

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**



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

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**TESIS DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**

**TEMA:**

---

---

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PICO  
GENERADORA HIDROELÉCTRICA APROVECHANDO EL RECURSO  
HÍDRICO EXISTENTE EN EL SECTOR ALUBILLO PERTENECIENTE  
AL CANTÓN CALUMA DE LA PROVINCIA DE BOLÍVAR.**

---

---

**AUTORES:**

**LUIS IVÁN CAISACHANA VEGA.**

**WASHINGTON GEOVANNY MOLINA ZAPATA**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**ING. MSc. EFRÉN BARBOSA**

**LATACUNGA - ECUADOR**

**2012**

## AUTORÍA

El presente trabajo de grado, es original y basado en el proceso de investigación tecnológica establecido por la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores.

El patrimonio intelectual le pertenece a la Universidad Técnica de Cotopaxi.

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized 'L' and 'V' followed by 'Caisachana Vega'. The signature is written over a horizontal line.

f) Luis Iván Caisachana Vega

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized 'W' and 'M' followed by 'Washington Geovanny Molina Zapata'. The signature is written over a horizontal line.

f) Washington Geovanny Molina Zapata

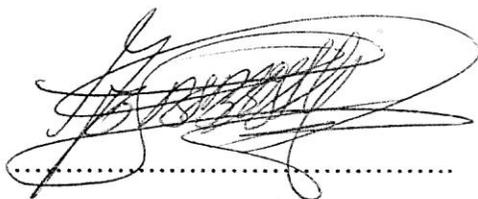
## AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS

En calidad de Director del Trabajo de Investigación sobre el tema:

**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PICO GENERADORA HIDROELÉCTRICA APROVECHANDO EL RECURSO HÍDRICO EXISTENTE EN EL SECTOR ALUBILLO PERTENECIENTE AL CANTÓN CALUMA DE LA PROVINCIA DE BOLÍVAR.”**, de Caisachana Vega Luis Iván y Molina Zapata Washington Geovanny postulantes de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Tesis que el Honorable Consejo Académico de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Noviembre 2012

El Director

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'José Efrén Barbosa', is written over a horizontal dotted line. The signature is stylized and somewhat illegible due to the cursive nature of the handwriting.

Ing. MSc. José Efrén Barbosa

Caluma a, 10 de Septiembre del 2012

YO, Sr. Vicente Coello, portador de la cedula de ciudadanía N° 060192524-1, en calidad de Beneficiario del Proyecto de Grado cuyo tema es: **DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PICOGENERADORA HIDROELÉCTRICA EN EL SECTOR ALUBILLO, PERTENECIENTE AL CANTÓN CALUMA PROVINCIA DE BOLÍVAR**, previo a la obtención del título de Ingenieros en la especialidad de Electromecánica, a petición verbal de los interesados Tlgo. Avc. Luis Iván Caisachana Vega y Sr. Washington Geovanny Molina Zapata, tengo a bien:

## CERTIFICAR

Que recibo en perfectas condiciones tanto de construcción como de funcionamiento mencionada Picogeneradora y a la vez me permito hacer extensivo mí más sincero agradecimiento a todas las Autoridades de la Universidad Técnica de Cotopaxi, por el significativo aporte que brinda a sectores como este para potencializar su capacidad de crecimiento y de desarrollo socioeconómico.

Agradezco a tan noble Institución de Educación Superior en nombre de todos los moradores del sector Alubillo, y a la vez me sumo a esta noble causa pues existen en el cantón Caluma un sinnúmero de sectores que al igual que este se encuentran descuidados por las Autoridades y por tal razón limitada su capacidad de desarrollo.

Es todo cuanto puedo decir en honor a la verdad y faculto a los interesados para hacer uso de la presente certificación como estimen conveniente.

Atentamente;



Sr. Vicente Coello

**BENEFICIARIO DEL PROYECTO**

iv

iv

## **AGRADECIMIENTO**

Al finalizar el presente trabajo de tesis agradezco en primer lugar a Dios todopoderoso pues sin su infinita misericordia hubiese sido imposible la realización del mismo, también quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis Padres Hilda y Ernesto, por todo el apoyo brindado durante mi preparación académica, gracias por ayudarme a extender mis conocimientos y por permitirme realizar mi más grande sueño.

Agradezco también a mi esposa Paola y a mis queridos hijos Aarom y Odalys, por toda la paciencia, amor y apoyo demostrado.

Un agradecimiento muy sincero a mi querida Universidad Técnica de Cotopaxi y con ella a mis estimados Docentes, de manera especial al Ing. MSc. Efrén Barbosa, por toda la paciencia demostrada al impartirme sus sabios conocimientos.

**Iván**

## **AGRADECIMIENTO**

Un agradecimiento muy especial a Dios, por haberme regalado la oportunidad de vivir, a mis padres Celio y María por el amor, comprensión y apoyo constante ya sea moral y económico ya que sin ello no hubiera podido realizarse este logro tan importante en mi vida, también un eterno agradecimiento al MSc. Ing. Efrén Barbosa por las enseñanzas dejadas en el transcurso de la elaboración de nuestra tesis en calidad de Director de tesis y como un gran amigo.

Como no agradecer a la Universidad Técnica de Cotopaxi por permitirme formar parte de esta noble Institución y capacitarme profesionalmente fortaleciendo mis conocimientos encaminados a la vinculación con la sociedad.

**Washington Geovanny Molina Zapata**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de tesis lo dedico con todo mi corazón a la Sra. Luz María Transito Caisachana, por todo lo enseñado por tanto, amor, paciencia y perseverancia, gracias por sus dulces palabras de apoyo y por la confianza demostrada.

Sé bien que no te fuiste que sigues presente en mis logros, en mis triunfos y en mis sueños.

Sé que cuando necesite de tu dulce sonrisa, de tus sabios consejos, y de tus cálidos abrazos, levantaré mi mirada al cielo y me conformare con ver la incomprensible inmensidad y paz del infinito hasta el día en que nos podamos reunir querida Abuelita.

**Iván**

## **DEDICATORIA**

*Primordialmente a Dios, a mis padres y toda mi familia por su constante apoyo, ya que ellos fueron mi aliento e inspiración para Continuar y culminar esta fase tan importante en mi vida, y de manera muy especial dedico este logro a la persona más importante de mi vida, ya que sin estar ella esto no sería una realidad, al amor de mi vida,  
Lorena Cuaspud*

**Geovanny Molina Zapata**

**TEMA: “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PICOGENERADORA HIDROELÉCTRICA APROVECHANDO EL RECURSO HÍDRICO EXISTENTE EN EL SECTOR ALUBILLO, CANTÓN CALUMA, PROVINCIA DE BOLÍVAR”.**

**Autores:**

Caisachana Vega Luis Iván

Molina Zapata Washington Geovanny

**RESUMEN**

El ser humano tiene como uno de los propósitos fundamentales de su existencia el servicio a sus semejantes, en tal virtud la Universidad Técnica de Cotopaxi consiente de la grave problemática que conlleva la falta de servicios básicos en los sectores más vulnerables de nuestro país, en tal virtud se propuso la incorporación de energías limpias y renovables, ocasionando un mínimo impacto ambiental y a un precio relativamente bajo.

Inicialmente se realizó un análisis de factibilidad observando la altura neta y el caudal existente en el sector lo cual determino que la turbina ideal para mencionado proyecto es la turbina de tipo Michell-Banki. Con estos antecedentes se plantea la potencia a generar, se evalúa las distintas alternativas de disposición de los elementos a ser utilizados tales como: Tanque de presión, tubería de conducción y casa de máquinas, en función de la topografía del terreno. Seleccionando la disposición que satisface las necesidades de partida, se elabora los planos de la obra civil, así como también los diámetros de la tubería de conducción a ser utilizada, eligiendo el tipo de impeler para las condiciones del proyecto dimensionando las medidas y formas de su inyector, utilizando el método de transmisión correcto hacia el generador, además se dimensiona las protecciones mecánicas y eléctricas, para concluir con las pruebas de voltajes y corrientes de consumo de la carga, confirmando los datos de diseño.

## **PRESENTACIÓN DEL PROYECTO**

El Ecuador tiene una gran cantidad de recursos energéticos, lamentablemente muy pocos han sido aprovechados eficientemente, todo ello pese a la carencia de energía eléctrica existente en determinados sectores del Ecuador.

El presente proyecto plantea como propósito fundamental proporcionar una solución eficaz y eficiente al actual problema energético que afrontan ciertos sectores del Ecuador, mediante el diseño, construcción e implementación de una pico generadora hidroeléctrica, lo cual no solo dará solución al problema de déficit energético, sino que además favorecerá a la preservación del medio ambiente, pues se trata de una fuente energética muy poco contaminante.

Un claro ejemplo de ello es el sector de Alubillo perteneciente al Cantón Caluma de la Provincia de Bolívar, lugar que pese a su privilegiada ubicación geográfica y a su extensa biodiversidad encuentra limitado su desarrollo, esto debido a la falta de servicios básicos, en tal virtud se realizó el estudio de implementación para el presente proyecto, el cual demostró ser factible.

El presente estudio ha sido elaborado con el propósito de establecer capacidad de generación, características de la obra civil, componentes electromecánicos, costos, y tiempo, mismos que son indispensables para la implantación de un sistema de generación hidroeléctrica para dicho sector. Cabe indicar que se han seguido todos los procedimientos técnicos establecidos por la OLADE (Organización Latinoamericana de energía), con la finalidad de establecer los parámetros básicos de diseño, así como para determinar los principales componentes del sistema hidráulico y el análisis económico respectivo.

**TOPIC: “DESIGN, CONSTRUCTION AND IMPLEMENTATION OF A HYDROELECTRIC POWER WINDY TURBINE GENERATOR TAKING ADVANTAGE OF THE WATER RESOURCE EXISTENTING IN ALUBILLO, CANTON CALUMA, BOLIVAR PROVINCE.”**

**Authors:**

Caisachana Vega Luis Iván

Molina Zapata Washington Geovanny

**ABSTRACT**

The human being has like one of their fundamental purposes of his existences the into their service, as well as the Cotopaxi Technical University in consequences the serious problems those carry out the lack of basic services in the most vulnerable Sector of our country, as consequences is proposed incorporating clean and renobable energy, causing minimal environmental impact and a relatively low price.

Firstly the investigators conducted a feasibility study looking at the real height and inflow in the sector which determined that the windy turbine generator ideal for the mentioned project is Michell-Banki one. With these indicatives the investigators propose to generate power, evaluate the different alternatives of willingness from the elements to be used such as: Pressure's slammer, conduction pipe and a main argot, on function of the topographical land. Selecting the disposition that satisfies the departure necessities, is elaborated the planes of the civil work, as well as the diameters of the conduction pipe to be used, choosing the type of impeler for a project conditions dimensioning the size and shape of its injector, applying the correct transmission method to the generator, also is dimensioned mechanical and electrical protections, to conclude with the test voltage and current consumption of the load, confirming the design data.

## NDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1.</b> Impacto del fluido (agua) en el rodete	6
<b>Figura 1.2.</b> Salto de agua	6
<b>Figura 1.3.</b> Esquema básico de un hidrosistema	8
<b>Figura 1.4.</b> Casa de los beneficiarios del proyecto	10
<b>Figura 1.5.</b> Beneficiario del proyecto	11
<b>Figura 1.6.</b> Esquema básico de la bocatoma	17
<b>Figura 1.7.</b> Ubicación de la bocatoma	18
<b>Figura 1.8.</b> Esquema básico del barraje	20
<b>Figura 1.9.</b> Esquema básico de la solera de captación	21
<b>Figura 1.10.</b> Esquema básico de la antecámara	21
<b>Figura 1.11.</b> Rejilla de admisión	22
<b>Figura 1.12.</b> Compuerta de ingreso	22
<b>Figura 1.13.</b> Esquema básico del aliviadero	23
<b>Figura 1.14.</b> Área de recepción de partículas sedimentadas	24
<b>Figura 1.15.</b> Esquema básico de un desarenador	24
<b>Figura 1.16.</b> Esquema básico de la casa de máquinas	27
<b>Figura 1.17.</b> Esquema de la turbina Pelton	29
<b>Figura 1.18.</b> Esquema de la turbina Francis	29
<b>Figura 1.19.</b> Esquema de la turbina Michell-Banki	30
<b>Figura 1.20.</b> Principio de funcionamiento de la turbina Michell-Banki	33
<b>Figura 1.21.</b> Partes de la turbina Michell-Banki	34
<b>Figura 1.22.</b> Pieza de transición	35
<b>Figura 1.23.</b> Funcionamiento del inyector de la turbina tipo Michell-Banki	36
<b>Figura 1.24.</b> Mecanismo regulador de caudal	37
<b>Figura 1.25.</b> Rodete de la turbina tipo Michell-Banki	37
<b>Figura 1.26.</b> Eje de la turbina tipo Michell-Banki	38
<b>Figura 1.27.</b> Rodamiento rígido de una hilera de bolas	39
<b>Figura 1.28.</b> Carcasa de la turbina tipo Michell-Banki	39

<b>Figura 1.29.</b> Canal de descarga turbina tipo Michell-Banki	40
<b>Figura 2.1.</b> Diagrama de Moody	52
<b>Figura 2.2.</b> Coeficiente de pérdida de energía en la entrada de tuberías	56
<b>Figura 2.3.</b> Pérdidas de energía en una contracción brusca	57
<b>Figura 2.4.</b> Pérdidas que se producen en la rejilla	58
<b>Figura 2.5.</b> Selección de turbina por potencia generada	61
<b>Figura 3.1.</b> Zona de captación de la bocatoma	82
<b>Figura 3.2.</b> Gaviones de la bocatoma	83
<b>Figura 3.3.</b> Canal de conducción del agua	83
<b>Figura 3.4.</b> Canal de ingreso de agua al desarenador	84
<b>Figura 3.5.</b> Entrada de agua al desarenador	84
<b>Figura 3.6</b> Volumen del tanque de presión	85
<b>Figura 3.7.</b> Desarenador	86
<b>Figura 3.8.</b> Compuerta del desarenador	87
<b>Figura 3.9.</b> Vista exterior de la casa de máquinas	87
<b>Figura 3.10.</b> Vista interior de la casa de máquinas	88
<b>Figura 3.11.</b> Diagrama de velocidades	94
<b>Figura 3.12.</b> Triángulos de velocidades unificados de la 1° y 2° etapa	96
<b>Figura 3.13.</b> Sección transversal de un álabe del rotor	100
<b>Figura 3.14.</b> Inyector de turbina tipo Michell-Banki	102
<b>Figura 3.15.</b> Longitud del rodete	104
<b>Figura 3.16.</b> Ángulos de velocidad absoluta, a la entrada y salida del álabe	110
<b>Figura 3.17.</b> Composición de fuerzas sobre el álabe	112
<b>Figura 3.18.</b> Diagrama de fuerzas sobre el rodete	115
<b>Figura 3.19.</b> Diagrama de fuerzas en el inyector	117
<b>Figura 3.20.</b> Elementos del sistema de transmisión	122
<b>Figura 3.21.</b> Sección de banda en relación a las Rpm Vs. Potencia corregida	125
<b>Figura 3.22.</b> Distancia entre ejes	126
<b>Figura 3.23.</b> Carcasa de la turbina tipo Michell-Banki	129

<b>Figura 3.24.</b>	Tapa de la carcasa Michell-Banki	130
<b>Figura 3.25.</b>	Esquema básico del tablero de control	132
<b>Figura 3.26.</b>	Voltímetro analógico	133
<b>Figura 3.27.</b>	Amperímetro analógico	134
<b>Figura 3.28.</b>	Interruptor termomagnético	134
<b>Figura 3.29.</b>	Luz piloto	135
<b>Figura 3.30.</b>	Tablero de control con todos los instrumentos armados	135
<b>Figura 3.31.</b>	Caudal vs. Rpm de la turbina	141
<b>Figura 3.32.</b>	Caudal Vs. Eficiencia de turbina	141
<b>Figura 3.33.</b>	Apertura del Volante Vs. Presión	142
<b>Figura 3.34.</b>	Caudal Vs. Potencia	142
<b>Figura 3.35.</b>	Caudal Vs. Voltaje medido	143
<b>Figura 3.36.</b>	Potencia Vs. Voltaje	143
<b>Figura 3.37.</b>	Tasa Interna de Retorno	152

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1.</b> Parámetros de funcionamiento de turbinas	31
<b>Tabla 2.1.</b> Determinación referencial de demanda energética en el sector Alubillo	44
<b>Tabla 2.2.</b> Tiempos medidos en épocas de invierno	46
<b>Tabla 2.3.</b> Coordenadas del punto 1 al punto 2	47
<b>Tabla 2.4.</b> Coordenadas del punto 1 al punto 3	48
<b>Tabla 2.5.</b> Coordenadas del punto 2 al punto 3	48
<b>Tabla 2.6.</b> Comparación de diferentes materiales para tuberías de presión	50
<b>Tabla 2.7.</b> Características de tuberías Pvc, plastidor de diámetro 160 mm.	50
<b>Tabla 2.8.</b> Propiedades del agua	53
<b>Tabla 2.9.</b> Tipos de turbinas de acuerdo a las velocidades	64
<b>Tabla 3.1.</b> Selección del diámetro del rotor	90
<b>Tabla 3.2.</b> Tipos de transmisión para pico generadoras hidroeléctricas	92
<b>Tabla 3.3.</b> Selección del diámetro del rotor	97
<b>Tabla 3.4.</b> Selección del número de álabes del rotor	100
<b>Tabla 3.5.</b> Sección transversal de un álabe del rotor	101
<b>Tabla 3.6.</b> Diámetro máximo permitido en el eje del álabe directriz	105
<b>Tabla 3.7.</b> Característica del álabe	111
<b>Tabla 3.8.</b> Ángulo entre la fuerza hidráulica sobre el álabe y el eje x	113
<b>Tabla 3.9.</b> Factor de corrección del esfuerzo máximo	114
<b>Tabla 3.10.</b> Valores de (c) de corrección de potencia, según las condiciones de trabajo y carga	124
<b>Tabla 3.11.</b> Determinación de longitud primitiva	127
<b>Tabla 3.12.</b> Características del generador asincrónico	132
<b>Tabla 3.13.</b> Datos obtenidos durante el funcionamiento de la pico generadora	140
<b>Tabla 3.14.</b> Costo de materiales para la obra civil	144
<b>Tabla 3.15.</b> Costo de materiales para la instalación hidráulica	145
<b>Tabla 3.16.</b> Costo de materiales para la instalación electromecánica	146

<b>Tabla 3.17.</b> Costo de transporte	146
<b>Tabla 3.18.</b> Costo por mano de obra	147
<b>Tabla 3.19.</b> Costo directo del proyecto	148
<b>Tabla 3.20.</b> Costo indirecto del proyecto	148
<b>Tabla 3.21.</b> Costo total de la pico generadora	148
<b>Tabla 3.22.</b> Costo de la energía consumida	150
<b>Tabla 3.23.</b> Valor actual neto para la determinación del TIR	151
<b>Tabla 3.24.</b> Parámetros del costo referencial anual	153
<b>Tabla 3.25.</b> Calculo de valores del costo total de producción	153

## LISTA DE SÍMBOLOS

- Bi : Ancho del inyector.(m).
- Br : Ancho del rotor. (m). BrC : Ancho del rotor.(cm).
- de<sub>max</sub> : Diámetro máximo del eje del rotor (m).
- De : Diámetro exterior del rotor (m).
- Di : Diámetro interior del rotor (m).
- e : Espesor del álabe (m).
- E : Factor de corrección. (1/cm<sup>3</sup>).
- E<sub>r</sub> : Modulo de elasticidad (kgf/m<sup>2</sup>)
- F<sub>c</sub> : Fuerza centrífuga sobre el álabe (Kgf).
- F<sub>hx</sub> : Fuerza hidráulica sobre el álabe en la dirección x. (Kgf).
- F<sub>hy</sub> : Fuerza hidráulica sobre el álabe en la dirección y. (Kgf).
- F<sub>hr</sub> : Fuerza hidráulica resultante sobre el álabe (Kgf).
- Fr : Fuerza tangencial sobre el eje (Kgf).
- Fra : Carga radial sobre el rodamiento (Kgf).
- F<sub>ti</sub> : Fuerza total sobre el inyector (Kgf).
- H : Altura disponible nominal (m).
- H<sub>max</sub> : Altura máxima (m).
- k : Constante de velocidad absoluta (0,98).
- K<sub>m</sub> : Factor de momento flector. (Para carga estable 1,5).
- K<sub>t</sub> : Factor de momento torsor. (Para carga estable 1,0).
- L : Longitud del álabe (m).
- Lh : Horas de funcionamiento, se consideran 200000 horas de funcionamiento.
- M : Momento flector sobre el álabe (Kgf-cm).
- Mi : Momento máximo sobre el inyector (Kgf-m).
- M<sub>max</sub> : Momento flector Máximo sobre el eje del rotor (Kgf-m).
- N : Velocidad nominal de la turbina (rpm).

- $N_c$  : Velocidad crítica de la turbina (rpm).  
 $N_d$  : Número de discos del rotor.  
 $N_e$  : Velocidad de embalamiento de la turbina (rpm).  
 $P_a$  : Peso de un álabe (Kgf).  
 $P_T$  : Potencia de la turbina (Kw).  
 $P_{tr}$  : Peso total del rotor (Kgf).  
 $P_u$  : Peso de un álabe por unidad de longitud (Kgf/m).  
 $Q$  : Caudal nominal ( $m^3/s$ ).  
 $Q_a$  : Caudal que ingresa en un álabe ( $m^3/s$ ).  
 $Q_{max}$  : Caudal máximo ( $m^3/s$ ).  
 $R$  : Razón de aspecto.  
 $R_x$  : Fuerza resultante sobre el álabe en la dirección x (Kgf).  
 $R_y$  : Fuerza resultante sobre el álabe en la dirección y (Kgf).  
 $R_T$  : Fuerza resultante total sobre el álabe (Kgf).  
 $sd$  : Esfuerzo de diseño ( $Kgf/m^2$ ).  
 $T_{max}$  : Momento torsor Máximo sobre el eje (Kgf-m).  
 $X$  : Coeficiente radial del rodamiento, considerado como 1.  
 $Y_{max}$  : Flecha máxima (m).  
 $Z$  : Número de álabes del rotor.  
 $Z_f$  : Número de álabes que reciben el flujo de agua.  
 $\alpha_1$  : Ángulo de la velocidad absoluta al ingreso del rotor.  
 $\delta$  : Ángulo de admisión del rotor ( $110^\circ$ )  
 $\lambda$  : Ángulo entre la fuerza hidráulica sobre el álabe y el eje X.  
 $\varphi$  : Ángulo de la velocidad a la salida del álabe ( $16^\circ$ )  
 $\sigma$  : Esfuerzo máximo en el álabe ( $Kgf/cm^2$ ).  
 $\sigma_f$  : Esfuerzo de fluencia del material ( $Kgf/m^2$ ).  
 $\sigma_i$  : Esfuerzo máximo sobre el inyector ( $Kgf/m^2$ )

## INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento del recurso hídrico para la generación de energía comenzó en tiempos antiguos con el uso de ruedas hidráulicas, actualmente se utilizan turbinas hidráulicas desde hace más de tres décadas con el propósito de elaborar nuevas tecnologías aplicables en el campo de las energías renovables, una de las opciones que más aceptación ha recibido son las Pico Centrales Hidroeléctricas (PCH), pues abastecen de energía eléctrica a un bajo costo a las Comunidades Rurales que se encuentran alejadas del Sistema Nacional Interconectado, generando pequeñas o grandes cantidades de energía eléctrica de acuerdo a la demanda requerida y al sector donde van a ser implementadas dichas turbinas.

La creciente sensibilización en el mundo sobre nuestro futuro energético ha establecido un importante punto de partida respecto a los patrones utilizados en el pasado en la producción y uso de la energía. Nace pues, la necesidad de garantizar la seguridad energética, controlar la contaminación provocada por la quema de combustibles y principalmente conservar nuestro medio ambiente, mismo que requiere la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, en especial, de dióxido de carbono.

Es importante recordar que el subdesarrollo de las Regiones Rurales está relacionado directamente con la falta de recursos energéticos, pues la carencia de electricidad en las Zonas Rurales suele traer como consecuencia la pobreza. En este sentido, el agua constituye una fuente de energía renovable que puede ser empleada en la generación de energía eléctrica, a fin de satisfacer necesidades básicas de electricidad en pequeñas o grandes escalas, y de esta manera mejorar significativamente la calidad de vida de la población.

La generación de energía eléctrica en zonas aisladas es una labor indispensable para el desarrollo sostenible de estos sectores, la principal fuente energética para este

objetivo es la proporcionada por las caídas de agua existente en riachuelos, quebradas y acequias cercanas. Gracias a la fuerza de gravedad ejercida sobre estas corrientes de agua, se puede generar corriente eléctrica.

Las energías renovables se caracterizan porque en su proceso de transformación y aprovechamiento en energía útil se utilizan recursos autosustentables, entre estas fuentes está la hidráulica como una opción apropiada para aportar energía con un mínimo impacto ambiental ya que el agua como combustible no se consume, pero es explotada a su paso y no empeora su calidad ni se producen emisiones contaminantes.

La energía eléctrica de una Pico Generadora Hidroeléctrica se obtiene aprovechando la energía cinética que adquiere el caudal de agua  $Q$ , al final de una caída  $H$ , la cual es transformada por una turbina en energía mecánica y posteriormente en energía eléctrica gracias a un generador, teniendo como principal componente una turbina hidráulica. La energía que una turbina hidráulica extrae del agua depende tanto del caudal que conduce como de la diferencia de altura existente entre los reservorios superior e inferior, denominada caída o "salto aprovechable". Por el contrario, una rueda hidráulica (mucho menos eficiente) aprovecha directamente la energía cinética de la corriente.

# CAPÍTULO I

## 1. FUNDAMENTO TEÓRICO.

### 1.1. La energía.

Según el autor GÓMEZ EXPOSITO ANTONIO (2.002); manifiesta que “La energía es la capacidad de realizar un trabajo y de transferir calor, se realiza un trabajo cuando un objeto o una sustancia se mueve a una cierta distancia. La energía tiene muchas formas, tales como la luz, el calor, la electricidad, la energía química (almacenada en los enlaces químicos) y energía mecánica (movimiento de la materia; como el flujo del agua).” Pág. 26.

#### 1.1.1. Energía-desarrollo de la sociedad.

Desde el comienzo de la humanidad el hombre ha necesitado de energía para poder realizar sus diversas labores. Se podría deducir que el desarrollo de la sociedad conlleva a la generación y uso de mayor cantidad de energía. A su vez, la existencia de energía utilizable fomenta el desarrollo de la sociedad.

El crecimiento y desarrollo de una sociedad humana organizada involucra que exista una buena planificación integrada de recursos, incluyendo los recursos energéticos, Al no existir una proyección de este tipo puede surgir en el futuro problemas con cualquiera de los aspectos relacionados con la energía, como el económico, social, ambiental, etc.

Una buena planificación energética conduce a que el uso y la generación de la energía se integren de una manera sostenible con otras actividades de la sociedad. La

generación de energía no debería provocar impactos negativos en otros aspectos de desarrollo de la sociedad y tendría que producir un desarrollo sostenible con los mismos.

En la actualidad, la principal fuente directa de energía en el mundo es el petróleo, que, lamentablemente, tiene entre sus desventajas la contaminación y la dependencia energética con los países productores de crudo. Consecuentemente existe el paradigma de asociar la generación de energía con estas desventajas. Es necesario explotar las fuentes renovables de energía, que tienen estas desventajas menos influyentes.

El petróleo es un recurso no renovable, es decir, es un recurso limitado, y aunque existen todavía muchas reservas de petróleo, estas cada vez son más inaccesibles y consecuentemente su explotación es muy costosa, tanto económica como ambiental y social.

