcular el diámetro del eje a cargas dinámicas según el criterio de Soderberg mediante la siguiente ecuación.

**Ecuación (3.41)**

$$di_{eje} = \left[ \frac{32 \cdot n}{\pi} * \left\{ \left( \frac{M_{flec\ max.}}{S_e} \right)^2 + \left( \frac{T_{max}}{S_y} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$di_{eje} = \left[ \frac{32 \cdot 3}{\pi} * \left\{ \left( \frac{893.4}{1792} \right)^2 + \left( \frac{1838.69}{2803} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$di_{eje} = \left[ \frac{96}{\pi} * \{0.2485512122 + 0.4302994913\}^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$di_{eje} = [30.55774907 * 0.6788507035]^{\frac{1}{3}}$$

$$di_{eje} = \sqrt[3]{20.07}$$

$$di_{eje} = 2.74 \text{ cm}$$

Finalmente el diseño establece que se debe cuantificar dinámicamente el eje, el cual consta de los siguientes parámetros:

Se selecciona inicialmente el diámetro  $di_{eje} = 2.74 \text{ cm}$ , lo que únicamente se hará es la comprobación para que no falle por flexión mediante la expresión.

**Ecuación (3.42)**

$$\delta = \frac{F * L^3}{48 * E * I}$$

**Donde**

$\delta$  = Deformación.

$F$  = Fuerza máxima 89.34 kg.

$L$  = Longitud de contacto del eje (40 cm.)

$E$  = Modulo de elasticidad. ( $2.1 * 10^2$ )

$I$  = Momento de inercia.

El momento de inercia para una sección transversal circular viene dada por:

**Ecuación (3.43)**

$$I = \frac{\pi * d^4}{64}$$

$$I = \frac{\pi * 2.74^4}{64}$$

$$I = 2.76 \text{ cm}^4$$

Este valor se lo reemplaza en la ecuación 3.42

$$\delta = \frac{43.41 * 40^3}{48 * 2.1 * 10^6 * 2.76 \text{ cm}^4}$$

$$\delta = \frac{5717760}{278208000}$$

$$\delta = 0.02 \text{ cm.}$$

Para elementos de maquinas la flexión no debe pasar de L/2000.

$$\delta_p = \frac{40}{2000} = 0.02$$

Se observa que la flexión producida en el eje es igual a la admisible, por lo que se calculará nuevamente el diámetro mínimo del eje para garantizar que este no falle por flexión.

Utilizando la  $\delta_{permisible}$  y despejando el momento de inercia de la ecuación. Se tiene.

**Ecuación (3.44)**

$$I = \frac{43.41 * 40^3}{48 * 2.1 * 10^6 * 0.02 \text{ cm}^4}$$

$$I = \frac{2778240}{2016000}$$

$$I = 1.37 \text{ cm}^4$$

Reemplazando el valor de inercia en la ecuación y despejando, se tiene el diámetro final de:

$$d = \sqrt[4]{\frac{64 * I}{\pi}}$$

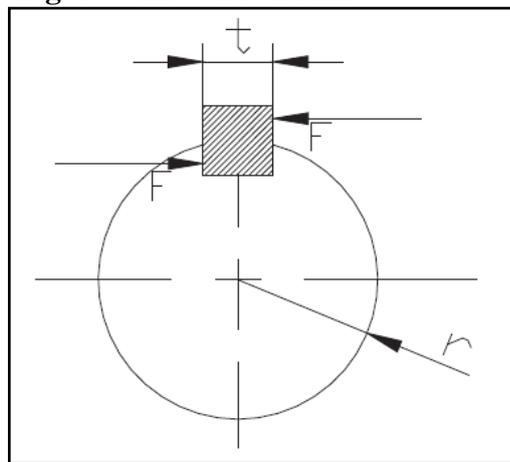
$$d = \sqrt[4]{\frac{64 * 1.34}{\pi}}$$

$$d = 4.30 \text{ cm.}$$

### 3.9. Diseño de chaveteras.

Los chaveteros a realizarse en el eje serán de sección cuadrada y las chavetas serán de aleación acero aluminio debido a que el esfuerzo de la fluencia de la chaveta debe ser menor a la del eje. Seguidamente se procede a encontrar sus respectivas dimensiones según SHINGLEY (1979), y como podemos apreciar en la figura 3.22.

**Figura 3.22 CHAVETERO.**



Fuente: Postulantes.

Por la teoría de energía de distorsión la resistencia al cortante es.

**Ecuación (3.45)**

$$S_{sy} = 0.577 S_y$$

El esfuerzo de la fluencia a utilizar será la del aluminio que es de  $630 \text{ Kg/cm}^3$  y reemplazando este valor en la ecuación se tiene.

$$S_y = 0.577 * 630 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^3}$$

$$S_y = 364 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^3}$$

La falla por corte a través del área de la chaveta originará un esfuerzo  $T$  según Manual de aceros de Colegio Don Bosco, Pág. 55.

**Ecuación (3.46)**

$$T = \frac{F}{t * L}$$

**Dónde:**

F = fuerza cortante en el chavetero.

t. = espesor del chavetero (1 cm).

L = longitud del chavetero.

Además.

$$F = \frac{T}{r}$$

r. = radio del eje;  $d_{eje} = 42$  mm.

Calculando F, se tiene.

$$F = \frac{1838.69}{\frac{2.74}{2}}$$

$$F = 1342.10 \text{ Kg.}$$

Ahora despejando I de la siguiente relación se tiene.

**Ecuación (3.47)**

$$\frac{S_{sy}}{n} = \frac{F}{t * L}$$

$$L = \frac{F * n}{t * S_{sy}}$$

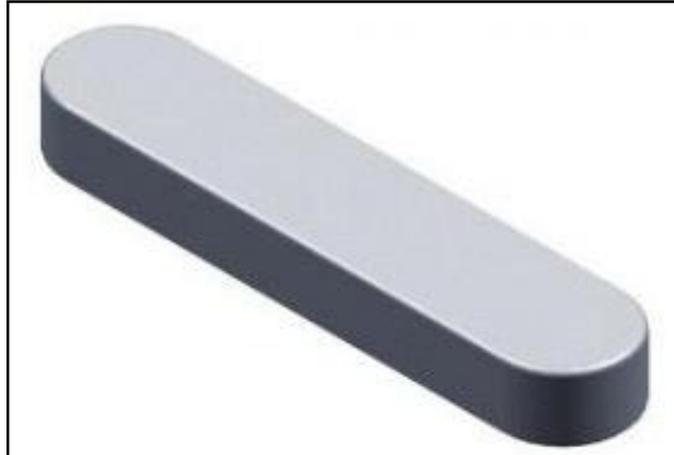
$$L = \frac{1342.10 * 3}{1 * 364}$$

$$L = \frac{4026.3}{364}$$

$$L = 11.06 \text{ cm.}$$

Por lo tanto para la sujeción de la turbina al eje central necesitamos una chaveta con una longitud de DIN-6885-A 110 x80x80.

**Figura 3.23** CHAVETA DIN-6885-A 110 x80x80



**Elaborado por:** Postulantes.

### **3.10. SELECCIÓN DE CHUMACERAS Y RODAMIENTOS.**

Para la selección de la chumacera y los rodamientos nos basaremos en el catálogo de SKF que se encuentra en el Manual de selección de rodamientos de la SKF, Catalogo 3200, Pág. 27 – 82, 111 – 457. Para esto empleamos el dato de velocidad de giro de la turbina  $N = 450$  rpm. y el esfuerzo a la cual está sometida, además de los siguientes parámetros.

- Tiempo de vida útil del rodamiento  $L_T = 5$  años.
- Tiempo de trabajo =  $T_T = 24$  horas.
- Carga radial mayor en el eje =  $F_R = 212$  N.
- Carga axial en el eje  $F_A = 0$ .

Inicialmente se determina el número de horas de trabajo ( $L_H$ ) del rodamiento aplicando la siguiente ecuación.

**Ecuación (3.48)**

$$L_H = L_T * T_T$$

$$L_H = 5 * 24 * 350$$

$$L_H = 43800 \text{ horas.}$$

Pero a este valor también se lo puede encontrar en el manual SKF mantenimiento de rodamientos dando como resultado.

$L_{10h} = 40000$  a  $50000$  horas de servicio, por ser una maquina que funciona todo el día y de carácter de generación eléctrica. De lo cual se lo determinan.

$L_{10h} = 45000$  horas de servicio.

El procedimiento para determinar una chumacera es similar al empleado para determinar un rodamiento. Se calcula la carga estática equivalente ( $P_{orl}$ ) con la siguiente ecuación.

**Ecuación (3.49)**

$$P_{orl} = 0,6 F_r + 0,5 F_a$$

$$P_{orl} = 0,6 \cdot 212 \text{ N} + 0,5 \cdot 0$$

$$P_{orl} = 127,625 \text{ N}$$

También se calcula la carga estática equivalente con la siguiente ecuación.

**Ecuación (3.50)**

$$P_{orl} = F_r = 212,709 \text{ N.}$$

De las dos cargas anteriormente determinadas debe tomar la más alta, en este caso será:

$$P_{orl-max} = 212,709 \text{ N.}$$

Luego se determina la capacidad de carga estática para la chumacera con la siguiente ecuación.

**Ecuación (3.51)**

$$C_o = S_o * P_o$$

**Dónde:**

$C_o$  = Capacidad de carga estática, en N

$P_o$  = Carga estática equivalente, en N

$S_o$  = Factor de seguridad estático.

Considerando la aplicación del proyecto de generación se tienen los siguientes datos, según el Manual de selección de rodamientos de la SKF, Catalogo 3200 Sp.

$$P_o = 212 \text{ N}$$

$$S_o = 2$$

$$C_o = 2 * 212 \text{ N}$$

$$C_o = 425.58 \text{ N}$$

Por lo tanto la chumacera tentativa para estos valores se tiene que es: SYK 40 TR ver detalles en **Anexo VI**.

**Figura 3.24** CHUMACERA SYK 40 TR



**Fuente:** <http://www.skf.com/skf/productcatalogue>

Para el rodamiento se determina la carga dinámica equivalente.

$$Pr = X * Fr + Y * Fa.$$

Siendo Fr y Fa, factores de carga radial y axial respectivamente.

Como el eje soporta únicamente cargas radiales el valor de X = 1 y Y = 0, entonces:

$$Pr = ( 1 * 212, 709 ) + ( 0 )$$

$$Pr = 212,709 \text{ N.}$$

También se determina la capacidad dinámica requerida (Cd) mediante la ecuación.

**Ecuación (3.52)**

$$C_d = \frac{F_h}{F_n} P_r$$

Los valores de  $F_h = 4.48$  y  $F_n = 0,333$ . Por lo que se tiene:

$$C_d = \frac{4,48}{0,333} * 212,709N$$

$$C_d = 2861,67 N.$$

Finalizando la selección en función de la siguiente ecuación se encuentra la carga estática para el rodamiento.

**Ecuación (3.53)**

$$L_{10h} = \frac{C_o^k}{P^k} * \frac{10^6}{60 * N}$$

$$P = F_r$$

$$N = 450$$

$$F_r = 212,709N$$

$$L_{10h} = 45000 \text{ horasdeservicio}$$

$$C_o = P (L_{10h} * \frac{60 * N}{10^6})^{\frac{1}{k}}$$

$K = 3$  considerando un rodamiento de bolas

$$C_o = 212.709 (45000 * \frac{60 * 450}{10^6})^{\frac{1}{3}}$$

$$C_o = 2786,35 N$$

$$C_d = 2861.67 N$$

Con estos datos se puede seleccionar la chumacera y el rodamiento en la página electrónica <http://www.skf.com/skf/productcatalogue/jsp/viewers>.

### **3.11. DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN.**

En el sistema pico central hidroeléctrico, se produce una continua conversión de energía hidráulica a energía mecánica para la turbina, y de energía mecánica en energía eléctrica para el generador.

La turbina impulsará a un generador eléctrico el cual girará a una velocidad 1800 rpm, el sistema de transmisión a usarse para este proyecto será por medio de bandas trapezoidales.

Se selecciona el tipo de sección determinado el factor de servicio y se calcula la potencia de diseño o potencia corregida  $P_c$ .

### 3.11.1. Potencia de Diseño o Potencia Corregida $P_c$ .

La potencia transmisible por correa que viene dada en las tablas de prestación, está calculada bajo la hipótesis de carga constante para lo cual la potencia corregida o de diseño se determina mediante la siguiente ecuación:

#### Ecuación (3.54)

$$P_c = P_H * F_S$$

**Dónde:**

$P_c$  = Potencia Corregida o Potencia de diseño. [CV]

$P_H$  = Potencia a transmitir. [CV]

$F_S$  = Factor de servicio, según las condiciones de trabajo.

El coeficiente  $F_S$  para las condiciones de trabajo de nuestro sistema lo determinamos en la siguiente tabla.

**Tabla 3.6 VALORES DE  $F_S$ , SEGÚN LAS CONDICIONES DE TRABAJO Y CARGA.**

Tipo de Servicio	Condiciones de trabajo	Motor Eléctrico	Motor de explosión	
			n. oil > 4	n. oil < 4
Ligero	Servicio intermitente $\leq$ 6 horas diarias ninguna punta de carga	1	1.1	1.2
Normal	Funcionamiento de 6-16 horas día-punta de carga $\leq$ 150% del trabajo a plena carga.	1.2	1.3	1.4

Pesado	Puntas de carga o puesta en marcha $\leq 250\%$ del trabajo a plena carga – servicio continuo 16-24 horas día.	1.4	1.5	1.6
Muy Pesado	Puntas de carga $> 250\%$ del trabajo a plena carga funcionamiento continuo.	1.6	1.8	2

**Fuente:** Manual de pequeña hidráulica, Como llevar a buen fin un proyecto de micro central hidroeléctrica

**Elaborado por:** Postulantes.

Donde para nuestro proyecto se escogió  $F_S = 1.4$

Los datos necesarios para el cálculo para el sistema de transmisión son los siguientes:

$$P_H = \text{Potencia a transmitir: [8.50 Kw], en [CV], } [8.50 \text{ Kw} \times \frac{1 \text{ Cv}}{0.7355 \text{ KW}}] = 11.55$$

[CV]. Potencia de diseño.

$N_1 = 450$  rpm. De la polea mayor. [Polea de la turbina]

$N_2 = 1800$  rpm. De la polea menor. [Polea del generador]

Reemplazando los valores determinados en la ecuación.

**Ecuación (3.55)**

$$P_c = 11.55 \text{ [CV]} * 1.4$$

$$P_c = 16.17 \text{ [CV]}$$

### 3.11.2. RELACIÓN DE TRANSMISIÓN.

La relación de transmisión  $i$  se determina con la ecuación:

**Ecuación (3.56)**

$$i = \frac{N_2}{N_1}$$

$$i = \frac{1800}{450}$$

$$i = 4$$

### 3.11.3. Selección de la banda.

Para la selección de la banda se determina mediante el **Anexo Figura VI-2. [Curva para la elección de la sección de la correa]**; en función de la potencia a transmitir corregida y el número de revoluciones por minuto de la polea menor (del generador).

Como la polea menor (generador) girará a 1800, y la potencia corregida es de 16.17 [CV], la sección recomendada es “**B**”, como se puede apreciarse en el **Anexo VI-2.**

### 3.11.4. Elección de los diámetros primitivos $d_2$ y $D_1$ de las poleas.

Para determinar los diámetros primitivos de las poleas, utilizaremos la siguiente ecuación:

**Ecuación (3.57)**

$$i = \frac{D_1}{d_2}$$

Donde el valor de  $d_2$  (diámetro primitivo de la polea menor), se determinó mediante el **Anexo Tabla VI-4 [Valores  $d_2$  (diámetro primitivo de la polea menor), acuerdo con la sección de la correa o banda.]**

Existen varias combinaciones posibles de diámetros de poleas, nosotros consideramos para una polea menor:

$$d_1 = 6$$

Luego; para la polea mayor utilizaremos la fórmula ya antes descrita.

$$i = \frac{D_2}{d_1}$$

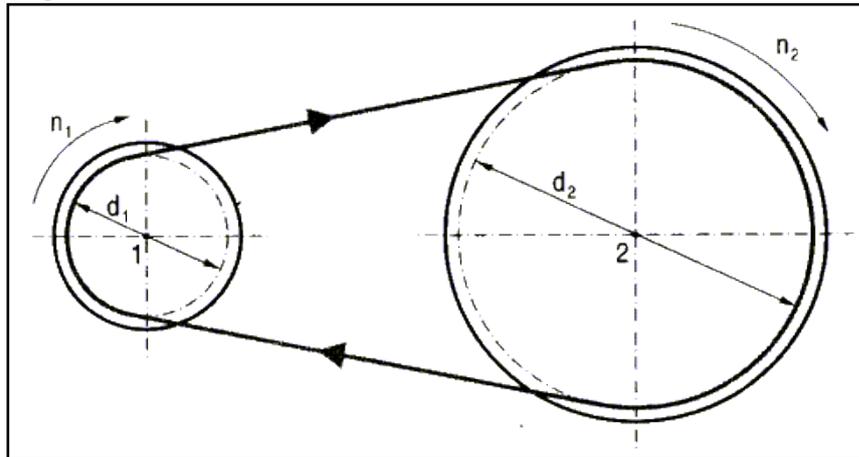
Despejando y reemplazando los valores conocidos tenemos:

$$D_2 = d_2 * i$$

$$D_2 = 6 * 4$$

$$D_2 = 24Plg = 60.96 \text{ cm.}$$

**Figura 3.25** DIÁMETROS DE POLEAS.



Fuente: <http://almez.pntic.mec.es>; Sistemas de polea y correas.

### 3.11.5. Distancia entre ejes.

Debido a requerimientos geométricos se debe fijar la distancia entre ejes, se determina mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación (3.58)**

$$C = \frac{(D_1 + 3 d_2)}{2}$$

$$C = \frac{(24 + 3(6))}{2}$$

$$C = 21 \text{ Plg.} = 53.34 \text{ cm}$$

Es decir que la distancia entre ejes debe ser mayor o igual a  $D_1$ .

$$C = D_1 = 24 \text{ Plg.}$$

### 3.11.6. Longitud primitiva de la banda.

De acuerdo al tipo de transmisión se calcula la longitud ( $L$ ), así para el caso más común de transmisión por banda abierta se determina mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación (3.59)**

$$L = 2C + \frac{\pi (D_1 + d_2)}{2} + \frac{(D_1 - d_2)^2}{4C} \text{Plg.}$$

Reemplazando los valores en la ecuación obtenidos el siguiente resultado.

$$L = 2(24) + \frac{\pi (24+6)}{2} + \frac{(24-6)^2}{4(24)} \text{ plg.}$$

$$L = 48 + 47.124 + 3.375 \text{ plg.}$$

$$L = 98.499 \text{ Plg.}$$

Con el **Anexo Tabla VI-5 [Valores de Longitudes Normalizadas de correas trapezoidales y constantes de potencia]**, podemos determinar la longitud de la banda (L), más aproximado al valor calculado.

De donde se obtiene una banda estandarizada más cercana:

$$B97 \quad L' = 98.8 \text{ Plg.}$$

En consecuencia, la distancia entre centros correspondientes será:

$$C' = C + \frac{(L'-L)}{2}$$

Reemplazando los valores en la ecuación obtenemos el siguiente resultado.

$$C' = 24 + \frac{(98.8-98.49)}{2}$$

$$C' = 24.4 \text{ Plg.}$$

### **3.11.7. Determinación de números de banda.**

El número de bandas permite obtener un mayor agarre entre las poleas del sistema de transmisión reduciendo la cantidad de pérdidas por deslizamiento o embalamiento, se debe tener presente que la alineación correcta entre bandas evitará que se produzcan vibraciones que pueden ser causa por des - balanceo afectando la correcta operación dentro del sistema de generación.

Para la selección correcta del número de bandas procedemos a determinar diferentes parámetros mencionados a continuación.

### 3.11.8. Velocidad de la banda.

Se calcula la velocidad tangencial con la ecuación:

**Ecuación (3.60)**

$$V = \frac{\pi * d_2 * N}{1000} [m/min]$$
$$V = \frac{\pi * (6 * 25.4) * 1800}{60} [m/min]$$
$$V = 861.8 [m/min]$$

### 3.11.9. Potencia nominal en Kw por banda.

Con la relación de  $\frac{D_1}{d_2} = 4$ , se obtiene Kd del **Anexo Tabla VI-6: [Valores de Coeficiente de diámetro pequeño Kd]**.

Siendo el valor de Kd = 1.14.

Para la sección B los valores de las constantes para potencia nominal son:

$$a = 4.737; \quad c = 13.962; \quad e = 0.0234.$$

A continuación se indica la ecuación, la cual sirve para determinar el valor de la potencia nominal en Kw por banda:

**Ecuación (3.61)**

$$\text{Pot. Nominal} = [2.19 * a * \left(\frac{10^3}{V}\right)^{0.09}] - \frac{6.2 * c}{(Kd * d)} - \frac{26.26 * e * V^2}{10^6} * \frac{V}{1000}$$

Reemplazando los datos en la expresión mencionada se tiene el siguiente valor de potencia:

$$\text{Pot. Nominal} = [2.19 * 4.737 * \left(\frac{10^3}{861.8}\right)^{0.09}] - \frac{6.2 * (13.962)}{(1.14) * (6 * 2.54)} - \frac{26.26 * 0.0234 * 861.8^2}{10^6} * \frac{861.8}{1000}$$

$$\text{Pot. Nominal} = [10.51382915] - 4.982525211 - 0.393305525$$

$$\text{Pot. Nominal} = 5.137 \text{ Kw. / Banda.}$$

Para  $(D-d)/C = [(24-6)/24.4] = 0.737$ , entonces con este parámetro se determina el valor de  $K_\theta$  en el **Anexo Tabla VI-7 [Valores de Coeficiente de arco de contacto.  $K_\theta$ ]**.

Siendo el valor de  $K_\theta = 0.885$

Con el **Anexo Tabla VI-8 [Valores Factores de corrección de longitudes  $K_L$ ]**. Obtenemos el valor de  $K_L = 1.02$  con la que se procede a determinar el valor de la potencia nominal.

La potencia nominal ajustada es, de acuerdo a:

$$\text{Pot. nominal ajustada} = \text{Pot. nominal} * K_\theta * K_L.$$

Por lo tanto se obtiene una potencia ajustada:

$$\text{Pot. nominal ajustada} = 5.13 * 0.885 * 1.02$$

$$\text{Pot. nominal ajustada} = 4.63 \text{ Kw/ Banda}$$

Para determinar el número de banda por medio de la siguiente ecuación:

**Ecuación (3.62)**

$$\# \text{ de bandas} = \frac{\text{Potencia Corregida}}{\text{Pot. nominal ajustada}}$$

$$\# \text{ de bandas} = \frac{11.9}{4.63}$$

$$\# \text{ de bandas} = 2.57 \approx 3 \text{ bandas.}$$

### **3.12. DISEÑO DE LA CARCASA.**

La carcasa es el lugar donde va alojada la turbina, su principal función es cubrir y soportar las partes fijas y móviles de la turbina, su fabricación debe ser de acuerdo a los planos especificados para su fabricación.

La geometría de la carcasa depende principalmente del número de toberas que se utilizan en la turbina.

En el diseño de la base, carcasa y estructura soporte del inyector se considera que el ancho interno de las mismas, debe ser igual o mayor a 15 veces el diámetro del chorro, ZUBICARAY Turbinas y Plantas Generadoras (1977).

En la estructura base también se previene la ubicación de un desviador de flujo, cuya función principal es la de evitar que el agua que sale del rodete por efecto de la tobera superior interfiera al flujo del chorro que sale de la tobera inferior.

En general, el criterio es darle una adecuada rigidez estructural a cada pieza, porque de ello dependerá la vida útil de la turbina. Se recomienda realizar la fabricación de esta pieza de la turbina, utilizando planchas soldadas de acero estructural.

Luego de finalizada su fabricación, se envía a un proceso de pintura anticorrosivo del tipo epóxica. En el proceso de fabricación por soldadura, se deberá controlar las deformaciones por efecto del calor y se deberán respetar las indicaciones del tipo de cordón de soldadura. Finalmente se indica la necesidad de utilizar empaquetaduras en el ensamble de las piezas de la turbina Pelton, sobre la carcasa, con el fin de evitar fugas de agua.

### **3.12.1. Especificación de los materiales utilizados en la construcción.**

Los materiales utilizados para la fabricación de la carcasa son los siguientes.

Plancha de acero de 1/8" de espesor, equivalente a 3mm, de calidad comercial laminada al caliente, equivalente a A569 (ASTM).

El proceso de fabricación de la carcasa y tubo de succión comprende desde el trazado y corte del material hasta el acabado con pintura, pasando lógicamente por el proceso de la unión por soldadura de las partes o segmentos.

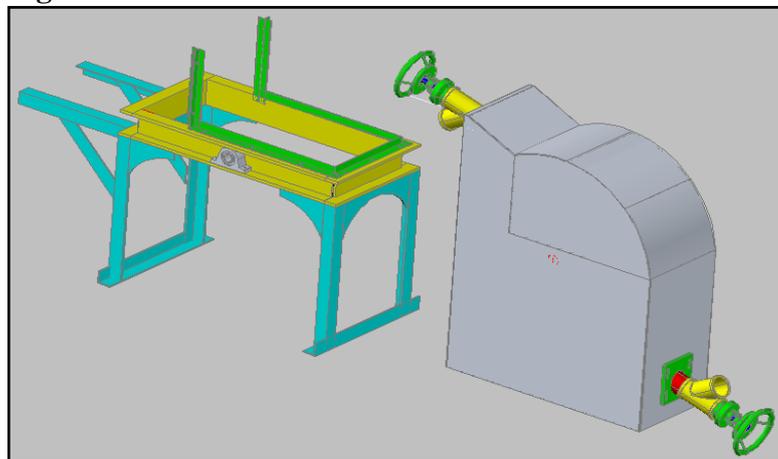
- La unión de los segmentos, de la carcasa se realizó mediante el método de soldadura por arco eléctrico. El proceso de soldadura comienza con el apuntalado que consiste en unir los segmentos o partes mediante puntos de soldadura, chequeando las dimensiones y la perpendicularidad entre ellas, para

finalmente realizar la unión mediante cordones de soldadura, evitando al mínimo las deformaciones, estas deformaciones se producen cuando hay recalentamientos en zonas específicas, por lo que se recomienda soldar por tramos, dejando enfriar las otras partes en forma intercalada.

- Como las partes cortadas y soldadas sufrieron deformaciones debido al calentamiento durante el proceso, se tuvo que enderezar las partes de la carcasa.
- Cuando se unen los segmentos o partes de la carcasa mediante soldadura por arco, al término de esta quedan algunos residuos y sobresalientes de cordón de soldadura tanto en la parte interna como en la parte externa de la carcasa, a estas hay que eliminarlas. La eliminación de los residuos y salientes del cordón de soldadura disminuye la fricción lo que reduce las pérdidas.

A continuación se observa en detalle la estructura de la carcasa de la turbina para nuestro proyecto.

**Figura 3.26 DISEÑO 3D DE CARCASA.**



Elaborado por: Postulantes.

### **3.13. Determinación del tipo del generador en función a la altura, caudal y potencia de demanda.**

De acuerdo a los cálculos realizados; para determinar el diámetro primitivo de la turbina, se estimó una velocidad de giro de 450 rpm, por otro lado conocemos la demanda de potencia y los tipos de carga que se utilizaran en la HACIENDA

ECOLOGICA BAÑOS se ha elegido un generador de tipo síncrono debido a la potencia a desarrollar como se especifica en el CAPITULO 2 selección adecuada del equipo; este posee las siguientes características:

- Generador síncrono Monofásico.
- Potencia activa: 7,25 Kw.
- Potencia aparente: 6.45 Kw.
- Tensión: 120V
- Frecuencia: 60Hz.
- Rendimiento: 98 %
- Reactancia subtrancitoria (Xd): 10.47%
- Tipo de aislamiento: H
- Tipo de protección: IP 36.

### **3.13.1. Ventajas**

Según [www.codeso.com/mchel.html](http://www.codeso.com/mchel.html). (2000), las ventajas y desventajas del generador son:

- Grandes potencias de generación.
- Largas horas de funcionamiento.
- Mayor cantidad de suministro de energía a viviendas.
- Existen alternadores de tres fases con grandes eficiencias que aprovechan mejor el espacio disponible.
- Los alternadores pueden ser modificados para generar electricidad a menores velocidades de rotación rebobinando la bobina con más vueltas y un alambre conductor más delgado.
- Pueden generar la energía directamente apta para la conexión a redes públicas.
- Trabajan directamente con transformadores en redes públicas o redes privadas.

### 3.13.2. Desventajas

- Con generación de corriente alterna se debe tener una regulación exacta, para cumplir con la frecuencia y otros aspectos técnicos de la red.
- En instalaciones privadas tienen que generar una potencia mayor que el consumo máximo previsto.
- A Son generalmente más grandes y costosos.

### 3.14. Elección del sistema de regulación de frecuencia y voltaje.

Conforme la selección del generador a utilizarse en el proyecto, es conveniente elegir un sistema de regulación del voltaje y carga para no causar daños al generador y a los equipos que utilizaran esta energía.

Se hace mención que la frecuencia es directamente proporcional a la velocidad del generador, y una variación de la velocidad de giro de la turbina se traduce a una variación en la frecuencia del sistema eléctrico que tiene un valor de 50 y 60 Hz. Según el país. Se detalla a continuación los daños causados por baja frecuencia que reducen la vida útil de los equipos.

**Tabla: 3.7EQUIPO DE CONSUMO DE ENERGÍA.**

Equipo/Maquina	Efecto debido a baja frecuencia
Motores	No arrancan
Lámparas fluorescentes	No encienden
Lámparas incandescentes	Menor iluminación
Alternador	Sobrecalentamiento

**Fuente:** Tesis “Diseño e instalación de una Pico central Hidroeléctrica en la Hacienda La Isabela”

Visto la necesidad de regular la velocidad se ha optado por la regulación por carga, a diferencia de la regulación por caudal de agua que en todo momento se tiene que regular el paso de agua conforme se iguale la potencia generada con la demanda, para mantener una velocidad de giro constante el sistema de regulación de carga.

### **3.14.1. Equipos de seccionamiento control y protección del sistema de generación.**

#### **a) Panel de control o tablero.**

La fabricación o ensamblaje de un tablero eléctrico debe cumplir criterios de diseño y normativas que permitan su funcionamiento correcto una vez energizado el sistema, garantizando la seguridad del operario y de las instalaciones interiores en la Hacienda Baños. Los equipos de protección y de control, así como los instrumentos de medición, se instalan por lo general en tableros eléctricos, teniendo una referencia de conexión para lo cual se puede apreciar en el diagrama Unifilar, Diagrama de Control, Diagrama de interconexión. **Anexo IV Diagramas eléctricos.**

#### **b) Elementos de medición.**

Cuando se emplea la energía eléctrica, es necesario controlarla y conocer exactamente sus valores de tensión, voltaje y potencia producidos por el generador para nuestro sistema utilizamos un voltímetro en una escala de 0 a 250 voltios, un amperímetro de 0 a 70 Amperios.

El voltímetro permite medir la tensión ó voltaje, el mismo que está construido con alta impedancia para ser conectado en paralelo, es decir directamente a los bornes del sistema cuya tensión se desea observar para alimentar directamente a la carga principal.

Con el amperímetro podemos medir la intensidad de la corriente, su impedancia interna es muy baja por lo que se conecta en serie con las cargas receptoras y nunca en paralelo porque podría producirse un cortocircuito.

Para comprobar la potencia eléctrica y verificar la capacidad de generación del sistema pico central, aplicamos la fórmula de la ley de Ohm donde el voltaje y la carga son directamente proporcionales a la potencia en los bordes del generador.

### c) **Protección contra sobrecarga.**

El interruptor termo magnético que es un elemento de protección, el cual debe ser dimensionado para operar en caso de un corto circuito para nuestro caso detallamos un interruptor con los siguientes valores.

I: 65 A. Del generador

R: 550  $\Omega$

Para lo cual se aplica un fusible de valor: 35 A.

### d) **Puesta a tierra.**

El tablero de control, el generador y todo dispositivo con cubierta metálica guarda elementos bajo tensión, los mismos están interconectados a tierra mediante la conexión de un borne montado sobre la parte metálica a una varilla de cobre enterrada sobre el piso al exterior de la casa de máquinas.

### **3.15. Línea de transmisión eléctrica.**

La línea de transmisión es una estructura de material la cual utilizamos para dirigir la transmisión de energía en forma de ondas electromagnéticas, comprendiendo distancia entre dos lugares que se comunican, casa de máquinas y residencia de la Hacienda Baños.

La energía transmitida mediante la red de baja tensión debe de ser apropiada para obtener un voltaje con menores pérdidas que se generen desde la casa de máquinas hasta la carga instalada. Con los datos de placa del generador procedemos a determinar la sección del conductor adecuado, como se va a tener una capacidad de generación de 7,25 Kw. Y se tiene a la salida de los bordes del generador un voltaje de 120 V con una carga de 65.8 A, procedemos a la selección adecuada del conductor conforme a la tabla del **Anexo V-15**.

Con la corriente de salida del generador se procede a la selección del conductor de tipo BF06 – 6 TW número 6 AWG el mismo que posee una capacidad de conducción de 57 A, para conductores tubería y 82A. para conductores al aire libre con una sección de  $13.3 \text{ mm}^2$ .

Ante el conductor seleccionado procedemos a realizar el siguiente cálculo para su comprobación.

**Dónde:**

Potencia a generar = 7,25 Kw.

Factor de potencia  $\cos \theta = 0,86$  asumido.

Resistibilidad del cobre  $R_{cu} = 0,017 \text{ Ohmios } \text{mm}^2/\text{m}$

Sección del conductor  $A = 13.3 \text{ mm}^2$

Longitud desde la casa de máquinas hasta la carga instalada = 27 m.

Con los datos mencionados determinamos la resistencia del conductor (R) por medio de la ecuación.

**Ecuación (3.63)**

$$R = \frac{R_{cu} * L}{A} \text{ Ohmios}$$

Reemplazando los valores anteriores en la ecuación se tiene que:

$$R = \frac{0,017 \text{ Ohmios } \text{mm}^2/\text{m} * 27 \text{ m} * 2\text{m}}{13.3 \text{ mm}^2} \text{ Ohmios.}$$

R= 0.0690Ohmios.

Ya determinado la resistencia del cobre, determinamos las pérdidas que se producen en la línea de transmisión usando la siguiente ecuación.