El factor ambiental es otra desventaja del petróleo, es así que el calentamiento global y el cambio climático en los últimos años son una muestra muy clara del gran daño ocasionado al medio ambiente originado por el uso de derivados del petróleo. Aunque el uso eficiente de los recursos hidrocarburíferos ha producido grandes ahorros de contaminantes a la atmósfera existen compuestos como el CO<sub>2</sub> que no pueden ser eliminados con la eficiencia energética.

Para poder enfrentar a los problemas ambientales, de dependencia energética y de suficiencia energética de acuerdo a la demanda, es necesario impulsar la generación de energía con fuentes de energías limpias y renovables, junto con el uso eficiente de la energía a nivel mundial; siendo para ello el principal inconveniente la falta de voluntad política y los grandes intereses económicos relacionados con el petróleo y sus derivados.

### **1.1.2. Energías renovables.**

Debido a las desventajas del uso de recursos hidrocarbúricos la sociedad ha tomado cada vez más conciencia de la necesidad del uso de energías limpias y renovables.

Gracias a los esfuerzos de los sectores energéticos y ambientales, la humanidad está impulsando el uso de energías renovables.

El Ecuador tiene la gran ventaja de poseer un inmenso potencial energético no utilizado en energías renovables. Sin embargo una gran cantidad de energía utilizada en el país proviene del petróleo y sus derivados. Esto incita a pensar que el petróleo puede ser desplazado lentamente por las energías renovables y ser utilizado solo en casos imprescindibles y complementarios.

#### **1.1.2.1. Energía solar.**

El Ecuador tiene la fortuna de estar en el centro del planeta y consecuentemente tener un aproximado de 12 horas de sol diarias. Además de tener la garantía de los rayos solares que caen perpendicularmente a la superficie de la tierra alrededor del medio día.

Muchos países del primer mundo tienen un gran nivel de aprovechamiento solar, aunque no tengan mucha cantidad de sol con respecto a los países ecuatoriales. Esta idea da a pensar que se puede aprovechar en grandes cantidades la energía solar en el país.

La energía solar puede ser aprovechada para usos térmicos con colectores solares para calentar fluidos (principalmente agua), climatizar, refrigerar, etc. Esto podría aportar grandemente al país si se toma en cuenta que gran parte de la energía utilizada de la nación tiene que ver con fines térmicos.

Los paneles solares fotovoltaicos aprovechan la energía solar para generar energía eléctrica, siendo a veces la mejor alternativa en sectores muy lejanos de la red nacional interconectada.

Cabe recalcar que la inversión inicial de este tipo de energía es bastante costosa.

#### **1.1.2.2. Energía eólica.**

Consiste en el aprovechamiento de la energía del viento para convertirla en energía mecánica o eléctrica.

El viento posee una energía cinética que a través de sistemas electromecánicos puede ser aprovechada con diversos fines, incluyendo la generación eléctrica.

Existen ciertas zonas en el Ecuador donde se puede aprovechar este tipo de energía en cantidades considerables.

Solo basta nombrar el proyecto realizado por ENERLOJA (empresa perteneciente al Consejo Provincial de Loja) en donde existe un parque eólico de más de 15 MW.

#### **1.1.2.3. Energía hidráulica.**

Según ZOPPETTI JUDEZ GAUDENCIO (1.982); manifiesta que “La energía hidráulica consiste en el aprovechamiento del caudal de agua para el uso de energía mecánica o eléctrica.” Pág. 31.

Este tipo de energía también es muy abundante en nuestro país debido a que existe una extensa región montañosa muy pronunciada. Y aunque la energía hidráulica abastece aproximadamente el 50 % de la demanda nacional eléctrica, esta solo es aproximadamente el 8 % del potencial hidroeléctrico del país.

#### **1.1.2.4. Biomasa.**

Los residuos orgánicos se pueden aprovechar con fines energéticos, en tal virtud esta fuente energética puede resultar bastante atractiva si se considera que muchos desechos orgánicos, que desde otra perspectiva se pueden convertir de basura a fuentes energéticas. Nuevamente el Ecuador tiene un gran potencial debido a que entre sus principales actividades está la agropecuaria, teniendo muchos desechos relacionados con esta actividad.

#### **1.1.2.5. Otros.**

Existen otras fuentes renovables de energía que pueden resultar ventajosas según el caso como la energía geotérmica, mareomotriz.

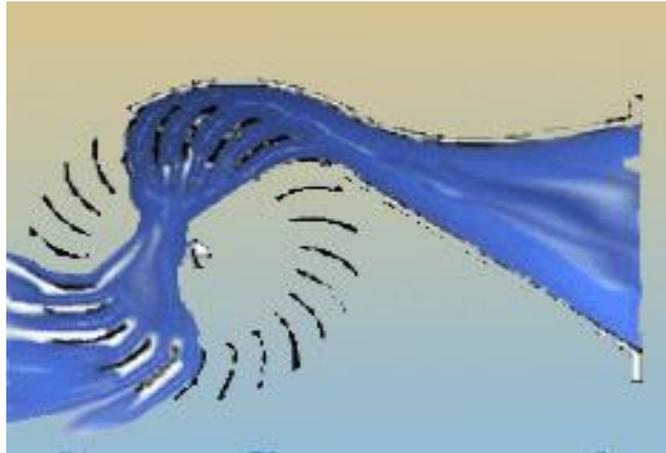
Inclusive se conoce nuevos sistemas de almacenamiento de energía, que son muy eficientes, como el hidrógeno.

#### **1.1.3. Energía a partir del fluido agua.**

Según NAUTA EDITORES. Enciclopedia de la Técnica y Mecánica Vol. 2. Pág. 306; manifiestan que “El fluido (agua), como muchas sustancias, contiene dos clases de energía. La primera clase de energía es llamada energía cinética. Esta es la energía que es usada durante la ejecución de procesos, como es el movimiento.”

Y la segunda clase de energía es la energía potencial misma que puede ser usada para transferirse en energía cinética, mediante el fluido (agua) que se encuentra suspendido a determinada altura se transforma en energía cinética el momento en que esta agua deja de estar suspendida y es transportada por medio de un canal o tubería, lo que permite que el agua impacte en los rodets de la turbina y produzca energía mecánica motriz.

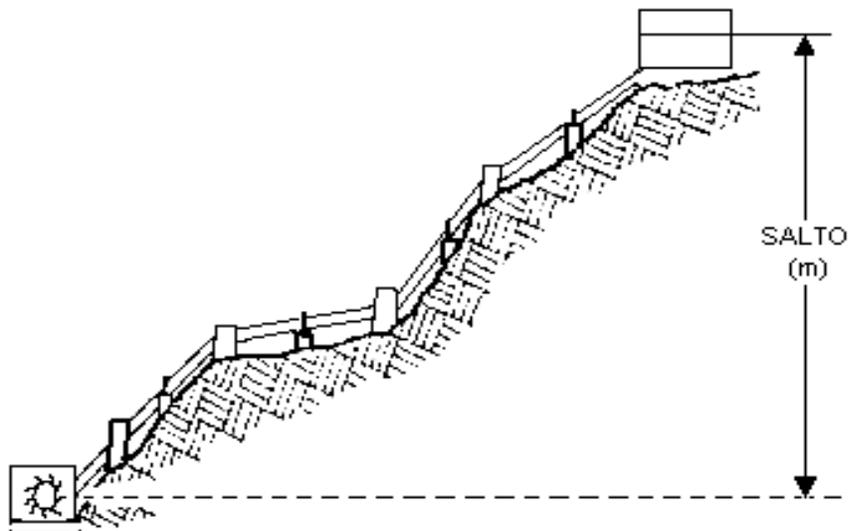
**Figura 1.1. IMPACTO DEL FLUIDO (AGUA) EN EL RODETE**



**Fuente:** [http://members.tripod.com/hydrodocs\\_1/turbines.html](http://members.tripod.com/hydrodocs_1/turbines.html); Turbinas Hidráulicas

La existencia de esta energía potencial se debe a la gravitación (fuerza de gravedad), su nombre completo es energía potencial gravitatoria

**Figura 1.2. SALTO DE AGUA**



**Fuente:** Manual de pequeñas centrales hidroeléctricas ITDG.

Cuando el agua fluye o cae, se puede generar energía. La generación de energía a través del agua es usualmente llevada a cabo en grandes plantas hidroeléctricas, con un número de pasos y el uso de varios aparatos, como son las turbinas y generadores.

#### **1.1.4. Energía hidroeléctrica.**

Según El ITDG. Manual de Mini y Micro Centrales Hidroeléctricas. Pág. 54; manifiesta “La energía hidroeléctrica es la energía que es suministrada por la generación de energía de saltos de agua o corrientes de aguas mediante el empleo de un hidrosistema.” La energía hidroeléctrica es también llamada fuente de energía renovable. Esto significa que la fuente, de la cual proviene la energía, puede ser renovada.

##### **1.1.4.1. Ventajas de la energía hidroeléctrica.**

- **Disponibilidad:** El ciclo del agua lo convierte en un recurso inagotable.
- **Energía limpia:** No emite gases "invernadero", no provoca lluvia ácida, ni produce emisiones tóxicas.
- **Energía barata:** Sus costes de explotación son bajos, y su mejora tecnológica hace que se aproveche de manera eficiente los recursos hidráulicos disponibles.
- **Trabaja a temperatura ambiente:** No son necesarios sistemas de refrigeración o calderas, que consumen energía y, en muchos casos, contaminan.

#### 1.1.4.2. Desventajas de la energía hidroeléctrica.

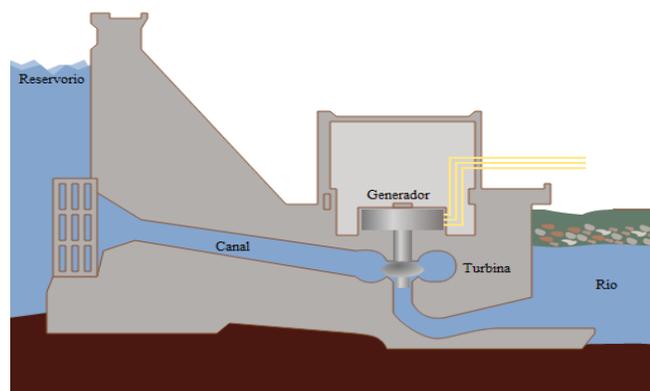
Su construcción y puesta en marcha en ciertos casos requiere inversiones importantes.

### 1.2. Hidrosistema.

Según FOX Mc. DONALD. Introducción a la Mecánica de Fluidos. Mc. Graw Hill. Pág. 78; manifiesta que “Un Hidrosistema o también llamado sistema hídrico es aquel definido por una cuenca (porción del territorio que drena sus aguas hacia un punto en común) en ella pueden existir ríos, lagos, etc. posee una dinámica propia que puede ser alterada por cualquier tipo de actividad del hombre, cuyos impactos no siempre suelen ser negativos, pues no modifican la cobertura y las características del suelo, ni disminuyen la capacidad de retener agua y erogar durante todo el año, es por ello que estos lugares no carecen de agua en el periodo invernal.”

Un hidrosistema requiere de un caudal de agua y una diferencia de altura conocida como “salto” para producir potencia útil. Se trata de un sistema de conversión de energía, es decir, se toma energía en forma de caudal y salto y se entrega energía mecánica en el eje para transformarla en electricidad.

**Figura 1.3. ESQUEMA BÁSICO DE UN HIDROSISTEMA**



**Fuente:** <http://www.pdhsa.com/?p=19> ; Energía hidroeléctrica

### **1.2.1. Generación de energía hidroeléctrica.**

El aprovechamiento hidroeléctrico tiene como objetivo convertir la energía potencial de una masa de agua situada en el punto más alto en energía cinética a través de tubería la misma que conduce dicha masa de agua al punto más bajo, donde está ubicada la casa de máquinas.

La potencia eléctrica que se obtiene en un aprovechamiento es proporcional al caudal utilizado y a la altura del salto.

### **1.3. Pequeñas centrales hidroeléctricas.**

Una pequeña central hidroeléctrica es aquella que utiliza energía hidráulica en pequeños y medianos caudales para la generación de energía eléctrica misma que abastecerá a una cantidad limitada de usuarios.

#### **1.3.1. Importancia de las pequeñas centrales hidroeléctricas en el sector rural.**

Una de las necesidades básicas más comunes de las poblaciones rurales del Ecuador, es la energía eléctrica razón por la cual estos sectores carecen de los servicios más elementales y básicos para cualquier ser humano.

Realidad injusta en pleno siglo XXII, como respuesta a este gran problema se plantea la explotación de pequeñas centrales hidroeléctricas, pico y mini hidroeléctricas, mismas que tienen una especial importancia como alternativa para la generación de energía eléctrica en estas zonas, las cuales se encuentran alejadas de redes eléctricas, en muchos casos es la mejor solución, pues son económicamente viables, ecológicamente recomendables y socialmente estimula a elevar el nivel de vida de los habitantes de las comunidades de las zonas rurales.

**Figura 1.4. CASA DE LOS BENEFICIARIOS DEL PROYECTO**



**Fuente:** Sector Alubillo

El Sistema Nacional Interconectado (SNI) es una empresa de carácter público la cual se encarga de transmitir y distribuir el servicio público de energía eléctrica, lamentablemente dentro de los Proyectos establecidos por esta empresa no está proyectado hasta la actualidad ninguno que busque satisfacer las necesidades de los moradores del sector Alubillo, perteneciente al Cantón Caluma, esto entendemos obedece a la poca generación que mencionado sector demanda, en tal virtud ha resuelto el abastecimiento de los centros urbanos y lamentablemente han penetrado solo parcialmente en las áreas rurales, por tal razón quedan aún grandes áreas geográficas sin servicio eléctrico y como consecuencia la población rural que los habita se encuentra mayoritariamente en situación precaria, con niveles de actividad económica de subsistencia extremadamente bajos y altos índices de necesidades sociales básicas insatisfechas.

Estas áreas rurales con pobladores alejados de las redes de distribución y con requerimientos energéticos insatisfechos, constituyen el ámbito principal donde la hidrogenación eléctrica a pequeña escala encuentra su aplicación potencial, en tanto se cuente con recursos hídricos locales suficientes.

**Figura 1.5. SR. SEGUNDO CHACHA (BENEFICIARIO DEL PROYECTO)**



**Fuente:** Sector Alubillo

### **1.3.2. La demanda de energía eléctrica en áreas rurales.**

La demanda de energía eléctrica en áreas rurales se caracteriza por bajos niveles de consumo y grandes áreas de dispersión de la población (baja densidad de consumidores).

Los requerimientos de electricidad son básicamente domésticos y en menor escala productivos. Los usos domésticos atienden a iluminación, comunicación (radio, TV), conservación de alimentos, calentamiento de agua. Las aplicaciones productivas a la industrialización de ciertas especies de peces tales como la trucha y la tilapia.

Bajo estos criterios los requerimientos de energía para una familia rural se ubican entre 200W y 400 Watts de potencia eléctrica.

La ventaja más importante de la pico generadora hidroeléctrica sobre otras fuentes

de energía renovables es que puede generar las 24 horas del día, a menos que se trate de casos excepcionales de escasez de agua. Las Pico generadoras hidroeléctricas se diseñan para la máxima demanda y generalmente con proyección a por lo menos 20 años, de modo que en estos sistemas la mayor parte del tiempo se genera mucha más energía que la demandada, esto sucede en especial en la electrificación de pequeños centros poblados, donde el uso normalmente es alumbrado doméstico, muy pocos artefactos eléctricos, muy pequeños servicios locales (molienda de granos, soldadura, carpintería, cargado de baterías y otros) y alumbrado público. Este tipo de demandas suele presentar un pico muy elevado durante muy pocas horas del día, mientras que las restantes horas el consumo es bajo, mientras que la planta sigue generando la misma potencia durante el día.

### **1.3.3. Centrales integradas en un canal de riego.**

Es factible instalar una central hidroeléctrica aprovechando una rápida en un canal de irrigación, ya sea ensanchando el canal, para poder instalar en él la toma de agua, la central y el canal de fuga, o construir una toma lateral, que alimente una tubería forzada instalada a lo largo del canal. La primera alternativa es más económica, sobre todo si el salto es pequeño, pero exige planear simultáneamente el canal y la central. La segunda permite aprovechar la rápida con el canal en funcionamiento. Si el salto es del orden de los 6 m, puede construirse en el cauce del canal una estructura, o una central sumergida. Es necesario prever un bypass que asegure el suministro de agua a los regadíos, en caso de cierre brusco de la turbina. La segunda alternativa, en la que la toma de agua lateral alimenta una tubería forzada que corre paralela al mismo canal. Dada la escasa anchura del canal, la toma incorpora un aliviadero en pico de pato, para aumentar la longitud del vertedero.

El agua, una vez turbinada, se restituye al canal. Como en estos canales no existe fauna piscícola, no es necesario construir escalas de peces ni mantener un caudal ecológico determinado.

#### **1.4. Pico generadora hidroeléctrica.**

Según OLADE. Apuntes para un Manual de Diseño para Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. Vol. 1. (1.988). Pág. 15; manifiesta que “Se conoce como Pico generadora hidroeléctrica a la infraestructura que utiliza la energía hidráulica para generar energía eléctrica en pequeñas y medianas cantidades, su funcionamiento está basado en un salto de agua que genera dos niveles de un cauce: cuando el agua cae del nivel superior al inferior, pasa por una turbina hidráulica que transmite la energía a un generador encargado de transformarla en energía eléctrica.”

La explotación de la energía hidráulica a través de una central hidroeléctrica puede desarrollarse de dos grandes formas. Por un lado, es posible desviar un río para aprovechar la velocidad de su flujo y generar energía eléctrica. Otra opción es construir una presa e interceptar la corriente de agua.

De acuerdo al régimen de flujo, al desarrollo arquitectónico y a la altura de la caída del agua, es posible hablar de diversos tipos de centrales hidroeléctricas. Las centrales de embalse son las más frecuentes: una presa intercepta la corriente y reserva el agua en un embalse; el agua que pasa por la turbina, por lo tanto, puede regularse.

La central de agua fluyente, la central de bombeo, la central de alta presión y la central mareomotrices son otros tipos de centrales hidroeléctricas.

##### **1.4.1. Características de una pico generadora hidroeléctrica.**

Al hablar de una Pico generadora hidroeléctrica se hace referencia a instalaciones hidroeléctricas con niveles de generación eléctrica menores a 10 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 el diseño, planificación e instalación del Pico-Sistema.

Se trata de tecnología energética económicamente viable aún en sectores muy pobres e inaccesibles.

Así también es una fuente de potencia versátil, que genera energía eléctrica de C.A., permitiendo el funcionamiento de equipos eléctricos estándar, así como también la distribución de la electricidad en caseríos.

Además permite poner en funcionamiento aparatos tales como radios y televisores, es posible también obtener fuerza mecánica directamente del eje de la turbina, permitiendo el funcionamiento de maquinarias tales como máquinas, herramientas, molinos de caña, y otros equipos de procesamiento de los productos agrícolas locales.

Entre los principales aspectos que justifican este tipo de pico generadoras hidroeléctricas citamos los siguientes:

- Actualmente en nuestro país existen muchos sectores que no disponen de energía eléctrica, por diferentes motivos, entre los principales podemos citar:
- La ubicación geográfica que hace imposible la extensión de las redes eléctricas.
- Las Pico generadoras hidroeléctricas se requieren caudales relativamente pequeños, lo las hace aplicables a un alto porcentaje de fuentes aprovechables de agua.
- Un Pico generadora hidroeléctrica es pequeña y compacta sus componentes pueden ser fácilmente transportados a sitios remotos y de difícil acceso.

- Estas alternativas de generación hidroeléctrica tienen costos por kilovatio menores que el de las instalaciones fotovoltaicas, sistemas electrógenos o de viento.

#### **1.4.2. Componentes de una pico generadora hidroeléctrica.**

Los componentes de una pequeña central hidroeléctrica se pueden dividir en dos grandes grupos:

##### **1.4.2.1. Componentes relacionados con construcciones y obras civiles.**

En los cuales están incluidas todas las obras de captación y las de derivación o conducción del recurso hídrico.

Los componentes de una pequeña central hidroeléctrica relacionados con las obras civiles más importantes son:

##### **1.4.2.1.1. Obras de captación.**

- Barraje de derivación y toma de ingreso.
- Válvulas de paso.
- Aliviaderos.
- Desarenador.
- Canales (canal de desvío del fluido).
- Cámara de carga.

##### **1.4.2.1.2. Obras de derivación o conducción.**

- Tubería de presión.
- Apoyos y anclajes de tubería (solo en caso de que la tubería no vaya enterrada).

#### **1.4.2.2. Componentes mecánicos, electromecánicos, eléctricos y de control.**

En los cuales están incluidos los componentes de la sala de máquinas y los sistemas de distribución.

Los componentes electromecánicos que estarán en el proyecto son:

##### **1.4.2.2.1. Componentes de la sala de máquinas:**

- Turbina.
- Sistema de transmisión de potencia.
- Generador.
- Regulador de Distribución.

##### **1.4.2.2.2. Componentes de Distribución eléctrica**

- Transformador.
- Controles varios (tablero de control)

#### **1.4.3. Obras de captación.**

El proyecto va a aprovechar una parte del caudal existente en el riachuelo del sector, para que la turbina de tipo Michell-Banki y el generador funcionen correctamente según los cálculos realizados.

##### **1.4.3.1. Toma de ingreso y barraje de derivación.**

###### **1.4.3.1.1. Bocatoma.**

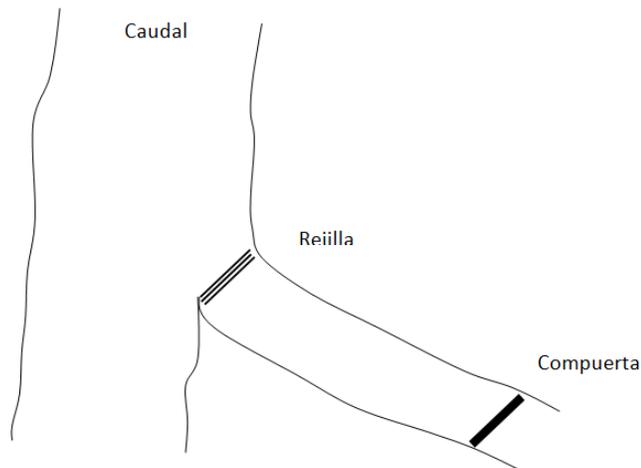
Las bocatoma son obras hidráulicas cuya función es regular y captar un determinado caudal de agua, en este caso para la producción de hidroenergía sea esta mecánica o eléctrica.

Las bocatoma nos permiten tomar el agua de los ríos y conducirla aprovechando la fuerza de la gravedad.

El lugar de la captación debe en lo posible, tener un flujo sin turbulencias a fin de que no se acumulen residuos, piedras, etc., esto permitirá que no se tapone la entrada de la bocatoma, pues se debe evitar que existan obstrucciones a largo plazo.

En la bocatoma deberá existir algún elemento que retenga todos los materiales que se arrastran con el flujo del cauce. Se puede colocar protección de malla gruesa metálica que no permita el ingreso de materiales grandes; sin embargo debe existir la facilidad de poder limpiar este elemento cuando exista demasiada acumulación de partículas retenidas.

**Figura 1.6. ESQUEMA BÁSICO DE LA BOCATOMA**



**Fuente:** [http://www.aprotec.org/pages/hidrica\\_micro.html](http://www.aprotec.org/pages/hidrica_micro.html); Sistemas Hidroeléctricos

#### **1.4.3.1.1. Funciones de la bocatoma.**

La bocatoma deben cumplir las siguientes funciones:

- Garantizar la captación de una cantidad constante de agua, especialmente en épocas de estío.
- Impedir, hasta donde sea posible, el ingreso de materiales sólidos y flotantes, haciendo que estos sigan el curso del río o facilitando la limpieza.

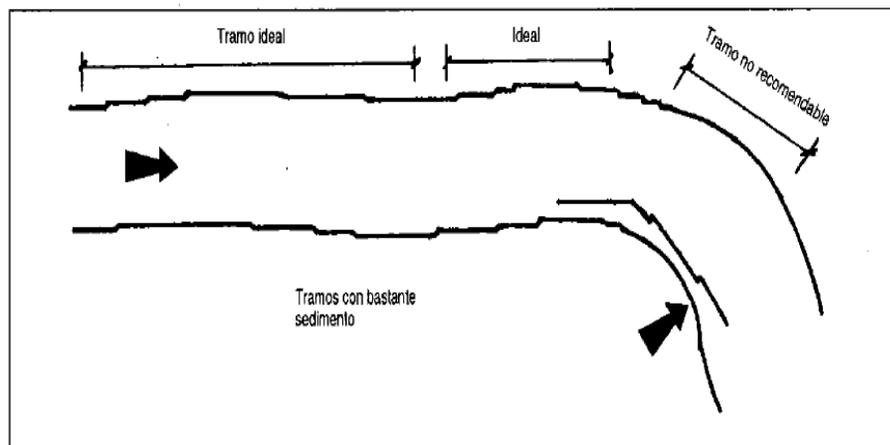
- Proteger el resto del sistema de obras hidráulicas del ingreso de embalses que pudieran producirse en las épocas lluviosas.

#### 1.4.3.1.1.2. Ubicación de la Bocatoma.

La ubicación más apropiada para una bocatoma es en los tramos rectos y estables del río dependiendo de la topografía, la geología, el comportamiento de los suelos y, principalmente, de las variaciones hidrológicas del lugar que nos servirá de emplazamiento, Todos estos factores, dependiendo de la importancia de la obra, deben ser analizados por especialistas. Es muy importante señalar que las condiciones naturales, en lo posible, deben ser preservadas. Desde el punto de vista del curso del río, la mejor ubicación para las bocatomas corresponde a los tramos rectos y estables del mismo.

En caso de no contar con estas condiciones, preferentemente se ubicarán en los primeros tramos de la curva y siempre en la parte convexa. Los tramos finales de una curva convexa estarán muy expuestos a los embates de las crecientes y de las velocidades erosivas, mientras que la zona cóncava es probable que pueda colmatarse fácilmente.

**Figura 1.7. UBICACIÓN DE LA BOCATOMA**



**Fuente:** <http://issuu.com/eprince/docs/disenio>; Diseño de Bocatomas

#### **1.4.3.1.1.3. Criterios de diseño.**

El diseño de una bocatoma depende de los siguientes parámetros:

- ❖ Curso del río (tramo curvo o tramo recto).
- ❖ Configuración del terreno (pendiente del cauce, ancho del valle).
- ❖ Caudal del río, caudal a derivarse, ángulo de desvío.
- ❖ Régimen del río, nivel de aguas mínimas y máximas ordinarias, nivel de aguas máximas extraordinarias (coeficiente de retorno).
- ❖ Acarreo de materiales (frecuencia de acarreo, tamaño de materiales acarreados, materiales de fondo, materiales de suspensión).
- ❖ Geología del lugar (presencia de fallas, arcillas y calizas en las zonas de fundación de la bocatoma).
- ❖ Geotecnia del lugar del emplazamiento, capacidad portante de los suelos,
- ❖ Importancia de la obra, disponibilidad presupuestal.

#### **1.4.3.1.1.4. Clasificación de las bocatomas.**

Las bocatomas pueden clasificarse:

- Por el material del que están hechas (concreto, piedra, tierra, madera, ramas, etc.).
- Por su vida útil (permanentes, temporales).

- Por su forma y diseño (barraje total o barraje sumergido).
- Por el método de construcción (concreto armado, emboquillado, mampostería, gaviones).

#### 1.4.3.1.5. Obras relacionadas con la bocatoma.

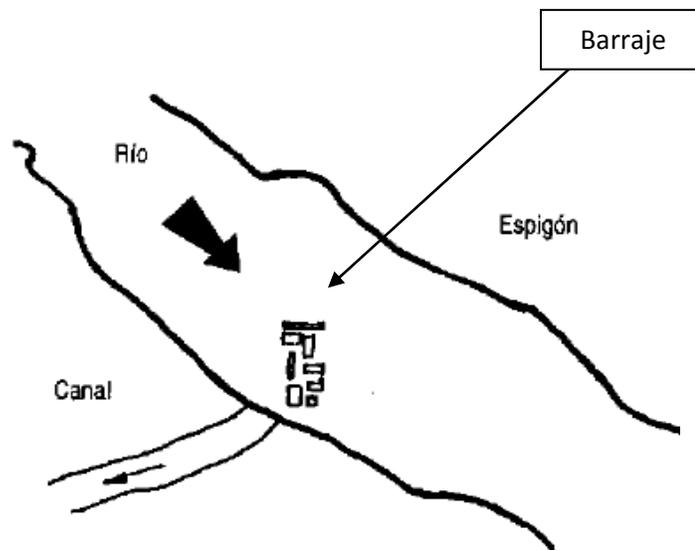
Las obras importantes, con su respectiva función, relacionadas con la bocatoma se indican a continuación:

##### 1.4.3.1.5.1. Barraje.

Es una estructura parecida a una pequeña presa que sirve para desviar ligeramente el cauce de una acequia y/o elevar levemente el nivel del riachuelo.

El barraje se construye de tal forma que el nivel de agua elevado ayude a que la misma sea desviada o absorbida por la bocatoma.

**Figura 1.8. ESQUEMA BÁSICO DEL BARRAJE**

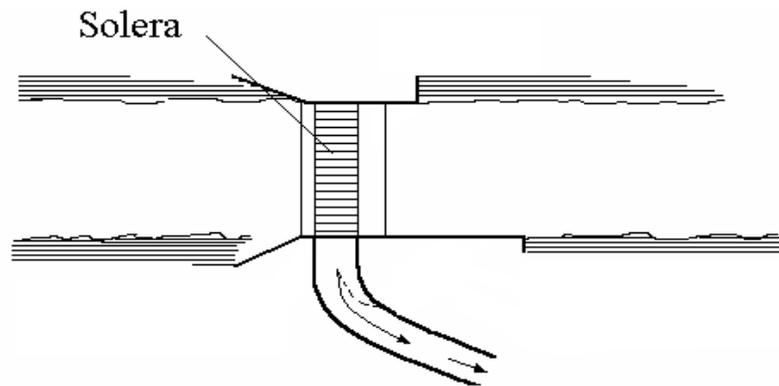


**Fuente:** Manual de pequeñas centrales hidroeléctricas

#### 1.4.3.1.1.5.2. Solera de captación.

Se trata de una losa o piso a desnivel respecto de la antecámara o piso de la bocatoma, cuyo objetivo es crear un pozo de sedimentación donde se depositen los materiales de suspensión.

**Figura 1.9.** ESQUEMA BÁSICO DE LA SOLERA DE CAPTACIÓN

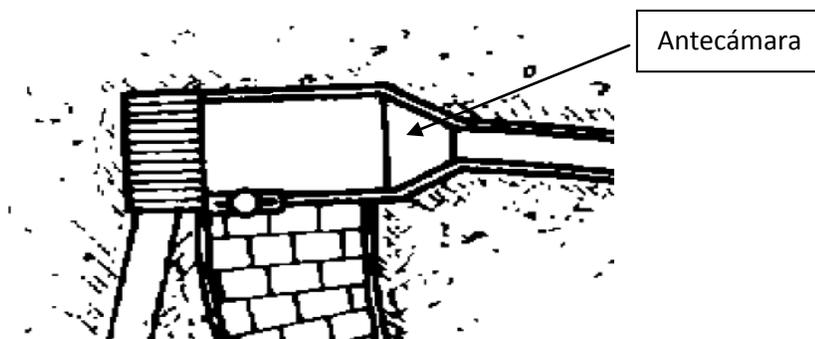


**Figura:** Manual de pequeñas centrales hidroeléctricas ITDG

#### 1.4.3.1.1.5.3. Antecámara.

Es el área que por su desnivel respecto de la solera de captación está destinada a recibir y acumular los materiales de acarreo del río, su cota será la misma que la del río y aproximadamente 30 cm. menor que la solera de captación.

**Figura 1.10.** ESQUEMA BÁSICO DE LA ANTECAMARA

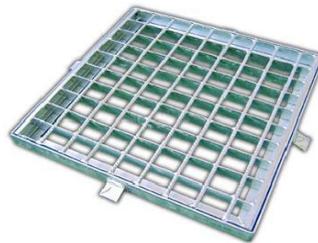


**Fuente:** Manual de centrales hidráulicas

#### 1.4.3.1.5.4. Rejilla de admisión.

Retiene materiales flotantes para que no ingresen por la compuerta, está ubicada antes de la compuerta de admisión de agua al canal de conducción, es conveniente que la distancia entre las rejas sea de 5 cm de abertura como máximo. Esto impedirá el ingreso de piedras y materiales flotantes que puedan afectar el funcionamiento del canal.

**Figura 1.11.** REJILLA DE ADMISIÓN

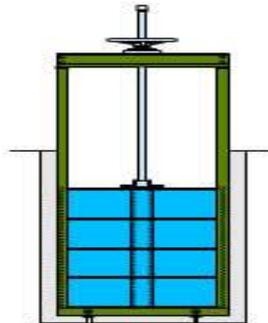


**Fuente:** Manual de centrales hidráulicas

#### 1.4.3.1.5.5. Compuerta de ingreso.

Es un dispositivo generalmente metálico o de madera) que sirve para controlar, regular o impedir el acceso de agua del río al canal de conducción.

**Figura 1.12.** COMPUERTA DE INGRESO



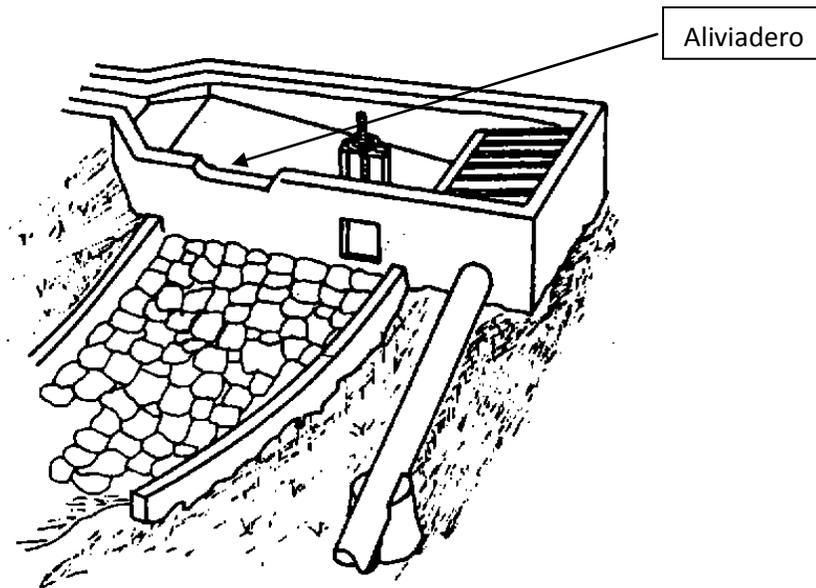
**Fuente:** <http://www.vag-armaturen.com>; Compuerta de ingreso

#### 1.4.3.1.1.5.6. Aliviaderos.

Estructuras grandes que sirven para la eliminación de sobrante de agua que no es necesario ser captada por el canal.

Los aliviaderos protegen al canal y al resto del sistema en el caso de que ingrese agua excedente a la deseada.

**Figura 1.13. ESQUEMA BÁSICO DEL ALIVIADERO**



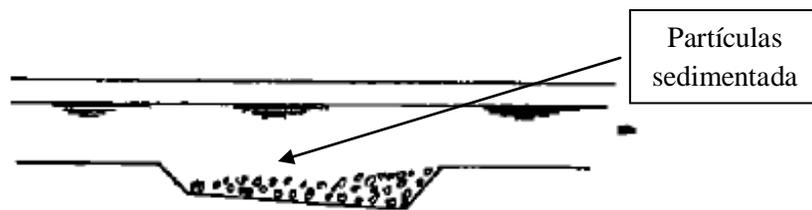
**Fuente:** [http://es.wikipedia.org/wiki/Vertedero\\_hidr%C3%A1ulico](http://es.wikipedia.org/wiki/Vertedero_hidr%C3%A1ulico); vertedero o aliviadero

#### 1.4.3.1.2. Desarenador y tanque de almacenamiento.

Conjuntamente con la solera de captación debe existir otro elemento que decante diminutas partículas que suelen encontrarse en suspensión en el cauce. El desarenador es un componente que sirve para este objetivo.

El material particulado, que fluye con el agua, se deposita por gravedad en el fondo del desarenador por lo que se debe asegurar que el agua circule a una velocidad muy lenta, mientras fluya por el mismo, para que se depositen las partículas.

**Figura 1.14.** ÁREA DE RECEPCIÓN DE PARTÍCULAS SEDIMENTADAS

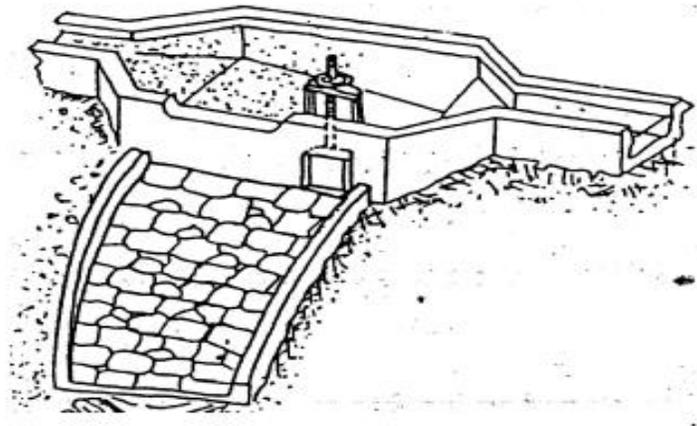


**Fuente:** <http://es.wikipedia.org>; Desarenador

Debe existir al menos un desarenador en las obras de captación, de esta manera se evitan depósitos indeseados en el fondo del canal y el ingreso de estos corpúsculos indeseados en la tubería de presión y turbina. La posibilidad de la construcción de más desarenadores depende de las características del canal y del agua que recorra por este.

El tanque de almacenamiento tiene la función de abastecer del recurso hídrico a la tubería de presión, y retener basuras que ingresen a la misma. Por lo que esta debe tener características similares a un desarenador, además de cargar el agua en la tubería.

**Figura 1.15.** ESQUEMA BÁSICO DE UN DESARENADOR



**Fuente:** <http://es.wikipedia.org/wiki/Desarenador>

#### **1.4.3.1.3. Canal de desvío.**

Es necesario tomar en cuenta algunos factores para la elección del tipo de canal de desvío que se desea utilizar.

El principal factor a tomar en cuenta es el económico, pero esto no solo incluye la inversión inicial, sino también el costo de mantenimiento; por tanto estos factores intervienen en la eficiencia del sistema y consecuentemente en la rentabilidad del proyecto.

##### **1.4.3.1.3.1. Sedimentación y basuras en el canal.**

La velocidad con la que recorra el fluido por el canal influirá para que se acumule sedimentación en la parte inferior del canal.

Debe existir una velocidad adecuada que no permita la precipitación de residuos en el canal. La velocidad mínima del agua será de 0.5 m/s para garantizar que no exista este problema en el canal.

##### **1.4.3.1.3.2. Velocidad del agua.**

Aunque una alta velocidad del agua garantiza que no existan depósitos en el canal, también se debe tomar en cuenta que ello puede ocasionar un desgaste muy rápido del conducto.

Además, para que exista una velocidad alta tiene que haber una pendiente pronunciada y esto significa una pérdida de altura utilizable y su consecuente pérdida de energía generada.

#### **1.4.4. Obras de derivación o conducción.**

Las obras de derivación o conducción tienen por objetivo conducir el recurso hídrico hacia la turbina. Están compuestas principalmente de la tubería de presión, anclajes, soportes, válvulas de paso.

#### **1.4.4.1. 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. A medida que el agua recorre la tubería la presión aumenta. La máxima presión disponible que depende directamente de la columna de agua (altura) es aprovechada para mover los álabes de la turbina.

Las pérdidas de energía en la caída de agua por la tubería deben ser mínimas y esto se realiza eliminando la mayor cantidad de fricción. También debe soportar grandes presiones y al mismo tiempo debe ser lo más económica no solo en su costo de compra sino también en su costo de implantación.

##### **1.4.4.1.1. Características del material para la tubería de presión.**

La tubería Pvc, (Policloruro de vinilo), es un material muy robusto y barato en pequeños diámetros. Existen modelos de tubería de Pvc, que resisten moderadamente a altas presiones y toleran desviaciones pequeñas en su instalación. Tiene la desventaja de ser caro en grandes diámetros, no resiste la radiación ultravioleta disminuyendo su vida útil cuando no se encuentra protegida del sol y principalmente se torna frágil en bajas temperaturas.

##### **1.4.4.1.2. Anclajes de la tubería de presión.**

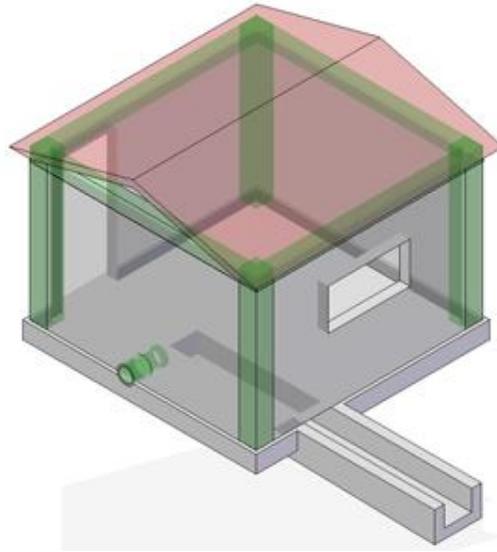
Los anclajes y apoyos pueden ser estructuras soportantes que se colocan cada cierta distancia a lo largo de la tubería de presión. Los apoyos son estructuras simples que permiten el movimiento longitudinal de la tubería debido a cambios de temperatura.

Los anclajes son estructuras más robustas ubicadas en los cambios de nivel que no permiten el movimiento longitudinal, una solución práctica y económica puede resultar si se entierra a la tubería y se construyen anclajes y apoyos sencillos de concreto junto a la tubería enterrada, cada cierta distancia de tubería.

#### 1.4.4.2. Casa de máquinas.

La casa de máquinas es el lugar destinado para la ubicación de la turbina, generador y los demás equipos que puedan usarse para la generación y protección del sistema.

**Figura 1.16.** ESQUEMA BÁSICO DE LA CASA DE MÁQUINAS



**Fuente:** [http://www.aprotec.org/hidrica\\_componentes.html](http://www.aprotec.org/hidrica_componentes.html); Casa de Maquinas

Para el área de la casa de máquinas, en el caso de las pico generadoras hidroeléctricas se establece una estandarización de dimensiones de acuerdo a rangos de potencias:

De 5 a 30 [kW]: 3,00 [m] a 4,50 [m]

#### 1.5. Turbinas hidráulicas.

Las turbinas hidráulicas son máquinas que tienen la capacidad de transformar la energía potencial y/o cinética de un fluido líquido en energía mecánica. En el caso de las centrales hidroeléctricas son el corazón del sistema pues aprovechan la energía almacenada en una cierta cantidad de agua que fluye en dirección del cauce en sentido de la gravedad.

### **1.5.1. Clasificación de las turbinas.**

Las turbinas hidráulicas se clasifican en:

- Turbinas de acción o de impulso.
- Turbinas de reacción.

Clasificación que obedece a la forma como el agua ejerce la fuerza sobre la turbina y como causa su rotación.

#### **1.5.1.1. Turbinas de acción o de impulso.**

La turbina de impulso gira cuando un chorro de agua proveniente de una tobera (boquilla) golpea uno de sus cangilones a velocidad muy alta. Una gran proporción de la energía del agua está en forma de energía cinética debido a su velocidad. El chorro no posee ninguna energía de presión, dado que el agua no puede confinarse después de salir de la tobera.

#### **1.5.1.2. Turbinas de reacción.**

La turbina de reacción actúa por el agua que se mueve a una velocidad relativamente baja, pero bajo presión. El agua llega al cuerpo de la turbina (rodete) a través de un sistema denominado de distribución que es totalmente cerrado, tal que la presión debida a la cabeza de la planta se mantiene sobre el rodete.

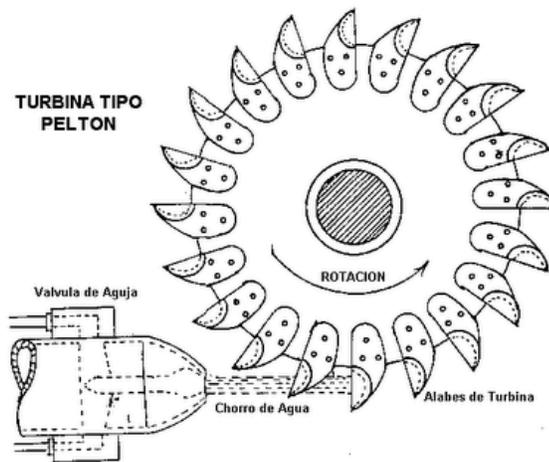
### **1.5.2. Tipos de turbinas hidráulicas.**

Existen tres principales tipos de turbinas hidráulicas de acción:

#### **1.5.2.1. La Turbina Pelton.**

Es una turbina de acción de flujo tangencial, formada por una o más toberas y un rodete provisto por un determinado número de cucharas. Está diseñada para aprovechar grandes saltos pero con caudales pequeños y velocidades bajas, pudiéndose obtener eficiencias del orden del 85%.

**Figura 1.17. ESQUEMA DE LA TURBINA PELTON**

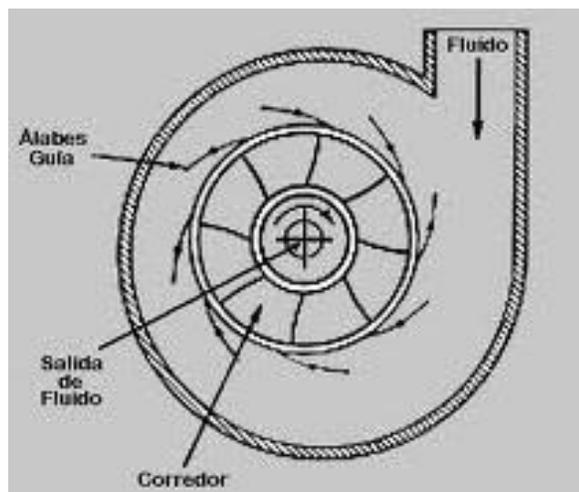


**Fuente:** <http://canovasblog-.com/turbina-pelton.html>; Turbina Pelton

### 1.5.2.2. La turbina Francis.

Es una turbina de flujo mixto y de reacción, formada por una caja en espiral, unos álabes directores y el rodete que puede tener muchas formas en función del número de vueltas. Está diseñada para velocidades medias de operación, con saltos y caudales medianos, su eficiencia está comprendida entre 83% y 90% .

**Figura 1.18. ESQUEMA DE LA TURBINA FRANCIS**

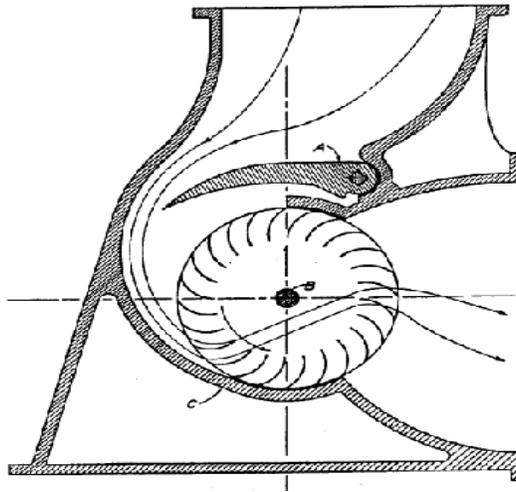


**Fuente:** <http://wikispaces.com/Energ%C3%ADa+Hidr%C3%A1ulica>

### 1.5.2.3. La turbina de flujo cruzado o Michell-Banki.

Es una turbina de acción de flujo transversal, entrada radial y admisión parcial, formada por un inyector y un rodete provisto de un número determinado de álabes curvos.

**Figura 1.19.** ESQUEMA DE LA TURBINA MICHELL-BANKI



**Fuente:** <http://www.alejandrobardi.com/manual/turbinar/>; Turbina Michell-Banki

El tipo más conveniente dependerá en cada caso del salto de agua y de la potencia de la turbina, en términos generales:

- La turbina a Pelton conviene para saltos grande.
- La turbina Francis para saltos medianos.
- La turbina de flujo cruzado o Michell-Banki para saltos pequeños.

### 1.5.3. Comparación de turbinas.

Una vez conocidas las principales Tipos de Turbinas realizamos la comparación entre turbinas en la siguiente tabla en base del caudal y altura que cada una utiliza para su correcto funcionamiento:

**Tabla 1.1. PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE TURBINAS**

<b>TIPO DE TURBINA</b>	<b>Nq</b>	<b>Ns</b>
Turbina Pelton de 1 Tobera	Hasta 9	Hasta 18
Turbina Pelton de 2 Toberas	4 a 13	14 a 42
Turbina Pelton de 3 Toberas	5 a 22	17 a 73
Turbina Michell-Banky	18 a 60	60 a 200
Turbina Francis	18 a 68	69 a 125

**Fuente:** [http:// Maquinashidraulicas.eia.edu.com](http://Maquinashidraulicas.eia.edu.com); Turbinas Hidráulicas

### **1.6. Turbina Michell-Banki.**

La turbina Michell-Banki es una turbina de acción de flujo transversal y de admisión parcial. Se aprovecha el salto y caudal para satisfacer la demanda de un sistema eléctrico. Los elementos principales son: el inyector o tobera que regula y orienta el agua que ingresa a las turbinas, y el rodete que genera potencia al eje de la turbina.

Las turbinas Michell-Banki son más utilizadas en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, por un diseño simple, buena eficiencia cuando opera con cargas parciales, su reducido costo de fabricación y mantenimiento simple.

#### **1.6.1. Características generales.**

La turbina de Flujo Transversal o turbina Mitchell-Banki es una máquina utilizada principalmente para pequeños aprovechamientos hidroeléctricos. Basa sus ventajas fundamentalmente en un sencillo diseño y fácil construcción lo que la hace especialmente atractiva en el balance económico de un aprovechamiento en pequeña escala. No obstante esto no impide que la turbina se utilice en grandes instalaciones.

Aunque la turbina de flujo transversal se conoce como una máquina de pequeña escala, existen actualmente máquinas de este tipo de hasta 6 MW.

Las principales características de esta máquina son las siguientes:

- La velocidad de giro puede ser seleccionada en un amplio rango.
- El diámetro de la turbina no depende del caudal.
- Se alcanza un aceptable nivel de rendimiento con pequeñas turbinas.
- Se puede regular el caudal y la potencia por medio de un álabe ajustable.

### **1.6.2. Campo de aplicación.**

Fundamentalmente su aplicación se destina a la producción de energía eléctrica en pequeña escala, su eje se acopla por bandas a otro dispositivo mecánico, y la energía mecánica obtenida se utiliza directamente para uso doméstico o pequeños proyectos.

Las turbinas de flujo transversal poseen números específicos, velocidades específicas, que varían entre 18 y 60 para  $N_s$  en función del caudal, y entre 51 y 175 para  $N_s$  en función de la potencia.

### **1.6.3. Principio de funcionamiento.**

La turbina consta de dos elementos principales: un inyector y un rotor. El agua es restituida mediante una descarga a presión atmosférica.

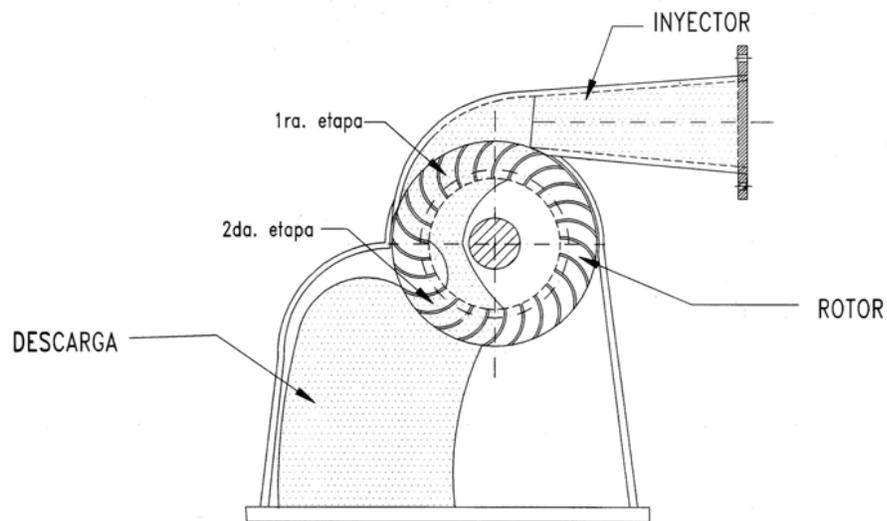
El rotor está compuesto por dos discos paralelos a los cuales van unidos los álabes curvados en forma de sector circular.

El inyector posee una sección transversal rectangular que va unida a la tubería por una transición rectangular-circular. Este inyector es el que dirige el agua hacia el rotor a través de una sección que toma una determinada cantidad de álabes del

mismo, y que guía el agua para que entre al rotor con un ángulo determinado obteniendo el mayor aprovechamiento de la energía.

La energía del agua es transferida al rotor en dos etapas, lo que también da a esta máquina el nombre de turbina de doble efecto, y de las cuales la primera etapa entrega un promedio del 70% de la energía total transferida al rotor y la segunda alrededor del 30% restante.

**Figura 1.20.** PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA TURBINA MICHELL - BANKI



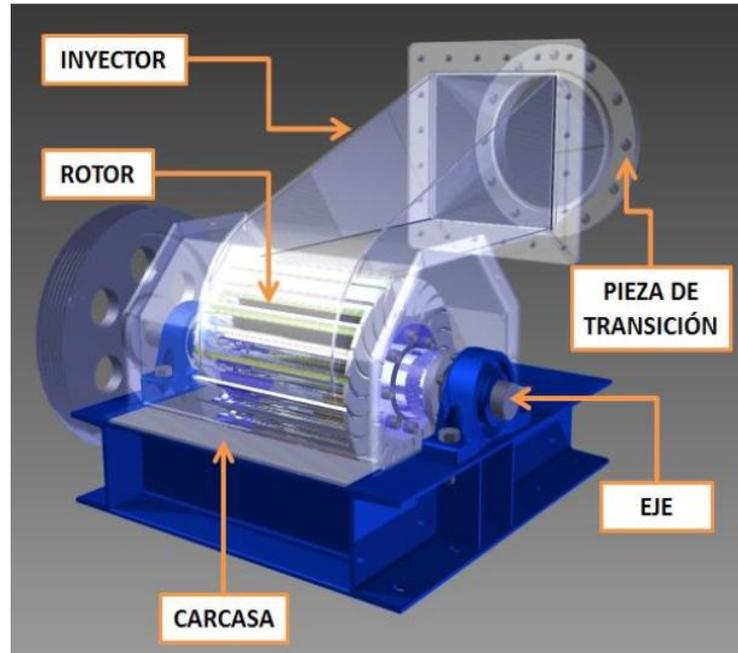
**Fuente:** Principio de funcionamiento de la Turbina Michell–Banki

Los ensayos realizados por distintos investigadores sitúan el rendimiento hidráulico de esta máquina entre un 65-70%, otros autores mencionan un 61% aclarando que la segunda etapa entrega un 17%, y en general muchos autores indican un 70% hasta un 84%.