**Ecuación (3.64)**

$$P = I^2 x Rc$$

**Dónde:**

**P** = Pérdidas de en la línea (W).

**I<sup>2</sup>** = Corriente tomada de las bornes del generador.

**Rc** = Resistencia del conductor.

De donde se obtiene:

$$P = 65 A^2 \times 1,16350 \text{ ohmios}$$

$$P = 291.62 \text{ W}$$

Determinamos el porcentaje de caída de tensión con la siguiente ecuación.

**Ecuación (3.65)**

$$\Delta V\% = \frac{I \cdot R}{V} 100$$

**Dónde:**

**ΔV%:** Caída de tensión.

**V** = voltaje del generador.

Aplicando la ecuación tenemos:

$$\Delta V\% = \frac{65 \cdot 0.0690}{120} 100$$

$$\Delta V\% = 3.73\%$$

Las pérdidas de potencia y el porcentaje de caída de tensión son considerables, sin embargo se desea reducir al mínimo las mermas en la línea por lo que se procede a realizar un nuevo cálculo para un conductor de mayor capacidad.

Realizamos el procedimiento anterior para un conductor dúplex 2 x 6 de aluminio para lo cual hacemos uso de la tabla del **Anexo V-16**. de donde.

Resistibilidad del aluminio  $R_{Al} = 2,65 \times 10^{-8} \text{ Ohmios} \times m$ .

Sección del conductor  $A = 13.3 \text{ mm}^2$

Reemplazando los valores anteriores en la ecuación se tiene que:

$$R = \frac{2,65 \times 10^{-8} \text{ Ohmios } \times m. * 27 m}{13.3 \text{ mm}^2} \text{ Ohmios.}$$

$$R = 0,05379 \text{ Ohmios.}$$

Determinamos las pérdidas que se producen en la línea de

De donde se obtiene:

$$P = 65 A^2 \times 0,05379 \text{ Ohmios.}$$

$$P = 232,92 \text{ W}$$

Determinamos el porcentaje de caída de tensión.

$$\Delta V\% = \frac{65 * 0,05379}{120} 100$$

$$\Delta V\% = 2,94\%$$

Las pérdidas de carga son más menores en relación a la anterior elección, por lo que para el sistema PCH se instalará el cable dúplex AWG 2 x 6.

### **3.16. Manual de operación y mantenimiento.**

La implementación de una pico central hidroeléctrica requiere de la inversión de un capital que se desea recuperar a un plazo previo con un análisis económico de rentabilidad, la pico central debe funcionar todo el tiempo para la que fue diseñada, que por lo general, en el caso de generación eléctrica es de  $365 \times 24 = 8760$  horas-año tomando en consideración el tiempo dedicado para mantenimiento.

Todo es posible sólo con una adecuada operación del sistema y un programa de mantenimiento bien planificado que efectivamente sea llevado en práctica; puesto que una inadecuada operación y una desatención de mantenimiento devienen una serie de problemas que directamente infieren sobre el estado del equipo electromecánico y cada elemento que conforma el sistema pico central, las mismas que se detallan a continuación.

### **3.16.1. Acciones de mantenimiento en bocatomas.**

Durante crecidas de caudal, el canal suele traer consigo restos de materiales sólidos tales como arenas, piedras y vegetación de la zona, las mismas que suelen depositarse en el interior del canal de conducción, pudiendo estos materiales taponar en mayor parte la entrada del agua a la tubería de presión, por lo que se hace necesaria la limpieza de sedimentos almacenados en la ventana de captación, es necesario inspeccionar diariamente esta ventana, especialmente en las épocas de avenida, puesto que varios materiales flotantes pueden quedar atrapados en la reja y bloquear la entrada del agua.

### **3.16.2. Acciones de mantenimiento en desarenadores.**

El desarenador es una de las partes más importantes de una PCH pues determina el deterioro por erosión de la turbina hidráulica en caso de tener un mantenimiento adecuado.

La velocidad del agua a la entrada del desarenador debe de ser pequeña para que las partículas sólidas sedimenten en la base del desarenador y se pueda retirar las mismas semanalmente mediante la apertura de la válvula de purga ó en caso de existir un volumen considerable se los pueda eliminar mediante la utilización de una pala y una escoba, de no realizar este plan de mantenimiento seguirán acumulándose hasta que algún exceso de sedimentos conduzca a la turbina ocasionando el deterioro de la misma.

Se debe tomar en consideración que durante las épocas más lluviosas la limpieza debe de ser más periódica debido a la gran cantidad de sedimentos arrastrados por el agua.

### **3.16.3. Acciones de mantenimiento en la cámara de carga.**

La cámara de carga es el punto donde se conecta directamente con la tubería de presión, la misma que tiene una rejilla de protección que impide la entrada de material flotante a la tubería de presión, por lo que la limpieza de la rejilla es

notablemente a diario a causa de gran cantidad de materiales flotantes que trae el agua.

Es de muy importante dar prioridad al mantenimiento de este elemento, con una frecuencia notable para evitar que materiales flotantes se depositen sobre la rejilla, y en caso de existir dichos materiales retirarlos con un rastrillo,

#### **3.16.4. Acciones de mantenimiento en tuberías.**

En nuestro sistema de conducción se utilizó tubería en material PVC, por lo que las acciones de mantenimiento son las siguientes.

A la tubería se la protege de los rayos ultravioletas para el envejecimiento prematuro, para impedir esto se procederá a recubrir con tierra todo el tramo de la tubería de conducción, esto nos ayudará a protegerlas de golpes que provocarían fractura, la misma que provocaría deslizamientos de tierra y paro del sistema de generación.

Se debe inspeccionar el estado de los drenajes de conducción de aguas lluvia, puesto que en algún momento podría socavar el terreno, provocando inestabilidad y en caso la deformación de la tubería.

Se recomienda también la inspección periódica de las juntas de la tubería y constatar que no existan fugas, más en caso de existirlas se debe repararlas en forma inmediata.

#### **3.16.5. Acciones de mantenimiento en válvulas.**

Las válvulas son instaladas al final de la tubería en la mayoría de los casos en la casa de máquinas, estas tienden a presentar fugas de agua, lo cual no es mayor problema, ante esta situación se procede a ajustar o cambiar la empaquetadura de la misma.

Las válvulas están diseñadas para trabajar a una determinada posición es decir abierta o cerrada, debido al desgaste prematuro (erosión) del elemento obturador y asiento o pueden causar pérdidas de carga por lo que será necesario desmontar para en el taller proceder a realizar la recuperación de la misma.

### **3.16.6. Acciones de mantenimiento en la turbina hidráulica.**

Nuestro rodete es una turbina de acción de flujo tangencial, que opera debido a la presión atmosférica, empleada en grandes centrales hidroeléctricas que toman acciones de mantenimiento detallados a continuación.

Para esta turbina necesita de un mantenimiento prolongado, en medida que el agua se mantenga limpia, de ocurrir que algún objeto se incruste en el rodete será necesario desmontar parte de la carcasa y eliminar el elemento incrustado.

Se debe inspeccionar minuciosamente cada uno de los cucharines y determinar el grado de desgaste que ocurre a un largo tiempo.

Se debe tener muy bien lubricadas las partes móviles tales como el eje, los inyectores, además de los pernos de anclaje para que no se corroan.

Se debe de igual controlar el grado de corrosión en la carcasa de la turbina, de ser necesario pintarla para protegerla.

### **3.16.7. Acciones de mantenimiento en acoplamientos, rodamientos y fajas.**

Los acoplamientos están formados por ejes, poleas, bandas y rodamientos los mismos que necesitan ser inspeccionados con frecuencia con la finalidad de detectar vibraciones a causa de deslizamientos, tensiones excesivas de las bandas o la falta de lubricación de las mismas.

Se debe verificar el tensado de bandas de acuerdo a las recomendaciones del fabricante, los mismos que determinan en relación a la flecha de deformación que en nuestro caso es de  $1/16$  “.

Otros elementos que se deben tener cuidado son los rodamientos, actuando sobre estos ante ruidos extraños o sobrecalentamientos, pues la existencia de alguno de estos parámetros mencionan que algún elemento no está trabajando bien por lo que su lubricación debe de ser periódica.

El cambio de rodamiento debe de luego de un tiempo bastante prolongado (2 años), para proceder al cambio de los rodamientos se debe tener mucha precaución especialmente con las características del rodamiento extraído.

Se procederá a revisar el desgaste de las poleas tanto del generador como de la turbina para evitar el desgaste prematuro de las bandas y por ende evitar pérdidas de eficiencia del sistema.

### **3.16.8. Acciones de mantenimiento del generador, equipamiento electromecánico y línea de transmisión.**

Durante el mantenimiento rutinario del generador se debe tomar en consideración la atención periódica de los arrollamientos y los rodamientos, se debe examinar la posición de las escobillas de manera que ha de tocar los anillos rozantes en toda su superficie, asimismo se ha de reemplazarlo cuando este desgastado  $\frac{1}{4}$  parte de su longitud.

La limpieza de los anillos rozantes debe de ser cíclica eliminando polvos y suciedades que los cubran, en especial cuando se cambia de escobillas.

El mantenimiento general del generador debe de constar la limpieza de las partes eléctricas y mecánicas con el propósito de evitar la acumulación de polvos, humedad y grasas en su interior.

El tablero de los instrumentos de medición conformado por el voltímetro, amperímetro y el interruptor principal requieren de poca atención, en lo posible la eliminación de polvos de acuerdo a las condiciones ambientales existentes en el lugar, el reajuste de conexiones y en caso de existir falla el reemplazo del instrumento con la brevedad posible.

El sobre calentamiento en las líneas de transmisión deben de ser minuciosamente inspeccionadas, de igual si alguna rama de árbol tocara la línea esta deberá ser retirada para evitar problemas futuros.

### **3.16.9. Programa de mantenimiento preventivo.**

Para la correcta operación del equipo de generación eléctrica hace necesario tener un programa de mantenimiento que se debe realizar conforme pase los días y así evitar alguna interrupción y daño del equipo.

En la siguiente tabla se resumen las principales actividades de mantenimiento a realizarse según la periodicidad de la Pico central.

**Tabla: 3.8PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LA PERIODICIDAD DE LA PICO CENTRAL.**

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO											
EQUIPO	ACTIVIDAD	TIPO	RESPONSABLE	D	S	M	3M	6M	A	5 <sup>a</sup>	
Obras Civiles	Revisión y sellado de fugas de agua en el canal de conducción	Civil	Operador	x							
	Revisión y limpieza de bocatoma de alimentación de caudal	Civil	Operador	x							
	limpieza de rejilla	Civil	Operador	x							
	Verificación de nivel de caudal en el tanque de presión	Civil	Operador	x							
	Revisión de asentamiento de partículas sólidas en el desarenador.	Civil	Operador		x						
	Limpieza de tanque desarenador	Civil	Operador		x						
	Inspección estado de bocatoma y desarenador	Civil	Operador			x					
Equipo electromecánico / generador	Verificación de temperatura en rodamientos de chumaceras.	Mecánico	Operador		x						
	Medición de vibraciones en rodamientos de turbina	Mecánico	Técnico	x							
	Escuchar ruidos extraños ó anormales en turbina y generador	Mecánico	Operador	x							
	Verificación de fugas de agua en inyectores o carcasa.	Mecánico	Operador			x					
	Inspección de desgaste del rodete, alabes e inyector	Mecánico	Operador				x				
	Engrase de rodamientos turbina y generador	Mecánico	Técnico			x					
	limpieza de conexiones eléctricas	Eléctrico	Técnico			x					
	Limpieza de polvo y humedad en el generador.	Eléctrico	Técnico			x			x		
	Limpieza de bobinado interior del generador	Eléctrico	Técnico				x				

	Medición del aislamiento del generador	Eléctrico	Técnico					x		
	Inspección de carbones del generador	Eléctrico	Técnico				x			
	Cambio de rodamientos de la turbina y generador	Mecánico	Técnico							x
	Verificación de tensado de bandas	Mecánico	Operador				x			
Tuberías y válvulas	Inspección de la tubería de presión y de conducción.	Mecánico	Operador				x			
	Inspección de válvula principal del tanque de presión.	Mecánico	Operador		x					

**Elaborado:** Postulantes.

**Dónde:**

**D** : Inspección diaria.

**S** : Inspección semanal.

**M** : Inspección mensual.

**3M** : Inspección cada 3 meses

**6M** : Inspección cada 6 meses

**A** : Inspección anual

**5<sup>a</sup>** : Inspección a los 5 años

### 3.17. Proceso de ensamblaje y montaje de la Pico Central Hidroeléctrica.

Grandes cantidades de agua recorre por toda la superficie de la tierra (Ríos), la misma que posee una energía que avanza venciendo obstáculos en su estado libre. Esta gran cantidad de energía depende mucho de su velocidad que a su vez es en función de su pendiente y rugosidad de su superficie. La misma que no se puede controlar pero si podemos disminuir su caudal desviándolo por un canal para reducir su rugosidad hasta obtener una diferencia entre aguas de canal y el cauce del río. En un punto apropiado, con el agua del canal pasa por una máquina motriz hidráulica que transformaría la energía potencial del agua en energía eléctrica para después devolverla al río. Con el parámetro determinado anteriormente procedemos a realiza el ensamble y montaje de la PICO CENTRAL HIDROELECTRICA en la Hacienda Ecológica Baños.

### 3.18. Construcción del sistema.

A continuación describimos un resumen de los pasos que se detallarán durante la construcción de la turbina hidráulica y el equipo electromecánico.

1. Seleccionamos la madera para molde de cucharones (Laurel con una densidad de 670 Kg/m<sup>3</sup>).

**Figura: 3.27** Cucharin Pelton modelo



**Figura: 3.28** Cucharin Pelton molde madera.



Elaborado por: Postulantes.

2. Modelación de la forma de los cucharines, y rodete con sus respectivas dimensiones (**ver Anexo IV planos**).
3. Moldeo en arena.
4. Fundición en hierro fundido

**Figura: 3.29 MOLDE DE CUCHARIN.**



**Fuente:** Fundiciones Tirado Hnos.

5. Acabado superficial de modelo en las caras interior y exterior.

**Figura: 3.30 PERFORACIÓN DE CUCHARINES.**



**Fuente:** SERVIMETAL.

6. Balanceo de turbina (estático y dinámico).
7. Maquinado del eje.
8. Construcción de la carcasa.

**Figura: 3.31 CONSTRUCCIÓN DE CARCASA.**



**Fuente:** SERVIMETAL

9. Montaje del eje-rodete.

10. Acoplamiento de chumaceras con sus respectivos rodamientos.

**Figura: 3.32 ACOPLAMIENTO DE RODETE Y CHUMACERAS.**



**Fuente:** SERVIMETAL.

11. Instalación del sistema de regulación (inyectores).

12. Acoplamiento del generador.

13. Montaje del sistema de transmisión.

**Figura: 3.33** INSTALACIÓN DE INYECTORES.



Fuente: SERVIMETAL.

**Figura: 3.34** ACOPLAMIENTO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN.



Fuente: SERVIMETAL.

Luego de haber realizado una recopilación de pasos a seguir para el desarrollo de la propuesta, procedemos con detallar los equipos que se utilizaron en el equipo electromecánico.

### **3.19. REFERENCIA DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS.**

Para la construcción de la Pico central se hace necesaria la adquisición de algunos de los materiales que se detallan a continuación.

**Tabla 3.9 MATERIALES UTILIZADOS EN EL EQUIPO ELECTROMECAÁNICO.**

<i>N° ítem</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Detalle</i>	<i>Referencia anexo-plano</i>
<b><u>Alimentación de caudal</u></b>			
1	1	Válvula de compuerta 6"	AV.1-P1/11
2	2	Válvulas de compuerta 2 1/2 "	AV.2-P1/3
3	2	Manómetros en rango de 0-70 psi	AV.4-P1/3
4	160 m.	Tubería PVC 6", 4" y 2 1/2"	AV.5-P1/13
<b><u>Inyector</u></b>			
5	2	Válvulas check de bronce 2 1/2"	AV.3-P1/3
6	2	Ejes de acero 304 inoxidable 5/8 x 16mm.	AV.6-P1/3
7	2	Barra de acero 304 inoxidable 77mm. x 87mm.	AV.7-P1/3
<b><u>Carcasa</u></b>			
8	1	Plancha de acero al carbono 1220 mm. x 2440 mm. 2 mm.	AV.8-P1/5
9	2	Ángulo de 2" x 1/4" (6 mm.)	AV.9-P1/6
10	1	Angulo de 1" x 1/8" (3 mm.)	AV.10-P1/6
11	2	Plancha de acero al carbono 160mm. x 150mm. x 1/2"	AV.11-P1/9
12	2	UPN 125 mm. x 50 mm. x 6 mm.	AV.12-P1/6
13	1	Ejes de acero 705 inoxidable 42 mm. x 600 mm.	AV.13-P1/8
14	2	Chumaceras "SY 1.11/16 RM"	AV.14.P1/6
<b><u>Tablero de control</u></b>			
15	1	Caja metálica 500 mm x 500 mm x 250 mm	AV-P2/1
16	1	Voltímetro	AV-P2/1
17	1	Amperímetro	AV -P2/1
18	28 m	Conductor dúplex de aluminio.	AV.15 - P2/1
<b><u>Equipo mecánico de generación</u></b>			
19	1	Turbina hidráulica Diámetro exterior 700 mm, 21 cucharines en hierro fundido.	AV - P1/10
20	1	Polea de 21" en hierro fundido. Polea de 6" en hierro fundido.	AV - P1/7
21	1	Generador monofásico asincrónico 120 V	AV - P2/2

**Elaborado por:** Postulantes.

### **3.20. DETALLES DE PLANOS DE LA PICO CENTRAL HIDRÁULICA.**

En el **Anexo IV** se muestran los planos en detalle, con las especificaciones respectivas de la turbina, geometría de los cucharines, geometría de los inyectores, eje, polea, carcasa y el ensamble del sistema pico central hidráulico.

### **3.21. DESCRIPCIÓN DE LA PICO CENTRAL HIDROELÉCTRICA.**

#### **3.21.1. Componentes externos.**

- El proceso de captación del canal y almacenamiento del caudal en un tanque de presión.
- Un desarenador que se encuentra acoplado al tanque de presión.
- La tubería de presión seleccionada de acuerdo de acuerdo a la presión emitida por el tanque de presión.
  - 90 m. = 6 Plg;
  - 60 m. = 4 Plg;
  - 10 m. = 2.5 Plg.
- La casa de máquinas ubicada y diseñada conforme a necesidades de montaje y mantenimiento.
- La altura de operación s de 48.50 m.
- Caudal total de diseño es de 0.03 m<sup>3</sup>/s
- Dos inyectores tipo aguja.
- Potencia de generación calculada 8,45 Kw.

#### **3.21.2. Componentes internos.**

- Carcasa diseñada en función de cubrir y soportar las partes fijas y móviles de la turbina.
- La pico turbina tipo Pelton fabricada en hierro fundido con un diámetro primitivo de  $D_p = 0.580 m.$  con 21 cucharines.
- Un chorro de 36 mm. De diámetro a la salida del inyector.

- 1 eje de 42 mm 1" 11/16 en acero inoxidable 705.
- 2 de chumaceras SY 1.11/16 RM con un peso de 2.06 Kg. con una carga dinámica de 33.2 KN a 4300 rpm.
- Válvulas de compuerta a la entrada y salida del tanque de presión e ingreso a los inyectores.
- Uniones de junta para tuberías de presión.

### **3.21.3. Requerimientos para la implementación de la PCH.**

- El acoplamiento mecánico entre generador y turbina por medio de poleas y bandas.
- Generador monofásico de 7,25 Kw. al 100% de su eficiencia.
- Luces piloto y resistencias de consumo de carga secundaria.
- Manómetros de 0-70 PSI para visualización de presión de descarga de agua.
- Voltímetro.
- Amperímetro.

## **3.22. UBICACIÓN DE LOS EQUIPOS DE LA PICO CENTRAL HIDRAULICA.**

Presentamos los pasos más importantes que se efectuaron en el proceso de implementación del equipo electromecánico con sus respectivos componentes.

A pesar de su pequeña potencia de generación de esta máquina sus dimensiones y peso son grandes comparado con una mini turbina de menores caudales y alturas, por lo tanto se requiere la manipulación cuidadosa para conseguir un buen montaje para un funcionamiento confiable.

### **3.22.1. Cimentación y anclaje.**

El proceso de montaje del equipo se inicia con la cimentación de la base de la carcasa, la misma se la realiza considerando las fuerza producidas durante su

funcionamiento a plena carga, para ello se debe anclar bien la estructura y demás componentes. La turbina está provista de una carcasa la misma que está sujeta a una base cimentada con apoyos de anclaje, tiene perforaciones para pernos de  $\frac{1}{2}$  Plg x  $2\frac{1}{2}$  de longitud de carrera de rosca que están firmes en una base anclada al piso. Para la cimentación se utiliza hormigón armado que sujeta a la base de la carcasa.

**Figura: 3.35 BASE DE ASENTAMIENTO DEL EQUIPO MECÁNICO.**



**Fuente:** Hacienda Baños.

Antes del montaje del equipo electromecánico se procede a realizar una comprobación de balanceo dinámico de la turbina.

**Figura: 3.36 COMPROBACIÓN DE BALANCEO DINÁMICO DE RUEDA PELTON.**



**Fuente:** SERVIMETAL - Mto predictivo del Ecuador.

### 3.22.2. Nivelación

Luego de cementar la base de la carcasa se procede a la nivelación de la misma antes del montaje de toda la carcasa, después del montaje se comprueba con un proceso de nivelado la correcta ubicación de la carcasa.

Cumpliendo con lo anterior procedemos a sujetar completamente las tuercas de los pernos.

**Figura: 3.37 SUJECCION DE EQUIPO Y COMPROVACIÓN DE NIVELADO DE BASE DE ACENTAMIENTO.**



Fuente: Hacienda Baños

### 3.22.3. Acoplamiento de la turbina, tubería de presión y válvula de protección del sistema.

La unión de la tubería de presión se acopla mediante juntas de presión reducciones en los tramos de tubería determinadas para incremento de presión a la salida del inyector, en nuestro caso las reducciones van desde 6 a 4 y de 4 a 2 ½ pulgadas. Esta última conectada a los inyectores de bronce. La misma que se encuentra sujeta a la carcasa por medio de pernos regulables, que tiene como objetivo buscar el acercamiento o alojamiento del inyector y la turbina.

Se muestra el conjunto del inyector y el sistema de regulación hacia los cucharones de la turbina.

**FIGURA: 3.38** CONJUNTO INYECTOR Y SISTEMA DE REGULACIÓN.



**Fuente:** SERVIMETAL.

También es necesario instalar una válvula de control de flujo de agua a la entrada de los inyectores, esta se instala en la unión válvula-tubería de presión, la cual permitirá trabajos de mantenimiento en la turbina en caso de alguna avería, una vez alineadas las partes, se ajusta o sujeta por medio de abrazaderas.

**Figura: 3.39** FIJACION DE LA TUBERIA DE PRESIÓN.



**Fuente:** Hacienda Baños

#### **3.22.4. Verificación y ajuste de rodete y accesorios.**

Después de haber instalado la carcasa a la base de sujeción con una cimentación correcta y un buen proceso de nivelado calibramos los componentes de la turbina y verificamos el ajuste de los inyectores a la tubería de presión. El rodete ensamblado con el eje, va centrando en el interior de la carcasa, este debe estar bien asegurando con una chaveta de sección transversal cuadrada, y todo el conjunto apoyado sobre los dos rodamientos que soportan los esfuerzos radiales, observamos que los soportes que estén sujetos sobre la base de la carcasa.

El acoplamiento y montaje del generador; al equipo se lo realiza sobre la base superior conformada por perforaciones de deslizamiento, sujeta por pernos con los que se puede alinear las poleas de transmisión.

**Figura: 3.40 MONTAJE Y FIJACION DE GENERADOR.**



**Fuente:** Hacienda Baños

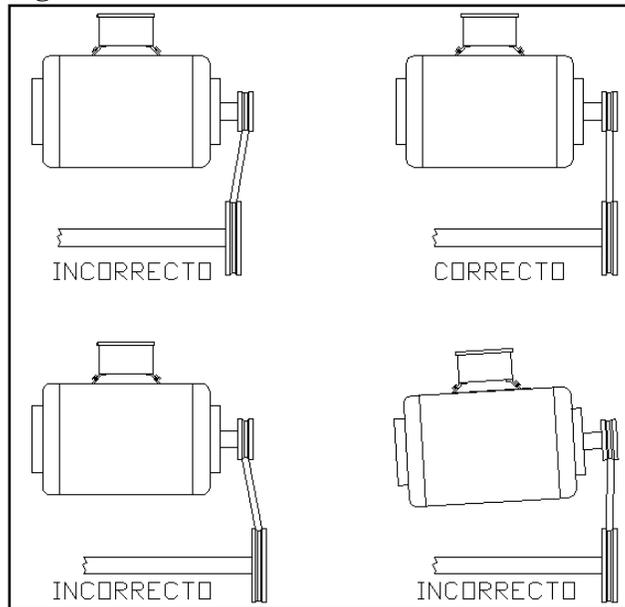
Para generar el movimiento en las poleas, se utiliza el sistema de transmisión por medio de poleas y bandas, la polea motriz va instalada en el eje de la turbina, cuya instalación se asegura con una chaveta transversal cuadrada, y la polea conductora que está en el eje del generador.

**Nota: Se debe tomar en consideración, antes de la colocación de las bandas alinear las poleas para evitar vibraciones en el sistema de transmisión.**

### 3.22.5. Templado de bandas.

En la instalación de las bandas hay que tener en cuenta su tensado, el cual debe tener una **flecha admisible de  $\frac{I}{64}$**  donde: **I es la distancia entre centros de las poleas**, el ajuste se lo realiza con un movimiento libre del generador y finalmente se ajusta por medio de los perno guía anulando toda posibilidad de que el generador pueda moverse, en la figura 3,41 se presentan los diferentes casos que pueden darse y la forma correcta de alinear las bandas.

**Figura: 3.41** TEMPLADO Y ALINEACION DE BANDAS.



Fuente: Hacienda Baños

### 3.23. Pruebas antes de la puesta en marcha

La puesta en marcha del equipo significa poner en funcionamiento todo el sistema pico central hidro eléctrico. Para ello se requiere seguir los siguientes pasos:

**Paso 1.** La tubería de presión debe estar llena de agua garantizando un flujo permanente del caudal requerido desde la obra de toma.

**Paso 2.** El equipo electromecánico debe estar libre de cualquier objeto o material que no sea parte del mismo.

**Paso 3.** Controlar y verificar que todas las partes del equipo estén muy bien fijadas sin que existan partes sueltas o desajustadas.

**Paso 4.** Hacer girar manualmente el volante de inercia de la turbina en sentido de las manecillas del reloj visto el lado de la polea del generador, para verificar que no exista impedimento alguno y que todo el equipo pueda girar libremente.

**Paso 5.** Controlar que el interruptor de conexión principal este en posición OFF o apagado.

**Paso 6.** Después de estas simples acciones, se procede a la apertura lenta de la válvula principal, hasta alcanzar la velocidad necesaria, fijándose la frecuencia y el voltaje en el tablero de control hasta que los valores alcanzados en el mismo sean los adecuados, es decir: la frecuencia necesaria (60 Hz) para un voltaje de 120 voltios por ser un sistema monofásico.

**Paso 7.** Una vez que el equipo se encuentra funcionando de manera estable y haya alcanzado el voltaje y la frecuencia necesarios, se procede a energizar las cargas accionando el interruptor de salida y llevándolo a la posición ON carga principal.

**Paso 8.** Para detener o parar el equipo, es necesario desconectar la conexión principal del sistema llevando el interruptor del tablero de control a la posición OFF, es decir desconectar la carga del sistema, para luego cerrar manualmente la válvula.

**¡Precaución! cuando el sistema esté generando (generador en movimiento), este siempre debe tener una carga mínima de consumo (carga secundaria), en este caso instalada una resistencia de calefacción o la iluminación de la casa de máquinas. De no cumplirse esta condición por tiempo prolongado el potenciómetro de regulación de voltaje del generador tiende a sobre calentarse y puede destruirse.**

Después de la puesta en marcha del equipo electromecánico, la operación de la turbinase reduce simplemente a un control y seguimiento del funcionamiento del equipo.

### 3.24. VERIFICACIÓN DEL PROYECTO IMPLEMENTADO.

Para determinar los valores obtenidos se procedió a la apertura de las válvulas que controlan los inyectores, de donde estando el sistema en marcha obtuvimos los siguientes valores.

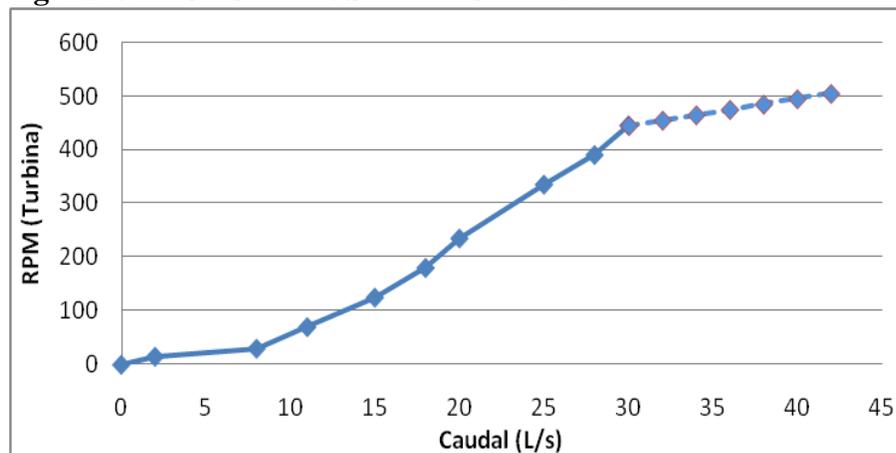
**Tabla N° 3.10 VALORES DEL COMPORTAMIENTO DE LA TURBINA PELTON.**

Apertura de válvula %	Número de vueltas en válvula	Q (l/s)	Presión (psi)	Generador (RPM)	Generador en Carga (RPM)	RPM Turbina	V Medido (V)	I Medido (A)	P Salida medida (W)	P Salida teórica (W)	Validez de turbina
0%	0	0	67	0	0	0	0	0	0	0	0%
10%	1	2	66	100	98	10	24	1	24	24	2%
15%	1,5	4	65	200	198	15	36	3	50	108	3%
20%	2	8	64	400	398	30	48	4	65	192	7%
25%	2,5	11	63	600	598	70	55	6	90	330	16%
30%	3	15	62	800	798	125	60	18	98	1080	28%
35%	3,5	18	61	1000	998	180	72	19,5	250	1404	40%
40%	4	20	60	1200	1198	235	84	25,75	1500	2163	52%
45%	4,5	25	59	1400	1398	320	96	31,25	2800	3000	71%
50%	5	28	58	1600	1598	375	108	35	3600	3780	83%
55%	5,5	30	57	1800	1798	430	115	38,75	4500	4456,25	96%
60%	6	31	56	1800	1798	450	120	42,5	4992,5	14400	100%
65%	6,5	31	54	1800	1798	450	120	46,25	5360	14400	100%
70%	7	32	52	1800	1798	450	120	50	5947,5	14640	100%
75%	7,5	32	50	1800	1798	450	120	53,75	6535	14880	100%
80%	8	33	48	1800	1798	450	120	57,5	7122,5	15120	100%
85%	8,5	33	46	1800	1798	450	120	61,25	7710	15360	100%
90%	9	34	44	1800	1798	450	120	65	8297,5	15600	100%
100%	10	34	42	1800	1798	450	120	68,75	8500	15840	100%

Elaborado por: Postulantes.

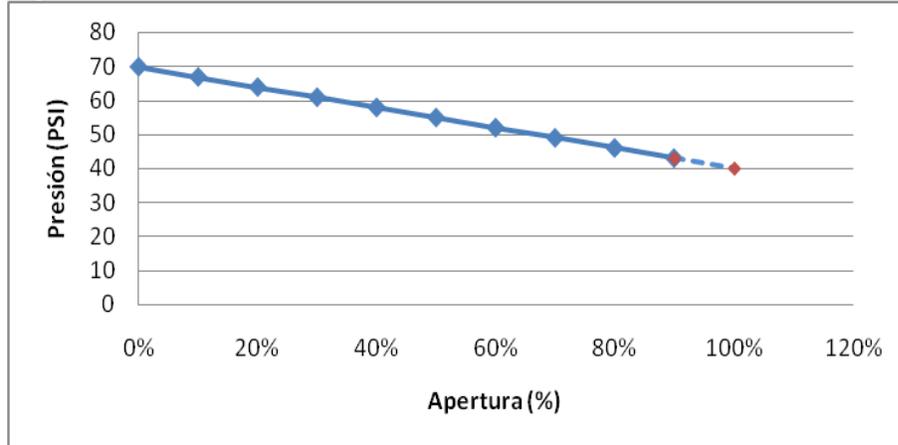
**Nota: Por limitaciones de carga no se pudo realizar la comprobación del generador al 100% de su carga, lo que si se hizo en pruebas de laboratorio.**

**Figura: 3.42 CAUDAL VSRPM TURBINA.**



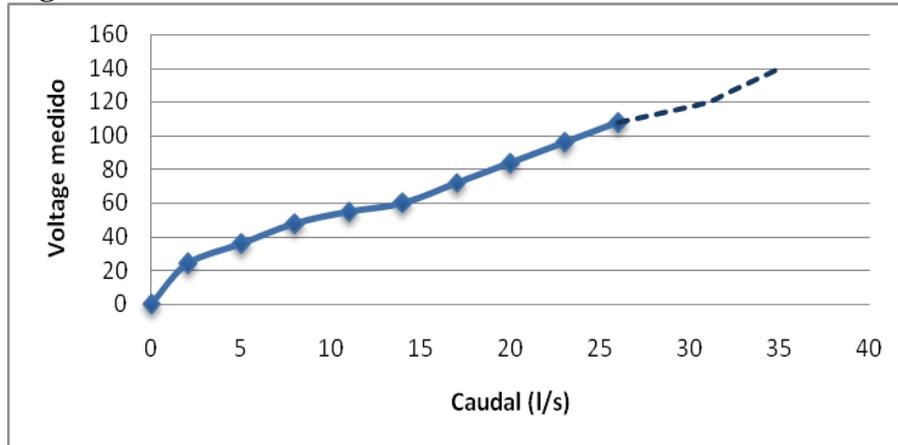
Elaborado por: Postulantes.