Parece adecuado, entonces, suponer en función del diseño primario un rendimiento hidráulico  $\eta_h$  del orden del 70% como válido para dicho propósito.

#### 1.6.4. Partes de la turbina Michell-Banki

Figura 1.21. PARTES DE LA TURBINA MICHELL-BANKI



Fuente: [http://www.cerpch.unifei.edu.br/sp/michell\\_banki.php](http://www.cerpch.unifei.edu.br/sp/michell_banki.php)

##### 1.6.4.1. Pieza de transición (de circular a cuadrada).

Es un dispositivo que une la tubería de presión de agua con el inyector.

Esta pieza es importante debido a la geometría de ingreso que tiene el inyector (sección rectangular), misma que al no coincidir con la geometría de la tubería (sección circular), genera perturbaciones en el flujo.

El objetivo de la pieza de transición es hacer que el flujo sea más uniforme.

**Figura 1.22. PIEZA DE TRANSICIÓN**



**Fuente;** <http://www.vcpa.com/productos/producto.php?id=v0>; Pieza de Transición

#### **1.6.4.2. Inyector.**

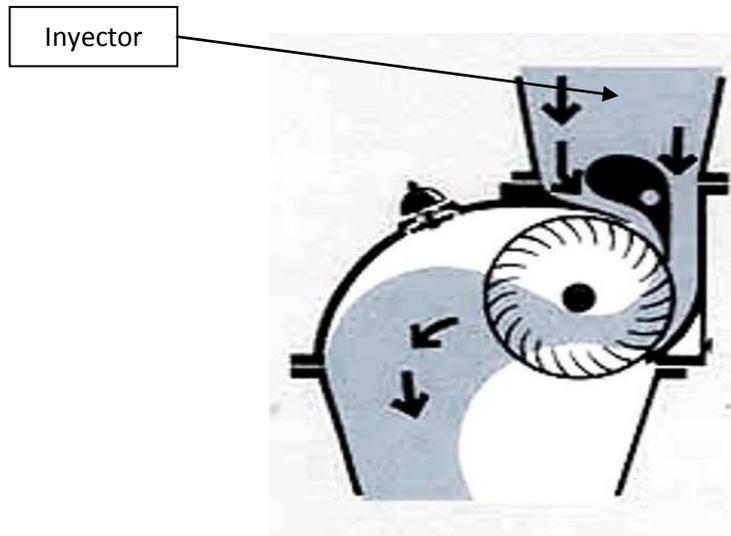
En la turbina Michell-Banki, la entrada del agua es propulsada por una bomba, este flujo de agua se gobierna por medio de palas directrices perfiladas de fuerza compensada.

Las palas directrices dividen y dirigen la corriente de agua que proviene de la bomba haciendo que ésta llegue al rodete sin efecto de golpe con independencia de la abertura de entrada. Ambas palas giratorias se hallan perfectamente ajustadas.

Las pérdidas por fuga son tan escasas que la pala directriz puede servir de órgano de cierre. De esta manera no es preciso que se prevea ninguna válvula de cierre entre la tubería de presión y la turbina.

La pala directriz puede regularse independientemente entre sí mediante una palanca reguladora a la que se acopla la regulación manual.

**Figura 1.23.** FUNCIONAMIENTO DEL INYECTOR DE LA TURBINA TIPO MICHELL-BANKI



**Fuente:** <http://www.cec.uchile.cl/~jfiguero/banki.html>; Turbina Michell-Banki

#### **1.6.4.2.1. Regulador de caudal.**

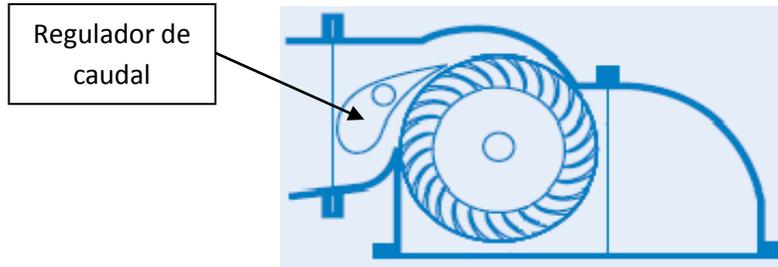
La turbina de una central hidroeléctrica, está diseñada para trabajar a un número constante de revoluciones independientemente de la oferta o demanda energética.

El regulador de caudal, como indica su nombre, es un dispositivo mecánico que sirve para mantener constante la velocidad de giro de la turbina.

La turbina transmite su movimiento angular al generador, lo cual produce electricidad con una cierta frecuencia preestablecida, que en el caso del Ecuador es de 60 Hz.

Si la velocidad angular del generador aumenta o disminuye con respecto a la velocidad angular nominal, entonces la frecuencia aumentará o disminuirá correspondientemente, ocasionando una disminución en la calidad de la energía, pudiendo ocasionar daños, mal funcionamiento o simplemente que no funcionen los aparatos eléctricos que ya están diseñados para trabajar con una frecuencia de 60 Hz.

**Figura 1.24.** MECANISMO REGULADOR DE CAUDAL



**Fuente:** <http://www.csanyigroup.com/introduction-to-micro-hydropower>; Turbinas Hidráulicas

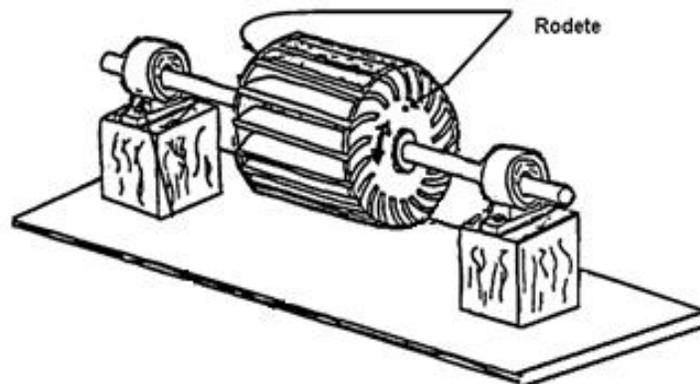
### 1.6.4.3. Rodete.

El rodete constituye la parte esencial de la turbina. Está equipado con palas que están fabricadas en acero perfilado estirado blanco y ajustadas y soldadas a ambos lados en discos terminales según un procedimiento especial.

Según sea su tamaño, el rodete puede poseer un número de palas específicas. Las palas curvadas linealmente sólo producen un empuje axial pequeño, este empuje axial es amortiguado por medio de los rodamientos.

Antes del montaje final el eje de la turbina es sometido a un balanceo y un perfecto alineamiento.

**Figura 1.25.** RODETE DE LA TURBINA TIPO MICHELL-BANKI

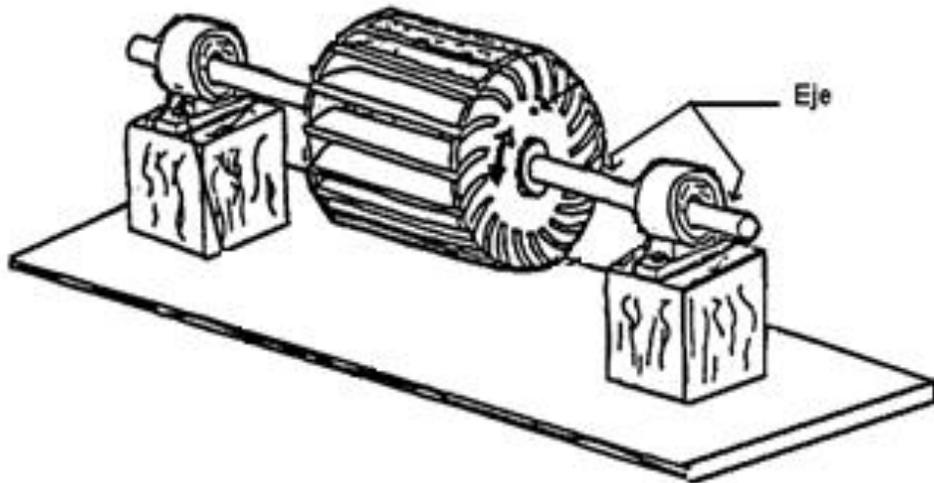


**Fuente:** <http://www.solucionespracticas.org.pe/fichastecnicas/pdf>; Turbina Michell-Banki

#### 1.6.4.4. Eje.

El eje es un elemento mecánico que transmitirá el torque hacia el generador o máquina impulsada.

**Figura 1.26. EJE DE LA TURBINA TIPO MICHELL-BANKI**



**Fuente:** <http://www.solucionespracticas.org.pe/fichastecnicas/pdf>; Turbina Michell-Banki

#### 1.6.4.5. Rodamientos.

Los rodamientos son elementos mecánicos que aseguran un enlace móvil entre dos elementos de un mecanismo, uno que se encuentra en rotación con respecto a otro; siendo su función principal el de permitir la rotación relativa de dichos elementos bajo carga, con precisión y con un rozamiento mínimo.

Los rodamientos rígidos de bolas se usan en muchas aplicaciones, consecuentemente, se emplean en varios formatos y tamaños.

**Figura 1.27. RODAMIENTO RÍGIDO DE UNA HILERA DE BOLAS**

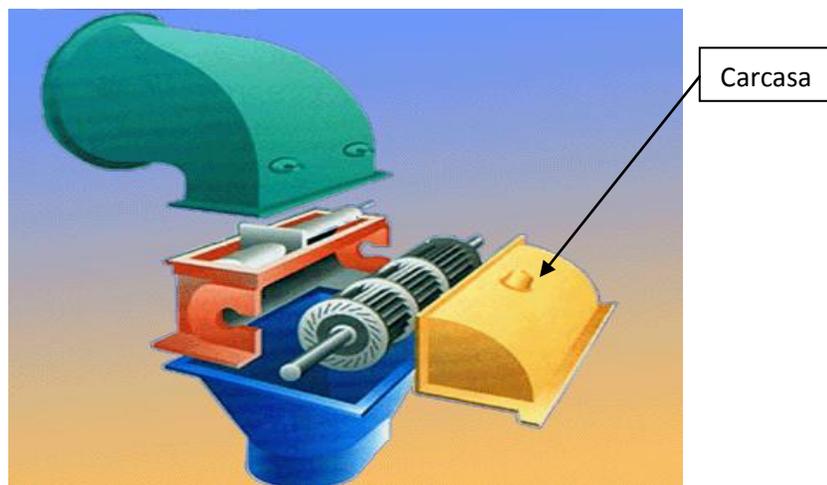


**Fuente:** <http://www2.ula.ve/dsiportal/dmdocuments/elementos/.pdf>; Rodamientos

#### 1.6.4.6. Carcasa.

La carcasa es la que soporta y cubre las partes de la turbina, evita también que agentes externos ingresen a ella.

**Figura 1.28. CARCASA DE LA TURBINA TIPO MICHELL-BANKI**

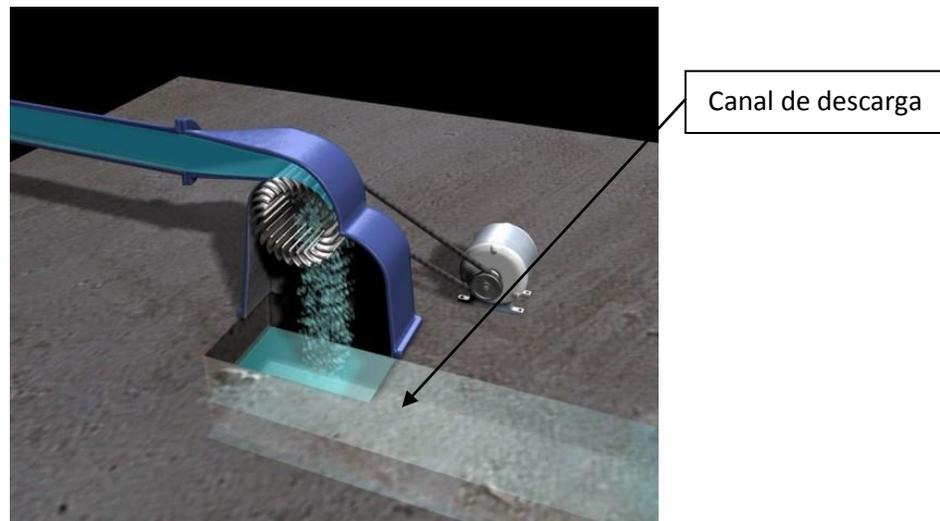


**Fuente:** [http://members.tripod.com/hydrodocs\\_1/turbines.html](http://members.tripod.com/hydrodocs_1/turbines.html); Turbinas Hidráulicas

#### 1.6.4.7. Canal de descarga.

El canal de descarga permite el flujo del agua sin ningún problema, desde la salida de la turbina hasta el canal principal aguas abajo, para luego ser utilizada en el riego como es común en esta zona.

**Figura 1.29.** CANAL DE DESCARGA TURBINA TIPO MICHELL-BANKI



**Fuente:** <http://preview.turbosquid.com/Banki%2003.Large.jpg>; Turbina Michell-Banki

### 1.7. Generador.

Existen dos tipos de generadores, los sincrónicos y los asincrónicos o de inducción, ambos son empleados en Micro centrales Hidráulicas con un aceptable grado de confiabilidad y calidad de energía.

#### 1.7.1. Los generadores sincrónicos.

Son capaces de suministrar la energía reactiva de la carga, por lo cual pueden utilizarse para redes aisladas al sistema o conectadas al sistema, son más complejos debido a que posee un sistema de control de la excitación.

### **1.7.2. Los generadores de inducción (asincrónicos).**

Los generadores de inducción o también denominados asincrónicos son los que no pueden suministrar energía reactiva por lo tanto el reactivo de la excitación propia así como el reactivo de la carga, deben ser suministrados por capacitores, los cuales pasan a formar parte esencial de la instalación.

#### **1.7.2.1. Ventajas de los generadores de inducción.**

La principal ventaja de este tipo de generadores es que se encuentra en el mercado a bajo precio, esto sumado a las ventajas que a continuación detallamos los hacen ideales para la generación hidroeléctrica.

- Continuidad de trabajo
- Características de frecuencia, voltaje y velocidad.
- Sobre velocidad relacionadas con la turbina.
- Numero de fases, si es monofásico o trifásico.
- Los kVA, kW, factor de potencia y su eficiencia.
- Temperatura ambiente, humedad, altitud.
- Regulador automático de voltaje.
- Sistema de gobernador.
- Protecciones de sobre velocidad, baja velocidad, sobre carga, cortocircuito.
- Dimensiones físicas y peso.

### **1.8. Tablero de control eléctrico.**

Un tablero eléctrico es una caja o gabinete que contiene los dispositivos de conexión, maniobra, comando, medición, protección, alarma y señalización, con sus cubiertas y soportes correspondientes, para cumplir una función específica dentro de un sistema eléctrico.

La fabricación o ensamblaje de un tablero eléctrico debe cumplir criterios de diseño y normativas que permitan su funcionamiento correcto una vez energizado,

garantizando la seguridad de los operarios y de las instalaciones en las cuales se encuentran ubicados.

#### **1.8.1. Componentes del tablero de control.**

- Gabinete metálico
- Voltímetro
- Amperímetro
- Luces Piloto
- Interruptor termomagnético
- Seccionador de 2 posiciones

## CAPÍTULO II

### INVESTIGACIÓN DE CAMPO

#### 2. DESCRIPCIÓN GENERAL

##### 2.1. Estudio geográfico del sector.

##### 2.1.1. Localización del proyecto.

La pico generadora hidroeléctrica (PCH), será instalada en el Sector de Alubillo perteneciente al Cantón Caluma de la Provincia de Bolívar.

El cantón Caluma se encuentra ubicado a 62 km al sur occidente de Guaranda, capital de la Provincia de Bolívar, con una altitud de 350 m.s.n.m., la vía de acceso hacia este sector es de tercer orden, pudiendo llegar en vehículo en un tiempo estimado desde Latacunga en 6 horas con 30 minutos.

##### 2.1.2. Características del proyecto.

El presente proyecto dispone de una turbina de tipo Michell-Banki, la misma que fue diseñada para un caudal de  $75 \text{ l/s}$ , también se dispone de un generador asincrónico de 8 kw.

Para la instalación del proyecto se necesita realizar el diseño y construcción de las obras civiles, tales como: bocatoma, desarenador y tanque de presión, casa de máquinas, de seleccionar el diámetro adecuado para la tubería de conducción y presión, seleccionar el tipo de banda para la transmisión, y realizar un análisis verificativo de algunos elementos mecánicos de la turbina, entre otros parámetros.

Estos parámetros a determinar nos permitirán cubrir con la demanda energética una vez que entre en funcionamiento el sistema.

## 2.2. Estudio de demanda de potencia.

El objetivo del estudio de la demanda energética en el sector de Alubillo, tiene como finalidad de mejorar las condiciones de vida de los habitantes de este importante sector del país, basándose en el aprovechamiento del recurso hídrico que existente en la región, cabe señalar que la potencia a generar debe superar el consumo energético del sector, a continuación se detallada la tabla 2.1 de requerimiento energético en el sector Alubillo.

**Tabla 2.1. DETERMINACIÓN REFERENCIAL DE DEMANDA ENERGÉTICA EN EL SECTOR ALUBILLO**

Descripción	Consumo (W)
Vivienda 1	262
Vivienda 2	150
Vivienda 3	190
Vivienda 4	198
Vivienda 5	170
Vivienda 6	170
Vivienda 7	4225
<b>Total</b>	<b>5365</b>

**Fuente:** Postulantes

El anexo A detalla el consumo de potencia de cada vivienda así como su categoría

## 2.3. Datos técnicos.

Para el diseño de la pico generadora hidroeléctrica de tipo Michell-Banky se requiere determinar los siguientes parámetros:

### 2.3.1. Caudal disponible.

La medición del caudal ofrece una mejor visión del comportamiento del recurso hídrico, dado que no se tiene esta información, se obtiene usando el siguiente método:

### 2.3.1.1. Medición del caudal con el método del flotador.

Este método es práctico, el mismo que permite obtener el caudal en forma puntual, se basa en la medición del tiempo para una distancia determinada que recorre un volumen de agua delimitado por el lecho de la corriente; el caudal se determina de la siguiente forma:

- Se eligió un tramo de sección recta y homogénea del curso del canal
- Se midió una longitud de  $L= 5\text{m}$  en el tramo seleccionado
- Se determinó la sección transversal del canal en el tramo seleccionado

Para este caso el canal es de, de  $1.5\text{ (m)}$  El espejo de agua que circula por el canal es de  $h = 0.23\text{ (m)}$ .

El área que utiliza el agua en el canal para su circulación se calcula con la siguiente ecuación:

**Ecuación (2.1)**

$$A = b * h$$

Al reemplazar los datos conocidos en la ecuación (2.1) se tiene:

$$A = 0.345\text{ m}^2$$

Seleccionamos un elemento liviano, el mismo que nos va a servir como flotador, para nuestro caso tomamos varias hojas de una planta existente en el lugar.

Colocamos el flotador algunos metros antes del trecho elegido y cronometramos el tiempo utilizado en recorrer la longitud  $L=5\text{m}$ .

El tiempo que tarda el flotador en recorrer esta longitud se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 2.2.** TIEMPOS MEDIDOS EN ÉPOCAS DE INVIERNO.

# DE MEDICIONES	TIEMPO(S)
<b>T<sub>1</sub></b>	12
<b>T<sub>2</sub></b>	10
<b>T<sub>3</sub></b>	11.4
<b>T<sub>4</sub></b>	11.6
<b>T<sub>5</sub></b>	12
<b>T promedio</b>	11.40

**Fuente:** Postulantes

La velocidad del agua en el canal se determina con la relación entre la longitud y el tiempo representado en la ecuación (2.2).

**Ecuación (2.2)**

$$V = \frac{L}{T}$$

Reemplazando los datos conocidos en la ecuación (2.2) se tiene:

$$V = 0.44 \frac{m}{s}$$

Como el canal que disponemos proviene de un riachuelo seleccionamos el factor de corrección (C) para determinar el caudal:

$$C = 0.5 \text{ para canal riachuelo}$$

Una vez que conocemos el valor de los diferentes parámetros determinamos el caudal que circula por el canal por medio de la ecuación de continuidad multiplicada por el factor de corrección:

### Ecuación (2.3)

$$Q=C*V*A \frac{m^3}{s}$$

Remplazando los valores conocidos en la ecuación (2.3) tenemos:

$$Q = 0,075 \frac{m^3}{s}$$

$$Q = 75 \frac{l}{s}$$

#### 2.3.2. Altura bruta.

La capacidad de generación mediante el empleo de agua está determinada por el salto o caída (energía potencial) que se pueda obtener, el mismo que depende de la topografía del terreno. A este salto se lo conoce también como altura bruta ( $H_b$ ) y puede ser determinado de la siguiente forma:

##### 2.3.2.1. Método Asistido por GPS.

GPS es un sistema satelital de posicionamiento Global, El GPS funciona mediante una red de 24 satélites en órbita sobre el planeta tierra, a 20.200 km, con trayectorias sincronizadas para cubrir toda la superficie de la Tierra.

Realizando las mediciones en tres puntos diferentes obtuvimos las siguientes coordenadas mismas que las representamos en las siguientes tablas:

**Tabla 2.3. COORDENADAS DEL PUNTO 1 AL PUNTO 2**

MAGNITUD	PUNTO 1	PUNTO 2	DELTA	DISTANCIA
LONGITUD	17707794	17707900	106	134.62912
LATITUD	9825919	9826002	83	
ALTURA	1279	1288	9	

Fuente: Postulantes

**Tabla 2.4. COORDENADAS DEL PUNTO 1 AL PUNTO 3**

<b>MAGNITUD</b>	<b>PUNTO 1</b>	<b>PUNTO 3</b>	<b>DELTA</b>	<b>DISTANCIA</b>
LONGITUD	17707794	17707990	196	251.127458
LATITUD	9825919	9826076	157	
ALTURA	1279	1310	31	

Fuente: Postulantes

**Tabla 2.5. COORDENADAS DEL PUNTO 2 AL PUNTO 3**

<b>MAGNITUD</b>	<b>PUNTO 2</b>	<b>PUNTO 3</b>	<b>DELTA</b>	<b>DISTANCIA</b>
LONGITUD	17707900	17707990	90	116.516093
LATITUD	9826002	9826076	74	
ALTURA	1288	1310	24	

Fuente: Postulantes

Obteniendo como mejor resultado implementar el generador en el punto 2 y la toma de agua en el punto 3 ya que tenemos una altura bruta considerable de 24 m.

### **2.3.3. Altura neta.**

La altura neta es el resultado de restar a la altura bruta las pérdidas de carga o fricción debidas al rozamiento del agua con las paredes de la tubería de presión y con el resto de accesorios instalados para el control del paso de agua.

#### **2.3.3.1. Cálculo del diámetro interior de la tubería de presión.**

Para determinar el diámetro interior de la tubería de presión empleamos la siguiente ecuación.

**Ecuación (2.4)**

$$D_i = \sqrt[7]{0.052 * Q^3}$$

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación (2.4) tenemos:

$$D_i = \sqrt[7]{0.052 * 0.075^3}$$

$$D_i = 0.152 \text{ m}$$

$$D_i = 5.99 \text{ in}$$

Como el diámetro calculado no es comercial seleccionamos un diámetro de tubería de 6 in.

### **2.3.3.2. Selección de la tubería de presión.**

Como su nombre lo indica son tuberías que transportan agua a altas presiones desde el tanque de presión hasta la turbina, por lo que la selección de ésta es uno de los parámetros más importantes para el buen funcionamiento del sistema hidráulico, para lo cual debemos considerar los materiales frecuentemente utilizados en estas instalaciones, tomando en cuenta los diferentes tipos de uniones, su peso y grado de dificultad de la instalación, costo, transporte hasta el sitio de instalación, entre otros factores importantes para su selección.

Entre los materiales más utilizados tenemos:

- Acero comercial
- Polí cloruro de vinilo (PVC)
- Polietileno de alta densidad
- Asbesto
- Cemento.

Las bondades de cada uno de los materiales utilizados en tuberías de presión se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 2.6. COMPARACIÓN DE DIFERENTES MATERIALES PARA TUBERÍAS DE PRESIÓN.**

**Rango:** Malo = 1, Excelente = 5.

MATERIAL	PÉRDIDA POR FRICCIÓN	PESO	CORROSIÓN	COSTO	PRESIÓN DE TRABAJO TRABAJO
Acero	3	3	3	2	5
PVC	5	5	4	4	4
Polietileno	5	5	5	3	4

**Fuente:** Postulantes

Una vez realizada la comparación entre los diferentes tipos de materiales utilizados en tuberías de presión se selecciona para nuestro proyecto una tubería de PVC, la misma que cumple con las características adecuadas, por lo que realizamos el cálculo respectivo de pérdidas de fricción en dicha tubería.

Para una tubería de PVC con un diámetro nominal de 6 in tenemos:

**Tabla 2.7. CARACTERÍSTICAS DE TUBERÍAS PVC, PLASTIDOR DE DIÁMETRO 160 mm.**

DIÁM. EXTERIOR (MM)	DIÁM. INTERIOR (MM)	ESPESOR (MM)	PRESIÓN DE TRABAJO (MPA)
160	153,8	3,1	0,5

**Fuente:** Postulantes

Para determinar la velocidad de circulación del agua en la tubería lo hacemos por medio de la siguiente ecuación de continuidad:

**Ecuación (2.5)**

$$Q = V * A$$

Donde el área de la tubería de sección transversal circular viene dada en la siguiente ecuación.

**Ecuación (2.6)**

$$A = \frac{\pi D_i^2}{4}$$

Despejando la velocidad y reemplazando el área de la tubería de sección transversal circular tenemos la siguiente ecuación:

**Ecuación (2.7)**

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

Donde:

$$Q = 0.075 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \text{ Caudal de diseño}$$

$D_i$  = Diámetro interior de tubería (m)

$V$  = Velocidad de circulación del agua (m/s)

Remplazando los valores en la ecuación (2.7) se tiene:

$$V = \frac{4 * 0.075}{\pi * 0.1538^2}$$

$$V = 4.05 \text{ m/s}$$

**2.3.3.3. Longitud de la tubería de presión.**

Es importante determinar la longitud exacta de la tubería de presión a fin optimizar tiempo, recursos económicos y determinar las pérdidas existentes durante la conducción del agua desde el tanque de presión hasta la casa de máquinas, para el cálculo de esta longitud utilizamos la siguiente ecuación:

**Ecuación (2.8)**

$$L_T = L = \sqrt{\Delta x^2} + \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

Remplazando los valores en la ecuación (2.8) se tiene:

$$L_T = \sqrt{90^2 + 74^2}$$

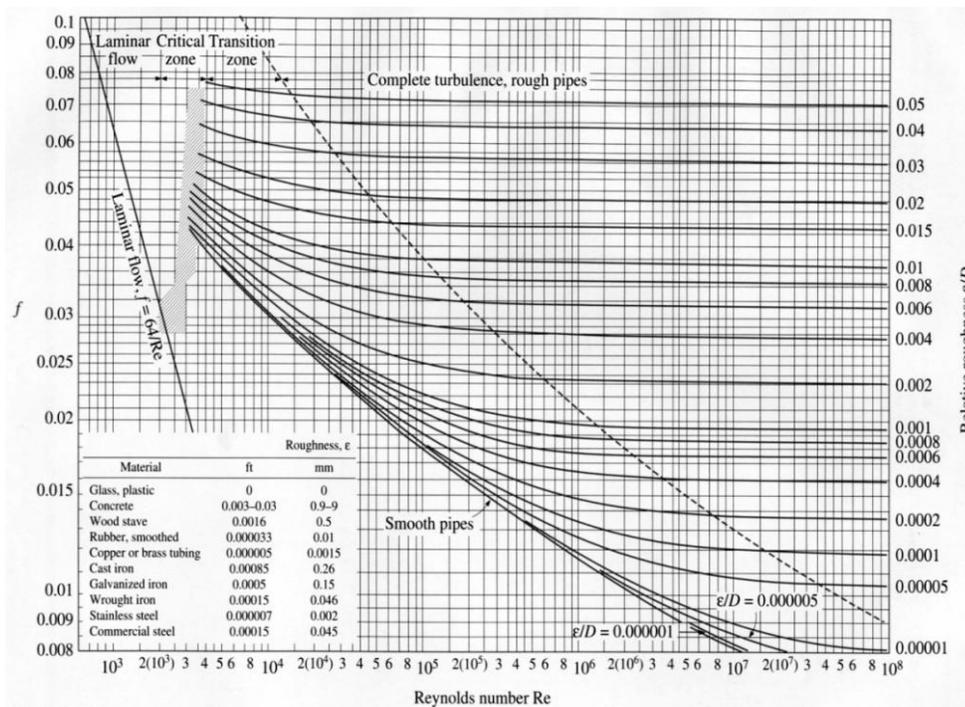
$$L_T = 116.51 \text{ m.}$$

### 2.3.3.4. Cálculo de las pérdidas en la tubería de presión.

#### 2.3.3.4.1 Diagrama de Moody.

El diagrama de Moody, se utiliza para hallar el factor de fricción, producido a lo largo de las paredes internas de una tubería, este diagrama sólo se utiliza para tuberías que conducen agua y no para otros fluidos, sin importar el diámetro y el material de la tubería.

**Figura 2.1. DIAGRAMA DE MOODY**



**Fuente:** Dc L.F. Moody. Trans. ASME, vol. 66, 1944. Diagrama de Moody

Para usar este diagrama primero hay que determinar la rugosidad relativa (**S**) y el número de Reynolds (**Re**), respectivamente.

#### 2.3.3.4.2. Determinación del número de Reynolds (Re).

El número de Reynolds es un parámetro adimensional con predominio de la viscosidad por lo que cuanto mayor es el número de Reynolds menor es la importancia de la viscosidad y viceversa, y se determina por medio de la siguiente ecuación:

**Ecuación (2.9)**

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

Donde:

Re = Número de Reynolds

$\gamma$  = Viscosidad cinemática del agua (m<sup>2</sup>/s)

La viscosidad cinemática del agua para una temperatura de 15 °C se detalla en la siguiente tabla:

**Tabla 2.8. PROPIEDADES DEL AGUA**

	<b>Peso específico</b>	<b>Densidad</b>	<b>Viscosidad dinámica</b>	<b>Viscosidad cinemática</b>
<b>TEMPERATURA</b>	<b><math>\Gamma</math></b>	<b>P</b>	<b><math>\mu</math></b>	<b><math>\Upsilon</math></b>
<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>/s)</b>
0	9,81	1000	1.75 x 10 <sup>-3</sup>	1.75 x 10 <sup>-6</sup>
5	9,81	1000	1.52 x 10 <sup>-3</sup>	1.52 x 10 <sup>-6</sup>
10	9,81	1000	1.308 x 10 <sup>-3</sup>	1.308 x 10 <sup>-6</sup>
<b>15</b>	<b>9,81</b>	<b>1000</b>	<b>1.15 x 10<sup>-3</sup></b>	<b>1.15 x 10<sup>-6</sup></b>

**Fuente:** <http://www.miliarium.com/Paginas/Prontu/Tablas/Aguas; Propiedades Físicas del Agua.>

Reemplazando los parámetros conocidos en la ecuación (2.9) se tiene:

$$Re = \frac{4.05 * 0.1538}{1.15 \times 10^{-6}}$$

$$Re = 5.41 \times 10^{-5}$$

#### 2.3.3.4.3. Determinación de la rugosidad relativa (S).

Para determinar la rugosidad relativa **S** se utiliza la ecuación siguiente ecuación:

**Ecuación (2.10)**

$$S = \frac{K}{D_i}$$

Donde:

S = Rugosidad Relativa

K = Rugosidad Absoluta del Material (mm)

La rugosidad absoluta para tubería de PVC es  $K = 0.003mm$

Reemplazando los valores conocidos en la ecuación (2.10) se tiene:

$$S = \frac{0.003}{153.8}$$

$$S = 1.95 * 10^{-5}$$

Con la rugosidad relativa (S) y el número de Reynolds (Re) determinamos el factor de fricción  $f$  en el diagrama de Moody.

$$f = 0.016$$

#### 2.3.3.4.4. Determinación de las pérdidas primarias (Hrp).

Las pérdidas primarias son las pérdidas de superficie en el contacto del fluido con la tubería, generalmente para tramos de tubería de sección constante y flujo uniforme, para lo cual utilizamos la siguiente ecuación general de DARCY-WEISBACH.

**Ecuación (2.11)**

$$H_{rp} = f \frac{L \cdot V^2}{2 \cdot g \cdot D_i}$$

Donde:

Hrp = Perdidas primarias (m)

L = 60 m.

g = 9.81 m/s<sup>2</sup> aceleración de la gravedad

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación (2.11) se tiene:

$$H_{rp} = 0.016 \frac{40 \cdot 4.05^2}{2 \cdot 9.81 \cdot 0.1538}$$

$$H_{rp} = 2.17\text{m}$$

#### 2.3.3.4.5. Determinación de 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 (2.12)**

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

Donde:

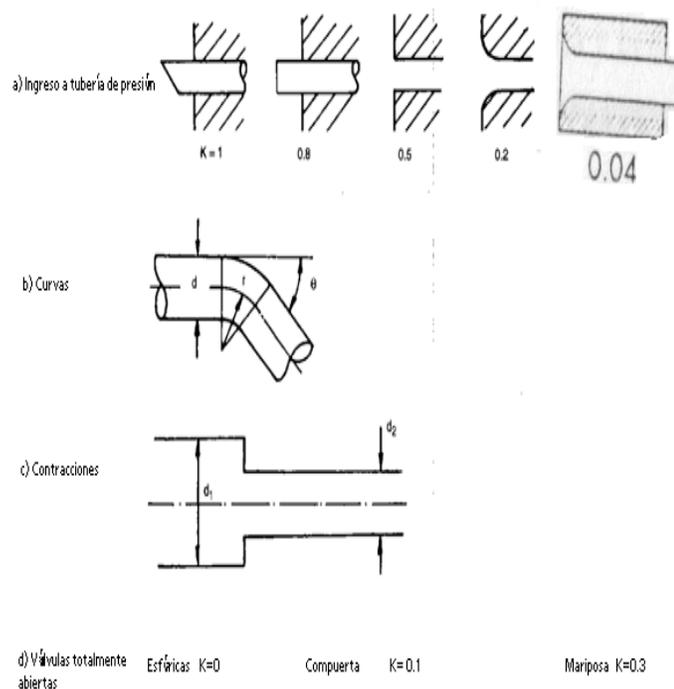
Hrs = Pérdidas Secundarias (m)

K = Factor asociado a cada accesorio a utilizar.

En este proyecto las pérdidas secundarias se producen en:

- Conexión de la tubería de presión con la cámara de carga  $K_1$
- En válvulas  $K_2$
- Acoplamientos de la tubería de presión  $K_3$
- Reducción de tubería  $K_4$
- En la rejilla  $K_5$

**Figura 2.2.** COEFICIENTE DE PÉRDIDA DE ENERGÍA EN LA ENTRADA DE TUBERÍAS



**Fuente:** fluidsmechanics.wikispaces.com; Fluidos Mecánicos

### 2.3.3.4.5.1. Pérdidas por conexión, cámara de carga con tubería de presión.

Donde:  $K_1 = 0.04$

$$H_{rs} = \frac{0.04 \cdot 4.05^2}{2 \cdot 9.81}$$

$$H_{rs_1} = 0.033 \text{ m}$$

### 2.3.3.4.5.2. Pérdidas en la válvula de compuerta.

Donde:  $K_2 = 0.1$

$$H_{rs} = \frac{0.1 \cdot 4.05^2}{2 \cdot 9.81}$$

$$H_{rs_2} = 0.083 \text{ m}$$

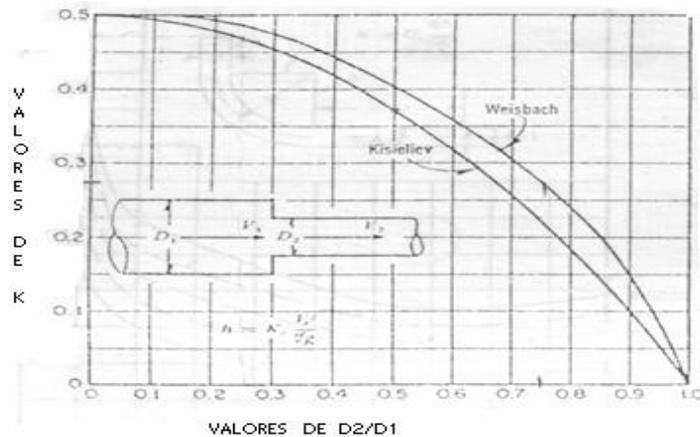
### 2.3.3.4.5.3. Pérdidas por acoplamiento de la tubería de presión.

Donde:  $K_3 = 0.04$

$$H_{rs} = 7 \frac{0.04 \cdot 4.05^2}{2 \cdot 9.81}$$

$$H_{rs_3} = 0.23 \text{ m}$$

**Figura 2.3. PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN UNA CONTRACCIÓN BRUSCA**



Fuente: fluidsmechanics.wikispaces.com; Fluidos Mecánicos

**2.3.3.4.5.4. Pérdidas en la reducción de 8 a 6 in.**

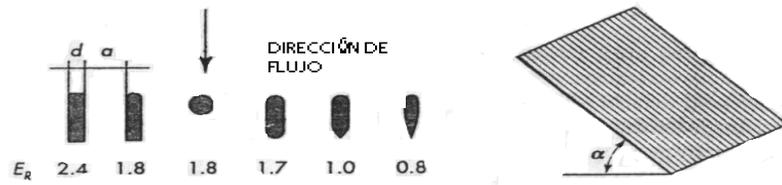
Donde:  $K_4 = 0.466$

$$H_{rs} = \frac{0.466 * 4.05^2}{2 * 9.81}$$

$$H_{rs_4} = 0.38m$$

**2.3.3.4.5.5. Pérdidas en la rejilla.**

**Figura 2.4. PÉRDIDAS QUE SE PRODUCEN EN LA REJILLA**



**Fuente:** fluidsmechanics.wikispaces.com; Fluidos Mecánicos

Donde:  $K_5 = 1.8$

$$H_{rs} = \frac{1.8 * 4.05^2}{2 * 9.81}$$

$$H_{rs_5} = 1.50 m$$

Al realizar la sumatoria de los valores de las pérdidas que se producen en cada uno de los accesorios se tiene:

$$H_{rs} = (0.033 + 0.083 + 0.23 + 0.38 + 1.5)m$$

$$H_{rs} = 2.26 m$$

Una vez determinado los valores de la altura bruta, perdidas primarias y secundarias encontramos la altura neta mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación (2.13)**

$$H_n = H_b - H_{rp} - H_{rs}$$

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación (2.13) se tiene:

$$H_n = 24 - 2.17 \text{ m} - 2.26 \text{ m}$$

$$H_n = 19.5 \text{ m}$$

Tomaremos la altura de 19 m para nuestros cálculos debido a la topografía del terreno.

Uno de principales criterios de selección de la turbina es la potencia que puede suministrar, la misma que es directamente proporcional a dos magnitudes: la altura neta y el caudal turbinable del agua.

#### **2.4. Determinación de la potencia generada.**

Partimos tomando en cuenta que se tiene un generador de 8 kw de Potencia máxima que se entrega al sistema eléctrico de distribución, con este antecedente partimos y calculamos la potencia de freno que la turbina deberá entregar al generador.

##### **2.4.1. Determinación de la potencia de freno.**

La potencia de freno  $P_t$  de la turbina se obtiene de la siguiente ecuación:

**Ecuación (2.14)**

$$P_t = \frac{P_g}{\eta_g * \eta_{tr}}$$

**Fuente:** Manual de diseño y fabricación de equipos para pequeñas centrales hidroeléctricas.

Donde:

$P_g$  = Potencia máxima que el generador entrega al sistema eléctrico, en Kw.

$\eta_g$  = Eficiencia del generador, tanto por uno.

$\eta_{tr}$  = Eficiencia de la transmisión mecánica utilizada entre la turbina y el generador, tanto por uno.

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación (2.14) se tiene:

$$P_t = \frac{8\text{Kw}}{0.96 * 0.70}$$

$$P_t = 11.90 \text{ Kw}$$

#### 2.4.2. Determinación del caudal de diseño.

Para determinar el caudal de diseño utilizamos la potencia de freno de la turbina y se obtiene con la siguiente ecuación:

**Ecuación (2.15)**

$$Q = \frac{P_t}{9.807 * H_n * \eta_t}$$

**Fuente:** Manual de diseño y fabricación de equipos para pequeñas centrales hidroeléctricas.

Donde:

Q = Caudal de diseño, en m<sup>3</sup>/s, que fluirá por la turbina.

P<sub>t</sub> = Potencia al freno de la turbina en Kw

H = Salto neto aprovechable, en metros.

η<sub>t</sub> = Eficiencia de la turbina cuando opera a plena carga.

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación (2.15) se tiene:

$$Q = \frac{11.90}{9.807 * 19 * 0.85}$$

$$Q = 0.075 \text{ m}^3/\text{s}$$

Con estos parámetros de diseño se obtiene los siguientes datos:

Potencia a generar: P = 8kw.

Caudal máximo de diseño: 75 l/s     $Q = 0,075 \text{ m}^3/\text{seg}.$

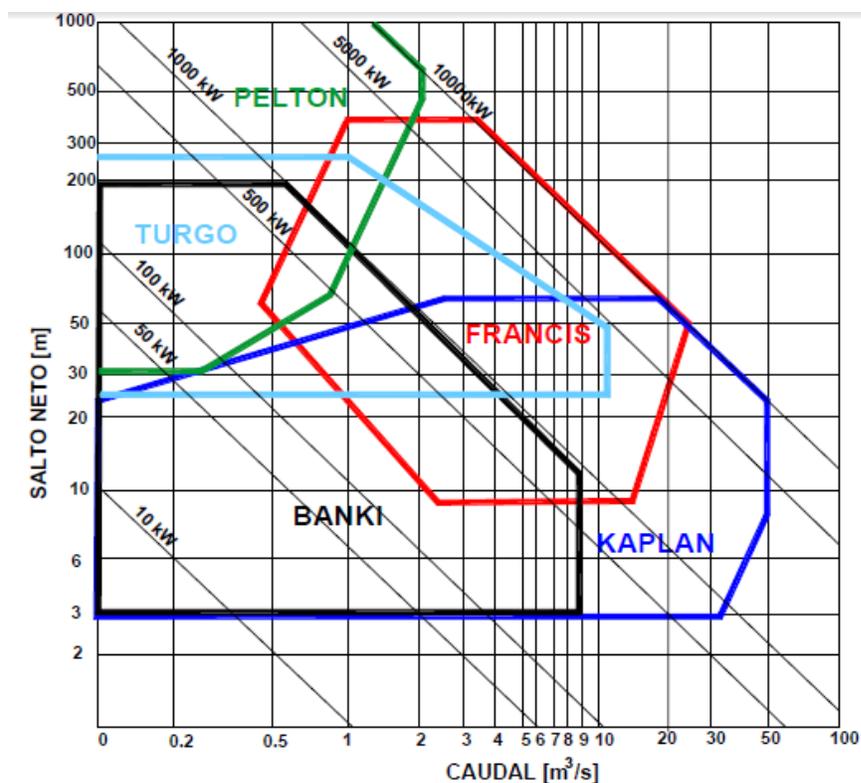
Altura neta aprovechable             $h = 19 \text{ mts.}$

Aceleración de gravedad.             $g = 9,81 \text{ m}/\text{seg}^2$

## 2.5. Parámetros de selección del equipo hidráulico y eléctrico.

La siguiente Figura corresponde a un ábaco para la selección del tipo de turbina, dependiendo del salto (neto) y del caudal.

**Figura 2.5. SELECCIÓN DE TURBINA POR POTENCIA GENERADA**



Fuente: <http://www.savoiapower.com/hydratabla.html>

Un caudal y una altura de salto definen un punto en el plano que reúne la, envolventes operacionales de cada tipo de turbina. Cualquier turbina dentro de cuya

envolvente caiga dicho punto, podrá ser utilizada en el aprovechamiento en cuestión. La elección final será el resultado de un proceso iterativo, que balancee la producción anual de energía, el costo de adquisición y mantenimiento, y su fiabilidad, para nuestro proyecto la indicada es la turbina de tipo Michell-Banki.

### 2.5.1 Velocidad específica.

La velocidad específica corresponde al número de revoluciones por minuto que daría una turbina, semejante a la que se desea proyectar con el mismo rendimiento. La velocidad específica viene dada por las siguientes ecuaciones.

Número característico de revoluciones de caudal  $Nq$  y de potencia  $Ns$ .

Los números característicos se determinan aplicando las siguientes ecuaciones:

**Ecuación (2.16)**

$$Nq = n \frac{\sqrt{Q}}{Hn^{3/4}}$$

**Ecuación (2.17)**

$$Ns = n \frac{\sqrt{Pn}}{Hn^{5/4}}$$

Donde:

$Nq$  = El número específico de revoluciones de caudal

$n$  = Número óptimo de revoluciones.

$Q$  = Caudal.

$Hn$  = Altura neta.

$Ns$  = Es la velocidad específica de la turbina. (rpm)

### 2.5.2. Número óptimo de revoluciones.

El número óptimo de revoluciones con que debe girar la turbina se determinó aplicando la siguiente ecuación:

**Ecuación (2.18)**

$$N = \frac{39.85 Hn^{1/2}}{D_e}$$

Donde:

$D_e$  = Diámetro exterior del rodete

En este caso se asume un diámetro de rodete de 0.2 metros, y reemplazando los valores en la ecuación (2.18), se obtiene un número óptimo de revoluciones.

$$N = \frac{39.85 * 19^{1/2}}{0.2 \text{ m}}$$

$$N = 868.5 \text{ r.p.m.}$$

Realizando una comprobación de la aplicación de la turbina Michell-Banki, se determina el número específico de revoluciones.

**Ecuación (2.19)**

$$Nq = 868.5 \frac{\sqrt{0,075}}{19^{3/4}}$$

$$Nq = 26.13 \text{ r.p.m.}$$

**Ecuación (2.20)**

$$Ns = 868.5 \frac{\sqrt{16.21}}{19^{5/4}}$$

$$Ns = 88.14 \text{ r.p.m.}$$

## 2.6. Determinación de la turbina hidráulica.

Mediante la siguiente tabla determinamos que la turbina a utilizar es la de tipo Michell-Banki ya que está dentro de los parámetros establecidos en la tabla de acuerdo al número característico de revoluciones de caudal (Nq) y de potencia (Ns).

**Tabla 2.9.** TIPOS DE TURBINAS DE ACUERDO A LAS VELOCIDADES.

<b>TIPO DE TURBINA</b>	<b>Nq</b>	<b>Ns</b>
Turbina Pelton de 1 Tobera	Hasta 9	Hasta 18
Turbina Pelton de 2Toberas	4 a 13	14 a 42
Turbina Pelton de 3 Toberas	5 a 22	17 a 73
Turbina Michell-Banky	18 a 60	60 a 200
Turbina Francis	18 a 68	69 a 125

**Fuente:** Máquinas de fluidos de M . Pilar González M arcos, Febrero 2009

### 2.6.1. Válvula de Alivio.

Las válvulas de alivio de presión, también llamadas válvulas de seguridad o válvulas de alivio, están diseñadas para liberar un fluido cuando la presión interna de un sistema que lo contiene supere el límite establecido (presión de tarado). Su misión es evitar una explosión, el fallo de un equipo o tubería por un exceso de presión.

Un factor importante es la determinación del tipo de válvula de alivio que vamos a utilizar, para ello establecemos la presión que existirá en la tubería de presión mediante la siguiente fórmula:

**Ecuación (2.21)**

$$P = d * g * h$$

Donde:

P = Potencia

D = Densidad del agua

H = Altura Neta

Remplazando los valores en la ecuación (2.21) se tiene:

$$P = 100 \frac{kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2} * 27 \text{ m.}$$

$$P = 186,390 \text{ Pa} * \frac{1 \text{ Psi}}{6894,8 \text{ Pa}}$$

$$P = 27,03 \text{ Psi}$$

Tomando en cuenta los datos obtenidos anteriormente podemos determinar que la válvula de alivio de presión óptima para el sistema hidráulico es una con capacidad máxima de 40Psi.

## **2.7. Equipo eléctrico.**

### **2.7.1. Generadores eléctricos**

Los generadores eléctricos para estas aplicaciones son máquinas eléctricas rotativas que se acoplan directamente o indirectamente a los rodets de las turbinas y así, conjuntamente, transforman la energía mecánica en energía eléctrica.

#### **2.7.1.1. Generador Síncrono.**

##### **2.7.1.1.1. Ventajas.**

- La velocidad de giro de la máquina en rpm. (revoluciones por minuto), 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.
- Velocidades sincrónicas deducibles de la frecuencia  $f$  y el número de polos  $P$  de la máquina.
- El generador síncrono tiene el bobinado de campo excitado por corriente continua y la tensión generada en la armadura es alterna, de ahí se lo denomina alternador.
- El generador monofásico tiene una sola fase.
- Los generadores síncronos monofásicos se usan para tres razones.
- En aplicaciones de potencia relativamente baja (usualmente no mayor a 30 KVA).
- El alternador síncrono, desde hace mucho tiempo, es el más importante dispositivo de conversión de potencia electromecánica y es pieza clave en la producción de electricidad.
- El alternador puede soportar altas corrientes instantáneas de carga o bajos factores de potencia lo que es típico en el arranque de un motor de inducción.
- Una de las principales ventajas del generador síncrono es que se lo puede usar provisionalmente cuando se espera el crecimiento futuro de la demanda.
- Los alternadores normales permiten el desbalance de las corrientes de carga de hasta un 25% sin superar la corriente nominal, a cargas parciales el valor de desbalance puede ser mayor, pero sin superar el 40% para evitar el desequilibrio de tensiones y hasta sobre tensiones.

#### **2.7.1.1.2. Desventajas.**

- Los alternadores de fabricación actual son de un solo cojinete, por lo que para uso con turbinas, se debe solicitar un alternador 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.

#### **2.7.1.1.3. Mantenimiento.**

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

#### **2.7.1.2. Generador de Inducción o Asíncronos.**

##### **2.7.1.2.1. Ventajas.**

- Son de construcción simple, robusta y confiable.
- Son de fácil adquisición, bajo costo.
- Prácticamente no requieren mantenimiento no hay escobillas.
- Soportan sobre velocidades del orden del 200%.

- La tensión generada depende de la magnitud de los condensadores, la velocidad de giro, la corriente y factor de potencia.

#### **2.7.1.2.2. Desventajas.**

- Pérdida de potencia por menor llenado de ranuras con conductor de cobre, cuando el bobinado no es de 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 en 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%.

#### **2.7.1.2.3. Mantenimiento.**

- Se aplica el programa de mantenimiento común de las demás máquinas rotativas, en este caso se reduce la lubricación de cojinetes.
- Los condensadores de excitación, se debe revisar su estado y si mantienen su capacidad y corriente de fuga.
- Respecto a los controladores de regulación por cargas lastre (resistencias) seguir las mismos procedimientos de mantenimiento de los reguladores de carga.

### **2.7.1.3. Selección del Generador.**

#### **2.7.1.3.1. Características del generador asíncrono.**

<b>Marca</b>	: Wolf
<b>Voltaje</b>	: 110 - 220V AC.
<b>Potencia</b>	: 8-15 Kw.
<b>Frecuencia</b>	: 60 Hz
<b>Polos</b>	: 2
<b>Revoluciones</b>	: 3600 rpm

### **2.8. Metodología aplicada.**

Para el desarrollo del proyecto necesitamos fundamentarnos en algunos tipos de métodos y técnicas los cuales fueron:

#### **2.8.1. Métodos.**

##### **2.8.1.1. Método hipotético – deductivo.**

El método hipotético-deductivo es el procedimiento o camino que sigue el investigador para hacer de su actividad una práctica científica. El método hipotético-deductivo tiene varios pasos esenciales: observación del fenómeno a estudiar, creación de una hipótesis para explicar dicho fenómeno, deducción de consecuencias o proposiciones más elementales que la propia hipótesis, y verificación o comprobación de la verdad de los enunciados deducidos comparándolos con la experiencia; siendo este método una vía primera de inferencias lógico deductivas para

arribar a conclusiones particulares a partir de la hipótesis y que después se puedan comprobar experimentalmente.

#### **2.8.1.2. Método analítico-sintético.**

El análisis y la síntesis son los procesos de desarticulación práctica o mental del todo en sus partes y de reunificación del todo a base de sus partes.

Este método facilitará la comprensión de los resultados del problema, para poder representar mediante el análisis las respuestas a las técnicas que se emplearán en la investigación antes mencionada.

En cada uno de los pasos que se desarrollarán en el proyecto es importante realizar una síntesis para mejorar la facilidad de entendimiento y una asimilación por las partes involucradas.

#### **2.8.2. Técnicas.**

##### **2.8.2. 1. Encuestas.**

Es una técnica cuantitativa, que consiste en una investigación realizada sobre una muestra de sujetos representativa de un colectivo amplio que se lleva a cabo en el contexto de la vida cotidiana, utilizando procedimientos estandarizados de interrogación con el fin de conseguir mediciones cuantitativas sobre una gran cantidad de características objetivas y subjetivas de la población.

Una vez realizada la entrevista se obtuvo los siguientes resultados:

## **2.8.2. 1. 1. Análisis e interpretación de los resultados.**

### **1.- ¿Cuántas familias aproximadamente existen en el sector Alubillo?**

De 10 personas encuestadas las 10 personas, es decir un porcentaje equivalente al 100% afirman que el sector Alubillo, se encuentra habitado por 7 familias, en tal virtud si tomamos en cuenta que el promedio de integrantes de un familia son 4 personas tendremos un claro indicador de que con este proyecto beneficiaremos a 28 personas aproximadamente.

Se cree que en el sector Alubillo existe este reducido número de habitantes precisamente debido a la falta de ciertos servicios básicos tales como la electricidad.

### **2.- ¿Cómo califica su nivel de vida en el sector Alubillo?**

Lamentablemente de 10 personas encuestadas las 10 personas, es decir un porcentaje equivalente al 100% coinciden en que su nivel de vida es bajo, esto se debe a la falta de servicios básicos lo cual dificulta su capacidad de producción y por consecuencia limita su progreso.

Es importante mencionar que este hecho se debe principalmente a la falta de preocupación de las Autoridades de turno.

### **3.- ¿Considera Usted que la energía eléctrica es un factor importante para el desarrollo socioeconómico de este sector?**

De las 10 personas encuestadas las 10 personas, es decir un porcentaje equivalente al 100% manifiestan estar conscientes de la importancia que la electricidad tiene para su desarrollo y del sector en el que habitan, manifiestan también que la electricidad les permitirá potencializar su desarrollo pues consideran que la estratégica ubicación geográfica, así como la extraordinaria biodiversidad que posee Alubillo es un recurso inagotable y eminentemente productivo.