**Figura: 3.43 APERTURA DE VÁLVULA VS PRESIÓN DE SISTEMA.**



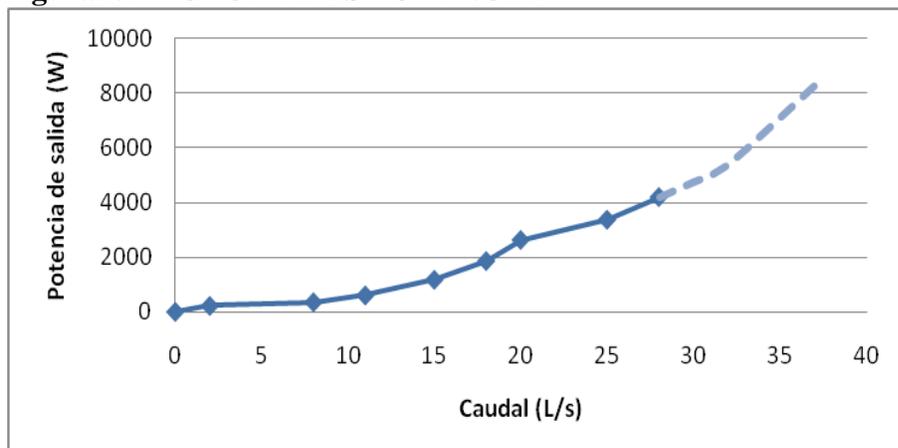
Elaborado por: Postulantes.

**Figura: 3.44 CAUDAL VS VOLTAJE MEDIDO.**



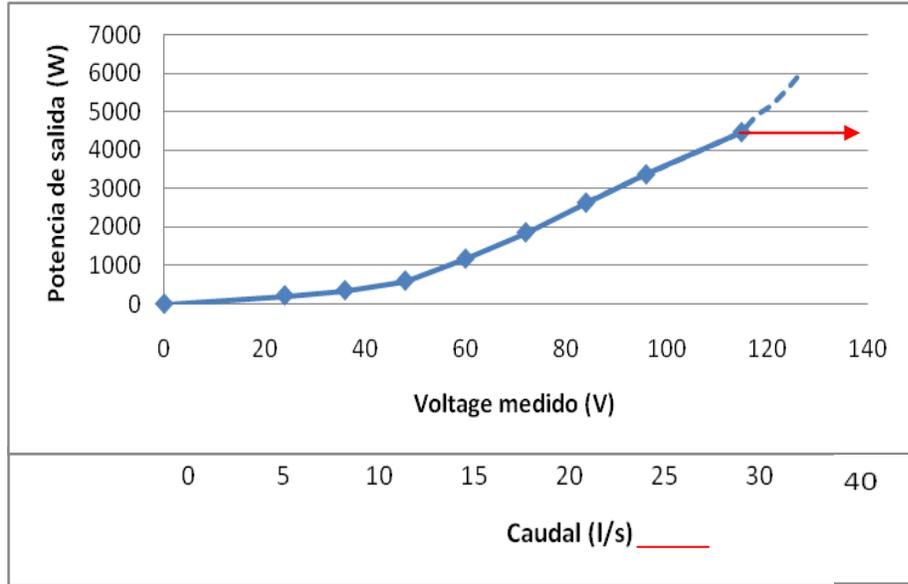
Elaborado por: Postulantes.

**Figura: 3.45 CAUDAL VS POTENCIA.**



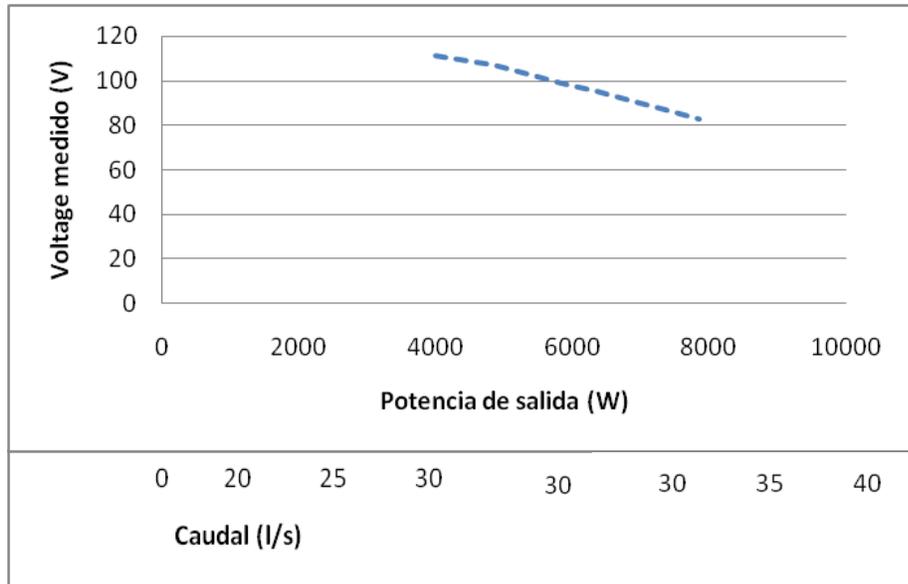
Elaborado por: Postulantes.

**Figura: 3.46 VOLTAJE MEDIDO VS POTENCIA CON CAUDAL VARIABLE.**



Elaborado por: Postulantes.

**Figura: 3.47 POTENCIA CON CAUDAL FIJO VS VOLTAJE MEDIDO.**



Elaborado por: Postulantes.

### 3.25. Análisis de resultados

Como se puede apreciar en cada una de las curvas las cuales fueron de carácter experimental reflejan el comportamiento de la turbina Pelton conforme el caudal ingresa a los inyectores.

En figura 3.42 se observa el porcentaje de caudal en los inyectores vs. rpm. de la turbina, obteniendo las revoluciones necesarias para la generación de voltaje, se aprecia que al inyectar los 30 l/s, la turbina alcanza 480 rpm. Sin someter carga, en cambio al someter carga del generador la turbina giró a 455 rpm. Lo que da a conocer que el torque generado por la turbina es lo suficiente para mover el generador.

La apertura de las válvulas controla la presión de la tubería y del sistema como se aprecia en la figura 3,43 al encontrarse todo el sistema a 67 PSI (presión manométrica) se procede a la enviar caudal por los inyectores hasta el que el caudal haga girar la turbina a las rpm. necesarias con la que se observó que todo el sistema trabaja con 50 PSI, observando en el tablero de control los 120 voltios sin incrementar el caudal.

Nuestro caudal de diseño es de 30 l/s totales, es decir que por inyector esta ingresa 15 l/s, por esta razón se observa en la curva de la figura 3,44 y se constató en el tablero de control que cuando en los inyectores está 20 l/s se genera un voltaje de 90 voltios iluminando ya la casa de máquinas y existiendo un consumo de la carga secundaria.

La apertura de las válvulas regula el caudal que ingresa por los inyectores, como se puede apreciar en la figura 3,45 caudal vs. potencia; el caudal al encontrarse en los 28 l/s, se apreció en el tablero de control los 120 voltios únicamente con la carga secundaria, mientras que al conectar la carga principal (iluminación de la Hacienda) el voltaje cayó a los 117 voltios (voltaje de trabajo para iluminación). Conforme se incrementa la carga de consumo, el voltaje tiende a disminuir lo que exige la apertura de la válvula en movimientos cortos. (Girar gradualmente) alcanzando el voltaje de trabajo conforme la carga de consumo.

Mientras la carga de consumo se incrementa el generador exige un mínimo de caudal para estabilizar el voltaje de salida (120 V), es así que se proyecta el incremento de la carga al generador hasta alcanzar los 7,25 Kw, capacidad de generación de la PCH. Como se aprecia en la figura 3,46 voltaje vs. Potencia con caudal variable dando como resultado el incremento de (33 a 35) l/s teóricamente debido a que no se pudo realizar pruebas a la falta de carga primaria.

Se proyecta además trabajar con 25 l/s y un voltaje de 115 voltios, a los que se ingresa carga primaria instalada hasta alcanzar los 7,25 Kw. Como observamos en la figura 3,47 voltaje vs. Potencia con caudal fijo el voltaje tiende a disminuir lo que exige que se inyecte más caudal a la entrada de los inyectores.

**Nota: La apertura gradual de los inyectores hace que la turbina alcance las rpm. necesaria para el generador, es decir con un mínimo de caudal la turbina recupera un 5% de su velocidad nominal.**

Llegando a la conclusión, conforme el caudal se incrementa a la entrada de los inyectores las rpm en la turbina se elevan constantemente transmitiendo los 1800 rpm. que el generador necesita para un voltaje en las bornes de 120 voltios a una dando una frecuencia de 60 Hz. Que se tiene como relación entre el generador y la turbina.

### **3.26. JUSTIFICACIÓN DE LA INVERSIÓN.**

Para justificar la inversión del proyecto aplicamos un análisis técnico económico del mismo “**Pico central Hidroeléctrico para la Hacienda Ecológica Baños**”; el cual explicará la inversión y la toma de decisiones en torno a la petición de ejecutado o no el proyecto; puesto que la generación de energía eléctrica es muy importante para el desarrollo y elevación de nivel de vida de los propietarios de la Hacienda. Para la

misma cuantificamos todos los componentes y analizamos en conjunto todo el sistema de generación para realizar el comparativo puesto que existen empresas constructoras que expresan el costo de la pico central en conjunto.

**Tabla Nº 3.11 COSTO DE CONSTRUCCIÓN DE LA PICO CENTRAL.**

<b>OPERACIÓN</b>	<b>Costo Total (usd.)</b>
Molde de cucharines.	\$ 20,00
Fundición de turbina	\$ 600,00
Balanceo de turbina	\$ 80,00
Estructura	\$ 350,00
Inyectores	\$ 200,00
Generador	\$ 450,00
Componentes de tablero de control	\$ 100,00
Sistema de transmisión	\$ 140,00
Ejes y chavetas	\$ 60,00
Tubería de presión y accesorios	\$ 300,00
Ingeniería	\$ 150,00
<b>OBRAS CIVILES</b>	
Topografía	\$ 100,00
Tanque de presión y desarenador	\$ 1200,00
Casa de maquinas	\$ 100,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 3.850,00</b>

Elaborado por: Postulantes.

El costo total del equipo pico central durante su vida útil la determinamos con la ecuación 3.63. Donde la vida útil para los sistemas pico centrales de los equipos electromecánicos se considera de 15 años, y para la obras civiles de 20 años, en relación a las micro centrales que tienen su vida útil mucho mayor.

### Ecuación 3.63

**Costo total = Costo del sistema de generación + costo de mantenimiento (14 años)**

$$\text{Costo total} = \$ 3850 + \$ 1400$$

$$\text{Costo total} = \$ 5250.$$

### 3.26.1. Estudio técnico de factibilidad.

La demanda del consumo diario de energía para un sector rural de acuerdo a la información del CENACE se dice que es de 3,2 Kw-hora, adicionalmente se determinó la demanda energética en la Hacienda Baños en 4,45 Kw. de su capacidad total 7,25 Kw. ante la misma el consumo anual estará por:

#### Ecuación 3.64

**Consumo mensual = (consumo diario en la Hacienda \* 30) \* 12**

Generación mensual	=	(4,45 * 6 horas/día* 30días) Kw-H
Consumo mensual	=	801 Kw – H
Consumo anual	=	9745,5 Kw - H
Consumo en 14 años	=	136437 Kw – H

Según la EMPRESA ELECTRICA DE COTOPAXI SA. (ELEPCO SA.)El costo del Kw – H es de \$0.081 el cual están captando las empresas eléctricas del Ecuador.

Seguidamente detallamos el costo que tendría el consumo mensual si se comprara energía eléctrica a una de las empresas eléctricas.

Costo mensual = 801Kw – H \* \$ 0,081

Costo mensual = \$ 64,88 + VALORES A TERCEROS

Valores a terceros durante el año 2011 según valor promedio de planillas.

**Tabla 3.12 VALORES PROMEDIO FACTURADOS PARA Terceros 2011.**

Valores de terceros 2011		
Tasa de alumbrado público promedio	Contribución bomberos	Tasa recolección basura promedio
<b>1,2</b>	<b>1,3</b>	<b>0,25</b>

Fuente: ELEPCO SA.

El valor facturable por mes será de:

$64,88+1,2+1,3+0,25 = \$ 67,63$

Si determinamos el costo real del Kw – H es de:

**Ecuación 3.65**

$$\text{Costo Kw} - H = \frac{\text{Costo total}}{\text{Kw-H consumidos vida de proyecto}}$$

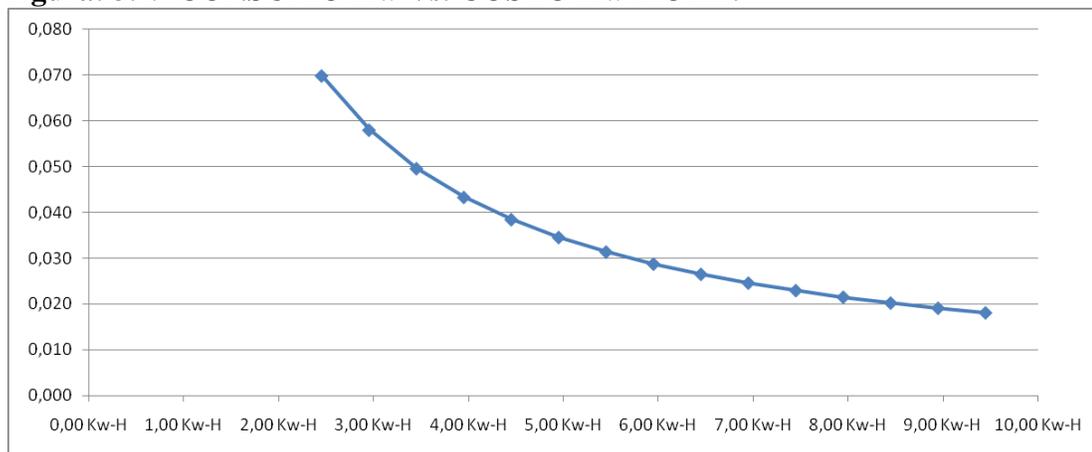
$$\text{Costo Kw} - H = \frac{\$ 5250,00}{136437 \text{ Kw-H}}$$

$$\text{Costo Kw} - H = \$ 0,038$$

El costo del Kw-hora es de 0,038Ctvs. de dólar, que al compararlo con el costo real del kilovatio-hora de la empresa eléctrica Cotopaxi representa un ahorro viable. Sin considerar que la Empresa Eléctrica para entregar energía en el sector tendría que realizar una inversión considerable en las líneas de transmisión.

El proyecto está diseñado para generar 8,45 Kw para lo cual se determina el costo del Kw-h en el caso de consumir toda la potencia generada. En la figura 3,49 se visualiza el costo del Kw-hora en donde conforme se incrementa el consumo de energía se reduce el costo de generación.

**Figura: 3.49 CONSUMO Kw Vs. COSTO Kw-HORA.**



**Elaborado por:** Postulantes.

En caso de consumir toda la energía potenciada por el generador al 100% el costo del Kw-h será de: según la ecuación 3.66

$$\text{Costo Kw} - H = \frac{\$ 5250,00}{259077 \text{ Kw} - H}$$

$$\text{Costo Kw} - H = \$ 0,020$$

### 3.26.1.1. Recuperación de proyecto.

Finalmente se analiza cual será el tiempo de recuperación del proyecto aplicando la ecuación 3.67. Donde tomamos el costo de consumo de 0,037 Ctv. Kw/hora:

Consumo mensual = Consumo diario \*30

Consumo mensual = 4,45 Kw\* 6 horas/día \*30días.

Consumo mensual = 801 Kw-hora

Costo mensual = 801\* 0,038

Costo mensual = \$ 30,43

#### Ecuación 3.67

$$PV = I = A \frac{(1 - (1 + i_m)^{-n})}{i_m}$$

**Dónde:**

**Pv** = Tiempo de recuperación.

**I** = Valor de la inversión.

**A** = Valor de costo mensual del Kw – hora.

**i** = TIR = 8% anual nominal.

***i<sub>m</sub>*** = 0,67% = 0,0067

Por lo tanto se tiene:

$$\$ 5250 = \$ 30,43 \frac{(1 - (1 + 0,0067)^{-n})}{0,0067}$$

$$1,1556 = (1 - (1 + 0,0067)^{-n})$$

$$0,8114 = (1,0067)^{-n}$$

$$\ln 0,8114 = \ln 1,0067$$

$$n = \frac{\ln 0,8114}{\ln 1,0067}$$

$$n = 21,66 \text{ meses}$$

El tiempo de recuperación del proyecto será en 1,8 años lo que indica que tiene un recobro rápido, en comparación con el costo de Kw - hora suministrado por las empresas eléctricas. Y sobre todo el valor de consumo se ha determinado de carácter teórico llegando a considerarse una mayor demanda por parte de la Hacienda Baños. Hacemos mención en cuanto a la fabricación de pico centrales hidráulicas en otros países como Perú, Colombia, USA entre otros, que son más elevados en comparación con uno construido en nuestro proyecto.

Nuestro proyecto pretende generar alternativas de inicio para que con el pasar del tiempo podamos construir PICO CENTRALES hidráulicas con mejores características de funcionamiento, rendimiento y principalmente en una reducción del costo.

## CONCLUSIONES.

Las centrales hidroeléctricas juegan un importantísimo papel tanto en la garantía de suministro eléctrico como en la seguridad del sistema eléctrico para los diferentes sectores rurales en nuestra provincia. Este papel se verá reforzado en el futuro debido a su contribución positiva para la integración de las energías renovables como son la eólica y solar que tendrá una afluencia aún mayor debido a que estas son energías alternativas a favor del medio ambiente.

- ✓ El presente proyecto de tesis se logró implementar el sistema pico-central para la generación de energía eléctrica a través del movimiento del agua, en la cual se utilizó una turbina Pelton la cual fue diseñada y construida de acuerdo a los cálculos para turbinas Pelton, permitiendo dotar de energía eléctrica a la hacienda.
- ✓ La turbina Pelton fue la que se ajustó a los datos técnicos y características del lugar, la importancia de utilizar este tipo de turbina se debe a la eficiencia que la misma posee.
- ✓ Los sistemas hidroeléctricos a pequeña escala es una tecnología sencilla, por lo que no se prevén dificultades en la operación y mantenimiento del sistema pico-central en la Hacienda Ecológica Baños.
- ✓ Estos tipos de proyectos tienen una buena aceptación en las zonas rurales y especialmente en sectores alejados de la ciudad, donde es muy difícil que llegue el sistema nacional interconectado, esta tecnología es una alternativa para que habitantes de estos sectores gocen de un servicio básico, como es la energía eléctrica.
- ✓ Es de mucha importancia no cometer errores en la determinación del diámetro del chorro. Ya que la geometría de la cuchara, número de cucharas o alabes, carcasa, inyector están en función del diámetro del chorro.
  
- ✓ En las pruebas de funcionamiento en el sistema implementado, muestra valores aceptables de su capacidad de generación 7,25 Kw. para trabajar a cargas

parciales, llegando a plena carga con una validez del sistema para dotar del suministro eléctrico a la Hacienda Ecológica Baños.

✓ Nuestro proyecto ya implementado genera una capacidad de potencia de 7,25 Kw, de los cuales se utilizaran para la iluminación de los usuarios de la Hacienda, y además facilitando a los propietarios planificar proyectos turísticos para el desarrollo del sector.

### **RECOMENDACIONES.**

✓ Se utilizó el método del caudal con flotador (área y velocidad), siendo un procedimiento de una precisión buena, ya que este método es muy práctico para estos sistemas hidroeléctricos a pequeña escala es recomendable porque nos permite obtener datos con mínimo de error.

✓ Es necesario realizar una limpieza diariamente o semanal del desarenador y tanque de presión para evitar que se acumulen sedimentos que pueden dificultar el ingreso de agua hacia la turbina.

✓ Se recomienda que la regulación del caudal se realice con los inyectores, no con las válvulas instaladas en el sistema pico-central.

✓ Es importante tener cuidado en la apertura y cierre de los inyectores y de las válvulas instaladas en el sistema, debe realizarse en forma lenta para evitar el golpe de ariete.

✓ Los sistemas hidroeléctricos a pequeña escala son proyectos rentables y técnicamente factibles, ya que se posee de los recursos hídricos, garantizando su estabilidad y durabilidad, obteniendo energía eléctrica limpia.

✓ Los costos de mantenimiento son bajos por que la turbina hidráulica es una máquina segura, que puede ponerse en marcha y requiere de poca vigilancia siendo sus costes de mantenimiento, por lo general reducidos.

Es recomendable revisar el estado de la carcasa de la turbina ya que la misma va estar en contacto diario con el agua, con el propósito de prevenir que exista corrosión el material de la carcasa.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### Bibliografía citada.

1. ALCALDE S. Pablo Miguel, *Electrotecnia*. Tercera Edición. ITP Company 1997.
2. COYNE: *Electricidad Práctica y Aplicada*. sin año ni editorial. Pág. 366.
3. FRAILE MORA Jesús. *Maquinas Eléctricas*. 5ª edición. 2003. Pág.501.
4. FRANZINI Joseph B. y FINNEMORE E. John. *Mecánica de Fluidos con aplicaciones en Ingeniería*. 9ª edición. 1999. Pág. 441.
5. GOMEZ EXPOSITO, Antonio. *Análisis y Operación de sistemas de energía eléctrica*. edición. España: Mc. Graw-Hill/Interamericana, 2002.Pág.22.
6. OLADE. *Apuntes para un manual de diseño, estandarización y fabricación de equipos para pequeñas centrales hidroeléctricas. "Turbina Pelton"*. Vol. II. 1988. Pág. 15-16.
7. SANTO POTES, E. *Centrales Eléctricas*, Ed. G. GILI S.A, 1989.Pág.1.
8. VIANI, Bruno. Una investigación al trabajo de campo. En: *Micro centrales hidroeléctricas*. edición. Intermediate Technology Development Group (ITDG-Peru).1995.Pág. 1-2.
9. ZOPPETTI JUDEZ, Gaudencio. *Estudio montaje y regulación*. En: *Centrales hidroeléctricas*. edición. G. GILI S.A, 1982. Pag.1: 5. y Pag.7-9

### Bibliografía consultada.

10. ANDREW L. Simón. *Hidráulica Básica*. 1ª edición. 1983.
11. AVALLONE Eugene A. y BAUMEISTER III Theodore. *Marks Manual del Ingeniero mecánico*. 9ª edición. Mc. Graw Hill/INTERAMERICANA DE MEXICO S.A. 1995.
12. BOHMAN I. *Manual de Aceros del Colegio DON BOSCO*. Quito.
13. COZ Federico. *"Manual de Mini y Micro Centrales Hidráulicas"*, Lima ITDG. 1995.
14. *"Electricidad y Energía"*, Ediciones Nueva Lentes, Madrid. 1985.

15. FERNÁNDEZ DÍAZ, Pedro. *Mecánica de fluidos*. edición. Mc. Graw Hill, 2001.
16. FERNÁNDEZ DÍAZ, Pedro. *Turbinas Hidráulicas*. edición. Mc. Graw Hill, 2001.
17. FOX MCDONALD. *Introducción a la Mecánica de Fluidos*. Mexico.1997.
18. GERBER. *Manual de Selección de Rodamientos de la SKF, Catalogo 3200 Sp*. Impreso en Alemania.
19. GILISA, Gustavo. *Clasificación de las centrales hidroeléctricas*. En: *Centrales eléctricas*. edición. Mc. Graw Hill. 1989.
20. HAMROCK, B. *Elementos de máquinas*. México: Mc. Graw Hill, 1999.
21. HARVEY A. “*Micro Hydro Design Manual*”, Intermediate Technology Publications, 1993.
22. ITDG. *Manual de mini y micro centrales hidroeléctricas. Una guía para el desarrollo de proyectos*. Perú 1995.
23. ITDG. *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de micro centrales hidroeléctricas*. Perú. 2010
24. J. SHIGLEY. *Diseño de Ingeniería Mecánica*. Mc Gran-Hill 2ª. edición, México 1979.
25. MATAIX, C. *Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas*. edición. Castillo-España, 2002.
26. MALLITÁSIG PANCHI Oscar. *Modelación y Diseño Digital para micro-centrales de generación Hidroeléctricas*. “Tesis”. Quito. 2008.
27. MUGUERZA. *Micro Centrales Hidroeléctricas*. Apuntemch. 1988.
28. Norma de Distribución Eléctrica de la Empresa Quito. S.A. La sección A-11
29. OLADE. *Apuntes para un manual de diseño, estandarización y fabricación de equipos para pequeñas centrales hidroeléctricas*. Vol. 1. 1988.
30. OLADE. *Apuntes para un manual de diseño, estandarización y fabricación de equipos para pequeñas centrales hidroeléctricas. “Turbina Pelton”*. Vol. II. 1988.
31. OLADE-BIP ECUADOR. “*Manual de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas*”, Volumen IV Equipos, Quito, 1985.
32. OLADE. *Manual de Evaluación de la demanda, recursos hídricos, Diseño e Instalación de micro centrales hidroeléctricas*. 1988.

33. ORTIZ FLORES, Ramiro. *Pequeñas centrales Hidroeléctricas*, edición. Mc. Graw Hill, 2001.
34. ORILLE L, Ángel. *Centrales Eléctricas*. UPC, 2ª. edición. 1996
35. PENCHE, Celso Manual de pequeña hidráulica “*Como llevar a buen fin un proyecto de micro central hidráulica*”. Documentos publicados DGXVII-97/010.
36. PHILLIP Maher and NIGEL Smith, ITDG, *Manual PICO HYDRO FOR POWER*, 2ª. edición 2001.
37. SISA AMAGUAYA Edison y VILLAROEL HERRERA Wilmer. “*Diseño e Instalación de una Pico Central Hidroeléctrica en la Hacienda ISABELA*”. [Tesis]. 2009. Riobamba.
38. “*Turbinas Hidráulicas*”, Editorial Limusa S.P. México. 1983.
39. THALER George J y WILCOX Milton L. *Máquinas eléctricas*, 1ª edición 1996, editorial Limusa-Wiley, S.A.
40. VILLAGRAN Juan Carlos. *Metodología para la rehabilitación y repotenciación de pequeñas centrales hidroeléctricas*. [Tesis].2007. Quito.
41. ZUBICARAY-ALONSO. *Turbinas y Plantas Generadoras*. Editorial LIMUSA, 1ª edición. México 1977.
42. ZURITA TENORIO Néstor Germán. “*Diseño e Implementación de un prototipo de una Pico Central para uso Rural*”. [Tesis]. 2005. Latacunga.

### **Páginas electrónicas.**

1. Catalogo SKF. Catalogo interactivo de ingeniería, *Manual de Selección de Rodamientos de la SKF, Catalogo 3200 Sp*. [en línea] 2010. Disponible en <<http://www.skf.com/portal/skf/home/products?lang=es>>.
2. DIPAC, MANTA. Productos de acero, *Ejes en acero inoxidable, especificaciones generales*. [en línea]. 2011. Disponible en <[www.dipacmanta.com/alineas.php?ca\\_codigo=3698](http://www.dipacmanta.com/alineas.php?ca_codigo=3698)>.

3. ELECTROCABLES. Franquicia DISENSA, *Catalogo de cables eléctricos*. [en línea]. 2011, Disponible en <[http://disensa.com/main/images/pdf/electro\\_cables.pdf](http://disensa.com/main/images/pdf/electro_cables.pdf)>
4. Página Electrónica Biblioteca ATRIUM DE LA MADERA TOMO I.
5. PLASTIGAMA DE AMANCO. Tubería y accesorios de PVC y PE BD, Uso agrícola, *Catalogo de soluciones en tubería y accesorios en PVC*. [en línea]. 2011. Disponible en <[www.plastigama.com.ec/site/attachments/055\\_tuby\\_acc%20pvc\\_pe\\_bd.pdf](http://www.plastigama.com.ec/site/attachments/055_tuby_acc%20pvc_pe_bd.pdf)>.
6. GONZALEZ VIÑAS, José Luis; *Mecanismos de transmisión de movimiento, Sistemas de poleas y correas*. [en línea]. S/A. Disponible en <[www.almez.pritc.mec.es](http://www.almez.pritc.mec.es)>
7. MAHER, Phillip – SMITH, Nigel. PICO HIDRO Potencia para aldeas. *Un Manual Práctico para Instalaciones de hasta 5 Kw en Terrenos de Pendientes Fuertes*. [en línea]. 2001, Vol. 2. Disponible en <<http://www.eee.nottingham.ac.uk/picohydro/docs/ImpspanCh1-6.pdf>>
8. SANCHEZ – CAMPOS, T., RAMIREZ - GASTON, J. Manual de mini y micro centrales hidráulicas. ITDG – Perú. [en línea]. 1995, disponible en <[www.manualdeminiymicrocentraleshidraulicas.pdf](http://www.manualdeminiymicrocentraleshidraulicas.pdf)>.
9. TANGIENT LLC; *Hydro Power* [en línea]. 2011, Disponible en <[quimica-ie-2011.wikispaces.com/Hidro-Power](http://quimica-ie-2011.wikispaces.com/Hidro-Power)>.
10. VILANOVA, Alejandro; Descubriendo alternativas sustentables. *Energía hidráulica* [en línea]. 2004, Disponible en <[www.oni.escuelas.edu.ar/2004/san\\_juan/712/energia\\_hidraulica.htm](http://www.oni.escuelas.edu.ar/2004/san_juan/712/energia_hidraulica.htm)>.

**ANEXOS:**

**A-I:** Entrevista dirigida al propietario de la Hacienda Baños.

**A-II:** Encuesta dirigida a profesionales relacionados con la electricidad y generacion de energia electrica.

**A-III:** Hoja de cálculo rapido en base de datos excel.

**A-IV:** Planos mecánicos y electricos.

**A-V:** Accesorios mecánicos y electricos.

1. Válvula mariposa ó de compuerta 6"
2. Válvula de compuerta 2 1/2"
3. Válvula Check tipo Y 2 1/2"
4. Manómetro PFQ 803R1R11
5. Tubería PVC 6", 4" y 2 1/2"
6. Eje de acero 304 x 5/8 x 160 mm.
7. Eje de acero 304 x 5/8 x 160 mm.
8. Plancha acero al carbono (laminada al caliente)
9. Ángulo de 2" x 1/4" (6 mm)
10. Ángulo de 1" x 1/8" (3 mm)
11. Plancha de acero al carbono 160mm x 150mm x 1/2"
12. UPN 125 mm x 50 mm x 6 mm
13. Ejes de acero 705 inoxidable 42 mm x 600 mm
14. Chumaceras "SY 1.11/16 RM"
15. Conductor dúplex.

**AVI:** Tablas y gráficos varios.

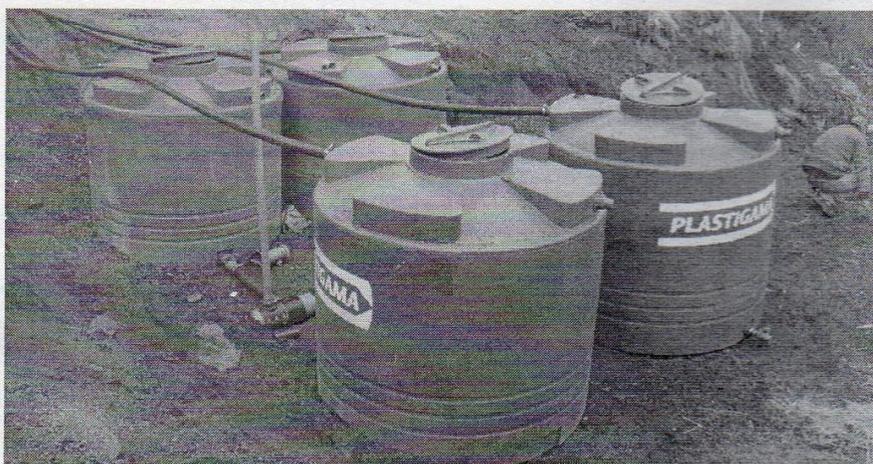
**AVII:** Cotizaciones y costos para equipo electromecanico.

AMENOS

Latacunga, domingo 1 de julio del 2012

www.lc

## Empezó a funcionar planta hidroeléctrica entregada por la UTC



**Los habitantes del sector de Baños en los páramos de El Cotopaxi, pueden ahora disfrutar de la modernidad con la luz eléctrica.**

**Hernán Yáñez Ávila**, rector de la UTC, el pasado fin de semana inauguró el proyecto de investigación de la planta hidroeléctrica y energética en el sector de "Baños" en los páramos de El Cotopaxi.

William Llango (estudiante), explicó sobre el proceso e implementación de esta planta, así como del costo beneficio que genera la planta hidroeléctrica, proyecto que beneficia directamente a un gran sector que hasta el momento no tenían luz eléctrica, lo que es un gran apoyo para las actividades y el hábitat en el sector.

Los moradores y beneficiarios de este proyecto, resaltaron la ayuda y el valor que la planta de generación hidroeléctrica aporta a la comunidad, puesto que en 30 años es la primera ocasión que se abastece de energía eléctrica al lugar, sin contaminación y bajo el concepto de energía limpia.

Por su parte el rector de la UTC Hernán Yáñez, indicó que la visión institucional de la UTC se aplica de forma tangible en este proyecto, a la vez que resaltó la ayuda a sectores alejados como comunidades organizadas, quienes requieren de la aplicación y factibilidad de proyectos de desarrollo y vinculación con la sociedad, quienes previa solicitud, pueden emprender en un trabajo conjunto de investigación y solución de problemas.

Este es un proyecto ejecutado por un grupo de estudiantes que ejecutan el programa de vinculación universitaria, bajo la dirección y coordinación del Ing. Efrén Barbosa, quien se ha preocupado en que los habitantes de este sector puedan disfrutar de las comodidades de la modernidad, situación que antes no podían por la falta de luz eléctrica.

Fuente: La Gaceta - Latacunga

**ANEXO N° I**  
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE INGENIERIA Y APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTROMECHANICA**

***ENTREVISTA DIRIGIDA AL PROPIETARIO DE LA HACIENDA BAÑOS***

**OBJETIVO:** Recopilar información necesaria para desarrollar la investigación: “Diseño y construcción de una pico-central hidroeléctrica aprovechando el movimiento del agua para la generación de energía eléctrica en la Hacienda Ecológica Baños de la parroquia Aláquez”.

**INSTRUCCIONES:** Favor sírvase responder apegado a la verdad las preguntas que a continuación se detallan.

1.- Qué opinión tiene Ud. Acerca de la implementación de un sistema Pico central hidroeléctrico.

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

2.- Cuales han sido las falencias en la Hacienda Baños al no tener el suministro de energía eléctrica.

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

3.- Piensa Ud. Que los sistemas de generación a pequeña escala contribuyen el desarrollo de las zonas urbano-rural.