**4.- ¿Cree Usted que al proporcionar energía eléctrica a este sector se podrá emprender una microempresa que permita mejorar las condiciones de vida de los habitantes de Alubillo?**

De las 10 personas encuestadas las 10 personas, es decir un porcentaje equivalente al 100% están de acuerdo en que si se proporcionara de energía eléctrica al sector Alubillo, sus habitantes estarían en condiciones de formar un microempresa, así también ellos indican que les gustaría industrializar peces tales como la tilapia y la trucha, pues tienen los conocimientos básicos sobre la crianza y el cultivo de estas especies.

**5.- ¿En el caso de estar en capacidad de emprender una microempresa a que actividad comercial se dedicaría esta?**

De las 10 personas encuestadas 2 personas, es decir un porcentaje equivalente al 20% manifiestan su deseo de industrializar la caña de azúcar pues según ellos esta planta no necesita mayores cuidados y su cultivo es relativamente descomplicado.

Sin embargo 8 personas encuestadas, es decir un porcentaje equivalente al 80% manifiesta su deseo de industrializar ciertas especies de peces que se cultivan en el sector tales como la trucha y la tilapia, pues a decir de los encuestados esta industria podría proporcionar mejores ingresos al sector.

**6.- ¿En el caso de tratarse de una microempresa de procesamiento de peces que maquinaria considera Usted que sería necesario usar?**

De las 10 personas encuestadas 5 personas, es decir un porcentaje equivalente a 50% indica que la maquinaria utilizada para la industrialización de peces sería una cortadora, sin embargo 4 personas es decir un porcentaje equivalente al 40% indica que sería indispensable el uso de una refrigeradora, pues esto les permitirá mantener en buen estado su producto, finalmente 1 persona, es decir un porcentaje equivalente al 10% dice que sería necesario el uso de una bomba de agua, pues esto les permitirá limpiar las piscinas periódicamente de una forma fácil y rápida.

**7.- ¿Cuántas personas considera Usted que podrán trabajar en esta microempresa?**

De las 10 personas encuestadas 2 personas, es decir un porcentaje equivalente al 20% dice que en caso de formar una microempresa se emplearían únicamente a 5 personas, pues según ellos al inicio la producción no será muy grande, sin embargo 3 personas, es decir porcentaje equivalente al 30% considera que en mencionada microempresa se emplearan a 10 personas, las restantes 5 personas, es decir un porcentaje equivalente al 50% mantiene la confianza en que de crearse una microempresa será necesario emplear a 15 personas, pues existen muchas actividades que conlleva la industrialización de pescados, actividades que serían imposible realizarse con menos de 15 personas.

**8.- ¿Cuantas horas al día considera Usted que esta microempresa laborará?**

De las 10 personas encuestadas las 10 personas, es decir un porcentaje equivalente al 100% están completamente de acuerdo en que si se formara una microempresa de comercialización de pescado sería necesario trabajar 8 horas cada día pues por tratarse de una microempresa que se encuentra en sus inicios no requerirá mayor número de horas de trabajo.

**2.8.2. 1. 2. Conclusión de la encuesta.**

Mediante la presente encuesta se ha determinado que el sector Alubillo se encuentra habitado por aproximadamente 28 personas mismas que se encuentran distribuidas en 7 familias, lamentablemente la falta de servicios básicos tan elementales como la electricidad han limitado la capacidad de desarrollo de este sector tan productivo de nuestro país.

Sin embargo una vez incorporado este servicio básico se plantea entre los habitantes de Alubillo la alternativa de crear una microempresa misma que estará dedicada al cultivo, procesamiento y comercialización de trucha y tilapia, esta importante actividad comercial empleará a aproximadamente a 15 moradores del sector.

Con la creación de este tipo de microempresas se busca proporcionar a este sector alternativas económicas y poco contaminantes para potencializar su capacidad productiva y elevar considerablemente el nivel de vida de los habitantes del sector.

#### **2.8.2.2. Entrevistas.**

Es una conversación entre dos o más personas, en la cual uno es el entrevistador y la otra persona el entrevistado. Estas personas dialogan con arreglo a ciertos esquemas o pautas de un problema o cuestión determinada, teniendo un propósito profesional. Siendo esta una comunicación interpersonal establecida entre investigador y el sujeto de estudio a fin de obtener respuestas verbales a los interrogantes planteados sobre el tema propuesto.

##### **2.8.2.2.1. Entrevista aplicada a los moradores del sector Alubillo, perteneciente al Cantón Caluma de la Provincia de Bolívar**

- 1.- ¿A qué actividad se dedican mayoritariamente los moradores de Alubillo?
- 2.- ¿Cómo calificaría su nivel de vida?
- 3.- ¿Cuál considera usted que es la principal causa de este hecho?
- 4.- ¿Considera importante la incorporación de energía eléctrica en su sector?
- 5.- ¿Les gustaría colaborar de alguna forma en la ejecución de este proyecto?
- 6.- ¿Cuáles son las limitaciones más importantes que consideran se van a presentar en la ejecución de este proyecto?
- 7.- ¿Alguna institución sea esta de carácter público o privado ha buscado alternativas para dar solución a este tipo de necesidades del sector?

8.- ¿Qué recomendaciones le daría a las Autoridades del GAD. Municipal del Cantón Caluma?

9.- ¿Qué recomendaciones le daría a las Autoridades de la Universidad Técnica de Cotopaxi?

10. ¿Cómo califica este proyecto?

#### **2.8.2.2.1.2. Conclusión de la entrevista.**

Las entrevistas fueron realizadas en base a un guión previamente desarrollado, involucrando temas claves para los fines prácticos de esta tesis.

Cabe mencionar que no son preguntas concretas y se fueron adaptando a la situación de cada entrevistado y de la cual se desprenden las siguientes conclusiones.

Alubillo debido a su estratégica ubicación geográfica posee un clima prodigioso que lo hace potencialmente productivo, pese a ello la falta de servicios básico como el caso de la electrificación ha mermado su capacidad de productividad, en tal virtud es necesario que Instituciones educativas proporcionen ayuda sin fines de lucro y con el único propósito de dar soluciones efectivas y a costos insignificantes, lamentablemente ninguna institución ha mostrado interés por desarrollar proyectos de este tipo, esto pese a que a escasas dos horas está ubicada la Universidad Estatal de Bolívar.

Es por ello que los habitantes de Alubillo manifiestan su satisfacción y a la vez ofrecen su ayuda a fin de que este sueño sea palpable a un futuro no muy lejano.

## CAPÍTULO III

### 3. APLICACIÓN Y VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

#### 3.1. Justificación.

El presente trabajo de investigación permitirá tener como fuente de energía principal el agua la cual nos brinda energía renovable es decir limpia y sin costo alguno para utilizarlo de manera eficiente en la generación de energía eléctrica para uso doméstico a través de la implementación de una pico generadora hidroeléctrica.

El proyecto se sujeta principalmente en la utilización de la energía hidráulica como una alternativa para producir energía eléctrica, esta fuente de energía es limpia y no contamina el medio ambiente.

Es necesario tomar en cuenta que la excesiva dependencia de los combustibles de origen fósil es una situación crítica en nuestro País y origina problemas tales como el agotamiento del combustible en lapsos no muy lejanos, la lluvia ácida, el efecto invernadero y el calentamiento global los cuales son los principales factores de contaminación que afronta actualmente nuestro planeta.

#### 3.1.1. Justificación técnica.

El diseño, construcción e implementación de una pico generadora hidroeléctrica se ve justificado debido que en este sector no se dispone de energía eléctrica. En tal virtud, la ejecución del proyecto de la pico generadora en el sector Alubillo perteneciente al Cantón Caluma de la Provincia de Bolívar, permitirá aportar al sector pues proporcionara una fuente de energía eléctrica alterna, proyecto que está basado en un

modelo con fuentes de energías renovables o limpias que encontramos en el medio y puede ser utilizado de una manera eficiente y muy económica.

Mediante la implementación del proyecto pondremos a consideración de la Comunidad la utilización de alternativas que ayuden al desarrollo socioeconómico del mismo y a la vez implantaremos nuestros conocimientos los mismos que fueron adquiridos durante nuestra permanencia en tan prestigiosa Institución Educativa.

### **3.1.2. Justificación económica.**

Este proyecto garantiza una inversión económica baja, pues el tomar energía eléctrica desde el Sistema Nacional Interconectado implica a los pobladores de estos sectores costos mucho más elevados, y como consecuencia la ausencia total de este servicio básico en los próximos años.

El financiamiento para la construcción e implementación de la pico generadora está dividido en 3 partes las cuales mencionamos a continuación:

- El 30% Ilustre Municipalidad del Cantón Caluma
- El 30% Beneficiarios
- El 40% Los Postulantes

Obteniendo un 100% del financiamiento total del proyecto.

Las vías de acceso al sector donde se implementara el proyecto son de tercer orden, lo cual debe ser considerado con extremo cuidado para la ejecución de la obra civil.

En el lugar existe un generador trifásico el mismo que será utilizado en el proyecto para la generación eléctrica, lo cual nos permitirá disminuir costos en los componentes electromecánicos del proyecto.

Los beneficiarios de este proyecto son 28 personas pues la capacidad de generación alcanzada abastecerá a 7 familias compuestas por 4 miembros cada una.

### **3.1.3. Justificación social.**

La implementación del proyecto en el sector Alubillo, perteneciente al Cantón Caluma de la Provincia de Bolívar, generará muchos aspectos positivos en los habitantes, permitiéndoles solucionar problemas que a diario se generan en sus diferentes labores y su vida cotidiana.

Además es importante señalar que Alubillo es un sector eminentemente agrícola razón por la cual afianza su desarrollo económico en actividades tales como el cultivo de caña de azúcar, y de ciertas especies de peces tales como la trucha y la tilapia, lamentablemente durante años se ha visto limitada su capacidad de productividad debido a la falta de energía eléctrica, la incorporación de este importante servicio básico efectiviza el deseo de este importante sector del País de crear microempresas que les permitan industrializar y comercializar la trucha, tilapia en grandes cantidades e incluso procesada (lavada y fileteada), de esta forma evitaran la entrega a intermediarios y consecuentemente incrementan sus ingresos.

### **3.1.4. Justificación ecológica.**

La pico generadora hidroeléctrica utilizada en este proyecto es de tipo Michell-Banki esto garantizara un mínimo impacto ambiental en la zona, además las construcciones necesarias para la obra civil se realizarán con precauciones para que ni el canal principal de conducción del agua, ni el ecosistema sufran daños.

El recurso hídrico que será utilizado en la generación eléctrica retornará al riachuelo, por lo que podemos decir que la contaminación ambiental es casi nula.

Una pico generadora hidroeléctrica presenta muchas ventajas, entre las cuales se citan:

- Utiliza energías renovables para generar energía eléctrica.
- Produce energía eléctrica a un bajo costo.

## **3.2. Objetivos.**

### **3.2.1. Objetivo general.**

Diseñar, construir e implementar una pico generadora hidroeléctrica utilizando la turbina de tipo Michell-Banki, aprovechando el recurso hídrico existente en el sector Alubillo, Cantón Caluma, Provincia de Bolívar.

### **3.2.2. Objetivos específicos.**

- Aportar eficientemente al desarrollo sostenible así como a la generación de energía eléctrica destinada al sector.
  
- Proporcionar energía eléctrica permanente, propia y a un costo razonable.
  
- Contribuir eficazmente con el desarrollo socioeconómico de la familia propietaria del terreno donde será instalado el generador e indirectamente a las familias del sector.

### **3.3. Formulación del problema.**

El presente proyecto nace como respuesta a las necesidades básicas de las poblaciones rurales del Ecuador, donde la gran mayoría carece de energía eléctrica y por tanto de los servicios más elementales y básicos para cualquier ser humano, realidad injusta a finales del siglo XXI. Por ello, nuestro deber como alumnos de la Universidad Técnica de Cotopaxi y miembros de una misma sociedad es proporcionar alternativas que busquen mejorar la calidad de vida de nuestros semejantes y consecuentemente potencializar su nivel de socioeconómico.

En tal virtud se propone el presente proyecto de grado, cuyo tema es:

#### **DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PICO GENERADORA HIDROELÉCTRICA APROVECHANDO EL RECURSO HÍDRICO EXISTENTE EN EL SECTOR ALUBILLO PERTENECIENTE AL CANTÓN CALUMA DE LA PROVINCIA DE BOLÍVAR.**

Esto tomando en cuenta que uno de los requerimientos más importantes para el desarrollo integral de nuestro País, es el progreso de sus regiones rurales, zonas generalmente descuidadas y abandonadas, en donde la probabilidad de ser abastecidos de energía eléctrica con redes convencionales podrá ser o no una realidad.

El subdesarrollo de las regiones rurales está relacionado directamente con la falta de recursos energéticos en estas regiones, en particular la falta de electricidad.

La carencia de electricidad en las zonas rurales suele traer como consecuencia la pobreza, en ese sentido, el agua constituye una fuente de energía renovable que puede ser empleada en la generación de energía eléctrica, a fin de satisfacer necesidades básicas de electricidad a pequeñas escalas, esto permitirá mejorar significativamente la calidad de vida de los habitantes de mencionadas regiones.

Para cubrir esta necesidad en regiones rurales alejadas de redes eléctricas, se han implementado pequeñas centrales hidroeléctricas, lo cual en muchos casos es la mejor solución, pues son económicamente viables, ecológicamente recomendables y socialmente estimula a elevar el nivel de vida de los habitantes de las comunidades de las zonas rurales.

**¿Cómo ayudará el diseño, construcción e implementación de una pico generadora hidroeléctrica en el Cantón Caluma para satisfacer las necesidades de demanda eléctricas del sector?**

Mediante la implementación de una pico generadora hidroeléctrica la cual permitirá aprovechar una fuente renovable la cual será utilizada de forma eficiente para generar electricidad y a la vez reduciendo los niveles de contaminación producidos por los combustibles fósiles todo esto a costos muy bajos.

Suplantando las energías no renovables mismas que son utilizadas en mayor escala y que perjudican enormemente al medio ambiente, este mediante implantación de un sistema hidroeléctrico el cual utilice fuentes de energías limpias y de esta manera concientizar a la comunidad sobre los beneficios de este tipo de aplicaciones sustentadas en el uso de la energía hidráulica.

En este sentido el uso eficiente y racional de recursos renovables se puede considerar como una fuente adicional de energía, la cual no requiere ninguna materia prima para su elaboración.

### **3.4. Desarrollo de la propuesta.**

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

##### **3.4.1.1 La bocatoma.**

La bocatoma es uno de los principales componentes de la obra civil pues receipta el caudal de agua necesario para el adecuado funcionamiento del sistema hidráulico.

Para ello es necesario encontrar el lugar más apropiado, para ello seleccionamos los tramos más rectos y estables del rio, esto es un factor determinante a la hora de disminuir la presencia de sedimentación a la entrada de la rejilla.

Posteriormente a la elección del lugar adecuado se implementan en la bocatoma los siguientes elementos:

- **Gaviones de piedra.-** Mismo que direccionara el flujo de agua permitiendo de este modo el ingreso del caudal necesario.
- **Nivelación de las paredes laterales y el piso del canal.-** Puesto que el canal de captación es medianamente irregular se procede a nivelas mencionadas secciones con la finalidad de que el caudal pueda ingresar sin dificultad.

**Figura 3.1. ZONA DE CAPTACIÓN DE LA BOCATOMA**



**Fuente:** Sector Alubillo

**Figura 3.2. GAVIONES DE LA BOCATOMA**



**Fuente:** Sector Alubillo

**Figura 3.3. CANAL DE CONDUCCIÓN DEL AGUA**



**Fuente:** Sector Alubillo

#### **3.4.1.2. Sistema de Conducción.**

Esta parte del sistema hidráulico cumple la función de conducir el caudal de agua requerida desde la bocatoma hasta el tanque de presión.

En nuestro caso no fue necesaria la construcción de mencionado sistema de conducción puesto que en el sector ya existía un canal, mismo que contaba con las características adecuadas para cumplir con su propósito, es decir abastecer al tanque de presión.

**Figura 3.4. CANAL DE INGRESO DE AGUA AL DESARENADOR**



**Fuente:** Sector Alubillo

**Figura 3.5. ENTRADA DE AGUA AL DESARENADOR**



**Fuente:** Sector Alubillo

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

En tanque de presión es el encargado de recolectar al fluido y almacenarlo de tal modo que pueda abastecer constantemente al sistema hidráulico, los datos que se consideraron para el dimensionamiento de mencionado tanque son:

Potencia total generada = 13.97 kw.

Potencia total consumida	=	8 Kw.
Horas de consumo de energía	=	8 horas
Energía entregada	=	64 kw/h

Caudal Total

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{SALIDA}} = Q_{\text{ENTRADA}}$$

$$Q_{\text{CONSUMO}} = 75 \frac{1}{s} = 73.2 \frac{1}{s}$$

$$Q_{\text{total}} = 1.8 \frac{1}{s}$$

Volumen del tanque en relación al tiempo viene dado en la siguiente ecuación:

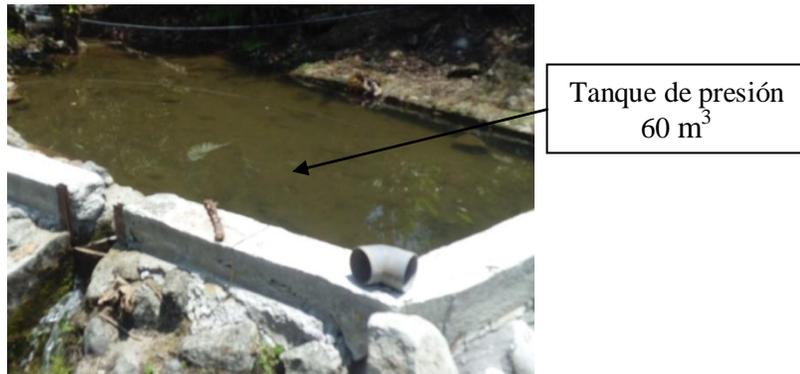
**Ecuación (3.1)**

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

$$V_{\text{tanque}} = 1.8 \frac{1}{s} * 10^{-3} (8 * 3600 \text{ s})$$

$$V_{\text{tanque}} = 51.84 \text{ m}^3$$

**Figura 3.6 VOLUMEN DEL TANQUE DE PRESIÓN**



**Fuente:** Sector Alubillo

#### **3.4.1.4. Desarenador.**

El desarenador a ser implementado deberá permitirnos reducir la velocidad de fluidez del agua, esto con el propósito de que las partículas solidas puedan quedar

suspendidas en esta sección del sistema hidráulico y permitan posteriormente removerlas mediante limpiezas periódicas.

A continuación detallaremos los elementos que constituyen nuestro desarenador:

- Canal de conducción hacia el desarenador
- Tramo de desarenado
- Tanque de presión
- Desfogue de fluido
- Compuerta para la limpieza del tanque de Presión

Es importante tomar en cuenta que los tiempos de sedimentación pueden variar de acuerdo al tamaño de las partículas receptoras en el desarenador.

**Figura 3.7. DESARENADOR**



**Fuente:** Sector Alubillo

**Figura 3.8. COMPUERTA DEL DESARENADOR**



**Fuente:** Sector Alubillo

### 3.4.1.5. Casa de máquinas.

Pese a las irregularidades de la superficie del terreno nuestra casa de máquinas cumple con todas las especificaciones técnicas establecidas por la OLADE (Organización Latinoamericana de Energía), es decir para pico generadoras hidroeléctricas de 5 a 30 kw una superficie de construcción de 3m<sup>2</sup> a 4.5 m<sup>2</sup>

**Figura 3.9. VISTA EXTERIOR DE LA CASA DE MÁQUINAS**



**Fuente:** Sector Alubillo

#### 3.4.1.5.1. Aspectos tomados en cuenta para el diseño de la casa de máquinas.

A continuación se detallan todos los aspectos considerados para el diseño de la casa de máquinas:

- Dimensionamiento del equipo electromecánico.
- Irregularidades de la superficie del terreno donde se instalara la pico generadora hidroeléctrica.
- Vías de acceso al lugar.

**Figura 3.10.** VISTA INTERIOR DE LA CASA DE MÁQUINAS



Fuente: Sector Alubillo

### 3.5. Diseño hidráulico.

Uno de principales criterios que influyó para seleccionar la Turbina de tipo Michell-Banki fue la potencia que puede suministrar, la misma que es directamente proporcional a dos magnitudes: la altura neta y el caudal turbinable del agua.

Para diseñar la turbina de tipo Michell-Banki se requirió determinar los datos de salto neto aprovechable y del caudal máximo que fluirá por ella, a continuación se presentan los datos obtenidos anteriormente los cuales contribuirán para el cálculo hidráulico del proyecto:

Potencia a generar	$P = 8\text{Kw}$
Caudal máximo de diseño	$Q = 0,075 \text{ m}^3/\text{seg.}$
Altura neta aprovechable	$h = 19 \text{ mts.}$
Aceleración de gravedad	$g = 9,81 \text{ m}/\text{seg}^2$

### **3.5.1. Selección del diámetro de la turbina.**

El diámetro de esta máquina no depende del caudal. Esta premisa facilita el diseño ya que otorga al diámetro el carácter de parámetro independiente.

Esto se afirma por el hecho de que esta turbina puede trabajar dentro de un amplio rango de velocidades de rotación. De acuerdo con esto el diámetro podrá ser seleccionado en primer término.

Muchos autores señalan que para pequeños aprovechamientos los diámetros comúnmente utilizados van desde los 200 mm hasta los 500 mm. Lo que frecuentemente se hace es seleccionar el diámetro de los diagramas de estandarización que ofrece la bibliografía disponible y tomar a éste como base del diseño.

Algunos factores a tener en cuenta son los siguientes:

- Si se reduce el diámetro del rodete se reduce el rendimiento hidráulico.
- Los rodetes más grandes tienen una velocidad de embalamiento menor.
- Se debe mantener una cierta proporcionalidad entre el diámetro y el ancho de la turbina a fin de evitar cambios de sección demasiado bruscos entre la tubería y el inyector que provocan fuertes perturbaciones.

- Se debe tener en cuenta al seleccionar dicho parámetro el grado de simplicidad en la fabricación de la turbina.

Una turbina Michell-Banki opera en condiciones similares cuando el valor  $Q/\sqrt{H_n}$  es constante, también se sabe que la eficiencia de estas turbinas no varía apreciablemente en amplios intervalos de valores de Q y  $H_n$  utilizando estos criterios se selecciona el diámetro del rotor, de la siguiente manera: se calcula el valor  $Q/\sqrt{H_n}$  que viene dado en la ecuación:

**Ecuación (3.2.)**

$$Sef = \frac{Q}{\sqrt{H_n}}$$

$$Sef = \frac{0.075}{19}$$

$$Sef = 0.01720$$

Con este valor se selecciona el diámetro del rotor usando la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1. SELECCIÓN DEL DIÁMETRO DEL ROTOR**

$Q/\sqrt{H_n}$	<b>DIÁMETRO DEL ROTOR</b>
0,02236 -	200
0,04743 -	300
0,07906 -	400
0,07906	500

**Fuente:** Estandarización de turbinas Tipo Michell-Banki, Quito, Instituto Nacional de Energía.

Este valor está por debajo de los valores nominales de la tabla, y esta máquina no depende del diámetro del caudal entonces se tomara el valor de 200 mm.

Diámetro exterior

$$D_e = 200 \text{ mm}$$

Diámetro interior

### **Ecuación 3.3.**

$$D_i = 0.66 * D_e$$

$$D_i = 0.66 * 200 \text{ mm}$$

$$D_i = 132 \text{ mm}$$

### **3.5.2. Potencia hidráulica.**

La potencia hidráulica neta que podrá suministrar la pico generadora hidroeléctrica viene dada por la siguiente ecuación:

### **Ecuación 3.4.**

$$P_h = g * H_n * Q$$

**Fuente:** Manual de diseño y fabricación de equipos para pequeñas centrales hidroeléctricas.

Donde:

$P_h$  = Potencia hidráulica que puede brindar la pico central.

$g$  = Gravedad  $9,81 \text{ m/seg}^2$

$Q$  = Caudal de diseño  $\text{m}^3/\text{s}$ .

$H_n$  = Altura neta disponible en la pico central en m.

$$P_h = 9.81 * 19 \text{ m} * 0,075 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)$$

$$P_h = 13.97 \text{ Kw}$$

### **3.5.3. Potencia transmitida al generador.**

Es igual al producto de la potencia al freno de la turbina por la eficiencia de la transmisión, si no posee acople directo. El tipo de transmisión utilizado para estas pico generadoras hidroeléctricas son de tipo engranaje o bandas, nosotros

realizaremos la transmisión con bandas cuyo valor viene determinado en la siguiente tabla:

**Tabla 3.2. TIPOS DE TRANSMISIÓN PARA PICO GENERADORAS  
HIDROELÉCTRICAS**

TIPO	$\eta_{TR}$
Engranajes	0.98
Bandas o fajas en "V"	0.95

**Fuente:** Estandarización de turbinas Tipo Michell-Banki, Quito, Instituto Nacional de Energía.

### **Ecuación 3.5.**

$$P_{TR} = P_t * \eta_{TR}$$

Donde:

$P_t$  = Potencia al freno de la turbina, Watts.

$P_{TR}$  = Potencia transmitida al generador, Watts.

$$P_{TR} = 11.90 * 0.95$$

$$P_{TR} = 11.30Kw.$$

#### **3.5.4. Pares de polos del generador.**

Para el desarrollo de este proyecto y tomando en cuenta que la frecuencia utilizada en la mayoría de electrodomésticos en nuestro país funciona a una frecuencia de 60 Hz, tenemos la siguiente ecuación por lo tanto:

### **Ecuación 3.6.**

$$N_{pp} = \frac{60 * f}{W_g}$$

Donde:

$N_{pp}$  = Numero de pares de polos

$W_g$  = Velocidad del generador RPM [900 – 1200 - 1800]

$f$  = Frecuencia (60 Hz)

$$N_{pp} = \frac{60 * 60}{1800}$$

$$N_{pp} = 2$$

Realizando una fácil relación de transmisión, se puede obtener la velocidad óptima de giro de la turbina.

**Ecuación 3.7.**

$$N = i * W_g$$

Donde:

N= relación de transmisión

$$N = 1 * 2$$

$$N = 2$$

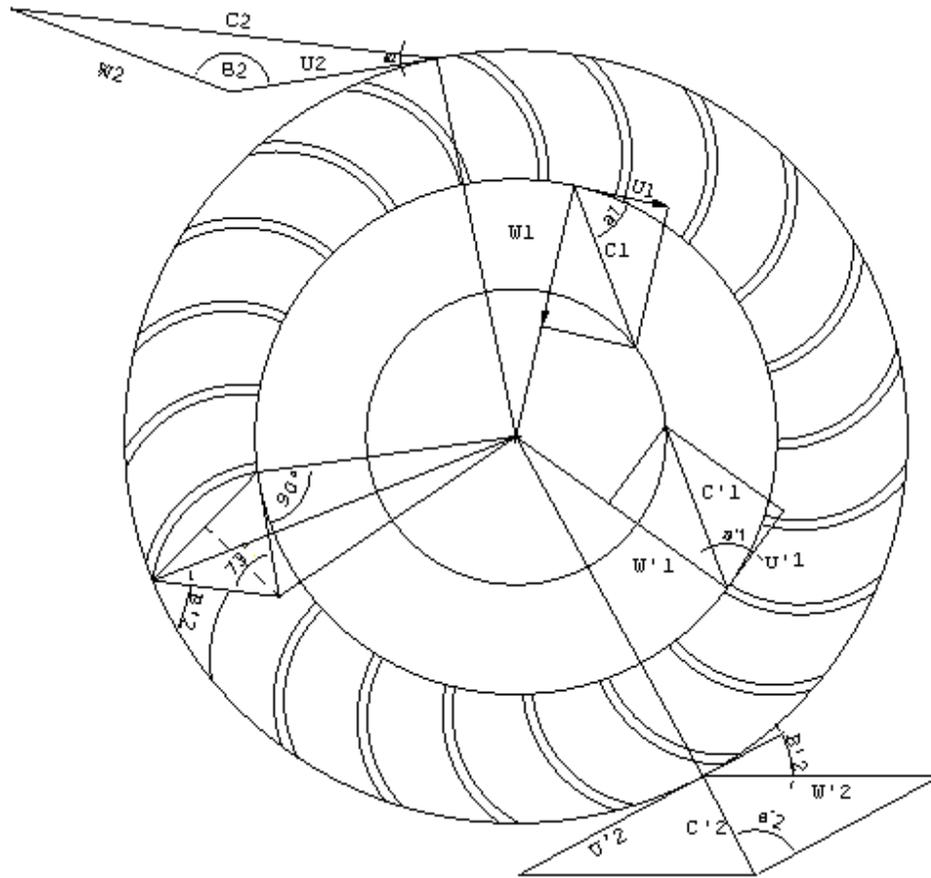
### **3.5.5. Diagrama de velocidades.**

En la siguiente figura se pueden apreciar los triángulos de velocidades para las dos etapas que tiene la turbina Michell–Banki.

Como puede verse, existe una total semejanza entre el triángulo de velocidades a la salida de la primera etapa y el de entrada a la segunda etapa.

Esto se debe a que el flujo en esa transición es una corriente libre que no interfiere con elemento alguno del rotor.

**Figura 3.11. DIAGRAMA DE VELOCIDADES**



**Fuente:** Apuntes para un manual de diseño, estandarización y fabricación de equipos centrales hidroeléctricos. Volumen 1. OLADE

Los perfiles de los álabes de la turbina se determinan en base a los diagramas de velocidad en cada punto del rodete.

Para determinar estos diagramas, es necesario definir la velocidad de salida del agua del inyector, la que se determina en base a la ecuación de Bernoulli aplicada entre la superficie del reservorio, donde la velocidad del agua es aproximadamente cero, y a la salida del inyector.

### Ecuación 3.8.

$$\frac{P_o}{\gamma_w} + \frac{C_o^2}{2 * g} + Z_o = \frac{P_i}{\gamma_w} + \frac{C_i^2}{2 * g} + Z_i + \Delta H_t + \Delta H_i$$

Donde:

Co y Ci: representan la velocidad de una partícula de agua en la superficie del reservorio y en la salida del inyector, respectivamente.

Po y Pi: representan las presiones en la superficie del reservorio y en la salida del inyector, respectivamente. En este caso ambas presiones pueden ser iguales a la atmósfera cuando la descarga de la turbina se realiza sin tubo de succión.

Zo y Zi: representan los niveles topográficos, en la superficie del reservorio y la posición del inyector, respectivamente, y su diferencia es igual al salto bruto.

wy; g: representan el peso específico del agua y la aceleración de la gravedad, respectivamente.

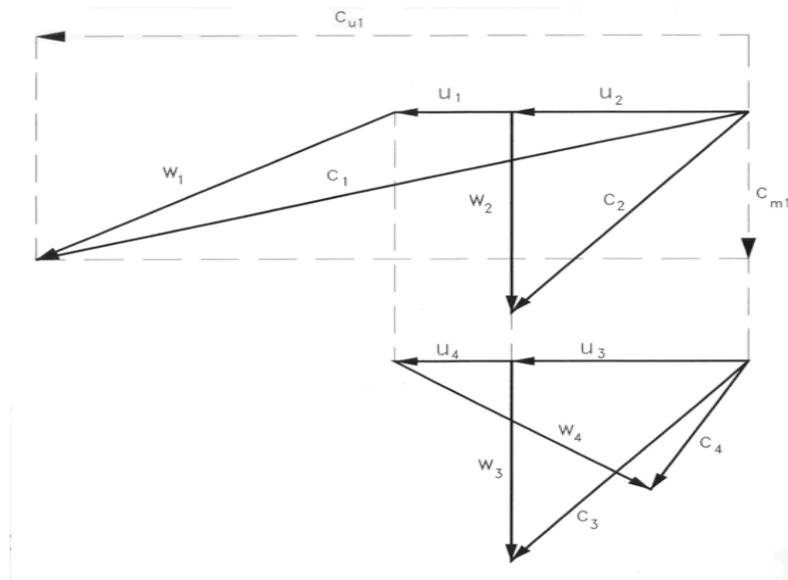
$\Delta H_t$ : La pérdida de presión por efecto de la fricción del agua con las paredes de la tubería de presión.

$\Delta H_i$ : es la pérdida de presión por efecto de la fricción del agua con las paredes del inyector.

#### 3.5.5.1. Velocidad del agua a la salida del inyector

Para realizar los cálculos de velocidad del agua a la salida del inyector hay que calcular primero el ángulo  $\alpha_1$ , con lo cual se obtendrá también el ángulo  $\beta_1$ .

**Figura 3.12. TRIÁNGULOS DE VELOCIDADES UNIFICADOS DE LA 1° Y 2° ETAPA**



**Fuente:** Apuntes para un manual de diseño, estandarización y fabricación de equipos centrales hidroeléctricos. Volumen 1. OLADE

**Ecuación 3.9.**

$$\beta = \sin^{-1} \left( \frac{\sin \alpha_1}{\sqrt{1 - \frac{3}{4} \cos^2 \alpha_1}} \right)$$

$$\sin 30^\circ = \frac{\sin \alpha_1}{\sqrt{1 - \frac{3}{4} \cos^2 \alpha_1}}$$

$$(\sin 30^\circ)^2 = \left( \frac{\sin \alpha_1}{\sqrt{1 - \frac{3}{4} \cos^2 \alpha_1}} \right)^2$$

$$\left(1 - \frac{3}{4} \cos^2 \alpha_1\right) (\sin^2 30^\circ) = \sin^2 \alpha_1$$

$$\sin^2 30^\circ - \frac{3}{4} \cos^2 \alpha_1 * \sin^2 30^\circ = \sin^2 \alpha_1$$

$$\sin^2 \alpha_1 + \frac{3}{4} \cos^2 \alpha_1 * \sin^2 30^\circ = \sin^2 30^\circ$$

$$(1 - \cos^2 \alpha_1) + \frac{3}{4} \cos^2 \alpha_1 * \sin^2 30^\circ = \sin^2 30^\circ$$

$$\frac{3}{4} \cos^2 \alpha_1 * \sin^2 30^\circ - \cos^2 \alpha_1 = \sin^2 30^\circ - 1$$

$$\cos^2 \alpha_1 \left( \frac{3}{4} \sin^2 30^\circ - 1 \right) = \sin^2 30^\circ - 1$$

$$\cos^2 \alpha_1 = \frac{\sin^2 30^\circ - 1}{\frac{3}{4} \sin^2 30^\circ - 1}$$

$$\cos^2 \alpha_1 = 0.923$$

$$\cos \alpha_1 = \sqrt{0.923}$$

$$\alpha_1 = \cos^{-1} 0.9607$$

$$\alpha_1 = 16.10^\circ$$

De acuerdo a esto el ángulo  $\beta_1$  variará de acuerdo a los valores mostrados en la siguiente tabla:

**Tabla 3.3. SELECCIÓN DEL DIÁMETRO DEL ROTOR**

$\alpha_1$	$\beta_1$
15.0	28.18
15.2	28.51
15.4	28.85
15.6	29.17
15.8	29.50
15.9	29.67
16	29.83
16.1	29.99
<b>16.102</b>	<b>30.00</b>
16.2	30.15
16.4	30.48
16.6	30.80
16.8	31.12
17	31.44

**Fuente:** Apuntes para un manual de diseño, estandarización y fabricación de equipos centrales hidroeléctricos. Volumen 1. OLADE

El ángulo  $\beta_1$  es igual a  $30^\circ$ .

### 3.5.5.2. Velocidad Absoluta.

$K_c$  = Es un valor determinado en forma experimental para el diseño y es igual a 0.98

**Ecuación 3.10.**

$$C_1 = 4.429 * k_c * \sqrt{Hn}$$

$$C_1 = 4.429 * 0.98 * \sqrt{19}$$

$$C_1 = 18.92 \text{ m/s}$$

### 3.5.5.3. Velocidad Tangencial.

**Ecuación 3.11.**

$$U_1 = 2.214 * k_c * \sqrt{Hn} \cos \alpha_1$$

$$U_1 = 2.214 * 0.98 * \sqrt{19} \cos 16.10^\circ$$

$$U_1 = 9.08 \text{ m/s}$$

### 3.5.5.4. Velocidad Relativa ( $W_1$ ).

**Ecuación 3.12.**

$$W_1 = 4.429 * k_c * \sqrt{Hn} \frac{\text{sen } \alpha_1}{\text{sen } (180 - 30^\circ)}$$

$$W_1 = 4.429 * 0.98 * \sqrt{19} \frac{\text{sen } 16.10^\circ}{\text{sen } 150^\circ}$$

$$W_1 = 10.49 \text{ m/s}$$

### 3.5.5.5. Velocidad Meridiana.

**Ecuación 3.13.**

$$C_{m1} = C_1 * \text{sen } \alpha_1$$

$$C_{m1} = 18.92 \cdot \sin 16.10^\circ$$

$$C_{m1} = 5.24 \text{ m/s}$$

Resumen del triangulo de velocidades

- Velocidad Absoluta (C1) = 18.92 m/s
- Velocidad Relativa ( W1) = 10.49 m/s
- Velocidad Tangencial (U1) = 9.08 m/s
- Velocidad Meridiana (Cm1) = 5.24 m/s

Como se puede observar los diagramas de velocidades sólo dependen del salto y los ángulos son independientes de las condiciones de salto y caudal.

Para determinar la eficiencia hidráulica de la turbina  $\eta_h$ , se aplica la ecuación general de las turbinas:

**Ecuación 3.14.**

$$\eta_h \cdot g \cdot H = U_2 \cdot C_2 \cdot \cos \alpha_2 - U'_2 \cdot C'_2 \cdot \cos \alpha'_2$$

y se obtiene que:

$$\eta_h = 2 \cdot K_c^2 \cdot \cos^2 \alpha_2 \cdot K_u \cdot (1 - K_u) \cdot (1 + K_f)$$

$$\eta_h = 2 \cdot 0,98^2 \cdot \cos^2 16.10 \cdot 0,5 \cdot (1 - 0,5) \cdot (1 + 0,98) \cdot 100\%$$

$$\eta_h = 87\%$$

### 3.5.6. Selección del número de álabes.

El número de álabes puede ser seleccionado usando la siguiente tabla:

**Tabla 3.4. SELECCIÓN DEL NÚMERO DE ÁLABES DEL ROTOR**

<b>Diámetro del rotor</b>	<b>Número de álabes</b>
200	22
300	24
400	26
500	28

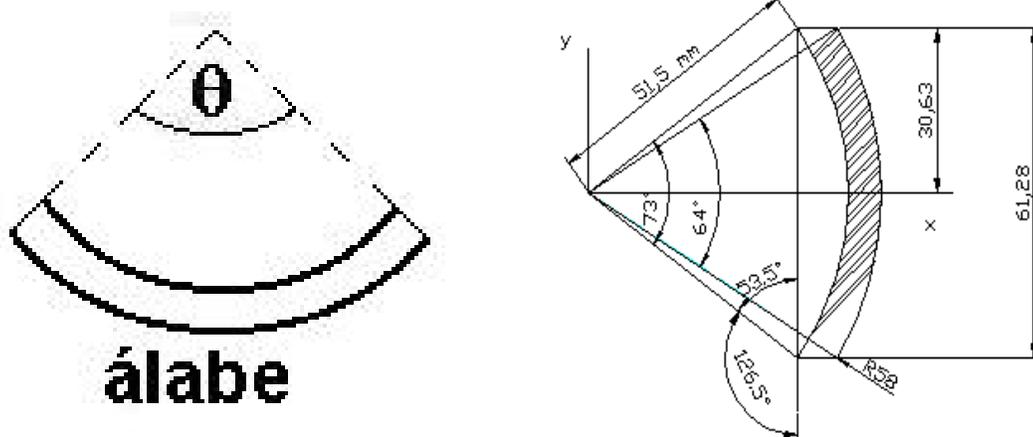
**Fuente:** Estandarización de turbinas Tipo Michell-Banki, Quito, Instituto Nacional de Energía.

Según la fuente nos indica que para el diámetro que nosotros estamos utilizando lo más indicado es utilizar 22 álabes para el rodete.

### 3.5.6.1. Selección del espesor de los álabes del rotor.

Para facilitar la construcción de los álabes, utilizaremos tuberías comerciales de acero al carbono. Éstas son cortadas formando un arco de circunferencia, como se muestra en la figura siguiente.

**Figura 3.13. SECCIÓN TRANSVERSAL DE UN ÁLABE DEL ROTOR.**



**Fuente:** Estandarización de turbinas Tipo Michell-Banki, Quito, Instituto Nacional de Energía.

La siguiente tabla muestra los diámetros de tuberías recomendados para utilizar en base a los diámetros de rodete.

**Tabla 3.5. SECCIÓN TRANSVERSAL DE UN ÁLABE DEL ROTOR.**

<b>Rotor</b>	<b>Tubería</b>		
<b>Diámetro ( mm)</b>	<b>Diámetro (pulg)</b>	<b>espesor ( mm)</b>	<b>peso (kgf/m)</b>
200	2 1/2	5,16	8,62
300	4	6,02	16,07
400	5	6,55	21,78

**Fuente:** Estandarización de turbinas Tipo Michell-Banki, Quito, Instituto Nacional de Energía.

De acuerdo a la fuente el espesor idóneo para el alabe del rotor es igual a 5.16 mm

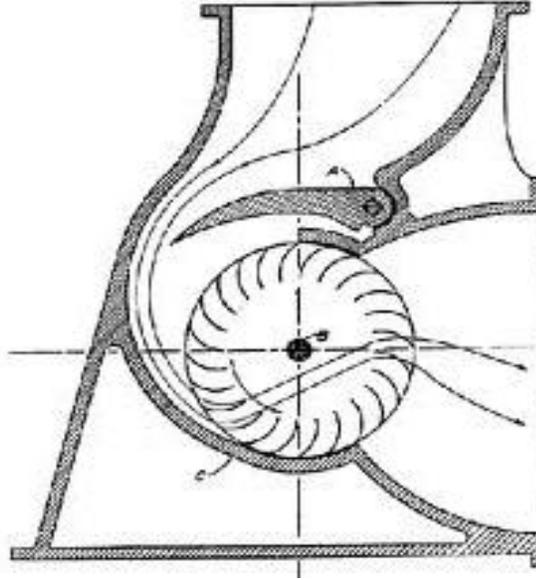
$e = 5.16 \text{ mm}$ .

### **3.5.7. Geometría del inyector.**

Para definir la geometría del inyector es necesario considerar en el diseño una buena conducción y aceleración del flujo del agua, así como también una adecuada orientación y regulación del flujo hacia los álabes del rodete.

Cuando se define una geometría de inyector, se requiere definir el perfil del mismo, considerando un balance de pérdidas de presión en los flujos de agua en el que se divide el caudal por efecto del álabe, de tal forma que al tener igualadas ambas pérdidas, se obtenga la misma velocidad de salida en ambos conductos.

**Figura 3.14.** INYECTOR DE TURBINA MICHELL-BANKI



**Fuente:** Estandarización de turbinas Tipo Michell-Banki, Quito, Instituto Nacional de Energía.

Se da a conocer la geometría del inyector, el cual se calcula considerando que no sufre variación cuando se le diseña para diferentes saltos y caudales, únicamente el parámetro que varía en función del salto y caudal es el ancho del inyector, el cual se determina con la siguiente fórmula.

**Ecuación 3.15.**

$$Bi = \frac{360 Q}{(\pi De - eZ)Ko Kc \sqrt{2 gH Sen \alpha^2}}$$

Donde:

B = Ancho del inyector, en metros.

Q = Caudal máximo que fluirá por la turbina, m<sup>3</sup>/s

P = Factor de arco de admisión, que para este caso, toma un valor de 1 (uno).

De = Diámetro exterior del rodete, en metros.

e = Espesor del álabe del rodete, en metros.

Z = Número de álabes del rodete.

Ko = Porcentaje de la circunferencia exterior del rodete por donde ingresa el agua.  $\cong$  33%

Kc = Coeficiente de velocidad, [0.97 - 0.98].

$$Bi = \frac{360 * 0.075}{(\pi * 0.2 - 0.00516 * 22) 53.13^\circ * 0.98 \sqrt{2 * 9.81 * 19} * \text{Sen } 16.10^\circ}$$

$$Bi = 0.1752 \text{ m}$$

$$Bi = 175.21 \text{ mm}$$

### 3.5.7.1. Ancho del rotor.

El ancho interno del rodete o longitud del rotor, se obtiene luego de realizar el diseño de detalle del inyector y debe considerarse el espacio requerido para la soldadura de los álabes del disco. Una forma práctica de estimar el ancho del rodete es considerándolo como un 50% mayor que el ancho del inyector.

De acuerdo con las recomendaciones anteriores, se tendría la siguiente expresión:

#### Ecuación 3.16.

$$Br = 1.5 * Bi$$

Donde:

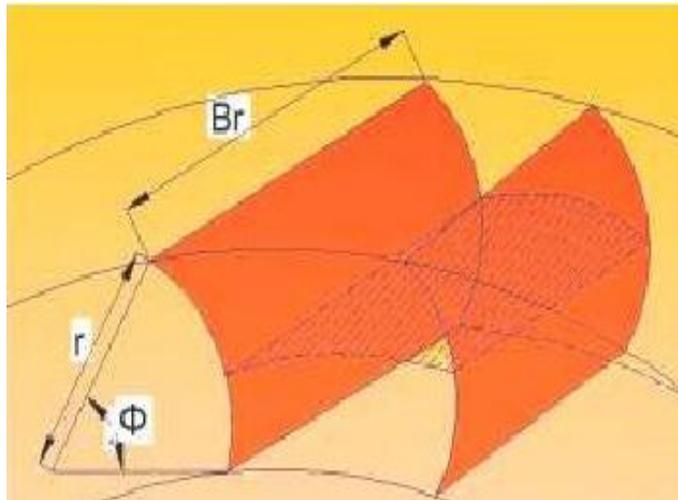
Br = Ancho del rodete, en metros.

Bi = Ancho del inyector, en metros.

$$Br = 1.5 * 175.21 \text{ mm}$$

$$Br = 227.773 \text{ mm}$$

**Figura 3.15. LONGITUD DEL RODETE**



**Fuente:** <http://turbinasayala.blogspot.com/> Longitud del rodete

#### **3.5.7.1.1. Razón de aspecto.**

Esta relación expresa que proporción hay entre el ancho del rotor y el diámetro exterior del mismo, este valor debe estar comprendido entre 0,5 a 3,5.

**Ecuación 3.17.**

$$R = \frac{Br}{De}$$

$$R = \frac{227.773}{200}$$

$$R = 1.13$$

Este valor esta dentro de los parámetros establecidos.

#### **3.5.7.1.2. Diámetro máximo del eje del rotor.**

El diámetro del eje del rotor debe tener un valor máximo de tal manera que no

obstruya el paso del flujo a través de éste. El diámetro máximo puede calcularse mediante la siguiente relación:

**Ecuación 3.18.**

$$de_{max} = 0.33 De$$

$$de_{max} = 0.33 * 200 \text{ mm}$$

$$de_{max} = 66 \text{ mm}$$

### 3.5.7.1.3. Diámetro máximo permitido en el eje del álabe directriz.

En la siguiente tabla nos indica el diámetro máximo del eje del álabe directriz que hay que considerar para del rotor de 200 mm:

**Tabla 3.6. DIÁMETRO MÁXIMO PERMITIDO EN EL EJE DEL ÁLABE DIRECTRIZ**

<b>De (mm)</b>	<b>di (mm)</b>
200	26
300	33
400	50
500	63
600	76

**Fuente:** Estandarización de turbinas Tipo Michell-Banki, Quito, Instituto Nacional de Energía.

Según la fuente nos indica que el diámetro idóneo para el eje del alabe directriz es de 26 mm de acuerdo al rodete utilizado.

### 3.5.7.1.4. Área de admisión.

Se determina de la siguiente ecuación:

**Ecuación 3.19.**

$$A_a = \frac{Q}{C_{m1}}$$

Donde:

$A_a$  = Área de admisión.

$Q$  = Caudal disponible.

$C_{m1}$  = Velocidad meridiana.

$$A_a = \frac{0.075 \text{ m}^3/\text{s}}{5.24 \text{ m/s}}$$

$$A_a = 0.01431 \text{ m}^2$$

$$A_a = 14310 \text{ mm}^2$$

**3.5.7.1.5. Paso entre álabes.**

**Ecuación 3.20.**

$$P_z = \frac{\pi D_e}{z}$$

Donde:

$P_z$  = Paso entre álabes

$D_e$  = Diámetro exterior del rodete

$Z$  = Número de álabes

$$P_z = \frac{\pi * 200 \text{ mm}}{22}$$

$$P_z = 28.56 \text{ mm}$$

### 3.5.8. Diseño mecánico.

#### 3.5.8.1. Número de álabes que reciben el flujo de agua.

Ecuación 3.21.

$$Z_f = \frac{\delta}{360} Z$$

Donde:

$Z_f$  = Número de álabes que reciben el flujo de agua

$\delta$  = Ángulo de admisión del rotor

$Z$  = número de álabes

$$Z_f = \frac{53.13^\circ}{360} 22$$

$$Z_f = 3.25$$

$$Z_f = 3 \text{ álabes}$$

#### 3.5.8.2. Caudal que ingresa a un álabe.

Ecuación 3.22.

$$Q_a = \frac{Q_{\max}}{Z_f}$$

Donde:

$Q_a$  = Caudal que ingresa a un álabe

$Q_{\max}$  = Caudal máximo

$Z_f$  = Número de álabes que reciben el flujo de agua

$$Q_a = \frac{0.075 \text{ m}^3/\text{s}}{3}$$

$$Q_a = 23.08 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

### 3.5.8.3. Arco de admisión.

**Ecuación 3.23.**

$$La = \frac{\pi De}{z} * Za + Za * e$$

Donde

La = Arco de Admisión

De = Diámetro exterior de rodete

z = Número de álabes

Za = Número de álabes en la admisión

Z = Número de álabes

Recordemos que:

$$Xz = 0.125$$

**Ecuación 3.24.**

$$Xz = \frac{Za}{z}$$

$$Za = Xz * z$$

$$Za = 0.125 * 22$$

$$Za = 2.75$$

$$La = \frac{\pi * 0.2 \text{ m}}{22} * 2.75 + 2.75 * 0.00516$$

$$La = 0.09273 \text{ m}$$

$$La = 92.73 \text{ mm}$$

### 3.5.8.4. Ángulo de admisión.

**Ecuación 3.25.**

$$\theta_a = \frac{360^\circ}{\pi De} * La$$

Donde:

$\theta_a$  = Ángulo de admisión

De = Diámetro exterior del rotor

La = Arco de Admisión

$$\theta_a = \frac{360^\circ}{\pi(200mm)} * 92.73mm$$

$$\theta_a = 53.13^\circ$$

### 3.5.8.5. Peso de un álabe.

**Ecuación 3.26.**

$$P_a = P_u * L$$

Donde:

$P_a$  = Peso de un álabe

$P_u$  = Peso de un álabe por unidad de longitud

L = Longitud del álabe

$$P_u = 8.62 \frac{kgf}{m}$$

$$L = 0.09273 \text{ m}$$

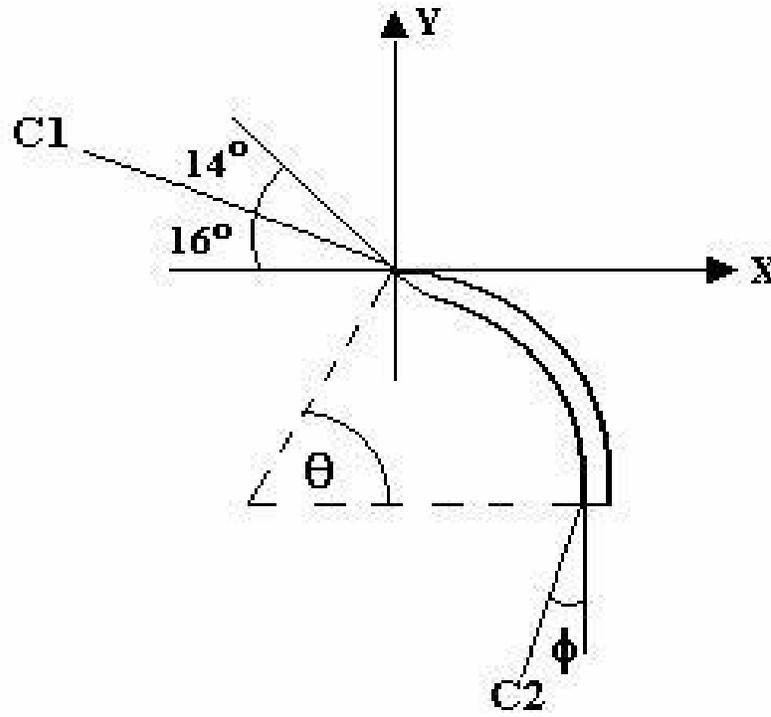
$$P_a = 8.62 \frac{kgf}{m} * 0.09273 \text{ m}$$

$$P_a = 0.79933 \text{ Kgf}$$

### 3.5.8.6. Fuerza hidráulica sobre un álabe.

Esta fuerza se debe al cambio de dirección que experimenta el agua al pasar por las paletas del rotor. Esta fuerza puede calcularse aplicando la ecuación de conservación de la cantidad de movimiento en un álabe, como se muestra en la figura siguiente:

**Figura 3.16. ÁNGULOS DE VELOCIDAD ABSOLUTA, A LA ENTRADA Y SALIDA DEL ÁLABE**



**Fuente:** Estandarización de turbinas Tipo Michell-Banki, Quito, Instituto Nacional de Energía.

**Ecuación 3.27.**

$$F_{hx} = 429.38 * Qa \sqrt{H_{max}} (\cos 16^\circ - \sin \phi)$$

**Ecuación 3.28.**

$$F_{hy} = 429.38 * Qa \sqrt{H_{max}} (\sin 16^\circ + \cos \phi)$$

**Ecuación 3.29.**

$$F_{hr} = \sqrt{(F_{hx})^2 + (F_{hy})^2}$$

**Tabla 3.7. CARACTERÍSTICAS DEL ÁLABE**

DIÁMETRO DEL ROTOR (mm)	$\Phi$ (°)	$\Theta$ (°)
200	15.5	74.5
300	20.0	70.0
400	17.0	73.0
500	14.6	75.4

Fuente: Estandarización de turbinas Tipo Michell-Banki, Quito, Instituto Nacional de Energía.

$$F_{hx} = 429.38 * 23.08 * 10^{-3} \sqrt{19} (\cos 16^\circ - \sin 15.5^\circ)$$

$$F_{hx} = 29.97 \text{ Kgf}$$

$$F_{hy} = 429.38 * 23.08 * 10^{-3} \sqrt{19} (\sin 16^\circ + \cos 15.5^\circ)$$

$$F_{hy} = 53.53 \text{ Kgf}$$

$$F_{hr} = \sqrt{(29.97)^2 + (53.53)^2}$$

$$F_{hr} = 61.35 \text{ Kgf}$$

### 3.5.8.7. Fuerza centrífuga sobre un álabe.

La fuerza centrífuga sobre el álabe puede calcularse con la siguiente fórmula:

**Ecuación 3.30.**

$$F_c = 0.895 * \frac{Pa * Hmax}{De}$$

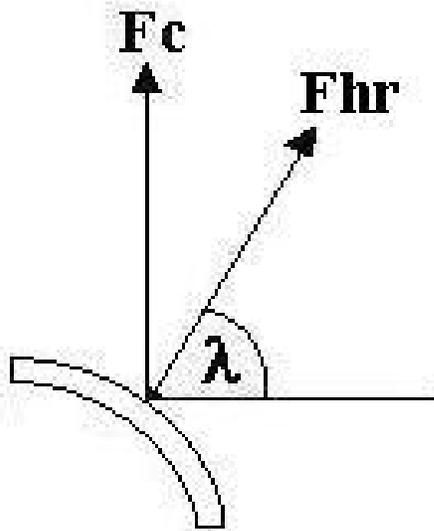
$$F_c = 0.895 * \frac{0.79933 \text{ Kgf} * 19m}{0.2m}$$

$$F_c = 67.96 \text{ Kgf}$$

### 3.5.8.8. Fuerza total sobre el álabe.

La fuerza total se calcula para el caso más desfavorable, en el cual la resultante de las fuerzas hidráulica y centrífuga es mayor, este caso se muestra en la siguiente figura:

**Figura 3.17.** COMPOSICIÓN DE FUERZAS SOBRE EL ÁLABE



**Fuente:** Estandarización de turbinas Tipo Michell-Banki, Quito, Instituto Nacional de Energía.

**Ecuación 3.31.**

$$R_x = F_{hr} * \cos \lambda$$

**Ecuación 3.32.**

$$R_y = F_{hr} \operatorname{sen} \lambda + F_c$$

**Ecuación 3.33.**

$$R_T = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

Donde el ángulo  $\lambda$  es diferente para cada diámetro de rotor, como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 3.8. ÁNGULO ENTRE LA FUERZA HIDRÁULICA SOBRE EL ÁLABE Y EL EJE X.**

<b>Diámetro del rotor (mm)</b>	<b><math>\lambda</math> (°)</b>
200	29.75
300	32.02
400	30.50
500	29.90

**Fuente:** Estandarización de turbinas Tipo Michell-Banki, Quito, Instituto Nacional de Energía.

Para nuestro proyecto  $\lambda = 29.75^\circ$

$$R_x = 61.35 \text{ Kgf} * \cos 29.75^\circ$$

$$R_x = 53.26 \text{ Kgf}$$

$$R_y = 61.35 \text{ Kgf} \text{ sen } 29.75^\circ + 67.96 \text{ Kgf}$$

$$R_y = 98.40 \text{ Kgf}$$

$$R_T = \sqrt{53.26^2 + 98.40^2}$$

$$R_T = 111.89 \text{ Kgf}$$

### 3.5.8.9. Momento flector máximo sobre el álabe.

**Ecuación 3.34.**

$$M = \frac{R_T * Brc}{12}$$

Donde:

M = Momento Flector Máximo sobre el álabe

$R_T$  = Fuerza resultante total sobre el álabe

Brc = Ancho del rotor. (cm).

$$M = \frac{111.89 \text{ kgf} \cdot 22.773 \text{ cm}}{12}$$

$$M = 212.34 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

### 3.5.8.10. Esfuerzo máximo en el álabe.

**Ecuación 3.35.**

$$\sigma = E.M$$

Donde:

$\sigma$  = Esfuerzo máximo en el álabe

E = Factor de corrección.