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

4.- Con la implementación del sistema Pico en la Hacienda Baños cuáles serán los objetivos a futuro.

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

***GRACIAS POR SU COLABORACIÓN***

**ANEXO N° II**  
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE INGENIERIA Y APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTROMECHANICA**

***ENCUESTA DIRIGIDA A PROFESIONALES RELACIONADOS CON LA ELECTRICIDAD Y  
GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA***

**DATOS INFORMATIVOS:**

**Lugar de trabajo:**.....

**Función:** .....

**Título profesional:**.....

**OBJETIVO:** Recopilar información necesaria para desarrollar la investigación: “Diseño y construcción de una pico-central hidroeléctrica aprovechando el movimiento del agua para la generación de energía eléctrica en la hacienda ecológica baños de la parroquia Aláquez”.

**INSTRUCCIONES:** Favor sírvase responder apegado a la verdad las preguntas que a continuación se detallan.

1.- Conoce Ud. cuál de las siguientes fuentes de energía provee electricidad a un costo considerablemente bajo.

- QUEMA DE PETROLEO
- FUSION NUCLEAR
- MOVIMIENTO DEL AGUA

2.- De las siguientes fuentes que se utilizan en el proceso de generación de electricidad; cual piensa Ud. Que es la más ecológica.

- COMBUSTIBLE
- AGUA
- OTROS

Favor especifique por que el de su elección.

---

3.- Conoce ó sabe que es un sistema Pico Central Hidroeléctrico.

- SI
- NO
- DESCONOCE

4.- Según su criterio piensa que existen sectores que no estén provistos de energía eléctrica

- SI
- NO

Determine en el cuadro cual sería el más vulnerable.

URBANO           RURAL           OTROS

5.- Actualmente piensa Ud. Que las empresas eléctricas satisfacen con su servicio a los sectores rurales.

- SI
- NO

6.- La implementación de PCH en zonas rurales permitirá solucionar problemas de déficit de energía eléctrica.

- SI
- NO
- DESCONOCE

7.- En que otro beneficio cree Ud. que podemos reutilizar el agua utilizada en proyectos de generación hidroeléctrica.

- Abastecimiento a otro sistema de generación.
- Procesos industriales.
- Sector agrícola.

***GRACIAS POR SU COLABORACIÓN***

### Determinacion de caudal existente para PCH.

INGRESO DE DATOS PARA CAUDAL	
Longitud de medida de canal	1,0 m
Ancho de canal	0,6 m
Profundidad promedio de canal	0,22 m
Factor de correccion para canal de agua	0,5
Area que utiliza el agua en el canal	0,132 m <sup>2</sup>
$A = b * h$	
TIEMPOS QUE TARDA EL FLOTADOR EN RECORRER	
# de medicion	tiempos (seg.)
T1	1,31
T2	1,43
T3	1,37
T4	1,56
T5	1,51
T promedio	1,44
$V = \frac{L}{t}$	
Velocidad superficial del agua 0,70 m/s	
Ecuacion de continuidad para determinar caudal en el canal	
$Q = C * V * A$ (m <sup>3</sup> /s)	Caudal de agua 0,04596 m <sup>3</sup>
	45,96 l/s

factor de correccion > 15 cm de altura	0,8
canal de concreto	0,7
canal de tierra	0,5
riachuelo	0,5-0,25
canal de tierra < 15 cm.	0,5-0,25

Ingresar factor de correccion de acuerdo tipo de canal

### Determinacion de perdidas en tuberia (primarias), y en accesorios (secundarias) para proyecto Pico- central

CALCULOS PARA PERDIDAS PRIMARIAS	
Diametro interior de la tuberia	0,10497 m
	104,97 mm
	4,13 IN
TUBERIA PVC DE	5,0 IN
	129,5
	0,1295 m
Velocidad de circulacion del caudal en la tuberia	
Ecuacion de continuidad	
$Q = V * A$	$V = \frac{4Q}{\pi D^2}$
	2,278 m/s
Factor de friccion producido en las paredes internas de la tuberia	
PVC	0,003 mm
Rugosidad	
Relativa	2,3166E-05
Numero de REYNOLDS	
$Re = \frac{V * D}{\nu}$	1,308E-6
# de REYNOLDS	225503,8
Factor de friccion segun diagrama de moody	
	0,0158

Caudal de diseño 0,030 m<sup>3</sup>

El caudal circula en la tuberia con este diametro interno.

PERDIDAS SECUNDARIAS	
$Hrs = \frac{K * V^2}{2 * g}$	
K = Factor asociado a cada accesorio a utilizar.	
Conexion de la tuberia de presion con camara de carga K1	0,04
En valvulas K2	0,3
Acoplamientos en la tuberia de presion K3	0,04
Reduccion de tuberia K4	0,278
En la rejilla K5	1,8
Hrs1=	0,0106 m
Hrs2=	0,0264 m
Hrs3=	0,0317 m
Hrs4=	0,0727 m
Hrs5=	0,4759 m
Hrs total =	0,62 m

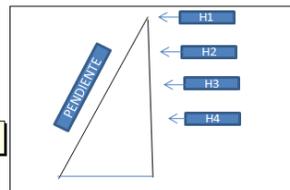
Ingresar valores para viscosidad cinematica.  
0°C  
5°C  
10°C  
15°C

### Determinación de Altura bruta y altura neta para PCH.

DETERMINACION DE ALTURA BRUTA	
VALORES DE ALTURA BRUTA	
# de medicion	Altura (m)
H1	48,54
H2	0
H3	0
H4	0
H5	0
Altura bruta=	48,5 m

Altura de linea piezometrica

Altura Bruta determinada.



DETERMINACION DE ALTURA NETA	
La altura neta es el resultado de la altura bruta menos las pérdidas primarias y secundarias	
ecuacion general de DARCY-WEISBACH.	
$Hrp = f * \frac{L * V^2}{2 * g * D}$	
Factor de friccion	0,0158
Pendiente	15,3
Velocidad del fluido en tuberia	2,28
Diametro interior	0,1295
Pérdidas Primarias	0,49 m
Pérdidas Secundarias	0,62 m
Altura Neta	47,43 m

$$Hn = Hb - Hrp - Hrs$$

Altura Neta determinada para cálculo.

### Determinación de potencia teórica a ser generada para PCH

Potencia hidraulica	
$Ph = g * Q * Hn$ (Kw)	
P. hidraulica	21,38 Kw
POTENCIA GENERADA	
$P = \eta_T * \eta_G * \eta_{tr} * Ph$ (Kw)	
Rendimiento de la turbina es	0,7
Rendimiento del generador es	0,96
Rendimiento de la transmision es	0,92
Potencia generada	13,22 Kw

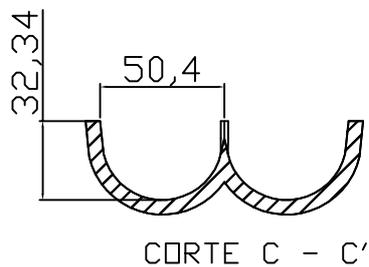
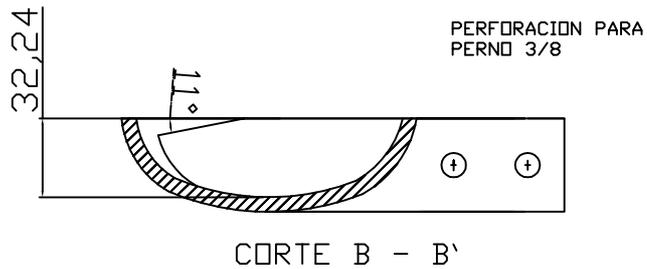
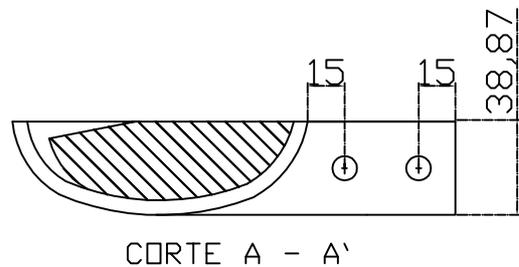
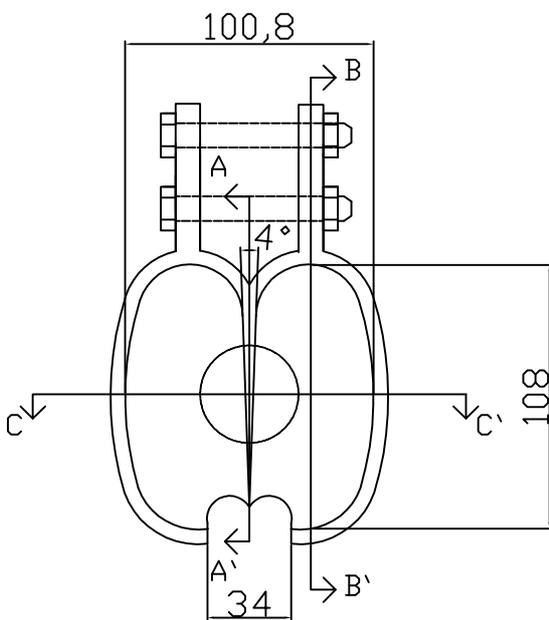
Potencia (kW) = 5 x H(m) x Q (m3/s)	
ALTURA (m)	48,54 m
CAUDAL (L/S)	46 l/s 0,046 m <sup>3</sup>
Potencia generada	11,15 Kw

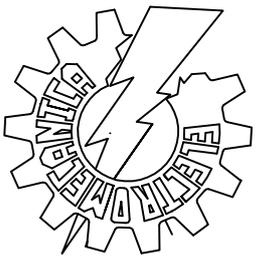
Valores sujetos a cambios

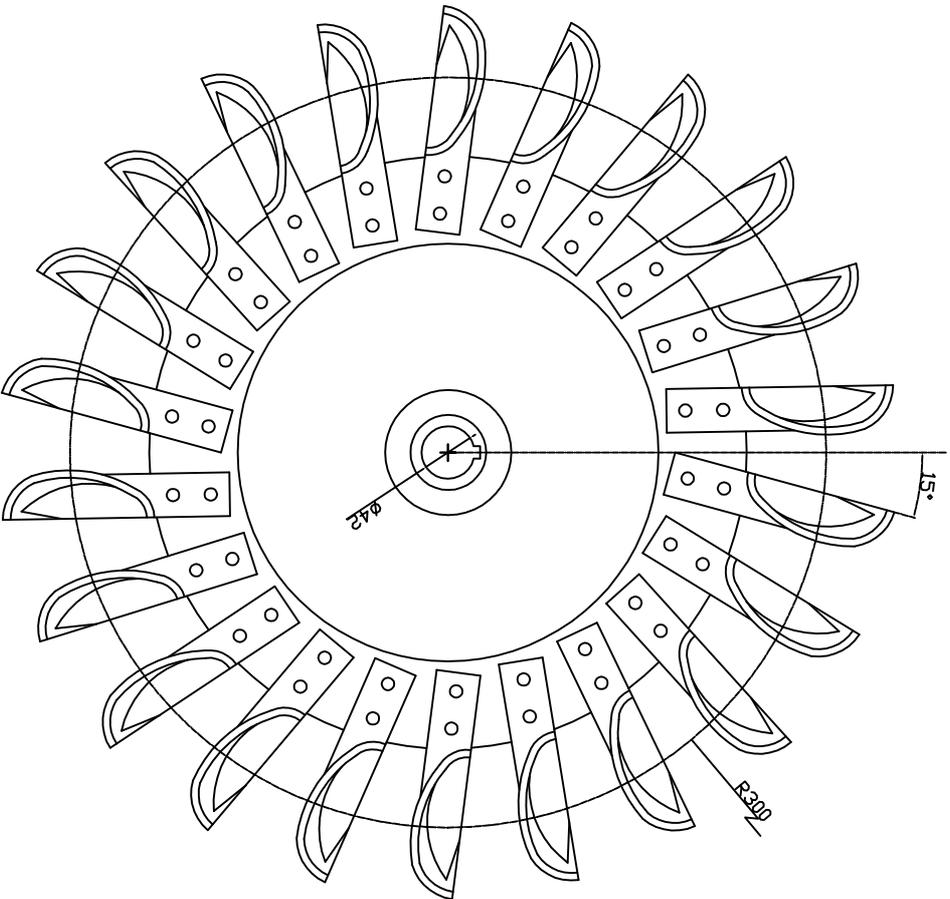
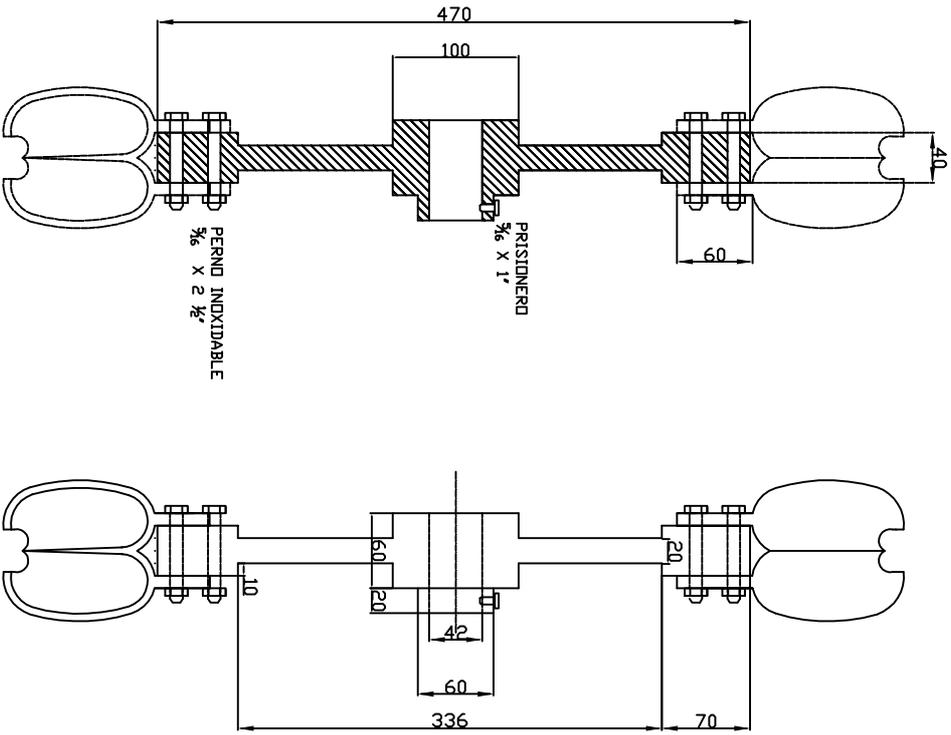
Esta es la potencia generada aplicando la fórmula rápida.

Esta es la potencia que se genera determinando las pérdidas

ANEXO IV  
PLANOS



MODIFICACIÓN		 		CUCHARIN DE TURBINA PELTON		
1		TOLERANCIA	ESCALA			
2				PESO TOTAL		KG.
3		+-0.5	1:1	TIPO DE MATERIAL		HIERRO COLADO
4		FECHA:	01-1-12	CARRERA DE ING. ELECTROMECHANICA		
5		DIB. POR:	W. LLANGO / E. GALLEGOS			
6		APRO. POR:	ING. E. BARBOSA			
7				HOJA N° 1/1		
8						



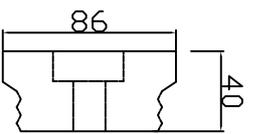
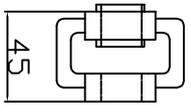
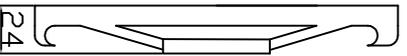
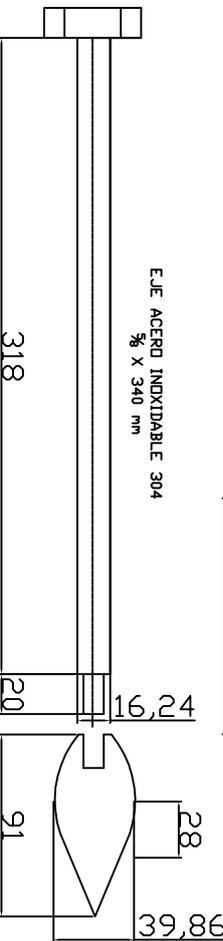
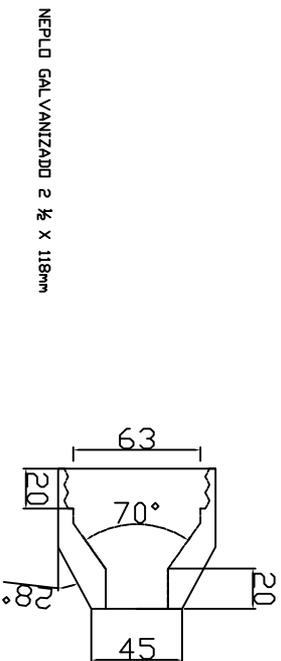
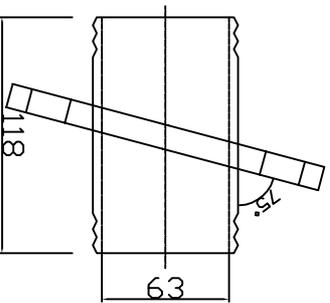
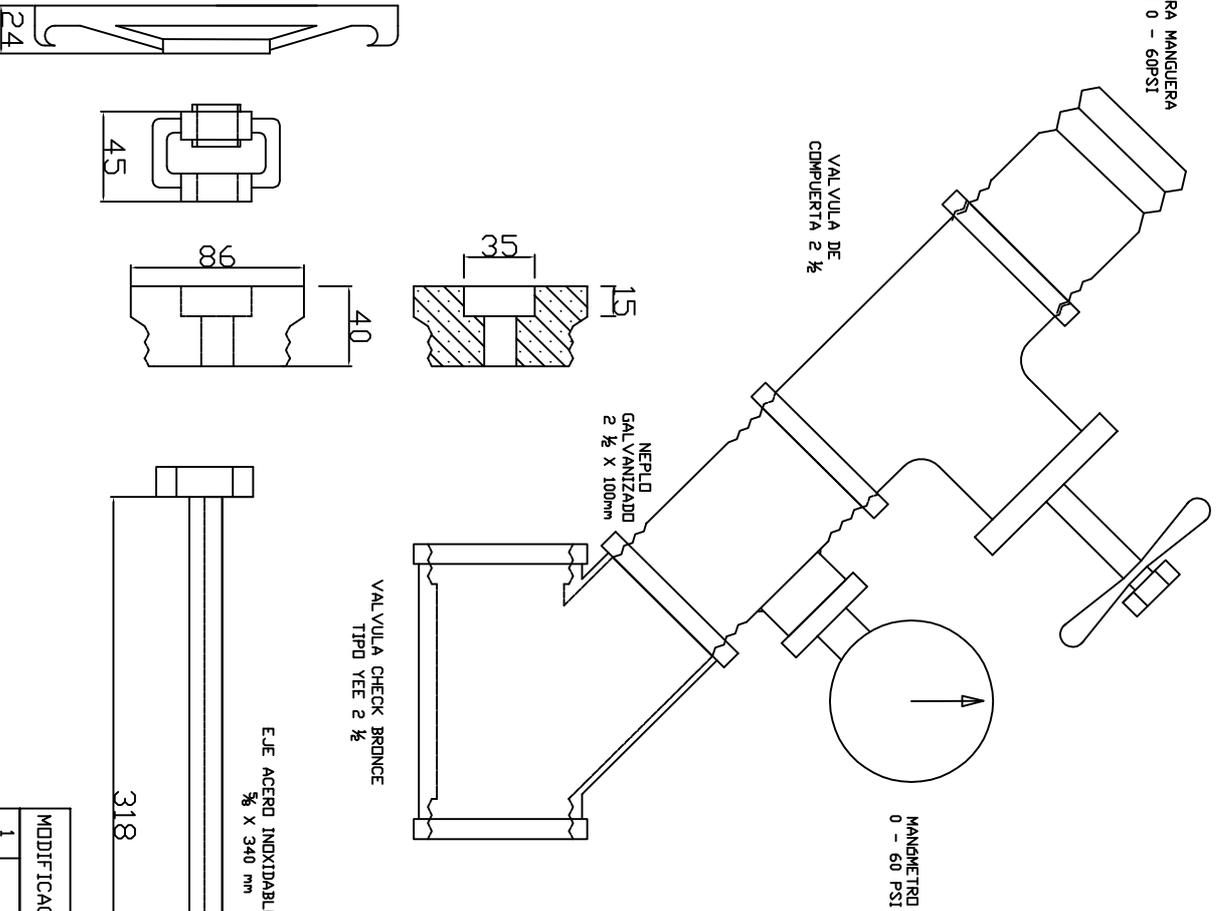
MODIFICACION		TOLERANCIA		ESCALA		TIPO DE MATERIAL		CARRERA DE ING. ELECTROMECHANICA		HOJA N° 1/2	
1											
2											
3		+0.05		1:1							
4		FECHA:		01-1-12							
5		DIB. POR:		V. LLANGÓ / E. GALLEGOS							
6		APRIL POR:		ING. E. BARROSA							
7											
8											
		PESO TOTAL		130 KG.							
		CUCCHARIN DE TURBINA PELTON									



1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

I H G F D C B A

ACOPLE ROSCABLE-PARA MANGUERA  
DE 2 1/2" MANDRIL 0 - 60PSI

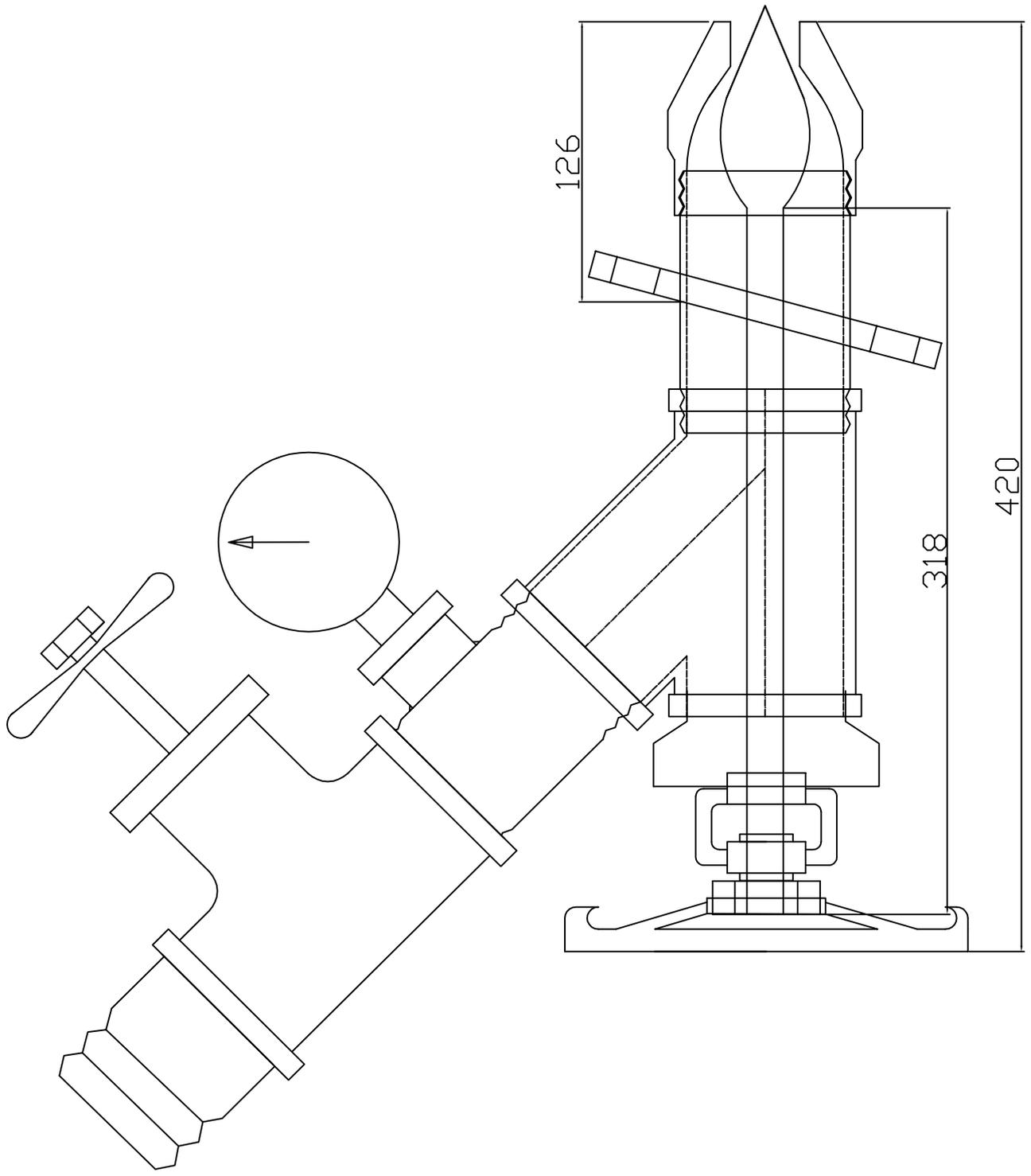


MODIFICACION		PARTES DE INYECTOR	
1	TOLERANCIA	ESCALA	PESO TOTAL
2	+/-0.5	1:1	
3	FECHA:	01-1-12	TIPO DE MATERIAL
4	DIB. POR:	V. LLANCO / E. GALLEGOS	BRONCE
5	APRO. POR:	ING. E. BARBOSA	CARRERA DE ING. ELECTROMECHANICA
6			
7			
8			

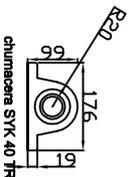
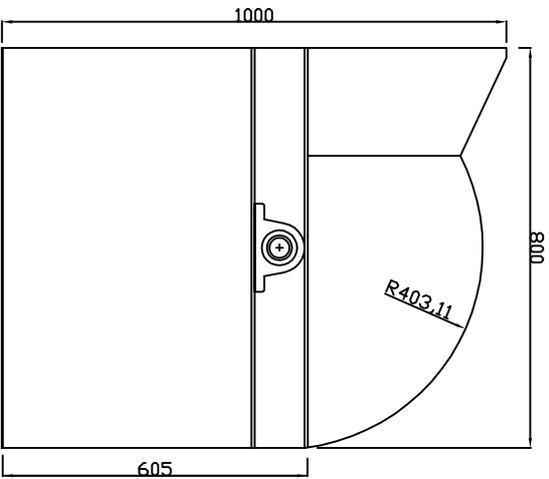
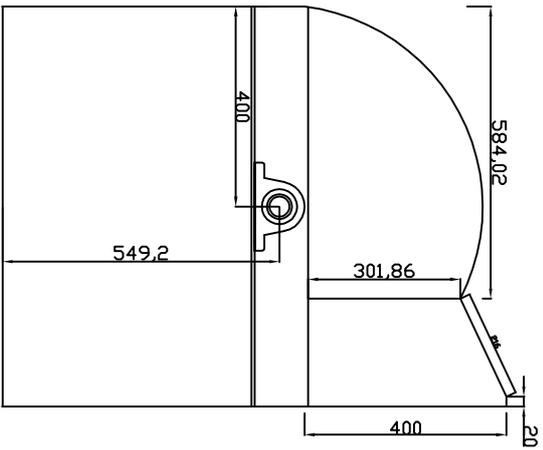
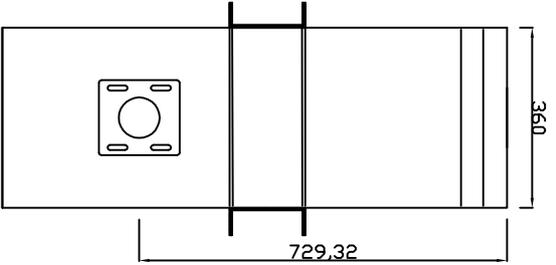
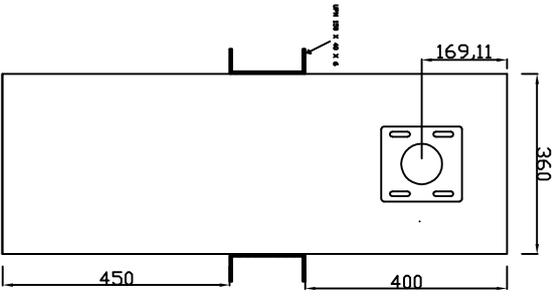
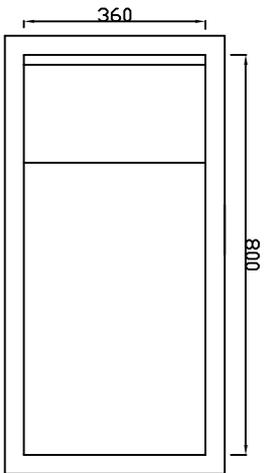
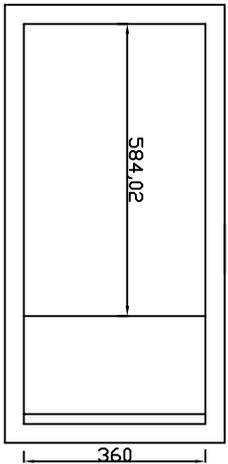


1 2 3 4 5 6

A  
B  
C  
D  
F  
G  
H  
I

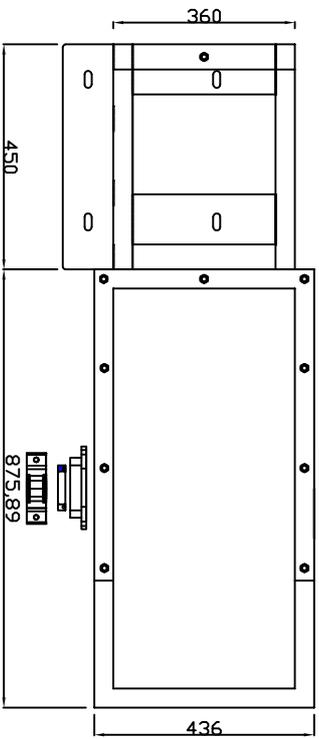
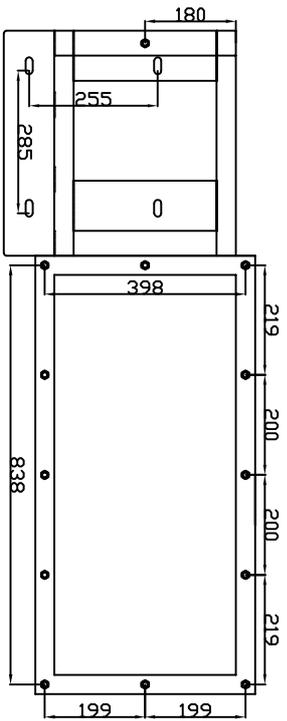


MODIFICACIÓN				INYECTOR PELTON		
1		TOLERANCIA	ESCALA			
2				PESO TOTAL	KG.	HOJA N° 1/4
3		+-0.5	1:1	TIPO DE MATERIAL	BRONCE	
4		FECHA:	01-1-12	CARRERA DE ING. ELECTROMECHANICA		
5		DIB. POR:	W. LLANGO / E. GALLEGOS			
6		APRO. POR:	ING. E. BARBOSA			
7						
8						

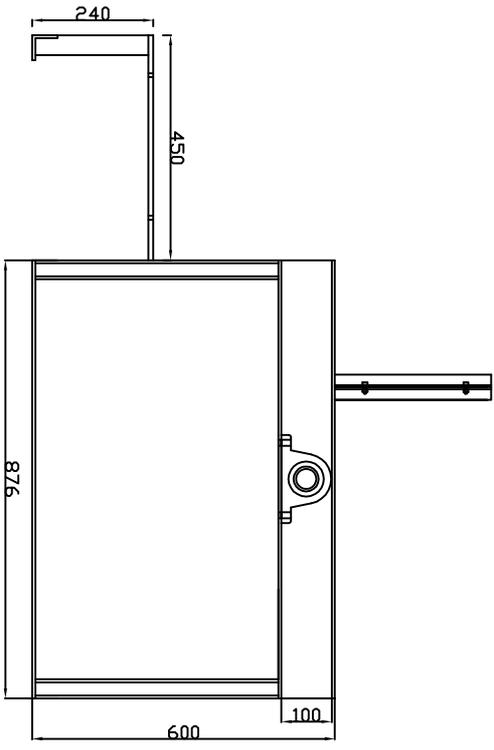
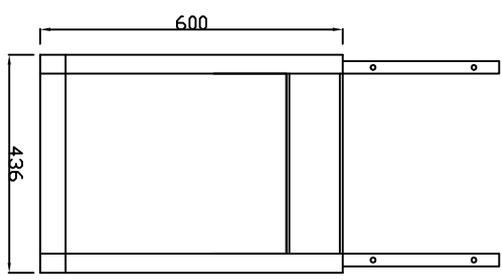
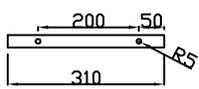
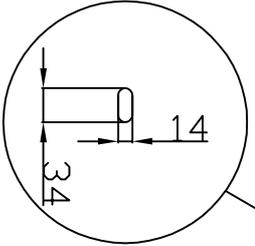


MODIFICACION		TOLERANCIA		ESCALA		TIPPO DE MATERIAL		CARRERA DE ING. ELECTROMECHANICA		HOJA N° 1/5	
1		±0.05	1:1								
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											





chumacera SYK 40 TR  
114,82



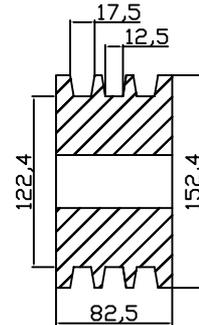
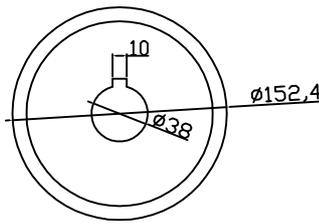
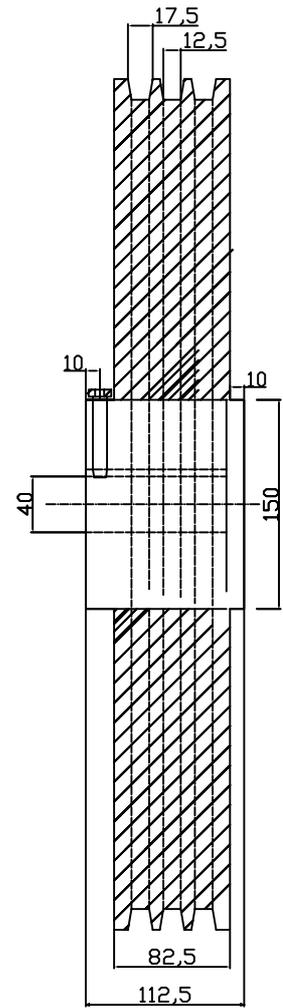
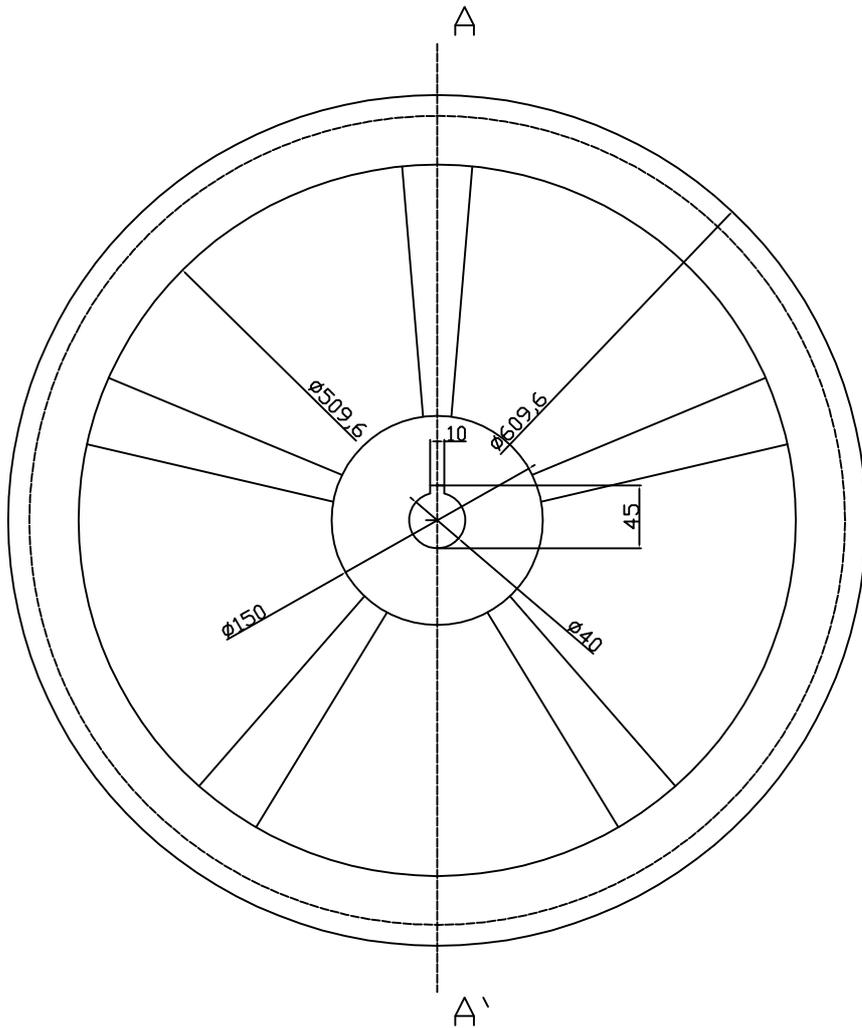
MODIFICACION		ESCALA		ESTRUCTURA DE CARCASA	
1		TOLERANCIA	1:1	PESO TOTAL	KG.
2		±0.5		TIPO DE MATERIAL	ASTM A36
3		FECHA:	01-1-12	CARRERA DE ING. ELECTROMECHANICA	
4		DIB. POR:	V. LLANGO / E. GALLEGOS		
5		APRO. POR:	ING. E. BARBOSA		
6					
7					
8				HOJA N° 1/6	

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

I H G F D C B A

1 2 3 4 5 6

A  
B  
C  
D  
F  
G  
H  
I



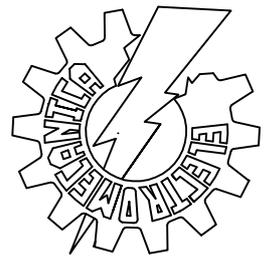
MODIFICACIÓN			
1		TOLERANCIA	ESCALA
2			
3		+/-0.5	1:1
4		FECHA:	01-1-12
5		DIB. POR:	W. LLANGO / E. GALLEGOS
6		APRO. POR:	ING. E. BARBOSA
7			
8			

POLEA CONDUCTORA  
POLEA CONDUcida

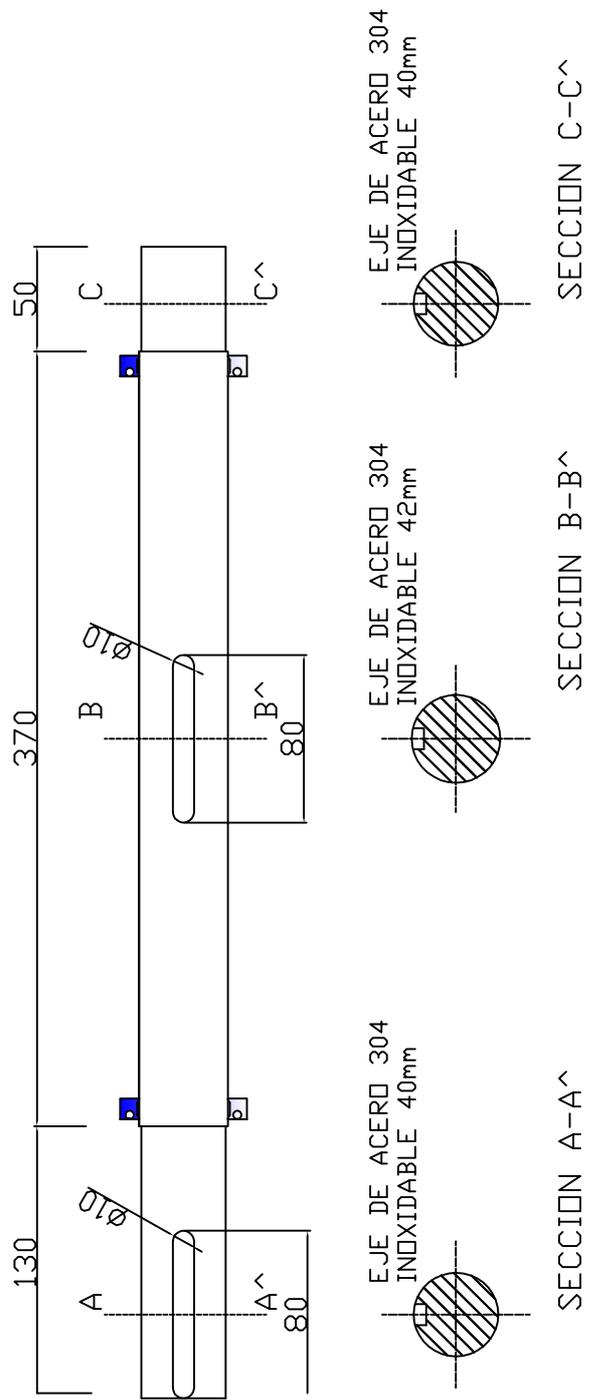
PESO TOTAL 32,72 KG.

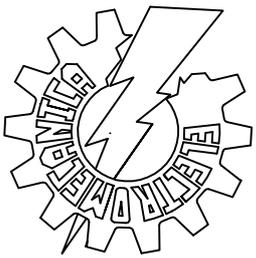
TIPO DE MATERIAL HIERRO FUNDIDO

CARRERA DE ING. ELECTROMECHANICA



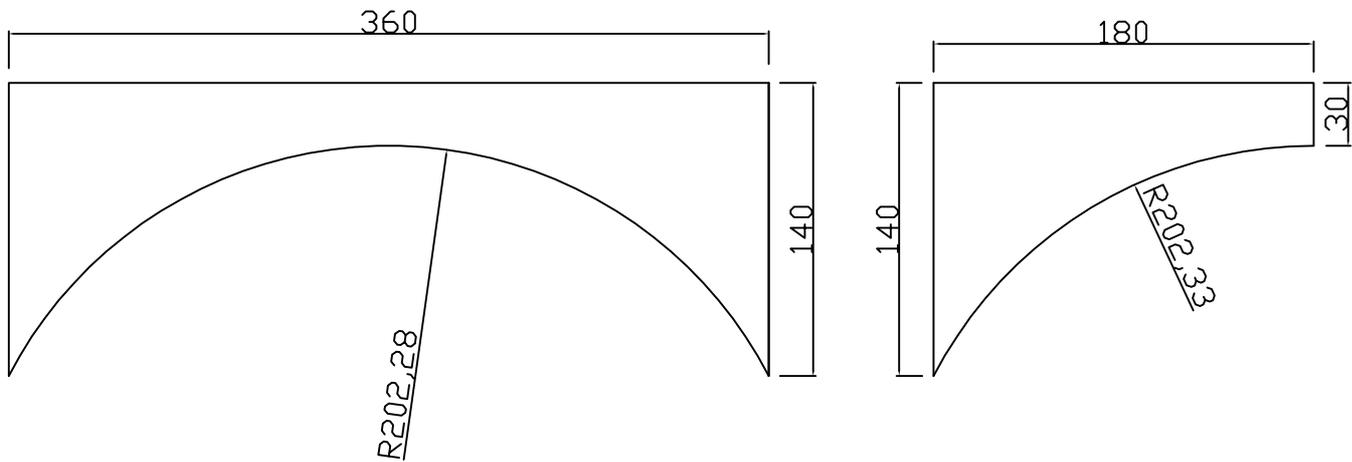
HOJA N° 1/7



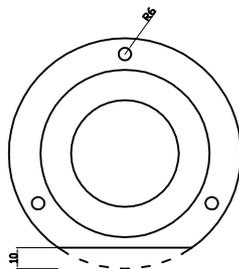
MODIFICACIÓN		 		EJE DE TRANSMISIÓN		
1		TOLERANCIA	ESCALA			
2				PESO TOTAL	7,68 KG.	
3		±0.5	1:1			
4				TIPO DE MATERIAL	AISI 304	
5		FECHA:	01-1-12			
6		DIB. POR:	W. LLANGO / E. GALLEGOS	CARRERA DE ING. ELECTROMECANICA		HOJA N° 1/8
7		APRO. POR:	ING. E. BARBOSA			
8						

1 2 3 4 5 6

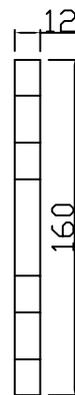
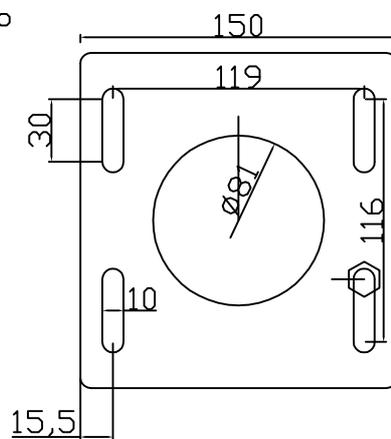
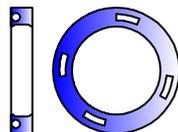
A  
B  
C  
D  
E  
F  
G  
H  
I



Porta-Reten



Reten hidráulico  
42x60x10



MODIFICACIÓN				ACCESORIOS DE SUJECCIÓN		
1		TOLERANCIA	ESCALA			
2				PESO TOTAL	4,89 KG.	
3		+-0.5	1:1	TIPO DE MATERIAL	SAE 1012	
4		FECHA:	01-1-12	CARRERA DE ING. ELECTROMECANICA		HOJA N° 1/9
5		DIB. POR:	W. LLANGO / E. GALLEGOS			
6		APRO. POR:	ING. E. BARBOSA			
7						
8						

1

2

3

4

5

6

A

B

C

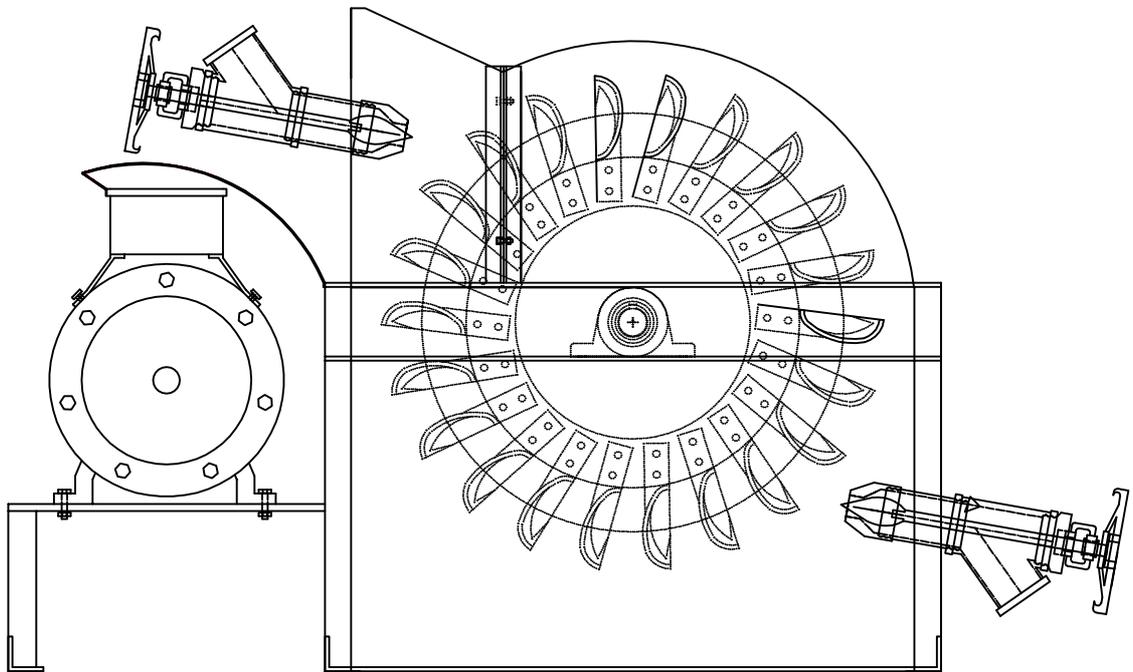
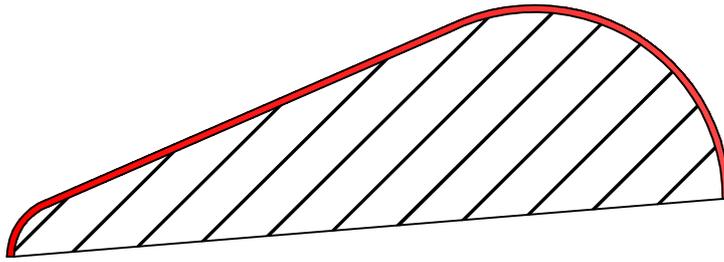
D

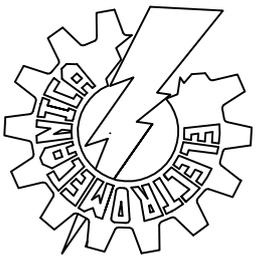
F

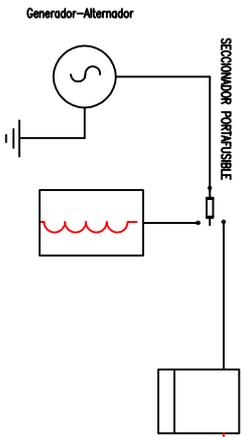
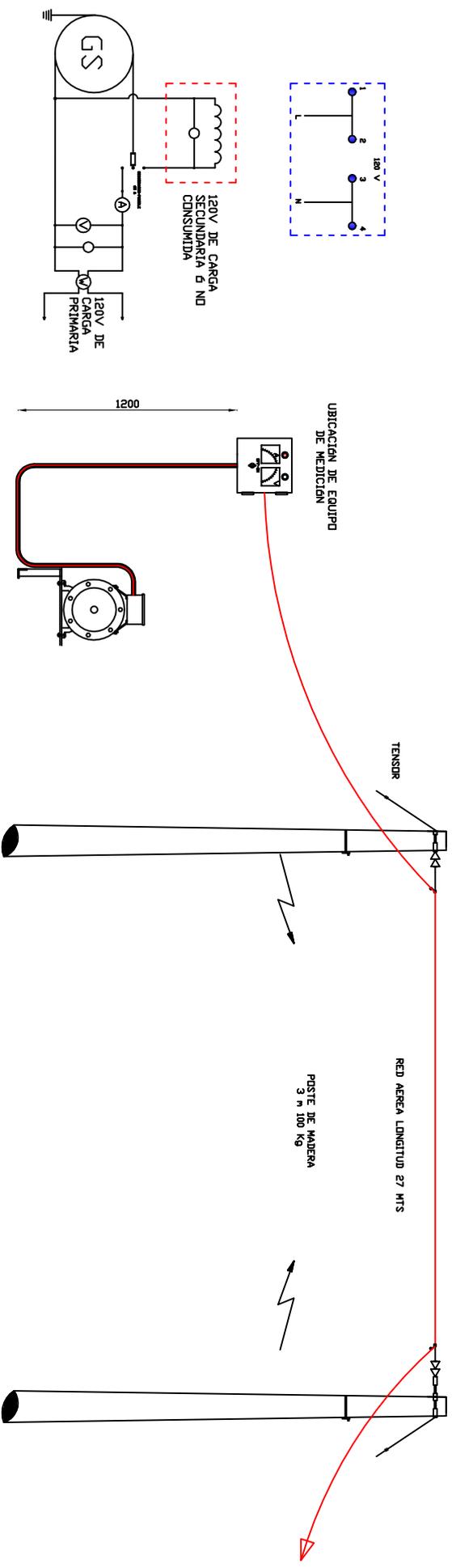
G

H

I

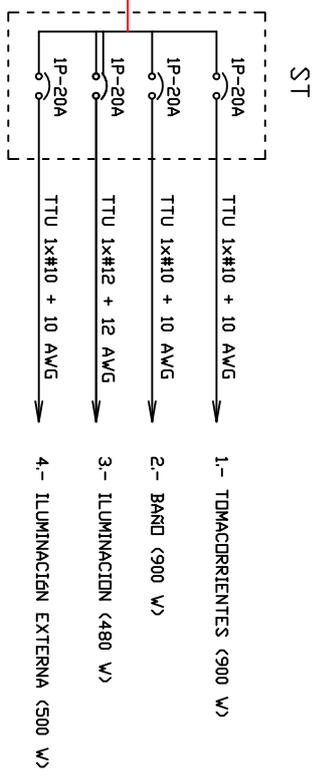


MODIFICACIÓN				EQUIPO DE GENERACION		
1		TOLERANCIA	ESCALA			
2						
3		±0.5	1:1	PESO TOTAL	KG.	
4						
5		FECHA:	01-1-12			
6		DIB. POR:	W. LLANGO / E. GALLEGOS	TIPO DE MATERIAL	ACERO/BRONCE	
7						
8		APRO. POR:	ING. E. BARBOSA	CARRERA DE ING. ELECTROMECHANICA		HOJA N° 1/10



### SIMBOLOGIA

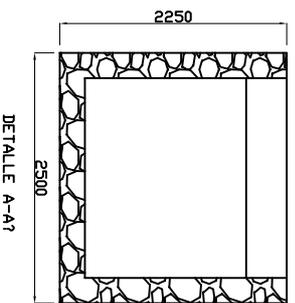
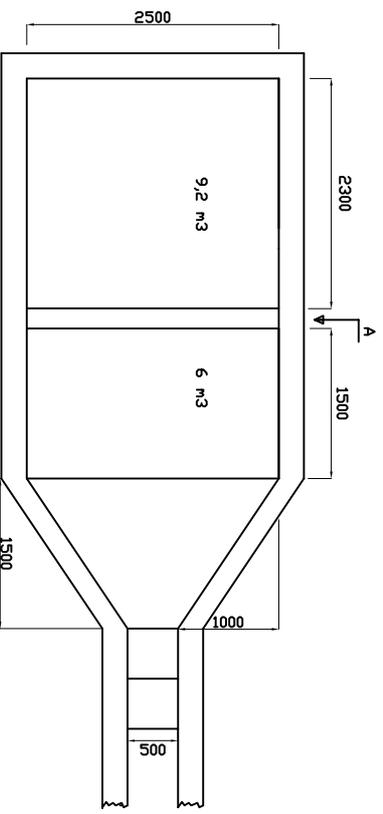
- (S) GENERADOR-ALTERNADOR
- PORTABILISBLE SECONDAOR
- PIUESTA A TIERRA
- TABLERO DE CONTROL
- TABLERO DE DISTRIBUCION
- LAMPARA 100 W
- BANCO DE RESISTENCIAS
- VOLTIMETRO 0-240V
- AMPERMETRO 0-70A
- VATIMETRO PROYECTADO
- PUNTO DE CONEXION
- LINEA DE TRANSMISION
- ST



MODIFICACION	ESCALA	DIAGRAMA UNIFILAR	HUJA N°
1			1/11
2			
3	+/-0.5		
4			
5	FECHA: 01-1-12	UBICACION	
6	DIB. POR: V. LLANGO / E. GALLEGOS	HDA. BANDS	
7	APRD. POR: ING. E. BARBOSA	PROYECTID PICO CENTRAL HDA. ECOLGICA BANDS	
8		CARRERA DE ING. ELECTROMECHANICA	

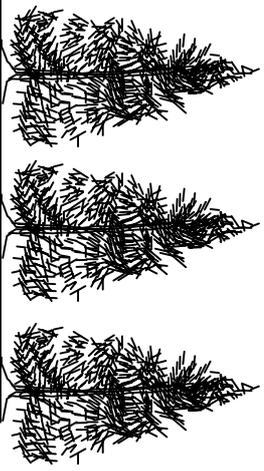
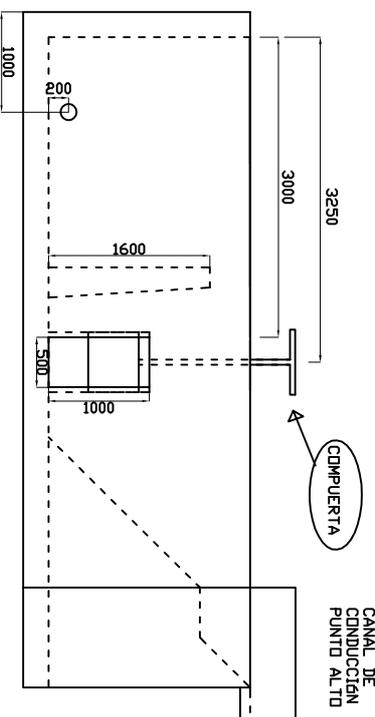
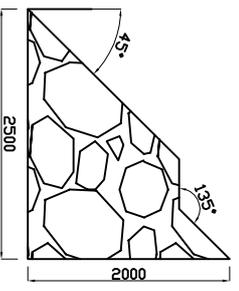
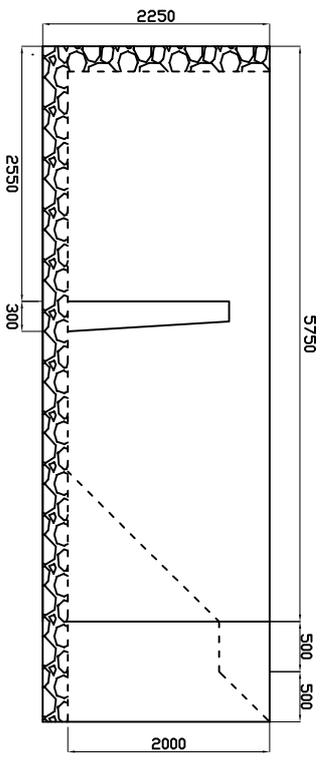
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

I H G F D C B A



DESICIE DE PARTICULAS  
GRUESAS Y FINAS

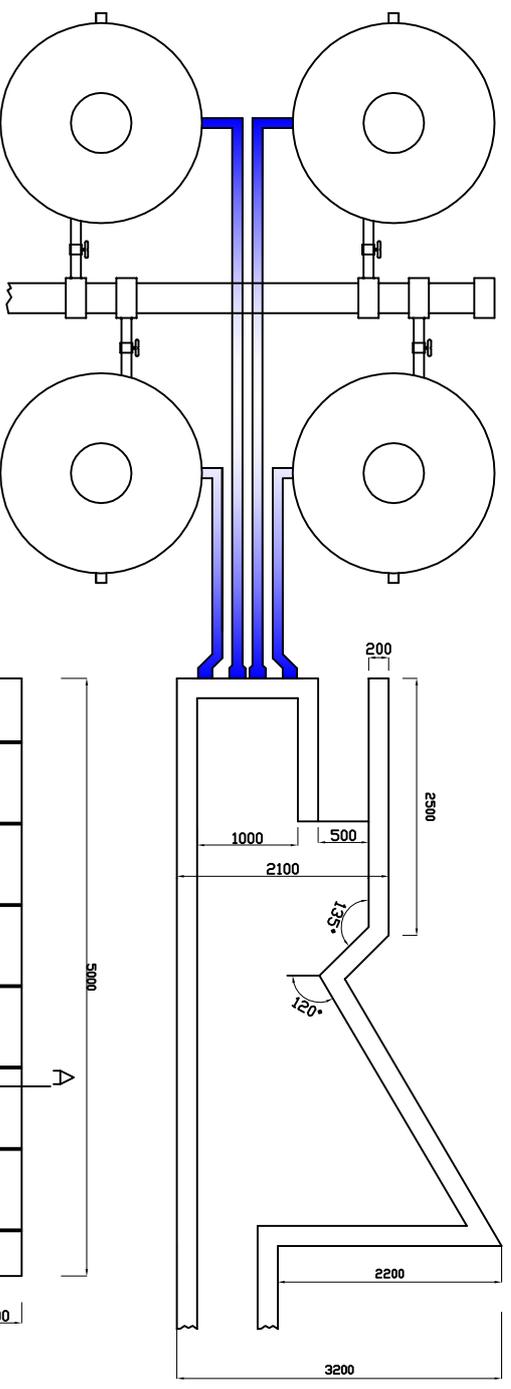
NOTAS:  
1.- TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN EN MM.  
2.- EL HORMIGON A UTILIZAR TENDRA UNA RESISTENCIA DE 210 Kg / cm<sup>2</sup>.



MODIFICACION		TANQUE DE PRESION Y DESARENADOR	
1		TOLERANCIA	ESCALA
2		+/-0.5	1:1
3		FECHA:	01-1-12
4		DIB. POR:	V. LLANGÓ / E. GALLEGOS
5		APRO. POR:	ING. E. BARBOSA
6			
7			
8			
		PESO TOTAL	1550.89 KG.
		TIPO DE MATERIAL	HORMIGON ARMADO
		CARRERA DE ING. ELECTROMECANICA	
			HOJA N° 1/12-A

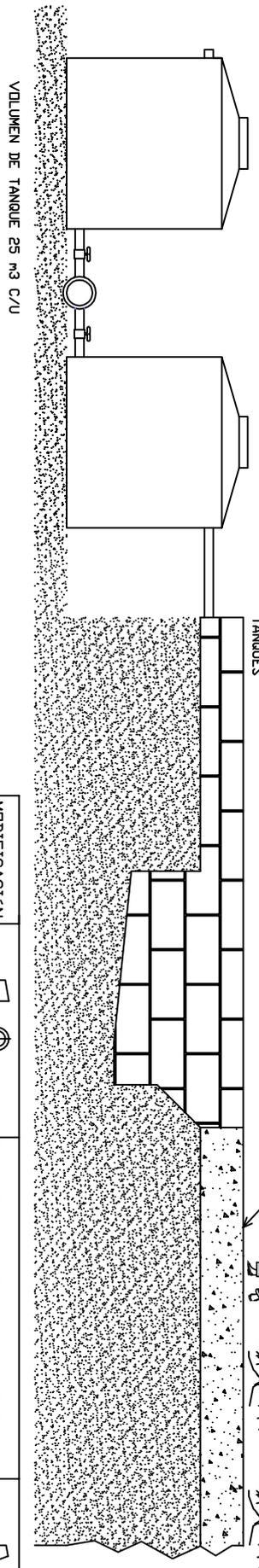
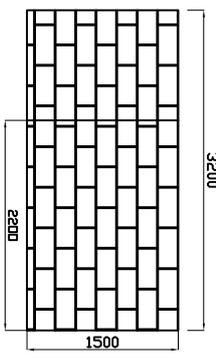
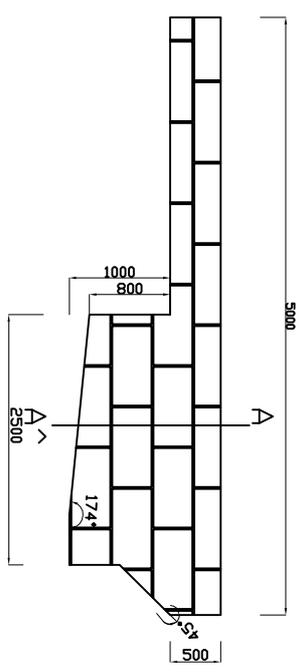
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

I H G F D C B A



DETALLE GENERAL

- TUBERIA DE 6"
- VALVULA DE COMPUESTA
- COLLARIN 6 X 2 1/2"
- TANQUES DE PRESION
- MANGUERA DE PRESION 2 1/2"
- TUBERIA DE 2 1/2"
- HORMIGON ARMADO
- CASQUILLO Y ARENA



VOLUMEN DE TANQUE 25 m<sup>3</sup> C/U

TOMAS DE ALIMENTACION A TANQUES

DESLICE DE PARTICULAS GRUESAS Y FINAS

CANAL DE CONDUCCION

NOTAS:  
 1- TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN EN MM.  
 2- EL HORMIGON A UTILIZAR TENDRA UNA RESISTENCIA DE 210 KG / CM<sup>2</sup>.

MODIFICACION			TANQUES DE PRESION Y DESARENADOR	
1	TOLERANCIA	ESCALA		
2				
3	+/-0.5	1:1		
4	FECHA:	01-1-12		
5	DIB. POR:	V. LLANCO / E. GALLEGOS		
6				
7				
8	APRO. POR:	ING. E. BARBOSA		
			PESD TOTAL	1200 KG.
			TIPO DE MATERIAL	HORMIGON, TANQUES PVC
			CARRERA DE ING. ELECTROMECHANICA	HOJA N° 1/12-B

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

A

B

C

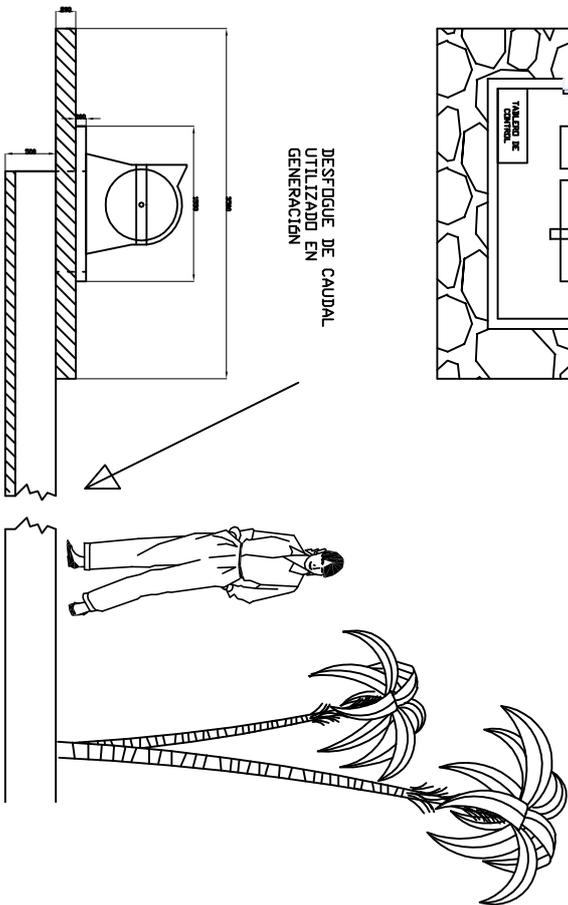
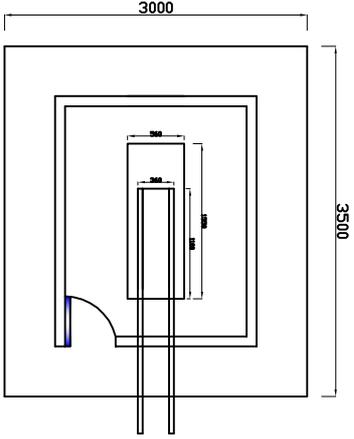
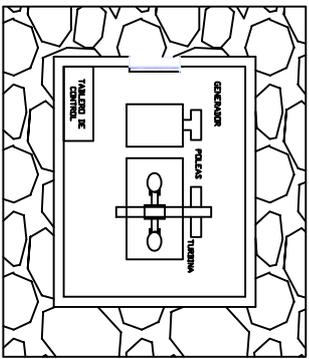
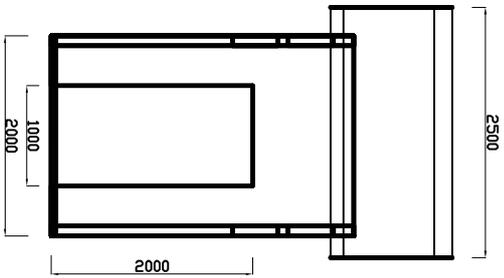
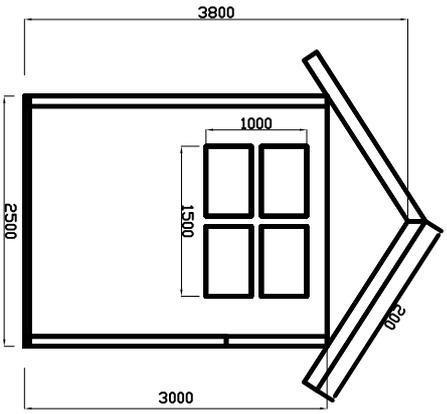
D

F

G

H

I



MODIFICACION			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

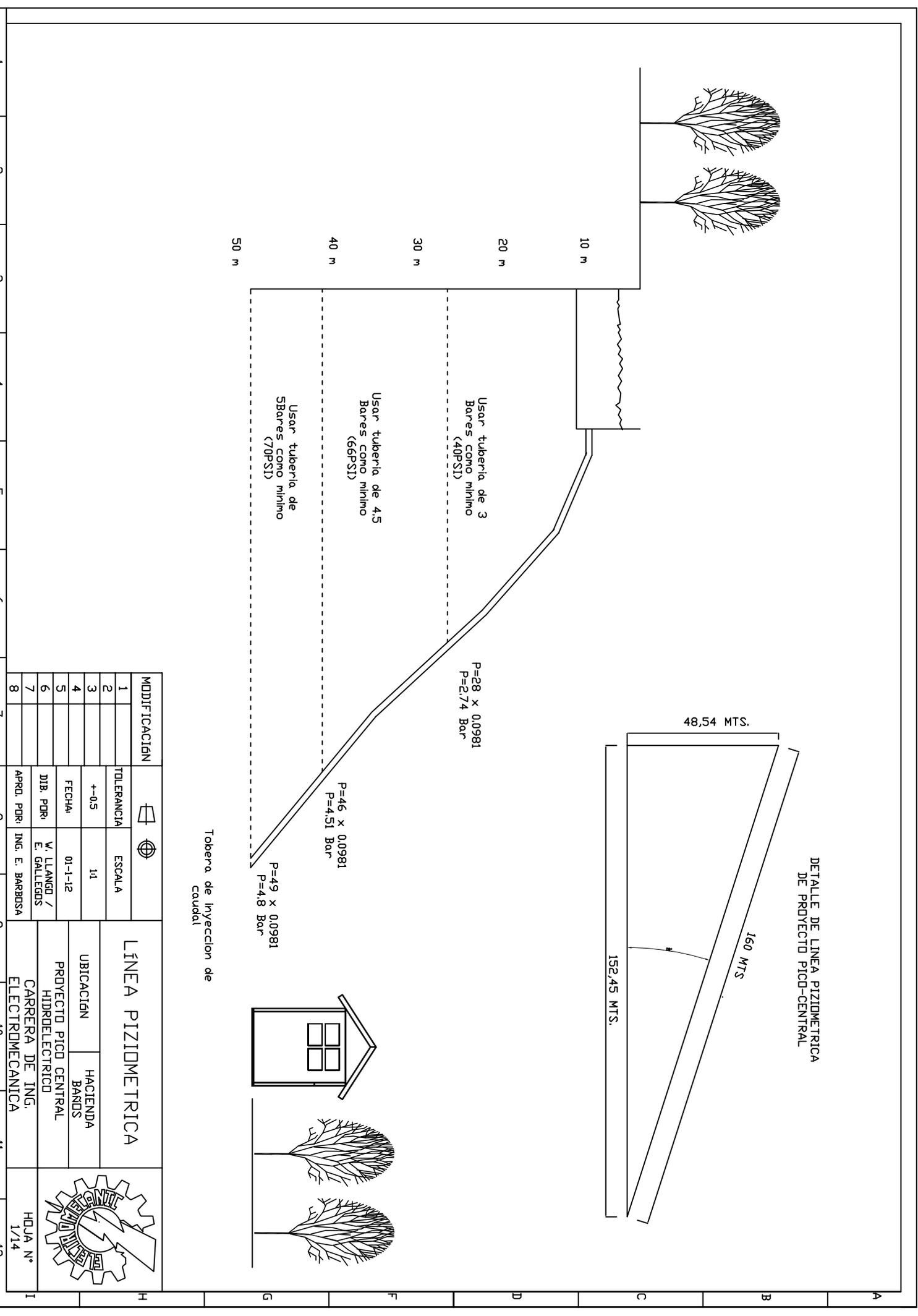
TOLERANCIA	ESCALA	PESO TOTAL	TIPO DE MATERIAL
+/-0.5	1:1	1205 KG.	HORMIGON ARMADO
FECHA:	01-1-12	CARRERA DE ING. ELECTROMECANICA	
DIB. POR:	V. LLANGO / E. GALLEGOS	HOJA N° 1/13	
APRD. POR:	ING. E. BARBOSA		

CASA DE MAQUINAS



1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

A B C D E F G H I



DETALLE DE LINEA PIZOMETRICA DE PROYECTO PICO-CENTRAL

Tobera de Inyeccion de caudal

MODIFICACION		ESCALA		LINEA PIZOMETRICA		HOJA N°	
1						1/14	
2							
3	±0.5		1:1	UBICACION		HACIENDA BANDS	
4	FECHA:		01-1-12	PROYECTO PICO CENTRAL		HIDROELECTRICO	
5	DIB. POR:		V. LLANGO / E. GALLEGOS	CARRERA DE ING.		ELECTROMECHANICA	
6							
7							
8	APRO. POR:		ING. E. BARBOSA				

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

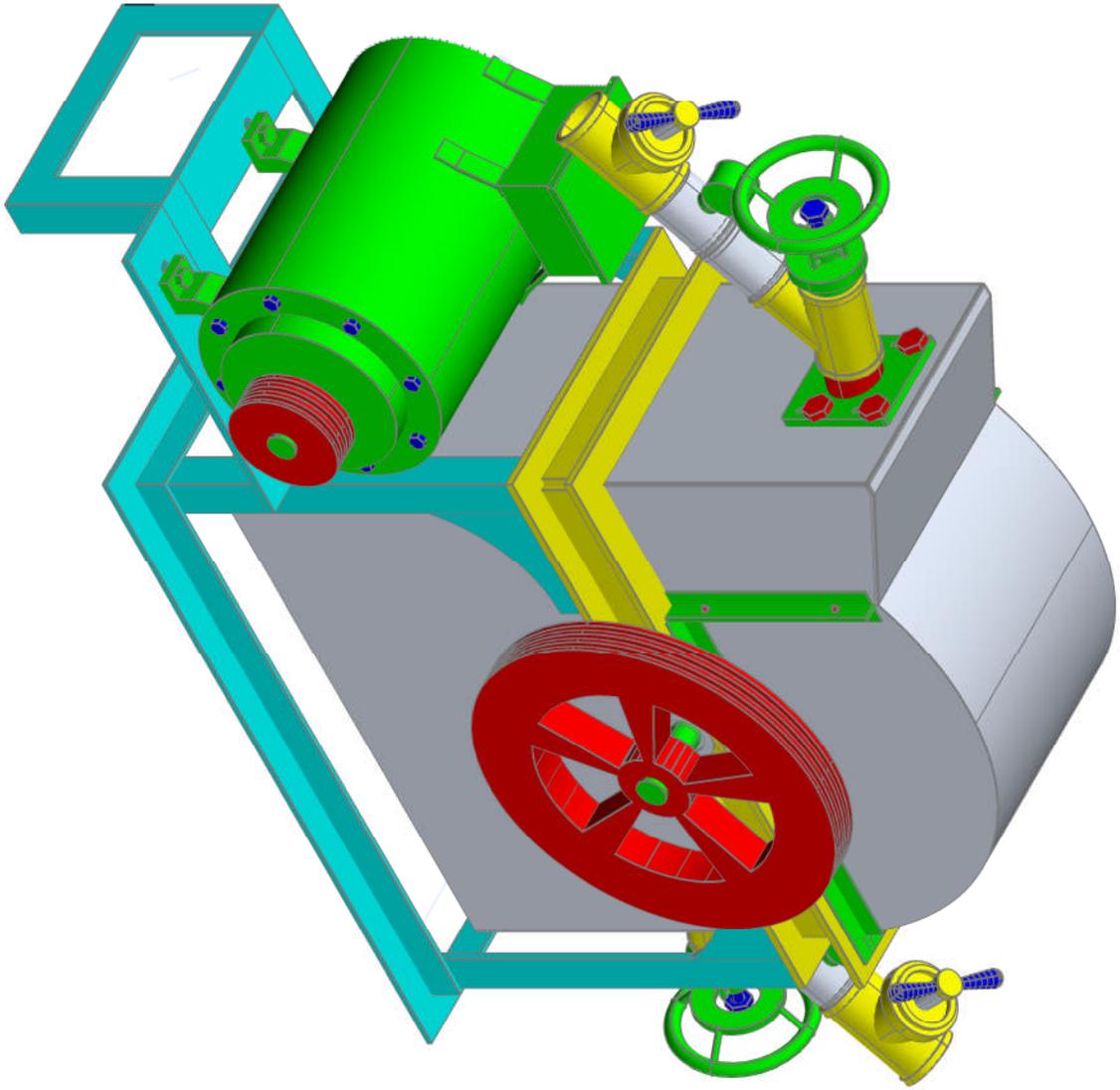
MODIFICACION				EQUIPO DE GENERACION 3D		
1		TOLERANCIA	ESCALA	PESO TOTAL		
2		+0.5	1:1	1650 KG.		
3		FECHA:	01-1-12	TIPO DE MATERIAL	MATERIALES VARIOS	CARRERA DE ING. ELECTROMECHANICA
4		DIB. POR:	V. LLANGO / E. GALLEGOS			
5		APRO. POR:	ING. E. BARBOSA			
6						
7						
8						HOJA N° 1/15

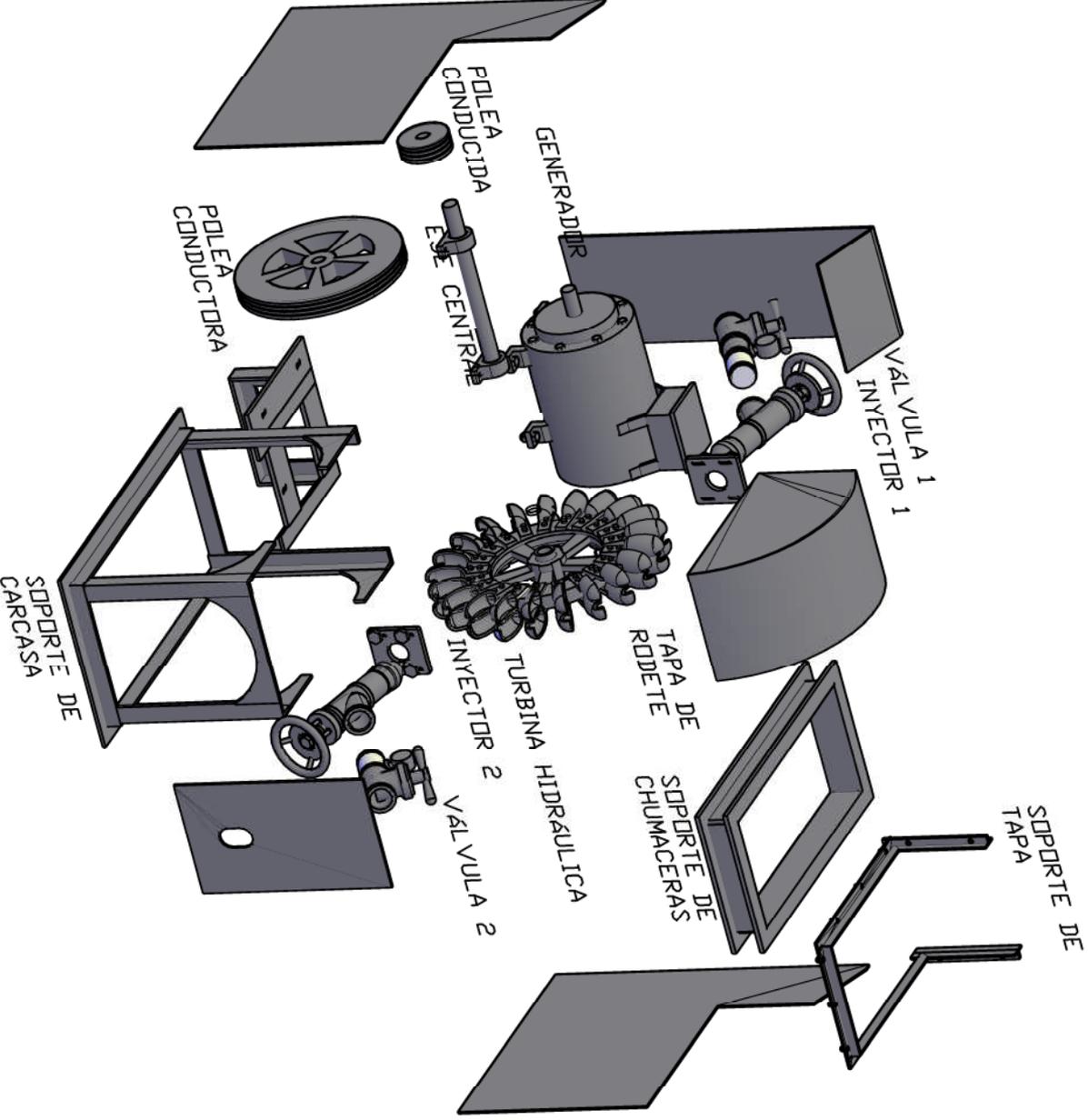
A B C D F G H I

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

MODIFICACION				DESPIEZE DE EQUIPO		
1		TOLERANCIA	ESCALA			
2		+ -0.5	1:1	PESO TOTAL	1650 KG.	HOJA N° 1/16
3		FECHA:	01-1-12	TIPO DE MATERIAL	MATERIALES VARIOS	
4		DIB. POR:	V. LLANGO / E. GALLEGOS	CARRERA DE ING. ELECTROMECHANICA		
5		APRO. POR:	ING. E. BARBOSA			
6						
7						
8						
8						

A B C D F G H I





# ANEXO V

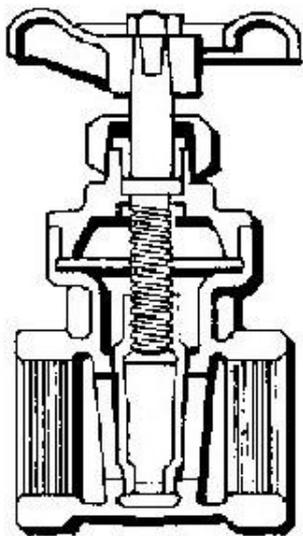
# ACCESORIOS

# VALVULA COMPUERTA

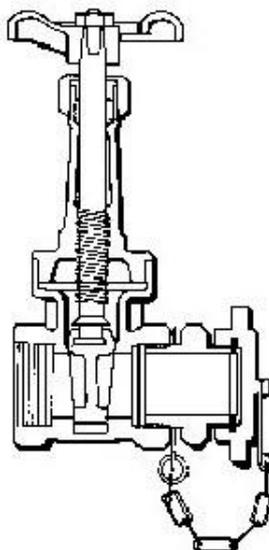
# (BRONCE)



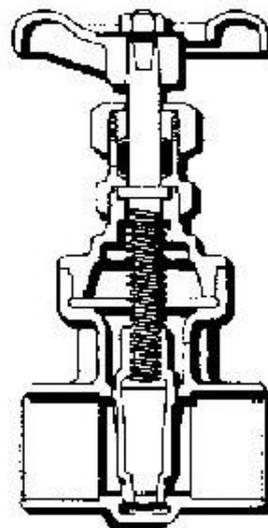
## ESQUEMA DE VALVULAS COMPUERTA SEGUN CLASE Y CARACTERISTICAS TECNICAS



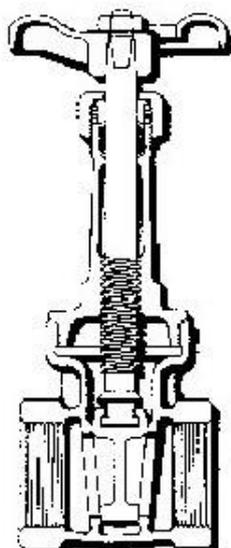
CLASE 125



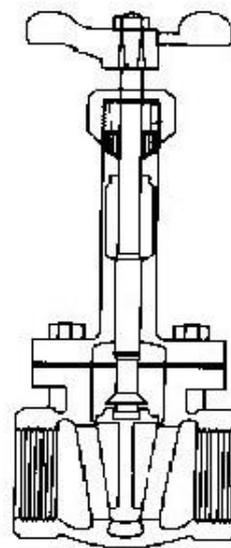
CLASE 125



CLASE 150



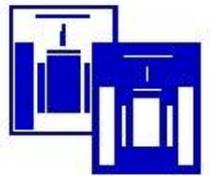
CLASE 150 O 200



CLASE 300

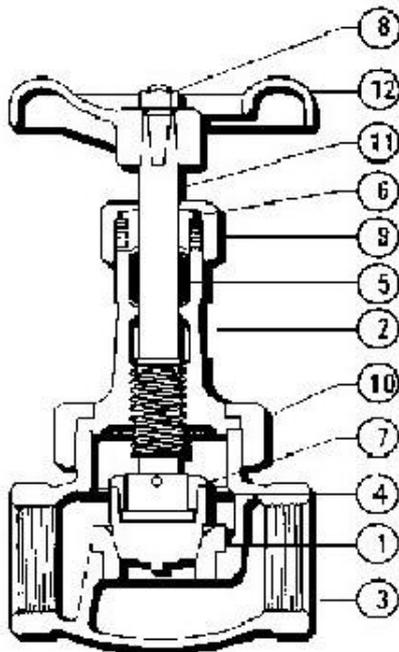
# VALVULA GLOBO

# (BRONCE)



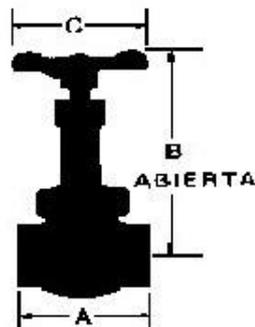
- DESDE 1/4" A 4"
- CLASE 125, 150, 200, 300 Y 350
- BONETE ROSCADO O CON TUERCA UNIÓN
- VÁSTAGO DESPLAZABLE
- CONEXIÓN HILO (NPT O BSP) Y SOLDAR
- CUERPO EN BRONCE (B61 / B62)
- DISCO EN BRONCE, ACERO INOXIDABLE O TEFLÓN
- ASIENTO EN ACERO INOXIDABLE
- ORIGEN: BRASIL, JAPÓN, MÉXICO, USA

## ESQUEMA DE VALVULA GLOBO CON TUERCA UNION



LISTA DE PARTES Y MATERIALES

DESCRIPCION	MATERIAL	ASTM
1 Asiento del Cuerpo	Acero Inoxidable	A276-420
2 Bonete	Bronce	B62
3 Cuerpo	Bronce	B62
4 Disco	Acero Inoxidable	A276-420
5 Empaques	No Asbesto	
6 Prensa empaques	Latón	B16
7 Tuerca del Disco	Acero Inoxidable	A276-416
8 Tuerca del Volante	Acero galvanizado	
9 Tuerca Prensa empaques	Bronce/Latón	B62/B16
10 Tuerca Unión	Bronce	B62
11 Vástago	Bronce al silicio/Latón	B584-875/B16
12 Volante	Hierro dúctil	A536



DIMENSIONES Y PESOS

	mm.	6	10	15	20	25	32	40	50
<b>DIAMETRO NOMINAL</b>	pulg.	1/4	3/8	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2
<b>A</b>	mm.	62	62	87	76	92	108	119	141
	pulg.	2 7/16	2 7/16	2 5/8	3	3 5/8	4 1/4	4 11/16	5 9/16
<b>B</b>	mm.	119	119	134	155	172	194	216	248
	pulg.	4 11/16	4 11/16	5 9/32	6 3/32	6 3/4	7 5/8	8 1/2	9 25/32
<b>C</b>	mm.	64	64	84	73	95	95	95	129
	pulg.	2 1/2	2 1/2	2 1/2	2 7/8	3 3/4	3 3/4	3 3/4	5 1/16
<b>PESOS</b>	kg.	0.53	0.62	0.96	1.32	2.02	2.92	4.01	6.63
	lb.	1.2	1.4	2.1	2.9	4.4	6.4	8.8	14.6

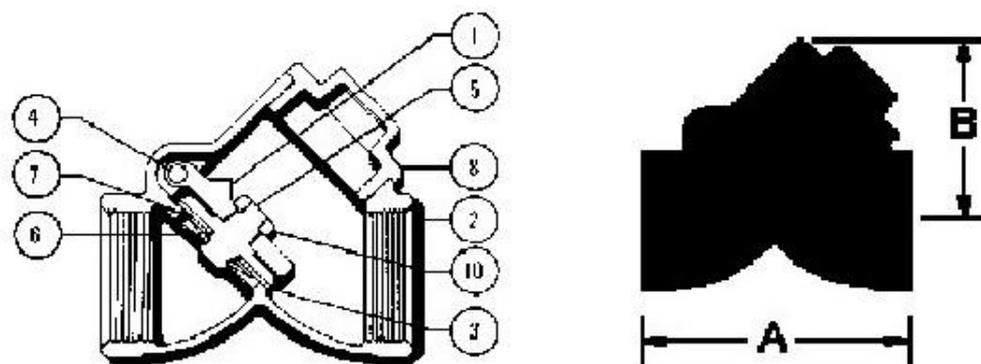
# VALVULA RETENCION

# (BRONCE)



- DESDE 1/4" A 4"
- CLASE 125, 150, 200 Y 300
- TIPO RECTA O TIPO Y
- TAPA ROSCADA O CON TUERCA UNIÓN
- CONEXIÓN HILO (NPT O BSP) Y SOLDAR
- CUERPO EN BRONCE (B61 / B62)
- DISCO Y ASIENTO EN BRONCE, TEFLÓN, EPDM O ACERO INOXIDABLE
- ORIGEN: BRASIL, JAPÓN, MÉXICO, USA

## ESQUEMA DE VALVULA RETENCION TIPO SWING CON DISCO DE TEFLON



LISTA DE PARTES Y MATERIALES			
DESCRIPCION	MATERIAL	ASTM	
1	Columpio	Bronce	B62
2	Cuerpo	Bronce	B62
3	Disco	Teflón	
4	Perno de Columpio	Latón	B16
5	Portadisco	Bronce/Latón	B62/B16
6	Tuerca del disco	Latón	B16
7	Rondana del disco	Latón	B16
8	Tapa	Bronce	B62
9	Tapón lateral	Latón	B16
10	Tuerca del columpio	Latón	B16

DIMENSIONES Y PESOS									
<b>DIAMETRO</b>	mm.	15	20	25	32	40	50	65	80
<b>NOMINAL</b>	pulg.	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3
<b>A</b>	mm.	54	65	81	95	106	127	170	200
	pulg.	2 1/8	2 9/16	3 3/16	3 3/4	4 3/16	5	6 13/16	8
<b>B</b>	mm.	37	44	54	65	76	89	113	131
	pulg.	1 7/16	1 3/4	2 1/8	2 9/16	3	3 1/2	4 1/2	5 1/4
<b>PESOS</b>	kg.	0.20	0.20	0.61	0.64	1.07	1.94	3.9	5.85
	lb.	0.44	0.44	1.3	1.6	2.4	4.3	8.6	13.1

## Manómetro PFQ 803R1R11

En rango de 0-70 psi



## Descripción y características:

- Resistente a la pulsación, el líquido llena el caso de acero inoxidable
- La glicerina llena estándar
- Latón y partes internas de acero inoxidable
- orificio restringido
- Crimp-On bisel
- escala individual (psi) o dual (psi / kPa) disponibles
- Opcional • U-Abrazaderas y bridas delantera
- caso de seco disponibles
- CRN registrados
- 5 años de garantía

## Aplicaciones:

- Ideal para bombas, compresores, prensas hidráulicas, maquinaria, equipos neumáticos y los motores en ambientes hostiles

<b>Marcar</b>	1.5 "(40mm), 2" (50mm), 2.5 "(63mm), 4" (100mm), de aluminio color blanco con marcas de color negro y rojo
<b>Caso</b>	AISI 304 SS
<b>Lente</b>	Policarbonato
<b>Anillo</b>	AISI 304 SS, Crimp-On
<b>Enchufe</b>	OT 58 de bronce o AISI 316 SS
<b>Conexión</b>	1 / 8 ", 1 / 4" NPT o 1 / 2 " NPT estándar con orificio restringido
<b>Rellene líquido</b>	Glicerina
<b>Tubo de Bourdon</b>	1.5 "(40mm), 2" (50mm): de latón en forma de C para presiones de hasta e incluyendo 600 psi (4147 kPa); SS en forma de C para presiones de más de 600 psi (4136 kPa) 2.5 "(63mm), 4" (100mm): de bronce fosforado en forma de C para presiones de hasta e incluyendo 600 psi (4147 kPa) a menos que se especifican internos SS - AISI 316 en forma de C para 1000 psi (6895 kPa), AISI 316 SS espiral de presiones por encima de 1000 psi (6895 kPa)
<b>Movimiento</b>	OT 59 de bronce o acero inoxidable
<b>Puntero</b>	Aluminio anodizado negro
<b>Soldadura</b>	Estaño / aleación de cobre para presiones inferiores a 600 psi (4147 kPa), 316 SS TIG arco de argón para la presión de 600 psi (4147 kPa) y por encima de
<b>El exceso de límite de presión</b>	25% para presiones de hasta 1.400 psi (9653 kPa), 15% para presiones de más de 1.400 psi (9653 kPa)
<b>Material de la junta</b>	El caucho de silicona para el socket; EPDM para la lente, el tapón de llenado y de ventilación de soplado
<b>Presión de trabajo</b>	Máximo del 75% del valor final
<b>Ambiente / temperatura del proceso</b>	-14 ° F a 150 ° F (-25 ° C a 65 ° C)
<b>Precisión</b>	1.5 "(40mm), 2" (50mm): ± 2,5% de la escala completa de 2,5 "(63mm), 4" (100mm): ± 1,5% de la escala completa
<b>Clasificación de la cubierta</b>	IP65

Fuente: [http://www.winters.com/index.php?option=com\\_content&task=view&id=227&Itemid=237](http://www.winters.com/index.php?option=com_content&task=view&id=227&Itemid=237)

## TUBERÍAS DE PVC PARA USO AGRÍCOLA



Unión por sellado elastomérico (U/Z)



Unión por cementado solvente (E/C)

Amanco Plastigama es la primera empresa en el país que ha desarrollado una avanzada tecnología en la fabricación de tuberías de PVC para sistemas de riego a gravedad y/o presurizados, sistemas de captación de aguas subterráneas y todo tipo de instalaciones para uso agropecuario.

La fabricación y control de calidad de la línea de tuberías y accesorios de PVC para presión se basan en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1373 .

En cuanto que, la fabricación y control de calidad de la tubería de PVC de baja presión para uso agrícola se basan en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1369.

## VENTAJAS

- Con certificado de conformidad con sello INEN.
- Amplia gama de diámetros y presiones.
- Calidad garantizada.
- Tubos de 6 metros útiles más campana.
- No se produce corrosión galvánica y/o electrolítica, ni la formación de depósitos o incrustaciones en las paredes interiores, conservando inalterable su sección hidráulica.
- Por la inercia química del compuesto de PVC y sus aditivos resisten al ataque de aguas y suelos agresivos y aplicación de fertilizantes.
- No favorecen la adherencia de algas, hongos, moluscos, etc.
- Trabajan a grandes presiones y con períodos de vida útil prolongados.
- Su módulo de elasticidad le permite una alta resistencia a las sobrepresiones hidrostáticas por golpe de ariete y a los esfuerzos producidos por cargas externas del material de relleno, de tráfico y sísmicas.
- Su bajo coeficiente de fricción con respecto a otros materiales, asegura una mayor capacidad de conducción.
- Su bajo peso facilita el transporte, manipuleo e instalación.
- Resisten asentamientos diferenciales y permiten deflexiones.

SISTEMAS DE GESTIÓN CERTIFICADOS



## ESPECIFICACIONES PARA TUBERÍAS PVC

Especificaciones para Tuberías con Unión por sellado elastomérico (UZ) y Unión por cementado solvente (EC) para riego.

Diámetro Nominal (mm)		Diámetro Interior mm	Espesor Nominal mm	Presión de Trabajo		
UNIÓN U/Z	UNIÓN E/C			MPa	PSI (lb/pulg <sup>2</sup> )	Kgf/cm <sup>2</sup>
	20	17.6	1.2	1.25	181	12.75
		17.4	1.3	1.60	232	16.32
		17.0	1.5	2.00	290	20.40
	25	22.6	1.2	1.00	145	10.20
		22.4	1.3	1.25	181	12.75
		22.0	1.5	1.60	232	16.32
	32	29.6	1.2	0.80	116	8.16
		29.4	1.3	1.00	145	10.20
		29.0	1.5	1.25	181	12.75
	40	37.6	1.2	0.63	91	6.43
		37.4	1.3	0.80	116	8.16
		37.0	1.5	1.00	145	10.20
		36.2	1.9	1.25	181	12.75
		47.4	1.3	0.63	91	6.43
50		47.0	1.5	0.80	116	8.16
		46.2	1.9	1.00	145	10.20
		45.2	2.4	1.25	181	12.75
63		60.0	1.5	0.63	91	6.43
		59.0	2.0	0.80	116	8.16
		58.2	2.4	1.00	145	10.20
		57.0	3.0	1.25	181	12.75
75		72.0	1.5	0.50	73	5.10
		71.4	1.8	0.63	91	6.43
		70.4	2.3	0.80	116	8.16
		69.2	2.9	1.00	145	10.20
90		86.4	1.8	0.50	73	5.10
		85.6	2.2	0.63	91	6.43
		84.4	2.8	0.80	116	8.16
		83.0	3.5	1.00	145	10.20
		81.4	4.3	1.25	181	12.75
110		105.6	2.2	0.50	73	5.10
		104.6	2.7	0.63	91	6.43
		103.2	3.4	0.80	116	8.16
		101.6	4.2	1.00	145	10.20
		99.6	5.2	1.25	181	12.75
	125	120.0	2.5	0.50	73	5.10
		118.8	3.1	0.63	91	6.43
		117.2	3.9	0.80	116	8.16
		115.4	4.8	1.00	145	10.20
		113.0	6.0	1.25	181	12.75
	140	134.6	2.7	0.50	73	5.10
		133.2	3.4	0.63	91	6.43
		131.4	4.3	0.80	116	8.16
		129.2	5.4	1.00	145	10.20
		126.6	6.7	1.25	181	12.75
160		153.6	3.2	0.50	73	5.10
		152.2	3.9	0.63	91	6.43
		150.0	5.0	0.80	116	8.16
		147.6	6.2	1.00	145	10.20
		144.8	7.6	1.25	181	12.75

 SOLUCIONES  
 AGRÍCOLAS  
 AMANCO  
 PLASTIGAMA

▪ Producto de fabricación bajo pedido (según norma INEN 1369), sujeto a lote mínimo de producción de acuerdo mutuo, cliente-fábrica, en tiempo de entrega.

## ESPECIFICACIONES PARA TUBERÍAS PVC

Especificaciones para tuberías con unión por sellado elastomérico (UZ) y unión por cementado solvente (EC) para riego.

CATÁLOGO  
 DIVISIÓN  
 AGRÍCOLA

SOLUCIONES  
 AGRÍCOLAS  
 AMANCO  
 PLASTIGAMA

Diámetro Nominal (mm)		Diámetro Interior mm	Espesor Nominal mm	Presión de Trabajo		
UNIÓN U/Z	UNIÓN E/C			MPa	PSI (lb/pulg <sup>2</sup> )	Kgf/cm <sup>2</sup>
200		192.2	3.9	0.50	73	5.10
		190.2	4.9	0.63	91	6.43
		187.6	6.2	0.80	116	8.16
		184.6	7.7	1.00	145	10.20
		181.0	9.5	1.25	181	12.75
225		216.2	4.4	0.50	73	5.10
		214.0	5.5	0.63	91	6.43
		211.0	7.0	0.80	116	8.16
		207.6	8.7	1.00	145	10.20
		203.6	10.7	1.25	181	12.75
250		240.2	4.9	0.50	73	5.10
		237.8	6.1	0.63	91	6.43
		234.4	7.8	0.80	116	8.16
		230.8	9.6	1.00	145	10.20
		226.2	11.9	1.25	181	12.75
315		302.6	6.2	0.50	73	5.10
		299.6	7.7	0.63	91	6.43
		295.4	9.8	0.80	116	8.16
		290.8	12.1	1.00	145	10.20
		285.0	15.0	1.25	181	12.75
355		341.0	7.0	0.50	73	5.10
		337.6	8.7	0.63	91	6.43
		333.0	11.0	0.80	116	8.16
		327.6	13.7	1.00	145	10.20
		321.2	16.9	1.25	181	12.75
400		384.2	7.9	0.50	73	5.10
		380.4	9.8	0.63	91	6.43
		375.2	12.4	0.80	116	8.16
		369.2	15.4	1.00	145	10.20
		362.0	19.0	1.25	181	12.75
500		384.2	9.8	0.50	73	5.10
		474.0	12.3	0.63	91	6.43
		467.2	15.5	0.80	116	8.16
		459.4	19.2	1.00	145	10.20
		449.8	23.8	1.25	181	12.75
630		597.2	15.5	0.63	91	6.43
		588.8	19.5	0.80	116	8.16
		579.0	24.2	1.00	145	10.20

▪ Producto de fabricación bajo pedido (según norma INEN 1369), sujeto a lote mínimo de producción de acuerdo mutuo, cliente-fábrica, en tiempo de entrega.

## PÉRDIDAS DE CARGA PARA TUBERÍAS DE PVC

CATÁLOGO  
DIVISIÓN  
AGRÍCOLA

Cálculo de las pérdidas de carga en base a tuberías de menor presión por cada diámetro, según la fórmula de Hazen – Williams.

SOLUCIONES  
AGRÍCOLAS  
AMANCO  
PLASTIGAMA

D. Nominal (mm)		20		25		32		40		50		63	
Caudal		Pc	V	Pc	V	Pc	V	Pc	V	Pc	V	Pc	V
lps	gpm												
0.01	0.16	0.02	0.04										
0.02	0.32	0.04	0.09	0.02	0.05								
0.04	0.63	0.09	0.18	0.08	0.11								
0.06	0.95	0.12	0.26	0.18	0.16								
0.08	1.27	0.16	0.35	0.30	0.21								
0.10	1.59	0.21	0.44	0.46	0.26								
0.20	3.17	0.80	0.88	1.65	0.53	0.43	0.30						
0.30	4.76	1.20	1.32	3.50	0.79	0.91	0.45						
0.40	6.34	2.05	1.76	5.97	1.05	1.55	0.61						
0.50	7.93	3.16	2.20	9.02	1.32	2.35	0.76	0.72	0.47				
0.60	9.51	4.40	2.64	12.65	1.58	3.29	0.91	1.01	0.56				
0.70	11.10			16.83	1.84	4.38	1.06	1.34	0.65				
0.80	12.68			21.55	2.10	5.61	1.21	1.71	0.74				
0.90	14.27			26.80	2.37	6.99	1.36	2.13	0.84	0.66	0.52		
1.00	15.85			32.58	2.63	8.49	1.51	2.59	0.93	0.81	0.58		
1.20	19.02					11.89	1.82	3.63	1.12	1.13	0.69		
1.40	22.19					15.82	2.12	4.83	1.30	1.51	0.81	0.46	0.50
1.60	25.36					20.26	2.42	6.19	1.49	1.93	0.92	0.59	0.57
1.80	28.53					25.20	2.73	7.69	1.67	2.40	1.04	0.73	0.64
2.00	31.70							9.35	1.86	2.92	1.15	0.89	0.71
2.20	34.87							11.16	2.05	3.48	1.27	1.06	0.78
2.40	38.04							13.11	2.23	4.09	1.38	1.24	0.85
2.60	41.21							15.20	2.42	4.74	1.50	1.44	0.92
2.80	44.38							17.44	2.60	5.44	1.61	1.66	0.99
3.00	47.55									6.18	1.73	1.88	1.06
3.25	51.51									7.17	1.87	2.18	1.15
3.50	55.48									8.22	2.02	2.50	1.24
3.75	59.44									9.34	2.16	2.84	1.33
4.00	63.40									10.53	2.31	3.21	1.41
4.25	67.36									11.78	2.45	3.59	1.50
4.50	71.33									13.10	2.59	3.99	1.59
4.75	75.29											4.41	1.68
5.00	79.25											4.85	1.77
5.25	83.21											5.30	1.86
5.50	87.18											5.78	1.95
5.75	91.14											6.28	2.03
6.00	95.10											6.79	2.12
6.25	99.06											7.33	2.21
6.50	103.03											7.88	2.30
6.75	106.99											8.45	2.39
7.00	110.95											9.04	2.48
7.25	114.91											9.64	2.56

PC: Pérdida de carga en m de columna de agua por cada 100m de tubería

V: Velocidad en metros por segundo (m/s)

C: 150 constante de H-W

CÁLCULO EN BASE A DIÁMETROS INTERNOS DE TUBERÍA BAJA PRESIÓN

lps: Litros por segundo

gpm: Galones por minuto.

## PÉRDIDAS DE CARGA PARA TUBERÍAS DE PVC

Cálculos de la pérdidas de carga en base a tuberías de menor presión por cada diámetro, según la fórmula de Hazen – Williams.

D. Nominal (mm)		75		90		110		125		140		160	
Caudal		Pc	V										
lps	gpm												
3.0	48	0.81	0.75	0.33	0.52								
3.5	55	1.07	0.87	0.44	0.61								
4.0	63	1.37	1.00	0.57	0.70								
4.5	71	1.71	1.12	0.71	0.78								
5.0	79	2.08	1.25	0.86	0.87								
5.5	87	2.48	1.37	1.02	0.96	0.37	0.63						
6.0	95	2.91	1.50	1.20	1.04	0.43	0.69						
6.5	103	3.38	1.62	1.40	1.13	0.50	0.74						
7.0	111	3.87	1.75	1.60	1.22	0.58	0.80	0.31	0.62				
7.5	119	4.40	1.87	1.82	1.30	0.65	0.86	0.35	0.66				
8.0	127	4.96	2.00	2.05	1.39	0.74	0.91	0.40	0.71				
8.5	135	5.55	2.12	2.29	1.48	0.83	0.97	0.44	0.75				
8.6	136	5.67	2.15	2.34	1.49	0.84	0.98	0.45	0.76	0.26	0.60		
8.7	138	5.79	2.17	2.40	1.51	0.86	0.99	0.46	0.77	0.26	0.61		
8.8	139	5.92	2.20	2.45	1.53	0.88	1.00	0.47	0.78	0.27	0.62		
9.0	143	6.17	2.25	2.55	1.56	0.92	1.03	0.49	0.80	0.28	0.63		
10.0	159			3.10	1.74	1.12	1.14	0.60	0.88	0.34	0.70		
11.0	174			3.70	1.91	1.33	1.26	0.71	0.97	0.41	0.77	0.21	0.59
12.0	190			4.35	2.09	1.56	1.37	0.84	1.06	0.48	0.84	0.25	0.65
13.0	206			5.04	2.26	1.81	1.48	0.97	1.15	0.56	0.91	0.29	0.70
14.0	222			5.78	2.43	2.08	1.60	1.12	1.24	0.64	0.98	0.34	0.76
15.0	238			6.57	2.61	2.36	1.71	1.27	1.33	0.72	1.05	0.38	0.81
16.0	254					2.66	1.83	1.43	1.41	0.82	1.12	0.43	0.86
18.0	285					3.31	2.06	1.78	1.59	1.02	1.27	0.53	0.97
20.0	317					4.03	2.28	2.16	1.77	1.23	1.41	0.65	1.08
22.0	349					4.80	2.51	2.58	1.95	1.47	1.55	0.77	1.19
24.0	380					5.64	2.74	3.03	2.12	1.73	1.69	0.91	1.30
26.0	412							3.51	2.30	2.01	1.83	1.06	1.40
28.0	444							4.03	2.48	2.30	1.97	1.21	1.51
30.0	476							4.58	2.65	2.62	2.11	1.38	1.62
32.0	507									2.95	2.25	1.55	1.73
34.0	539									3.30	2.39	1.73	1.83
36.0	571									3.67	2.53	1.93	1.94
38.0	602									4.05	2.67	2.13	2.05
40.0	634											2.34	2.16
42.0	666											2.56	2.27
44.0	697											2.80	2.37
46.0	729											3.04	2.48
48.0	761											3.28	2.59
50.0	793											3.54	2.70
52.0	824											3.81	2.81
54.0	856											4.09	2.91

PC: Pérdida de carga en m de columna de agua por cada 100m de tubería  
V: Velocidad en metros por segundo (m/s)  
C: 150 constante de H-W  
CÁLCULO EN BASE A DIÁMETROS INTERNOS DE TUBERÍA BAJA PRESIÓN  
lps: Litros por segundo

gpm: Galones por minuto.

## PÉRDIDAS DE CARGA PARA TUBERÍAS DE PVC

CATÁLOGO  
DIVISIÓN  
AGRÍCOLA

Cálculos de la pérdidas de carga en base a tuberías de menor presión por cada diámetro, según la fórmula de Hazen – Williams.

SOLUCIONES  
AGRÍCOLAS  
AMANCO  
PLASTIGAMA

D. Nominal (mm)		200		225		250		315		355		400	
Caudal		Pc	V										
lps	gpm												
22	349	0.26	0.76										
24	380	0.31	0.83										
26	412	0.35	0.90										
28	444	0.41	0.97	0.23	0.76								
30	476	0.46	1.03	0.26	0.82								
32	507	0.52	1.10	0.29	0.87								
34	539	0.58	1.17	0.33	0.93	0.20	0.75						
38	602	0.72	1.31	0.40	1.04	0.24	0.84						
42	666	0.86	1.45	0.49	1.14	0.29	0.93						
46	729	1.02	1.59	0.57	1.25	0.35	1.02						
50	793	1.19	1.72	0.67	1.36	0.40	1.11	0.13	0.70				
54	856	1.37	1.86	0.77	1.47	0.46	1.19	0.15	0.75				
58	919	1.57	2.00	0.88	1.58	0.53	1.28	0.17	0.81				
62	983	1.77	2.14	1.00	1.69	0.60	1.37	0.19	0.86				
68	1,078	2.10	2.34	1.18	1.85	0.71	1.50	0.23	0.95	0.13	0.74		
74	1,173	2.46	2.55	1.39	2.02	0.83	1.64	0.27	1.03	0.15	0.81		
80	1,268	2.84	2.76	1.60	2.18	0.96	1.77	0.31	1.11	0.17	0.88		
86	1,363			1.83	2.34	1.10	1.90	0.36	1.20	0.20	0.94		
92	1,458			2.07	2.51	1.25	2.03	0.40	1.28	0.23	1.01	0.13	0.79
98	1,553			2.33	2.67	1.40	2.17	0.45	1.36	0.25	1.07	0.14	0.85
104	1,648			2.60	2.83	1.56	2.30	0.51	1.45	0.28	1.14	0.16	0.90
110	1,744					1.74	2.43	0.56	1.53	0.31	1.20	0.18	0.95
118	1,870					1.98	2.61	0.64	1.64	0.36	1.29	0.20	1.02
126	1,997					2.23	2.79	0.72	1.75	0.40	1.38	0.23	1.09
134	2,124							0.81	1.86	0.45	1.47	0.25	1.16
142	2,251							0.90	1.97	0.50	1.55	0.28	1.22
150	2,378							1.00	2.09	0.56	1.64	0.31	1.29
160	2,536							1.12	2.22	0.63	1.75	0.35	1.38
170	2,695							1.26	2.36	0.70	1.86	0.39	1.47
180	2,853							1.40	2.50	0.78	1.97	0.44	1.55
190	3,012							1.55	2.64	0.86	2.08	0.48	1.64
202	3,202							1.73	2.81	0.97	2.21	0.54	1.74
214	3,392									1.08	2.34	0.60	1.85
226	3,582									1.19	2.47	0.67	1.95
238	3,772									1.31	2.61	0.73	2.05
250	3,963									1.44	2.74	0.80	2.16
262	4,153									1.57	2.87	0.88	2.26
276	4,375											0.96	2.38
290	4,597											1.06	2.50
304	4,818											1.15	2.62
318	5,040											1.25	2.74
332	5,262											1.36	2.86

PC: Pérdida de carga en m de columna de agua por cada 100m de tubería  
V: Velocidad en metros por segundo (m/s)  
C: 150 constante de H-W  
CÁLCULO EN BASE A DIÁMETROS INTERNOS DE TUBERÍA BAJA PRESIÓN  
lps: Litros por segundo

gpm: Galones por minuto.

## PÉRDIDAS DE CARGA EN ACCESORIOS DE PVC

Pérdidas de fricción en accesorios, convertidas a metros de longitud de tubería de PVC.

DIÁMETRO NOMINAL		20	25	32	40	50	63	75	90	110	160	200
PÉRDIDAS DE CARGA		(m)										
TEE		0.70	0.90	0.90	1.50	2.20	2.30	2.40	2.50	2.60	3.60	5.00
CODO 90°		1.10	1.20	1.50	2.00	3.20	3.40	3.70	3.90	4.30	5.40	5.50
CODO 45°		0.40	0.50	0.70	1.00	1.30	1.50	1.70	1.80	1.90	2.60	3.30
CODO 90° L/R		0.40	0.50	0.60	0.70	1.20	1.30	1.40	1.50	1.60	2.10	2.60
CODO 45° L/R		0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.20	1.40
VÁLVULA CHECK		2.50	2.70	3.80	4.90	6.80	7.10	8.20	9.30	10.40	13.90	17.60
VÁLVULA DE BOLA		11.10	11.40	15.00	22.00	35.80	37.90	38.00	40.00	42.30	56.70	72.10
VÁLVULA DE COMPUERTA		0.10	0.20	0.30	0.40	0.70	0.80	0.90	0.90	1.00	1.20	1.40

ESPECIFICACIÓN PARA TUBOS DE POLIETILENO USO EN PRESIÓN DIÁMETRO INTERIOR CONTROLADO ECUAFLEX<sup>e</sup>

## TUBERÍA DE POLIETILENO PARA USO AGRÍCOLA ECUAFLEX

Producto fabricado con materia prima virgen no reciclada • no contamina • cumple exigentes estándares de fabricación.

LT Grado alimenticio



B/D= Polietileno de baja densidad  
M/D= Polietileno de media densidad

DIÁMETRO NOMINAL	DIÁMETRO				OVAL	SIDR	PRESIÓN	ESPESOR			LONGITUD	
	Di		D					PN	e			
	MIN	PROM	MAX.	PROM					MAX.	MIN		PROM
PULGADAS	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(PSI)	(mm)	(mm)	(mm)	(m)	
1/2	15.54	15.80	16.05	19.21	0.2			1.53	1.71	1.88	100.0	
3/4	20.55	20.93	21.18	24.97	0.2	11.5	80	1.83	2.02	2.21	100.0	
1	26.14	26.64	26.90	31.70	0.2			2.31	2.53	2.74	100.0	

NOTA: Esta tubería se despacha en rollos. La densidad del material considerada es de 0.925 g/cm<sup>3</sup> que es el resultado de una muestra evaluada.

## TUBERÍA DE POLIETILENO PARA USO AGRÍCOLA

- Tubería Flex de polietileno de baja densidad, fabricada con materia prima 100% virgen, con protección UV especial para riego.
- Su formulación especial la hace más resistente y durable contra las inclemencias del tiempo para la agricultura.
- No se cuartea, ni resquebraja con el tiempo.
- No produce corrosión química, evitando depósitos e incrustaciones en las paredes interiores, conservando inalterable su sección.

- Ideal para riego por goteo y micro aspersión.
- Amplia gama de accesorios
- Dos presentaciones:
- Uso subterráneo (sin protección UV)
- Uso intemperie (con protección UV)



DIÁ. EXTERIOR NOMINAL	ESPESOR NOMINAL	DIÁMETRO INTERIOR	PRESIÓN DE TRABAJO			LONGITUD DEL ROLLO
			PSI	MPa	m	
mm	mm	mm				Kgf/cm <sup>2</sup>
16.00	0.85	14.00	30	0.20	2.04	200
16.00	1.10	13.80	46	0.32	3.24	200
16.00	1.20	13.60	58	0.40	4.08	200
17.70	1.10	15.50	46	0.32	3.24	200
17.90	1.20	15.50	58	0.40	4.08	200
20.00	1.20	17.40	46	0.32	3.24	200
20.00	1.50	17.00	58	0.40	4.08	200
25.00	1.50	22.00	46	0.32	3.24	200
25.00	1.90	21.20	58	0.40	4.08	200
32.00	2.40	27.20	58	0.40	4.08	100
32.00	3.60	24.80	91	0.63	6.40	100
40.00	3.00	34.00	58	0.40	4.08	100
40.00	4.50	31.00	91	0.63	6.40	100
50.00	3.70	42.60	58	0.40	4.08	100
50.00	5.60	38.80	91	0.63	6.40	100
63.00	4.70	53.60	58	0.40	4.08	100
63.00	7.00	49.00	91	0.63	6.40	100

## PÉRDIDAS DE CARGA PARA TUBERIAS DE PE BD

Cálculo de las pérdidas de carga en base a tuberías de menor presión por cada diámetro, según la fórmula de Hazen – Williams.

D. Nominal (mm)		16 mm (Diám. Externo)		16 mm (Diám. Interno)		20 mm (Diám. Externo)		25 mm (Diám. Externo)	
Caudal		Pc	V	Pc	V	Pc	V	Pc	V
lps	gpm								
0.075	1.19	3.18	0.52						
0.088	1.39	4.23	0.60						
0.100	1.59	5.42	0.69						
0.113	1.78	6.74	0.77	3.05	0.56				
0.126	1.99	8.25	0.86	3.74	0.62				
0.139	2.20	9.90	0.95	4.49	0.69	2.98	0.58		
0.152	2.40	11.69	1.04	5.30	0.75	3.52	0.64		
0.166	2.62	13.77	1.14	6.24	0.82	4.15	0.70		
0.180	2.85	16.00	1.24	7.25	0.89	4.82	0.75		
0.194	3.07	18.39	1.33	8.33	0.96	5.54	0.81		
0.208	3.29	20.93	1.43	9.49	1.03	6.30	0.87	2.01	0.55
0.223	3.53	23.82	1.53	10.79	1.11	7.17	0.94	2.29	0.59
0.238	3.76	26.88	1.63	12.18	1.18	8.10	1.00	2.58	0.62
0.253	4.00	30.11	1.74	13.64	1.26	9.07	1.06	2.89	0.66
0.268	4.24	33.50	1.84	15.18	1.33	10.09	1.12	3.22	0.70
0.286	4.53	37.80	1.97	17.13	1.42	11.39	1.20	3.63	0.75
0.304	4.81	42.33	2.09	19.18	1.51	12.75	1.28	4.07	0.80
0.322	5.10	47.10	2.21	21.34	1.60	14.19	1.35	4.53	0.85
0.344	5.44	53.24	2.36	24.13	1.71	16.04	1.44	5.12	0.90
0.366	5.79	59.73	2.52	27.07	1.82	17.99	1.54	5.74	0.96
0.388	6.14	66.55	2.67	30.16	1.93	20.05	1.63	6.40	1.02
0.410	6.49			33.41	2.04	22.20	1.72	7.08	1.08
0.435	6.89			37.28	2.16	24.78	1.83	7.91	1.14
0.460	7.28			41.35	2.29	27.49	1.93	8.77	1.21
0.485	7.68			45.62	2.41	30.32	2.04	9.67	1.27
0.510	8.08			50.07	2.53	33.28	2.14	10.62	1.34
0.535	8.47			54.72	2.66	36.37	2.25	11.60	1.41
0.565	8.95					40.24	2.37	12.64	1.49
0.595	9.42					44.29	2.50	14.13	1.56
0.625	9.90					48.52	2.63	15.48	1.64
0.655	10.37					52.92	2.75	16.88	1.72
0.685	10.85							18.35	1.80
0.720	11.40							20.12	1.89
0.755	11.96							21.97	1.98
0.790	12.51							23.90	2.08
0.825	13.07							25.89	2.17
0.860	13.62							27.97	2.26
0.900	14.26							30.43	2.37
0.940	14.89							32.98	2.47
0.980	15.53							35.63	2.58
1.020	16.16							38.37	2.68
1.060	16.79							41.20	2.79

PC: Pérdida de carga en m de columna de agua por cada 100m de tubería  
V: Velocidad en metros por segundo (m/s)  
C: 140 constante de H-W  
CÁLCULO EN BASE A DIÁMETROS INTERNOS DE TUBERÍA BAJA PRESIÓN  
lps: Litros por segundo

gpm: Galones por minuto.

## PÉRDIDAS DE CARGA PARA TUBERIAS DE PE BD

CATÁLOGO  
DIVISIÓN  
AGRÍCOLA

Cálculos de las pérdidas de carga en base a tuberías de menor presión por cada diámetro, según la fórmula de Hanzen – Williams.

SOLUCIONES  
AGRÍCOLAS  
AMANCO  
PLASTIGAMA

D. Nominal (mm)		32 mm (Diám. Externo)		40 mm (Diám. Interno)		50 mm (Diám. Externo)		63 mm (Diám. Externo)	
Caudal		Pc	V	Pc	V	Pc	V	Pc	V
lps	gpm								
0.300	4.76	1.42	0.52						
0.360	5.71	1.99	0.62						
0.420	6.66	2.64	0.72	0.89	0.46				
0.480	7.61	3.38	0.83	1.14	0.53	0.38	0.34		
0.550	8.72	4.35	0.95	1.47	0.61	0.49	0.39		
0.620	9.83	5.43	1.07	1.83	0.68	0.61	0.43		
0.690	10.94	6.63	1.19	2.23	0.76	0.75	0.48		
0.760	12.05	7.92	1.31	2.67	0.84	0.89	0.53		
0.840	13.31	9.54	1.45	3.22	0.93	1.07	0.59	0.35	0.37
0.920	14.58	11.29	1.58	3.81	1.01	1.27	0.65	0.41	0.41
1.000	15.85	13.17	1.72	4.44	1.10	1.48	0.70	0.48	0.44
1.080	17.12	15.19	1.86	5.12	1.19	1.71	0.76	0.56	0.48
1.160	18.39	17.34	2.00	5.85	1.28	1.95	0.81	0.64	0.51
1.260	19.97	20.21	2.17	6.82	1.39	2.27	0.88	0.74	0.56
1.360	21.56	23.28	2.34	7.85	1.50	2.62	0.95	0.86	0.60
1.460	23.14	26.55	2.51	8.96	1.61	2.99	1.02	0.98	0.65
1.560	24.73	30.02	2.68	10.12	1.72	3.38	1.09	1.10	0.69
1.680	26.63	34.43	2.89	11.61	1.85	3.87	1.18	1.27	0.74
1.800	28.53			13.20	1.98	4.40	1.26	1.44	0.80
1.920	30.43			14.87	2.11	4.96	1.35	1.62	0.85
2.040	32.33			16.64	2.25	5.55	1.43	1.81	0.90
2.160	34.24			18.50	2.38	6.17	1.52	2.02	0.96
2.280	36.14			20.45	2.51	6.82	1.60	2.23	1.01
2.400	38.04			22.48	2.64	7.50	1.68	2.45	1.06
2.550	40.42			25.16	2.81	8.39	1.79	2.74	1.13
2.700	42.80					9.33	1.89	3.05	1.20
2.850	45.17					10.31	2.00	3.37	1.26
3.000	47.55					11.34	2.10	3.70	1.33
3.150	49.93					12.41	2.21	4.05	1.40
3.330	52.78					13.75	2.34	4.49	1.48
3.530	55.95					15.32	2.48	5.01	1.56
3.730	59.12					16.97	2.62	5.54	1.65
3.950	62.61					18.87	2.77	6.16	1.75
4.170	66.09							6.82	1.85
4.390	69.58							7.50	1.95
4.610	73.07							8.21	2.04
4.860	77.03							9.05	2.15
5.110	80.99							9.93	2.26
5.360	84.96							10.85	2.38
5.610	88.92							11.81	2.49
5.860	92.88							12.80	2.60
6.110	96.84							13.83	2.71

PC: Pérdida de carga en m de columna de agua por cada 100m de tubería

V: Velocidad en metros por segundo (m/s)

C: 140 constante de H-W

CÁLCULO EN BASE A DIÁMETROS INTERNOS DE TUBERÍA BAJA PRESIÓN

lps: Litros por segundo

gpm: Galones por minuto.



## EJES ACERO INOXIDABLE

### Especificaciones Generales

<b>Material</b>	AISI 304
<b>Dureza HB</b>	249-278
<b>Límite de influencia</b>	225 N/mm <sup>2</sup>
<b>Aplicaciones</b>	INDUSTRIAS ALIMENTICIAS, CERVECERA, AZUCARERA, ALIMENTICIA, UTENSILLOS DOMESTICOS INDUSTRIA DEL CUERO FARMACEUTICA, DENTAL, ETC...



### DIMENSIONES

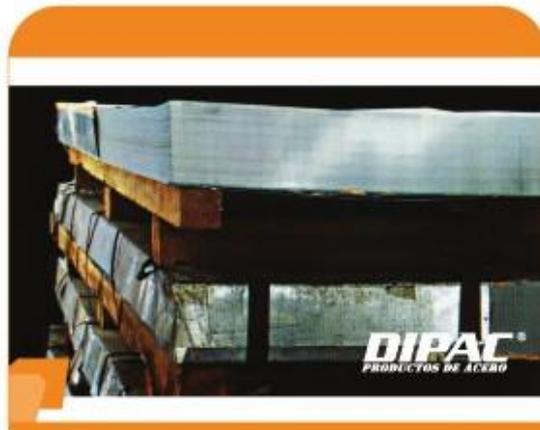
DIAMETRO	LONGITUD
3/16"	6m.
1/4"	6m.
5/16"	6m.
3/8"	6m.
1/2"	6m.
5/8"	6m.
3/4"	6m.
1"	6m.
1-1/4"	6m.
1-1/2"	6m.
2"	6m.
2-1/2"	6m.
3"	6m.
3-1/2"	6m.
4"	6m.
5"	6m.
6"	6m.

### PROPIEDADES QUÍMICAS

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Ni	%Cr
0 - 0,08	0 - 1	0 - 2	0 - 0,045	0 - 0,03	8 - 10.5	18 - 20



## PLANCHAS PL



REDUCCION DE FRACCIONES DE PULGADAS A MILIMETROS					
PULGADAS	MILIMETROS	PULGADAS	MILIMETROS	PULGADAS	MILIMETROS
1/128	= 0.20	25/64	= 9.92	27/32	= 21.43
1/64	= 0.40	13/32	= 10.32	55/64	= 21.83
3/128	= 0.60	27/64	= 10.72	7/8	= 22.23
1/40	= 0.64	7/16	= 11.11	57/64	= 22.62
1/32	= 0.79	29/64	= 11.51	29/32	= 23.02
1/25	= 1.02	15/32	= 11.91	59/64	= 23.42
3/64	= 1.19	31/64	= 12.30	15/16	= 23.81
1/20	= 1.27	1/2	= 12.70	61/64	= 24.21
1/16	= 1.59	33/64	= 13.10	61/32	= 24.61
5/64	= 1.98	17/32	= 13.49	63/64	= 25.00
3/32	= 2.38	35/64	= 13.89	1	= 25.40
7/64	= 2.78	9/16	= 14.29	11/10	= 27.00
1/8	= 3.18	37/64	= 14.68	11/8	= 28.60
9/64	= 3.57	19/32	= 15.08	18/16	= 30.20
5/32	= 3.97	39/64	= 15.48	11/4	= 31.70
11/64	= 4.37	5/8	= 15.88	15/16	= 33.30
3/16	= 4.76	41/64	= 16.27	13/8	= 34.90
13/64	= 5.16	21/32	= 16.67	17/16	= 36.50
7/32	= 5.56	46/64	= 17.07	11/2	= 38.10
15/64	= 5.95	11/16	= 17.46	19/10	= 39.70
1/4	= 6.35	45/64	= 17.86	15/8	= 41.30
17/64	= 6.75	23/32	= 18.26	111/16	= 42.90
9/32	= 7.14	47/64	= 18.65	13/4	= 44.40
19/64	= 7.54	3/4	= 19.05	113/16	= 46.00
5/16	= 7.94	49/64	= 19.45	17/8	= 47.60
21/64	= 8.33	25/32	= 19.84	115/16	= 49.20
11/32	= 8.73	51/64	= 20.24	2	= 50.80
23/64	= 9.13	13/16	= 20.64		
3/8	= 9.53	53/64	= 21.03		

DIMENSIONES EN (mm)			PESOS
ANCHO	LARGO	ESPESOR	KG
1220	2440	2	46.74
1220	2440	3	70.10
1220	2440	4	93.47
1500	2440	4	114.92
1220	2440	5	116.84
1500	2440	5	143.66
1800	2440	5	172.39
1220	2440	6	140.21
1500	2440	6	172.39
1800	2440	6	206.86
1220	2440	8	186.94
1500	2440	8	229.85
1800	2440	8	275.82
1220	2440	10	233.68
1500	2440	10	287.31
1800	2440	10	344.77
1220	6000	12	689.54

### METODO PRACTICO PARA CALCULAR PESO DE LAS PLANCHAS DE ACERO

#### NOMENCLATURA

- L = Largo (mm)
- A = Ancho (mm)
- E = Espesor (mm)
- Peso = Kgs.

$$\text{Peso} = \frac{L \times A \times E \times 7,85}{1,000.00}$$

Ejemplo:  $\frac{(L = 1220\text{mm} \times A = 2440 \text{ mm} \times E = 1,0\text{mm}) \times 7,85}{1,000.00} = 23.368 \text{ Kg}$



## PLANCHAS LAMINADAS AL CALIENTE

### Especificaciones Generales

<b>Norma</b>	Ver tabla
<b>Espesores</b>	1,20mm a 100,00mm
<b>Rollos</b>	Ancho 1000mm, 1220mm, 1500mm, 1800mm
<b>Planchas</b>	4 x 8 pies y a medida



### Calidad Comercial

NORMA	COMPOSICION QUIMICA							PROPIEDADES MECANICAS			NORMA EQUIVALENTE
	% C	%MN	%P	%S	%SI	%AL	%CU	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alargamiento %	Doblado 180°	
JIS G3131 SPHC	0,08 0,13	0,3 0,6	0,02 max	0,025 max	0,05 max	0,02 0,08	0,2 max	270 min	29 min	0= Oe	SAE 1010 ASTM A-569
SAE 1008	0,03 0,1	0,25 0,5	0,02 max	0,025 max	0,04 max	0,02 0,08	0,2 max				
SAE 1012	0,1 0,15	0,3 0,6	0,02 max	0,025 max	0,03 max	0,02 0,08	0,2 max				

### Calidad Estructural

NORMA	COMPOSICION QUIMICA							PROPIEDADES MECANICAS					NORMA EQUIVALENTE
	% C	%MN	%P	%S	%SI	%CU	OTROS	Fluencia (Mpa)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alarga- miento %	Doblado 180°		
ASTM A-588M GRADO A	0,19 max	0,8 1,25	0,04 max	0,05 max	0,3 0,6	0,25 0,40	Ni 0,15-0,35 Cr 0,40-0,65 V 0,02-0,10	345 min	485 min	18 min			
ASTM A-283 GRADO C	0,12 0,18	0,3 0,6	0,025 max	0,03 max	0,04 max	0,2 max		205 min	380 516 max	25 min	0=1,5e	SAE 1015	
JIS G-3101 SS41 M	0,17 0,23	0,3 0,6	0,025 max	0,025 max	0,04 max	0,25 max		250 min	400 min 550 max	21 min		SAE 1020 ASTM A-36 ASTM A-570 GRADO 36	
A 36	0,25 0,29	0,80 1,2	0,04 max	0,05 max	0,4 max	0,20 max		250 min	400 min 550 max	20 min			
A570-GR50	0,25	1,35 max	0,035 max	0,04 max				340 min	450 min 550 max	17 min	1-1/2e		



## PERFILES IMPORTADOS ANGULOS

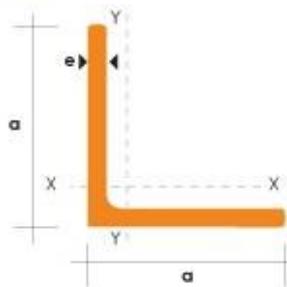
### Especificaciones Generales

<b>Calidad</b>	ASTM A36 SAE 1008
<b>Otras calidades</b>	Previa Consulta
<b>Largo normal</b>	6.00m
<b>Otros largos</b>	Previa Consulta
<b>Acabado</b>	Natural
<b>Otro acabado</b>	Previa Consulta



DENOMINACION	DIMENSIONES		PESO		AREA
	mm		kg/m	kg/6m	cm2
	a	e			
AL 20X2	20	2	0.60	3.62	0.76
AL 20X3	20	3	0.87	5.27	1.11
AL 25X2	25	2	0.75	4.56	0.96
AL 25X3	25	3	1.11	6.68	1.41
AL 25X4	25	4	1.45	8.75	1.84
AL 30X3	30	3	1.36	8.13	1.71
AL 30X4	30	4	1.77	10.63	2.24
AL 40X3	40	3	1.81	11.00	2.31
AL 40X4	40	4	2.39	14.34	3.04
AL 40X6	40	6	3.49	21.34	4.44
AL 50X3	50	3	2.29	13.85	2.91
AL 50X4	50	4	3.02	18.33	3.84
AL 50X6	50	6	4.43	26.58	5.64
AL 60X6	60	6	5.37	32.54	6.84
AL 60X8	60	8	7.09	42.54	9.03
AL 65X6	65	6	5.84	35.25	7.44
AL 70X6	70	6	6.32	38.28	8.05
AL 75X6	75	6	6.78	40.65	8.64
AL 75X8	75	8	8.92	54.18	11.36
AL 80X8	80	8	9.14	56.95	11.60
AL 100X6	100	6	9.14	56.95	11.64
AL 100X8	100	8	12.06	74.05	15.36
AL 100X10	100	10	15.04	90.21	19.15
AL 100X12	100	12	18.26	109.54	22.56

También en galvanizado e inoxidable





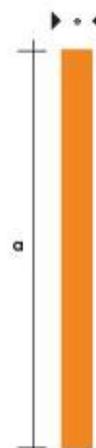
## PERFILES LAMINADOS PLATINAS

### Especificaciones Generales

<b>Calidad</b>	ASTM A36 SAE 1008
<b>Otras calidades</b>	Previa Consulta
<b>Largo normal</b>	6.00m
<b>Otros largos</b>	Previa Consulta
<b>Acabado</b>	Natural
<b>Otro acabado</b>	Previa Consulta



DENOMINACION	DIMENSIONES		PESO		AREA
	mm		kg/m	kg/6m	cm2
	a	e			
PLT 12X3	12	3	0.28	1.70	0.36
PLT 12X4	12	4	0.38	2.45	0.48
PLT 12X6	12	6	0.57	3.40	0.72
PLT 19X3	19	3	0.45	2.68	0.57
PLT 19X4	19	4	0.60	3.58	0.76
PLT 19X6	19	6	0.89	5.37	1.15
PLT 25X3	25	3	0.59	3.53	0.75
PLT 25X4	25	4	0.79	4.71	1.00
PLT 25X6	25	6	1.18	7.07	1.50
PLT 25X12	30	3	0.71	4.24	0.90
PLT 30X4	30	4	0.94	5.65	1.20
PLT 30X6	30	6	1.41	8.47	1.80
PLT 30X9	30	9	2.12	12.71	2.70
PLT 30X12	30	12	2.83	16.95	3.60
PLT 38X3	38	3	0.89	5.37	1.15
PLT 38X4	38	4	1.19	7.16	1.52
PLT 38X6	38	6	1.79	11.40	2.28
PLT 38X9	38	9	2.69	16.11	3.42
PLT 38X12	38	12	3.58	21.48	4.56
PLT 50X3	50	3	1.18	7.08	1.50
PLT 50X4	50	4	1.58	9.42	2.00
PLT 50X6	50	6	2.26	14.16	3.00
PLT 50X9	50	9	3.53	21.20	4.50
PLT 50X12	50	12	4.71	28.26	6.00
PLT 65X6	65	6	3.06	18.37	3.90
PLT 65X9	65	9	4.59	27.55	5.85
PLT 65X12	65	12	6.12	36.73	7.80
PLT 75X6	75	6	3.53	21.20	4.50
PLT 75X9	75	9	5.30	31.80	6.75
PLT 75X8	75	8	7.07	28.26	9.00
PLT 75X12	75	12	7.07	42.39	9.00
PLT 100X6	100	6	4.71	28.26	6.00
PLT 100X8	100	8	7.07	37.68	9.00
PLT 100X9	100	9	7.07	43.00	9.00
PLT 100X12	100	12	9.42	58.00	12.00
PLT 120X12	120	12	67.82	67.82	14.40
PLT 150X15	150	15	105.88	105.88	22.50
PLT 150X20	150	20	145.44	145.00	30.00





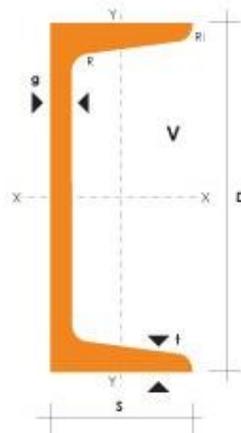
## PERFILES LAMINADOS UPN

### Especificaciones Generales

<b>Calidad</b>	ASTM A36
<b>Otras calidades</b>	Previa Consulta
<b>Largo normal</b>	6.00m y 12.00m
<b>Otros largos</b>	Previa Consulta
<b>Acabado</b>	Natural
<b>Otro acabado</b>	Previa Consulta



DENOMINACION	DIMENSIONES						SECCION	PESOS	TIPOS			
	h	s	g	t	R	R1			lx	ly	Wx	Wy
	mm	mm	mm	mm	mm	cm4	cm2	kg/mt	cm4	cm4	cm3	cm3
UPN 50	50	38	5.00	7.00	7.00	3.50	7.12	5.59	26.40	9.12	10.60	3.75
UPN 65	65	42	5.50	7.50	7.50	4.00	9.03	7.09	57.50	14.10	17.70	5.07
UPN 80	80	45	6.00	8.00	8.00	4.00	1.10	8.64	106.00	19.40	26.50	6.36
UPN 100	100	50	6.00	8.50	8.50	4.50	13.50	10.60	206.00	29.30	41.20	8.49
UPN 120	120	55	7.00	9.00	9.00	4.50	17.00	13.40	364.00	43.20	60.70	11.10
UPN 140	140	60	7.00	10.00	10.00	5.00	20.40	16.00	605.00	62.70	86.40	14.80
UPN 160	160	65	7.50	10.50	10.50	5.50	24.00	18.80	905.00	85.30	116.00	18.30
UPN 180	180	70	8.00	11.00	11.00	5.50	28.00	22.00	1350.00	114.00	150.00	22.40
UPN 200	200	75	8.50	11.50	11.50	6.00	32.20	25.30	1910.00	148.00	191.00	27.00
UPN 220	220	80	9.00	12.50	12.50	6.50	37.40	29.40	2690.00	197.00	245.00	33.60
UPN 240	240	85	9.50	13.00	13.00	6.50	42.30	33.20	3600.00	248.00	300.00	39.60
UPN 260	260	90	10.00	14.00	14.00	7.00	48.30	37.90	4820.00	317.00	371.00	47.70
UPN 300	300	100	10.00	16.00	16.00	8.00	58.80	46.20	8030.00	495.00	535.00	67.80





# Cables



## CONDUCTORES DE COBRE TIPO TW – 600 V . 60 °C

### DESCRIPCION

Los conductores tipo TW pueden ser sólidos o cableados y están contruidos con cobre de temple suave, están además aislados con una capa uniforme de material termoplástico Cloruro de Polivinilo (PVC) resistente a la humedad. Pueden ser suministrados en colores variados según su calibre y con distintas formas de embalaje.



### USOS Y APLICACIONES

Los conductores de cobre tipo TW son utilizados para circuitos de fuerza y alumbrado en edificaciones industriales, comerciales y residenciales, tal como se especifica en el National Electrical Code. Este tipo de conductor puede ser usado en lugares secos y húmedos, su temperatura máxima de operación es 60 °C y su tensión de servicio para todas las aplicaciones es 600 V.

### PRESENTACION

Colores disponibles:

Cables (calibres del 16 al 10 AWG): Negro, blanco, azul, rojo, amarillo, y verde

Cables (calibres 8 al 2 AWG): Negro, blanco, azul y rojo

Cables (calibres del 1 al 1000 MCM): Negro

Formas de embalaje:

A: Rollo de 100 m.

B: Carrete de 1500 m.

C: Carrete de 1000 m.

D: Carrete de 500 m.

E: Carrete múltiplo de 1000 m.

Z: Long. a requerimiento cliente.



# Cables



## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Todos los conductores fabricados por ELECTRO CABLES C.A. cumplen con holgura las especificaciones establecidas en las normas de fabricación existentes para cada tipo y que son las siguientes:

Aislante de Material Termoplástico, PVC 600 V – 60 °C

Calibre AWG ó MCM	Sección No. mm <sup>2</sup> por diámetro	FORMACION	ESPESOR AISLAMIENTO mm	DIAMETRO EXTERIOR mm	PESO TOTAL Kg/Km	Capacidad de corriente		TIPO CABLE	Altern. de embal.
		de Hilos por diámetro en mm.				Para 1 cond. al aire libre Amp.	Para 3 cond. en conduit Amp.		
20	0.52	1 x 0.813	0.76	2.33	9.81	6	7	TF	A,E
18	0.82	1 x 1,02	0.76	2.54	13.16	6	7	TF	A,E
16	1.31	1 x 1,29	0.76	2.81	18.10	10	8	TF	A,B
14	2.08	1 x 1,63	0.76	3.15	26.10	20	15	TW	A,B
12	3.31	1 x 2,05	0.76	3.57	38.30	25	20	TW	A,C
10	5.26	1 x 2,59	0.76	4.11	57.40	40	30	TW	A,D
8	8.34	1 x 3,26	1.14	5.54	95.20	60	40	TW	A,B
14	2.08	7 x 0,62	0.76	3.38	27.80	20	15	TW	A,B
12	3.31	7 x 0,78	0.76	3.86	40.10	25	20	TW	A,C
10	5.26	7 x 0,98	0.76	4.46	59.90	40	30	TW	A,D
8	8.37	7 x 1,23	1.14	5.97	105.20	60	40	TW	A,B,E
6	13.30	7 x 1,55	1.52	7.69	170.40	80	55	TW	A,E
4	21.15	7 x 1,96	1.52	8.92	255.50	105	70	TW	A,E
2	33.62	7 x 2,47	1.52	10.45	388.90	140	95	TW	A,E
1	42.36	7 x 2,78	2.03	12.40	482.90	165	110	TW	A,D,E
1/0	53.49	19 x 1,89	2.03	13.51	621.00	195	125	TW	D,E,Z
2/0	67.43	19 x 2,12	2.03	14.66	778.00	225	145	TW	D,E,Z
3/0	85.01	19 x 2,39	2.03	16.01	934.00	260	165	TW	D,E,Z
4/0	107.20	19 x 2,68	2.03	17.46	1159.00	300	195	TW	D,E,Z
250	127.00	37 x 2,09	2.41	19.45	1368.00	340	215	TW	Z
300	152.00	37 x 2,29	2.41	20.85	1623.00	375	240	TW	Z
350	177.00	37 x 2,47	2.41	22.11	1876.00	420	260	TW	Z
400	203.00	37 x 2,64	2.41	23.30	2128.00	455	280	TW	Z
500	253.00	37 x 2,95	2.41	25.47	2631.00	515	320	TW	Z
600	304.00	37 x 3,23	2.79	28.19	3174.00	575	355	TW	Z
650	329.00	37 x 3,37	2.79	29.17	3345.00	600	370	TW	Z
700	355.00	37 x 3,49	2.79	30.01	3609.00	630	385	TW	Z

Conductor elaborado bajo normas:  
NEMA WC -5, ICEA S -61-402, ASTM B3, B8, UL STANDARD 62, 83, INEN

## CONDUCTORES MULTIPLEX DE ALUMINIO A.C.S.R. 600 V . 75°C

### DESCRIPCION

Los cables tipo MULTIPLEX A.C.S.R. están contruidos por varios conductores (1, 2 o 3 aislados y 1 desnudo A.C.S.R.) trenzados entre sí; los conductores propiamente dichos están contruidos con hilos aleación de aluminio 1350 cableados concéntricamente tanto el (los) aislado (s) como el neutro mensajero desnudo; los aislados están cubiertos con una capa uniforme de material termoplástico Polietileno negro (PE Carbón Black) resistente a la-humedad, calor e intemperie (sol, viento, etc.); posteriormente los conductores son trenzados entre sí de acuerdo a su tipo: Duplex (un conductor aislado y un desnudo), Triplex (dos conductores aislados y un desnudo) o Cuádruples (tres conductores aislados y un desnudo).

Se suministran en color negro (con protección U.V.) o en otros colores (a solicitud de los clientes). Su forma de embalaje son carretes en longitudes de acuerdo a las necesidades del cliente.



### USOS Y APLICACIONES

Los conductores de aluminio tipo MULTIPLEX A.C.S.R. son utilizados para acometidas eléctricas soportadas por un neutro mensajero desnudo desde la red pública secundaria que pasa por el sector hasta el medidor o tablero de medidores en circuitos de alumbrado público, como red secundaria tipo cerrada, para evitar pérdidas "negras", etc.

Este tipo de conductor puede ser usado en lugares secos y húmedos, su temperatura máxima de operación es 75 °C y la tensión de servicio es de 300 V. para fase-neutro y de 600 V. Para fase -fase.

### PRESENTACION

Colores disponibles:  
Para todos los calibres: Negro

Formas de embalaje:  
A: Rollo de 100 m.  
Z: Longitud a requerimiento del cliente



# Cables



## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Todos los conductores fabricados por ELECTRO CABLES C.A. cumplen con holgura las especificaciones establecidas en las normas de fabricación existentes para cada tipo y que son las siguientes:

Conductor de Aluminio 1350 -H19

Aislante de Material Termoplástico, PE 600 V. – 75 °C

Conductor de Aluminio A.A.C. para Neutro

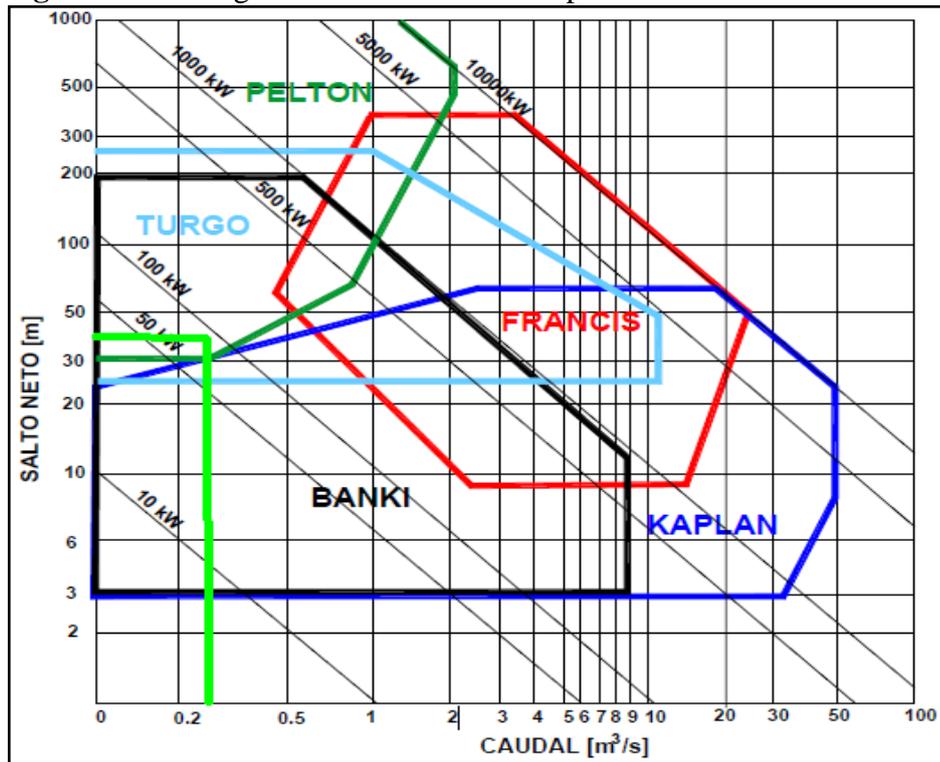
Calibre AWG ó MCM	Sección mm <sup>2</sup>	FORMACION		ESPELOR AISLAMIENTO mm	DIAMETRO EXTERIOR mm	PESO TOTAL Kg/Km	Cap. de Corr.	TIPO CABLE	Altern. de embal.
		No. de Hilos por diámetro en mm	Para un cable al aire libre Amp						
2 x 6	13.31	7 x 1,55	1.14	11.58	102.20	70	Duplex	A,Z	
2 x 4	21.15	7 x 1,96	1.14	14.04	152.70	90	Duplex	A,Z	
2 x 2	33.62	7 x 2,47	1.14	17.10	236.20	125	Duplex	A,Z	
2 x 1/0	53.49	7 x 3,12	1.52	21.76	378.90	170	Duplex	A,Z	
2 x 2/0	67.43	7 x 3,50	1.52	24.04	481.20	200	Duplex	A,Z	
3 x 6	13.31	7 x 1,55	1.14	12.67	167.30	60	Triplex	A,Z	
3 x 4	21.15	7 x 1,96	1.14	15.29	249.60	80	Triplex	A,Z	
2x2 + 1x4	33.62	7x2,47+7x1,96	1.14	17.90	345.10	110	Triplex	A,Z	
3 x 2	33.62	7 x 2,47	1.14	18.60	379.60	110	Triplex	A,Z	
2x1/0 + 1x2	53.49	7x3,12+7x2,47	1.52	23.10	555.60	150	Triplex	A,Z	
3 x 1/0	53.49	7 x 3,12	1.52	23.80	610.30	150	Triplex	A,Z	
2x2/0 + 1x1/0	67.43	7x3,50+7x3,12	1.52	25.90	739.30	175	Triplex	A,Z	
3 x 2/0	67.43	7 x 3,50	1.52	26.70	777.80	175	Triplex	A,Z	
4 x 6	13.31	7 x 1,55	1.14	14.56	232.40	55	Cuadruplex	A,Z	
4 x 4	21.15	7 x 1,96	1.14	17.32	345.30	75	Cuadruplex	A,Z	
3x2 + 1x4	33.62	7x2,47+7x1,96	1.14	20.40	488.60	105	Cuadruplex	A,Z	
4 x 2	33.62	7 x 2,47	1.14	21.10	523.10	105	Cuadruplex	A,Z	
3x1/0 + 1x2	53.49	7x3,12+7x2,47	1.52	26.30	786.90	140	Cuadruplex	A,Z	
4 x 1/0	53.49	7 x 3,12	1.52	27.12	841.60	140	Cuadruplex	A,Z	
3x2/0 + 1x1/0	67.43	7x3,50+7x3,12	1.52	29.20	1036.10	165	Cuadruplex	A,Z	
4 x 2/0	67.43	7 x 3,50	1.52	30.14	1074.60	165	Cuadruplex	A,Z	

Conductor elaborado bajo normas:

NEMA WC -5, ASTM B231, ICEA S -61-402, INEN

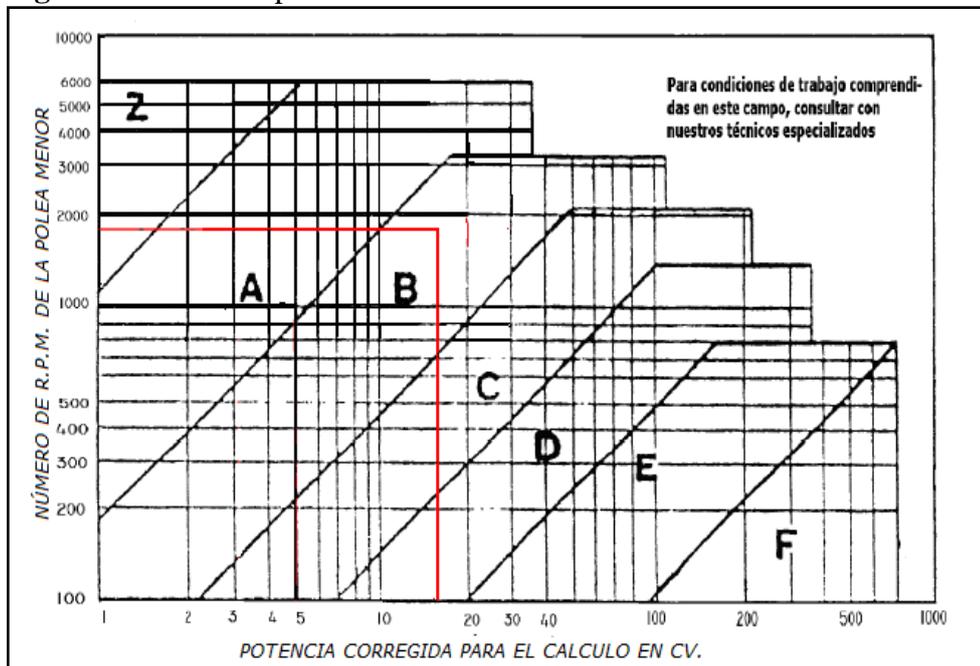
ANEJO VI  
FIGURAS Y TABLAS  
VARIAS

**Figura VI-1:** Diagrama de salto vs. caudal para seleccionar la turbina.



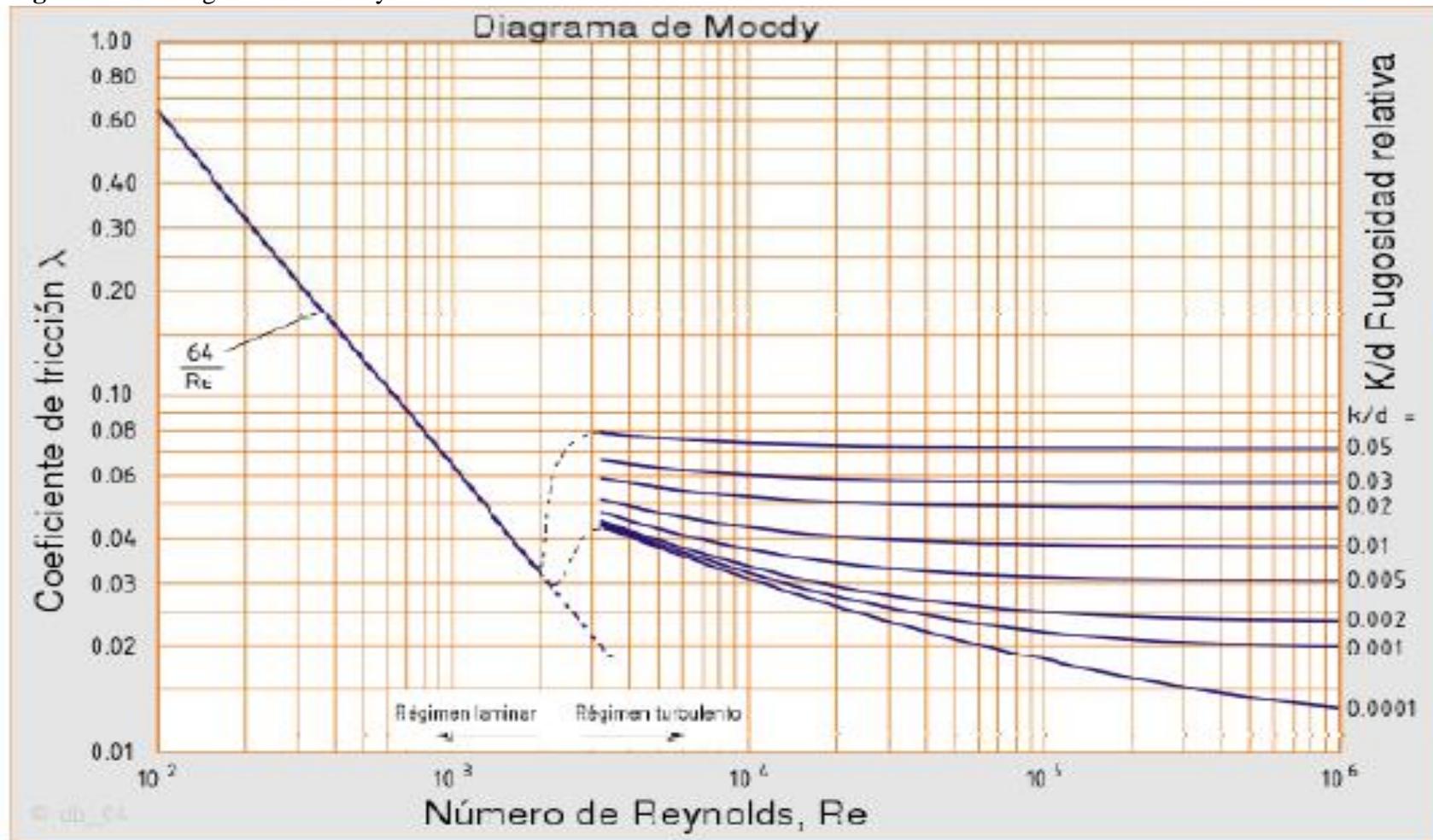
**Fuente:** OLADE. Manual de Evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de micro centrales hidroeléctricas Pág. 165

**Figura VI-2:** Curva para la elección de la sección de la correa.



**Fuente:** <http://www.uclm.es/profesorado/porrasysoriano/elementos/Tema05.pdf>

Figura VI-3: Diagrama de Moody.



Fuente: FERNÁNDEZ DÍAZ, Pedro. *Mecánica de fluidos*.

**Tabla VI-1:** Velocidades de sedimentación de partículas.

<b>D (mm)</b>	<b>Vs (m/s)</b>
5	0.178
0.10	0.692
0.15	1560
0.20	2160
0.25	2700
0.30	3240
0.35	3.78
0.40	4.32
0.54	4.86
0.50	5.40
0.55	5.94
0.60	6.48
0.70	7.32
0.80	8.07
1.00	9.44
2.00	15.39
3.00	19.25
5.00	24.90

**Fuente:** Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, Ramiro Ortiz, Cap 13, Pág. 181.

**Tabla VI-2:** Coeficientes de rugosidad “n”

<b>Material del Canal</b>	<b>Rugosidad “n”</b>
Canal de Tierra	0.040
Canal de Rocas	0.040
Canal con Mampostería	0.030
Canal con Concreto	0.020
Canales de Madera	0.015
Canales de Metal	0.020

**Fuente:** OLADE. Manual de Evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de micro centrales hidroeléctricas. Pág. 64.

**Tabla VI-3:** Características de los generadores.

Tipo de Generador	Tipo de generación	Rango de potencia	Tipo de Regulación	Comentario
Alternador	C.C. (Carga de Baterías)	100W – KW	Mediante un controlador específico para sistemas de cargas de baterías.	Se refiere al alternador tomóvil que se emplea como or para cargas de baterías.
Sincrónico	C.A. - 1Ø	5 – 10 KW	Mediante controlador eléctrico de carga (ELC)	
	C.A. - 3 Ø	10 – 100KW		
Motor de inducción como Generador	C.A. - 1Ø	1 – 10 KW	Con ELC. Pero más recomendable usar controlador para generador de inducción (IGC)	Se refiere a la maquina asíncrona que tiene la finalidad de ser usada como motor pero que se emplea como generador.
Asíncrono	C.A. - 1Ø	5 – 10 KW	Con ELC. Pero más recomendable usar controlador para generador de inducción (IGC)	Se refiere a la maquina asíncrona que tiene la finalidad de ser usada específicamente como generador.
	C.A. - 3 Ø	10 – 100KW		

**Fuente:** ITDG. “Manual de Mini y micro centrales hidráulicas, pág. 87”

**Tabla VI-4:** Valores de  $d_2$ (diámetro primitivo de la polea menor), de acuerdo con la sección de la correa o banda.

SECCION A	SECCION B	SECCION B	SECCION D
ALGUNOS DIAMETROS DE POLEA NORMALIZADOS			
Varia en aumentos de 0.2 pulg (0.50 cm) desde 2.6 pulg (6.6 cm) hasta 5.2 pulg (13.20 cm), luego en aumento de 0.4 pulg (1.01 cm) hasta 6.4 pulg (16.25 cm) luego los diámetros de: 7; 8.2; 9; 10.5; 12; 15; 18 pulg ( o sea, respectivamente, 17.78; 20.82; 22.86; 26.92; 30.48; 38.10, 54.72 cm.	Varia en aumentos de 0.2 pulg (0.50 cm) desde 4.6 pulg (11.68 cm) luego los diámetros de: 5; 5.2; 5.4; 5.6; 6; 6.4; 6.8; 7.4; 8.6; 9.4; 11; 12.4; 15.4; 18.4; 20; 25; 30; 38 pulg ( o sea, respectivamente, 12.70; 13..20; 13.71; 14.22; 15.24; 16.25; 17.27; 18.79; 21.84; 23.87; 27.94; 31.50; 39.12; 46.74; 50.80; 63.50; 76.20; 96.52 cm.	Varia en aumentos de 0.5 pulg (1.27 cm) desde 7 pulg (17.78 cm) hasta 11 pulg (27.94 cm), luego en aumento de 1 pulg (2.54 cm) hasta 14 pulg (35.56 cm) ; 2 pulg (5.08) hasta 20 pulg (50.8 cm), luego los diámetros de: 24; 30; 36; 44; 50 pulg (o sea, respectivamente, 60; 96; 76.20; 91.44; 111.76; 127 cm)	Varia en aumentos de 0.5 pulg (1.27 cm) desde 13 pulg (33.02 cm) hasta 16 pulg (40.64 cm), luego los diámetros de: 18; 22; 27; 33; 40; 48; 58 pulg (o sea, respectivamente, 45; 72; 55.88; 68.58; 83.82; 101.60; 121.92; 147.32 cm)

**Fuente:** ITDG (1995). Manual de Mini y Micro Centrales Hidráulicas.

**Tabla VI-5:** Valores de Longitudes Normalizadas de correas trapezoidales y constantes de potencia.

<b>SECCION A</b>	<b>SECCION B</b>	<b>SECCION B</b>	<b>SECCION D</b>
D min= 3 pulg. (7.62 cm)	D min= 3 pulg. (7.62 cm)	D min= 3 pulg. (7.62 cm)	D min= 3 pulg. (7.62 cm)
Correa longitud Núm. Primitiva pulg.(cm)	Correa longitud Núm. Primitiva pulg.(cm)	Correa longitud Núm. Primitiva pulg.(cm)	Correa longitud Núm. Primitiva pulg.(cm)
A26 27.3 (69.3) A31 32.3 (82.0) A35 36.3 (92.2) A38 39.3 (99.8)	B35 36.8 (93.4) B38 39.8 (101.1) B42 43.8 (111.2) B46 47.8 (121.0)	C51 53.9 (136.9) C60 62.9 (159) C68 70.9 (180) C75 77.9 (197.8)	D120 123.3 (313.1) D128 131.3 (335.5) D144 147.3 (374.1) D158 161.3 (409.7)
A42 43.3 (109.9) A46 47.3 (120.1) A51 52.3 (132.8) A55 56.3 (143.0)	B51 52.8 (134.1) B55 56.8 (144.2) B60 61.8 (156.9) B68 69.8 (177.2)	C81 83.9 (213.1) C85 87.9 (223.2) C90 92.9 (235.9) C96 98.9 (251.2)	D173 176.3 (447.8) D180 183.3 (465.5) D195 198.3 (503.6) D210 213.3 (541.7)
A60 61.3 (155.7) A68 69.3 (176.0) A75 76.3 (193.0) A80 81.3 (206.5)	B75 76.8 (195.0) B81 82.8 (210.3) B85 86.8 (220.4) B90 91.8 (233.1)	C105 107.9 (279.0) C112 144.9 (291) C120 122.9 (312.1) C128 130.9 (332.4)	D240 240.8 (611.6) D270 270.8 (687.8) D300 300.8 (764.0) D330 330.8 (840.2)
A85 86.3 (219.2) A90 91.3 (231.9) A96 97.3 (247.1) A105 106.3 (270.0)	<b>B97 98.8 (250.9)</b> B105 106.8 (271.2) B112 113.8 (289.0) B120 121.8 (308.3)	C144 146.9 (373.1) C158 160.9 (408.6) C173 175.9 (446.7) C180 182.9 (464.5)	D360 360.8 (916.4) D390 390.8 (992.6) D420 420.8 (1068.8) D480 480.8 (1221.2)
A112 113.3 (287.7) A120 121.3 (308.1) A128 129.3 (328.4)	B128 129.8 (329.6) B144 145.8 (370.3) B158 159.8 (405.8) B173 174.8 (444.0)	C195 197.9 (502.6) C210 212.9 (540.7) C240 240.9 (611.8) C270 270.9 (688.0)	D540 540.8 (1373.6) D600 600.8 (1526.0) D660 660.8 (1672.4)
Contantes para potencia nominal: a = 2.684 c = 5.326 e = 0.0136	B180 181.8 (461.7) B195 196.8 (499.8) B210 211.8 (537.9) B240 240.3 (610.3)  B270 270.3 (688.0) B300 300.3 (762.7)  Contantes para potencia nominal: a = 4.737 c = 13.962 e = 0.0234	C300 300.9 (764.2) C330 330.9 (840.4) C360 360.9 (916.6) C390 390.9 (992.8)  C420.9 (1069.0)  Contantes para potencia nominal: a = 8.792 c = 38.819 e = 0.0416	Contantes para potencia nominal: a = 18.788 c = 137.7 e = 0.0848

**Fuente:** ITDG (2001). Manual PICO HYDRO FOR POWER.

**Tabla VI-6:** Valores de Coeficiente de diámetro pequeño  $K_d$ .

$\frac{D_1}{d_2}$	$K_d$
1.000 ---- 1.019	1.00
1.020 ---- 1.032	1.01
1.033 ---- 1.055	1.02
1.056 ---- 1.081	1.03
1.082 ---- 1.109	1.04
1.100 ---- 1.142	1.05
1.143 ---- 1.178	1.06
1.179 ---- 1.222	1.07
1.223 ---- 1.274	1.08
1.275 ---- 1.340	1.09
1.341 ---- 1.429	1.10
1.430 ---- 1.562	1.11
1.563 ---- 1.814	1.12
1.815 ---- 2.948	1.13
2.249 y más.	1.14

Fuente: ITDG (2001). Manual PICO HYDRO FOR POWER.

**Tabla VI-7:** Valores de Coeficiente de arco de contacto  $K_\theta$

$\frac{D_1 - D_2}{C}$	$K_\theta$	
	<b>vv</b>	<b>v – plana.</b>
0.00	1.00	0.75
0.10	0.99	0.76
0.20	0.97	0.78
0.30	0.96	0.79
0.40	0.94	0.80
0.50	0.93	0.81
0.60	0.91	0.83
0.70	0.89	0.84
0.80	0.87	0.85
0.90	0.85	0.85
1.00	0.82	0.82
1.10	0.80	0.80
1.20	0.77	0.77
1.30	0.73	0.73
1.40	0.70	0.70
1.50	0.65	0.65

Fuente: ITDG (2001). Manual PICO HYDRO FOR POWER.

**Tabla VI-8: Factores de corrección de longitudes  $K_L$**

Designación de la longitud normalizada		Sección transversal de la correa				
Cm	plg.	A	B	C	D	E
66	26	0,81	....	....	----	----
78,7	31	0,84	....	....	----	----
88,9	35	0,87	0,81	....	----	----
96,5	38	0,87	0,83	....	----	----
106,6	42	0,90	0,85	....	----	----
116,8	46	0,92	0,87		----	----
129,5	51	0,94	0,89	0,80	----	----
139,7	55	0,96	0,90	....	----	----
152,4	60	0,98	0,92	0,82	----	----
172,7	68	1,00	0,95	0,85	----	----
190,5	75	1,02	0,97	0,87	----	----
203,2	80	1,04	....	....	----	----
205,7	81	....	0,98	0,89	----	----
215,9	85	1,05	0,99	0,90	----	----
228,6	90	1,06	1,00	0,91	----	----
243,8	96	1,08		0,92	----	----
246,3	97	....	1,02	....	----	----
266,7	105	1,10	1,04	0,94	----	----
284,5	112	1,11	1,05	0,95	----	----
304,8	120	1,13	1,07	0,97	0,86	----
325,1	128	1,14	1,08	0,98	0,87	----
385,8	144	....	1,11		0,90	----
401,3	158	....	1,13	1,02	0,92	----
439,4	173	....	1,15	1,04	....	----
457,2	180	....	1,16	1,05	0,94	0,91
495,3	195	....	1,18	1,07	0,96	0,92
533,4	210	....	1,19	1,08	0,96	0,94
609,6	240	....	1,22	1,11	1,00	0,96
685,8	270	....	1,25	1,14	1,03	0,90
762	300	....	1,27	1,16	1,05	1,01
838,2	330	....	....	1,19	1,07	1,03
914,4	360	....	....	1,21	1,09	1,05
990,6	390	....	....	1,23	1,11	1,07
1066,8	420	....	....	1,24	1,12	1,09
1219,2	480	....	....	....	1,16	1,12
1371,6	540	....	....	....	1,18	1,14
1521	600	....	....	....	1,20	1,17
1676,4	660	....	....	....	1,23	1,19

Fuente: ITDG (2001). Manual PICO HYDRO FOR POWER.

ANEXO VII  
COTIZACIONES  
Y COSTOS  
DE EQUIPO

## Cotizaciones para fundición de turbina tipo Pelton.



**FUNDINOR CIA LTDA.**

NE 001138

Santa Domingo, 07 de octubre del 2011

ATENCIÓN: **William Llango / Edison Gallegos**

Teléfono: **092791680**

Por medio de la presente tenemos el agrado de cotizar las siguientes piezas.

Ítem:	Cant:	DETALLE	P.UNIT: \$	TOTAL: \$
1	20	Fabricación de cucharillas para turbina en ACERO AISI 420 según geometría lista para su uso.	\$ 46,80	\$ 936,00
VALORES NO INCLUYEN IVA			SUB TOTAL	\$ 936,00

OFERTA VALIDA 8 DIAS LABORABLES  
 TIEMPO ESTIMADO DE ENTREGA: 15 DIAS LABORABLES  
 FORMA DE PAGO: 50% CONFIRMACION - 50% CONTRA ENTREGA

CTA CORRIENTE BANCO DE GUAYAQUIL 6324142  
 FUNDINOR CIA LTDA

Ing. David Naraña  
 SUB-GERENTE  
 091448819-099520124

**Grupo Tirado**      **ORDEN DE TRABAJO 0000550**  
 FUNDICION

Dirección: Panamericana Norte Km. 4 ½      Ambato, 26 de Octubre del 2011  
 Telf.: 032 854793  
 AMBATO - ECUADOR

Cliente: William Llango      Dirección: Latacunga 092791680  
 Solicitando el siguiente trabajo: Const. de 1 turbina en HF de 70 φ con 21 paletas sgn. plano  
 Contratado por el precio de \$: 600,00 (+ IVA) + Balancoo (80,00)

FORMA DE PAGO:      CONTADO       CREDITO

Efectivo: \_\_\_\_\_ \$ \_\_\_\_\_

Ch. \_\_\_\_\_ Bco. \_\_\_\_\_ Lug. \_\_\_\_\_ \$ \_\_\_\_\_  
 Ch. \_\_\_\_\_ Bco. \_\_\_\_\_ Lug. \_\_\_\_\_ \$ \_\_\_\_\_

Total de valores recibidos \_\_\_\_\_  
 Saldo en caso de abono \$ \_\_\_\_\_

Observaciones: William Llango

APROBADO POR: [Firma]      ELABORADO POR: Gisela To      CONTABILIZADO

CLIENTE CONFORME

## Cotizaciones para construcción de carcasa de turbina hidráulica

Viernes, 07 de Octubre de 2011

Atención a: **William Llango / Edison Gallegos**

Se me es grato ofertar la construcción de la carcasa para estructura del generador detallando a continuación.

CANTIDAD	MATERIALES
2	Planchas 3/16
2	Chumaceras
1	Perfil u
1	Eje 705 diámetro 40mm
1	Angulo de 1.1/2 X 3/16
2	Ángulos de 2X1/4
2	Válvulas de 2 pulgadas
2	check
1	Funda de electrodo
1	Galón de anticorrosivo
1	Galón de esmalte
2	Galones de <del>tyber</del>
20	Pernos completos

Costo total de la construcción es de \$1250,00 Dólares.

Atentamente:  
 Manuel Parreño