M= Momento Flector Máximo sobre el álabe

El factor de corrección (E) viene dado en la siguiente tabla escogiendo el rodete que estamos utilizando en nuestro diseño:

**Tabla 3.9.** FACTOR DE CORRECCIÓN DEL ESFUERZO MÁXIMO

<b>DIÁMETRO DEL ROTOR (mm)</b>	<b>E (1/cm<sup>3</sup>)</b>
200	510,88
300	250,32
400	162,92
500	111,91

**Fuente:** Estandarización de turbinas Tipo Michell-Banki, Quito, Instituto Nacional de Energía.

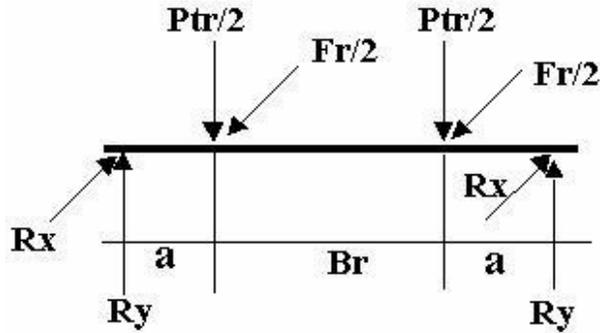
$$\sigma = 510.88 \cdot 212.34$$

$$\sigma = 108480.25 \text{ Kgf/cm}^2$$

### 3.5.9. Cálculo y diseño del eje del rodete.

En la siguiente figura se muestra las diferentes fuerzas que actúan sobre el rodete.

**Figura 3.18. DIAGRAMA DE FUERZAS SOBRE EL RODETE**



**Fuente:** Estandarización de turbinas Tipo Michell-Banki, Quito, Instituto Nacional de Energía.

#### 3.5.9.1. Diámetro mínimo del eje del rotor.

El diámetro mínimo del eje del rotor se calculó utilizando la siguiente ecuación:

**Ecuación 3.36.**

$$d^3 = \frac{16}{\pi s d} \sqrt{(K_m M_{\max})^2 + (K_T T_{\max})^2}$$

**Ecuación 3.37.**

$$T_{\max} = 974 \frac{PT}{N}$$

$$T_{\max} = 974 \frac{8 \text{ Kw}}{868.5 \text{ rpm}}$$

$$T_{\max} = 8.97 \text{ Kgf} - \text{m}$$

**Ecuación 3.38.**

$$M_{\max} = \sqrt{M_x^2 + M_y^2}$$

**Ecuación 3.39.**

$$M_x = Fr \cdot \frac{a}{2}$$

$$M_x = 133.50 \frac{0.06}{2}$$

$$M_x = 4.005 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

**Ecuación 3.40.**

$$M_y = Ptr \cdot \frac{a}{2}$$

$$M_y = 2.65 \frac{0.06}{2}$$

$$M_y = 2.25 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$M_{\max} = \sqrt{4.005^2 + 2.25^2}$$

$$M_{\max} = 4.59 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$K_m$  : Factor de momento flector. (Para carga estable 1,5).

$K_t$  : Factor de momento torsor. (Para carga estable 1,0).

$$d^3 = \frac{16}{\pi s d} \sqrt{(K_m M_{\max})^2 + (K_t T_{\max})^2}$$

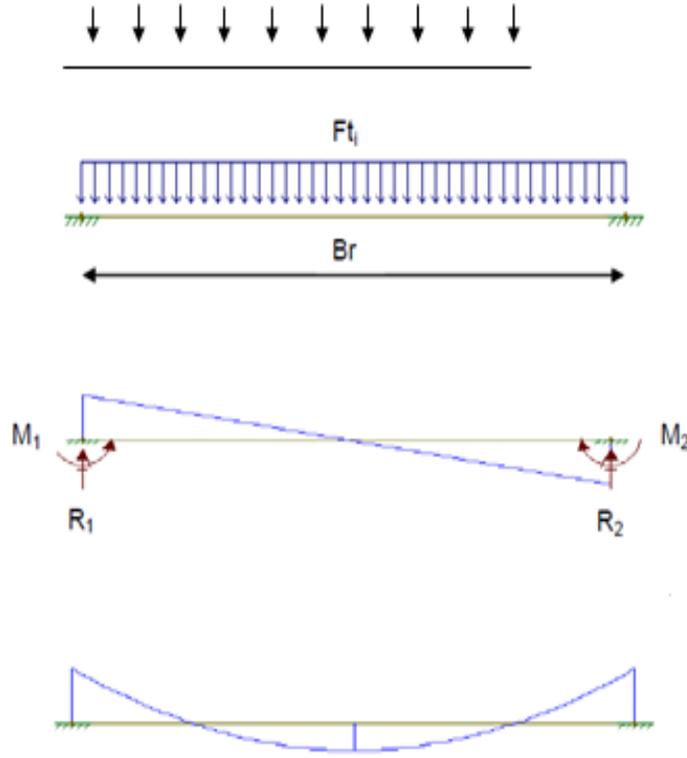
$$d^3 = \frac{16}{\pi 2500} \sqrt{(1.5 * 4.59)^2 + (1.0 * 8.97)^2}$$

$$d = 2.85 \text{ cm}$$

### 3.5.10. Plancha del inyector.

Para el análisis de la fuerza total sobre la plancha del inyector, se debe analizar la sección de entrada de éste, donde actúa la fuerza de presión del agua, esta fuerza puede darse como nos indica la siguiente figura:

**Figura 3.19.** DIAGRAMA DE FUERZAS EN EL INYECTOR



**Fuente:** Estandarización de turbinas Tipo Michell-Banki, Quito, Instituto Nacional de Energía.

**Ecuación 3.41.**

$$F_{ti} = 390 * De * H_{max} * Br \text{ [Kgf]}$$

Donde:

$Br$  = Ancho del rodete, m. (= 0.227 m)

$H_{max}$  = Altura neta, m. (19 m)

$De$  = Diámetro del rodete, m.(0.2 m )

$$F_{ti} = 390 * De * H_{max} * Br \text{ [Kgf]}$$

$$F_{ti} = 390 * 0.2 * 19 * 0.227 \text{ [Kgf]}$$

$$F_{ti} = 336.414 \text{ [Kgf]}$$

### 3.5.10.1. Momento máximo sobre la plancha.

El momento máximo sobre la plancha del inyector viene dado en la siguiente ecuación:

**Ecuación 3.42.**

$$M_i = \frac{F_{ti} * Br}{12}$$

$$M_i = \frac{336.414 \text{ [Kgf]} * 0.227}{12}$$

$$M_i = 6.36$$

### 3.5.10.2. Esfuerzo máximo sobre la plancha

El esfuerzo máximo sobre la plancha del inyector esta dado en la siguiente ecuación:

**Ecuación 3.43.**

$$G_i = \frac{M_i}{W_i}$$

**Ecuación 3.44.**

$$W_i = \frac{0.39 * e_i^2 * De}{6}$$

$e_i$  = Espesor de la plancha del inyector, m (0.06 m) asumido

De = Diámetro del rodete, m. (0.2 m)

$$W_i = \frac{0.39 * 0.06^2 * 0.2}{6}$$

$$W_i = 4.68 * 10^{-5}$$

$$G_i = \frac{0.630703125}{4.68 * 10^{-5}}$$

$$G_i = 135897.435 \text{ kgf}$$

### 3.6. Selección de rodamientos.

Antes de proceder a presentar la metodología para la selección del tipo y tamaño del rodamiento necesario se exponen una serie de normas generales para su selección:

- Para pequeños montajes, normalmente se emplean rodamientos de bolas.
- Los rodamientos rígidos de bolas son apropiados para velocidades elevadas de giro y, aunque son radiales, soportan empujes axiales relativamente importantes.
- El cálculo de las dimensiones de un rodamiento según la forma de trabajo puede hacerse para cargas dinámicas y estáticas.
- La carga es dinámica si el rodamiento gira constantemente. La carga se considera estática, cuando el rodamiento está en reposo o ejecuta movimientos muy lentos de giro o vaivén.

N = 1800 rpm

Lh<sub>10</sub> = 40.000.....50.000 horas

K = 3 (Cuando se trata de rodamientos de bola o esférico)

### 3.6.1. Determinación de la fuerza radial.

Determinamos la fuerza radial, conociendo las reacciones con la siguiente ecuación:

$$R_{O_x} = 8.05 \text{ lb.}$$

$$R_{O_y} = 174.1 \text{ lb.}$$

**Ecuación 3.45.**

$$F_r = \sqrt{R_{O_x}^2 + R_{O_y}^2}$$

$$F_r = \sqrt{8.05^2 + 174.1^2}$$

$$F_r = 174.28 \text{ lb}$$

$$F_r = 828.35 \text{ N}$$

### 3.6.2. Cálculo de la carga dinámica.

**Ecuación 3.46.**

$$P = V \times F_r$$

Donde:

$V = 1$  (factor de rotación cuando gira la pista interior)

$$P = 1 * 828.35 \text{ N}$$

$$P = 828.35 \text{ N}$$

### 3.6.3. Carga dinámica.

Capacidad de carga dinámica viene dada por la siguiente ecuación:

**Ecuación 3.47.**

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^K$$

$$45000 = \left( \frac{C}{828.35} \right)^3$$

$$C = 3727.57 \text{ N}$$

$$C = 37.27 \text{ KN}$$

### 3.6.4. Carga estática.

Capacidad de carga estática viene dada en la siguiente ecuación:

**Ecuación 3.48.**

$$L_{H10} = \left( \frac{C_0}{P} \right)^K \times \frac{10^6}{60 N}$$

$$45000 = \left( \frac{C_0}{828.35} \right)^3 \times \frac{10^6}{60 * 1800 \text{ rpm}}$$

$$C_0 = 22544.4 \text{ N}$$

$$C_0 = 22.544 \text{ KN}$$

Con los datos obtenidos se busca en tablas y se determina que el rodamiento a elegir es el rodamiento en acero SKF serie 6306.

### 3.7. Sistemas de transmisión de potencia mecánica.

Para que se produzca la generación de energía eléctrica en la pico generadora hidroeléctrica, existe una continua conversión de energía hidráulica en energía mecánica en la turbina, y de energía mecánica en energía eléctrica en el generador.

La velocidad de giro de la turbina está relacionada con la caída neta, el caudal y las dimensiones del rodete, por lo que, en el caso de pico centrales hidroeléctricas solo se puede emplear los rodetes con dimensiones estándares de los fabricantes; en consecuencia, la velocidad de operación, para las condiciones de caída neta y caudal disponible, rara vez coincide con la de los generadores; por esta

razón en las pico generadoras hidráulicas debe emplearse sistemas de transmisión de movimiento y potencia mecánica entre la turbina y el generador.

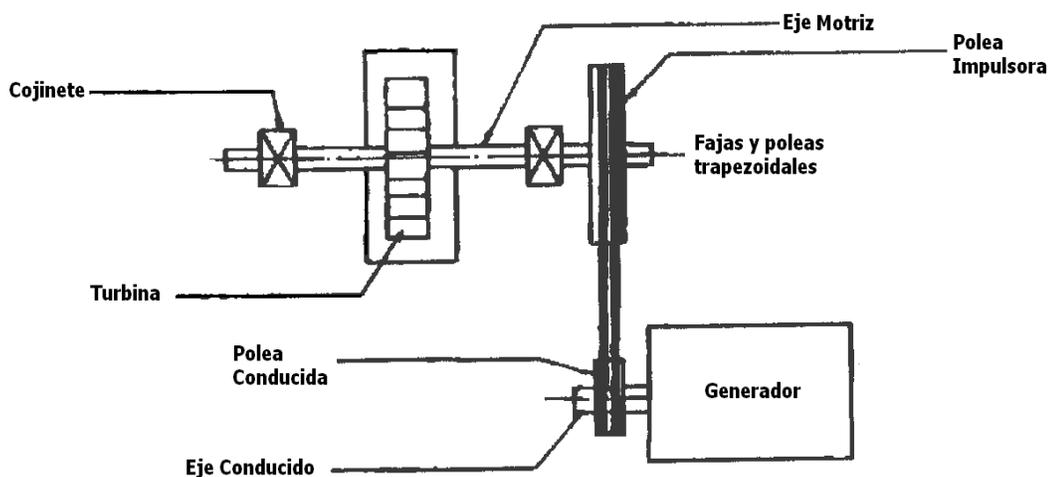
### 3.7.1. Elementos del sistema de transmisión.

En todo sistema de transmisión de movimiento y potencia mecánica se puede distinguir fundamentalmente dos tipos de elementos:

- Elemento conductor o motriz
- Elemento conducido.

Los elementos mecánicos que conforman un sistema de transmisión se los puede apreciar en la siguiente figura.

**Figura 3.20. ELEMENTOS DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN**



Fuente: <http://8celectronicareal35.blogspot.com/>

Para nuestro caso la turbina impulsará un generador eléctrico el cual girará a una velocidad de 1800 rpm y el sistema de transmisión será por bandas trapezoidales, para lo cual seleccionamos el sistema de bandas:

Los datos necesarios para el cálculo de las bandas son:

$P = 8 \text{ Kw}$ , Potencia a transmitir, en C.V. ( $1\text{CV} = 0,7355\text{Kw}$ ).

$N_1 = 868.5 \text{ rev/min}$  de la polea mayor (polea de la turbina).

$N_2 = 1800 \text{ rev/min}$  de la polea menor (polea del generador).

### 3.7.2. Relación de transmisión.

La relación de transmisión ( $i$ ) se determina con la siguiente ecuación:

**Ecuación 3.49.**

$$i = \frac{N_2}{N_1}$$

$$i = \frac{1800}{868.5}$$

$$i = 2.07$$

### 3.7.3. Potencia corregida.

La potencia transmisible está calculada bajo la hipótesis de carga constante para lo cual la potencia corregida determinamos con la siguiente ecuación:

**Ecuación 3.50.**

$$P_c = P * C$$

Donde:

$P_c$  = Potencia corregida, CV

$P$  = Potencia a transmitir (CV)

$C$  = Factor de potencia, según las condiciones de trabajo.

El coeficiente  $C$  para las condiciones de trabajo de nuestro sistema lo determinamos en la siguiente tabla:

**Tabla 3.10.** VALORES DE (C) DE CORRECCIÓN DE POTENCIA, SEGÚN LAS CONDICIONES DE TRABAJO Y CARGA.

TIPO DE SERVICIO	CONDICIONES DE TRABAJO	GENERADOR ELÉCTRICO
Ligero	Servicio intermitente-funcionamiento $\leq 6$ horas diarias ninguna punta de carga	1
Normal	Funcionamiento de 6-16 horas día-punta de carga $\leq 150\%$ del trabajo a plena carga	1.2
Pesado	Puntas de carga o puesta en marcha $\leq 250\%$ del trabajo a plena carga – servicio continuo 16-24 h día.	1.4
Muy pesado	Puntas de carga $> 250\%$ del trabajo a plena carga funcionamiento continuo.	1.6

**Fuente:** Estandarización de turbinas Tipo Michell-Banki, Quito, Instituto Nacional de Energía.

Donde  $C = 1.6$

Reemplazando los valores determinados en la ecuación (3.50) se tiene:

$$P_c = 10.90 * 1.6$$

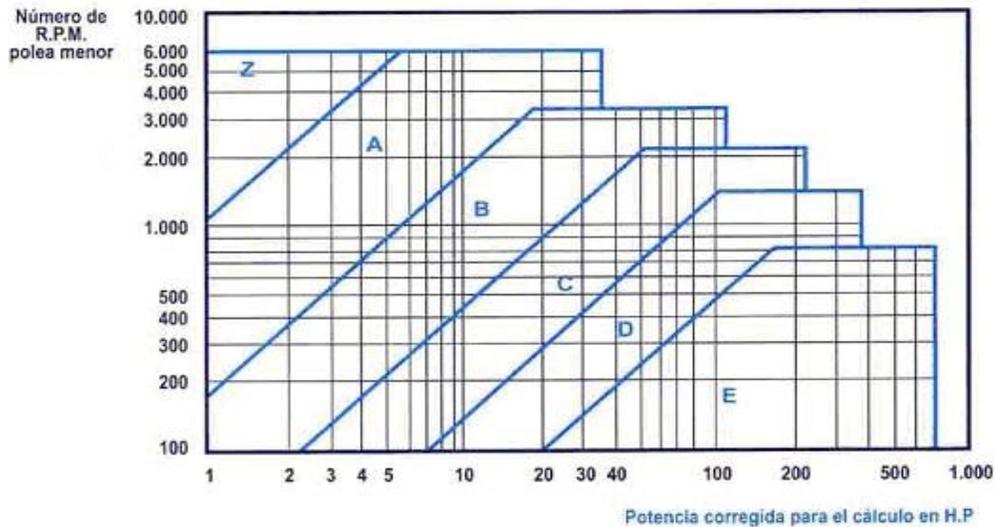
$$P_c = 17.53 \text{ CV}$$

$$P_c = 17.29 \text{ H.P}$$

#### 3.7.4. Sección de la banda.

Se determina mediante la siguiente figura, en función de la potencia a transmitir corregida y el número de revoluciones por minuto de la polea menor.

**Figura 3.21. SECCIÓN DE BANDA EN RELACIÓN A RPM Vs. POTENCIA CORREGIDA**



**Fuente:** [http://www.iesmarenostrum.com/Departamentos/Tecnologia/mecaneso/mecanica\\_basica/mecanismos/](http://www.iesmarenostrum.com/Departamentos/Tecnologia/mecaneso/mecanica_basica/mecanismos/)

Como la polea menor (generador) girará a 1800 r.p.m. y la potencia corregida es 17.29 H.P., la sección recomendada es de tipo “B”.

### 3.7.5. Elección de los diámetros primitivos $d_2$ y $D_1$ de las poleas.

Al disponer de la polea motriz (turbina), con un diámetro primitivo de 60 cm se calcula el diámetro de la polea conducida (generador) mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación 3.51.**

$$i = \frac{D_1}{d_2}$$

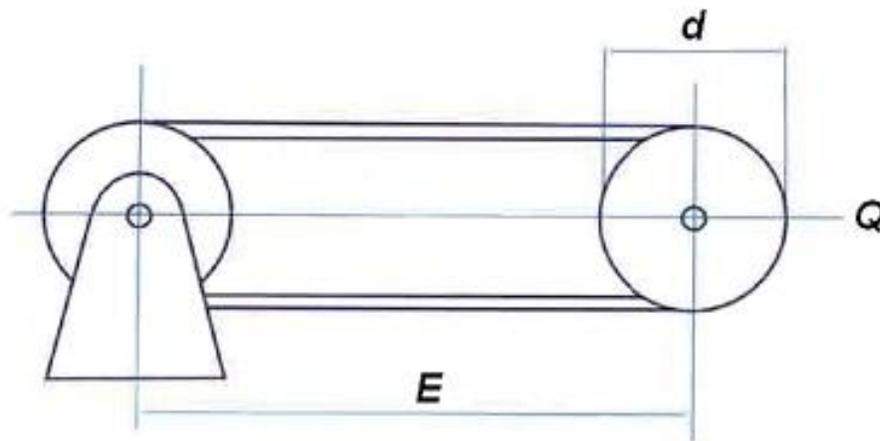
$$d_2 = \frac{60}{2.07}$$

$$d_2 = 28.985 \text{ cm}$$

### 3.7.6. Distancia entre ejes.

Debido a requerimientos geométricos se debe fijar la distancia entre ejes, pero considerando los límites, es decir que debe ser mayor o igual a  $D_1$  pero menor o igual a  $3(d_2 + D_1)$ .

**Figura 3.22. DISTANCIA ENTRE EJES**



Fuente: <http://8celectronicareal35.blogspot.com/>

Cuando no está previamente establecida, por exigencia de la instalación, se puede determinar con la siguiente ecuación.

**Ecuación 3.52.**

$$I \geq \frac{(i+1)d_2}{2} + d_2$$

Para  $i \geq 3$

$$I \geq D_1$$

Ya que nuestra relación de transmisión es  $i = 2.07$  se aplica el segundo criterio por lo que optamos por una distancia entre ejes de:

$$I = 700 \text{ mm}$$

### 3.7.7. Longitud primitiva de la banda.

De acuerdo al tipo de transmisión se calcula la longitud primitiva L, así para el caso más común de transmisión por banda abierta determinamos con la siguiente ecuación:

**Ecuación 3.53.**

$$L=2I+1.57(D_1+d_2) + \frac{(D_1-d_2)^2}{4I} \text{ (mm)}$$

$$L= 2*700+1.57(600-289.85) + \frac{(600-289.85)^2}{4*700}$$

$$L= 1921.29 \text{ mm}$$

Con la siguiente tabla se elige la longitud primitiva de la banda L' más aproximada al valor.

**Tabla 3.11. DETERMINACIÓN DE LONGITUD PRIMITIVA**

DESCRIPCIÓN RMA	LONG. INTERIOR (mm)	LONG. DE REFERENCIA (mm)
B42 1/2	1075	1110
B43	1100	1145
B44	1110	1150
B46	1175	1210
B46 1/2	1190	1230
B47	1200	1235
B47 1/4	1207	1250
B48	1215	1265
B60	1800	1818
B65	18500	18643
B71 1/2	1905	1924
B73	1925	1947

**Fuente:** [http://www.martinezgambino.com.ar/catalogo\\_correas.pdf](http://www.martinezgambino.com.ar/catalogo_correas.pdf)

Si  $L'$  es diferente a  $L$ , variará  $I$  disminuyendo o aumentando la mitad de la diferencia  $L' - L$  como se demuestra en la siguiente ecuación.

**Ecuación 3.54.**

$$I' = I + \frac{L' - L}{2}$$

De la **TABLA N° 3.11**. Se selecciona una banda estandarizada de tipo:

**B73** con  $L' = 1947$  mm

Como  $L'$  es mayor a  $L$  aumentará  $I$ , para lo cual reemplazamos los valores conocidos en la ecuación **(3.53)**:

$$I' = 700 + \frac{1947 - 1921.29}{2}$$

$$I' = 712.85 \text{ mm}$$

### **3.7.8. Determinación del número de bandas.**

El número de bandas se determina con la siguiente ecuación:

**Ecuación 3.55.**

$$N^{\circ}\text{bandas} = \frac{P_c}{P_a}$$

Reemplazando los valores en la ecuación **(3.55.)** se tiene:

$$N^{\circ}\text{bandas} = \frac{17.53}{10.90}$$

$$N^{\circ}\text{bandas} = 1,60$$

Si la transmisión es con menos de cinco bandas, y la parte decimal del cociente es menor del 10% se toma el entero; si sobrepasa el 10% se toma el entero superior, razón por la cual se tiene:

$$N^{\circ}\text{bandas} = 2$$

### 3.7.9. Velocidad de la banda.

Se calcula la velocidad tangencial con la siguiente ecuación:

**Ecuación 3.56.**

$$V = 0.052 \frac{d_2 * N_2}{1000}$$

Sustituyendo los valores tenemos:

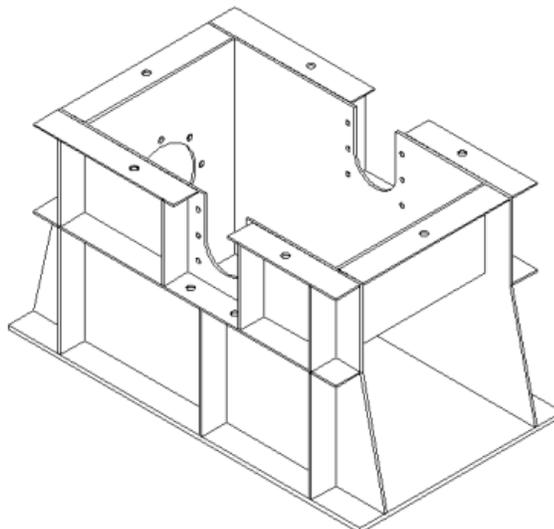
$$V = 5.42 \text{ m/s}$$

Esta velocidad no debe sobrepasar la velocidad límite dada, para nuestro caso es de 15 m/s. por lo que con la velocidad obtenida esta dentro del rango.

### 3.8. Diseño De la carcasa.

La carcasa es el lugar donde va alojada la turbina, su función general es de cubrir y soportar las partes fijas y móviles de la turbina.

**Figura 3.23.** CARCASA DE LA TURBINA MICHELL-BANKI



**Fuente:** [http://taita.com.ar/esp/tmat\\_66\\_500/tmat\\_vau.htm](http://taita.com.ar/esp/tmat_66_500/tmat_vau.htm)

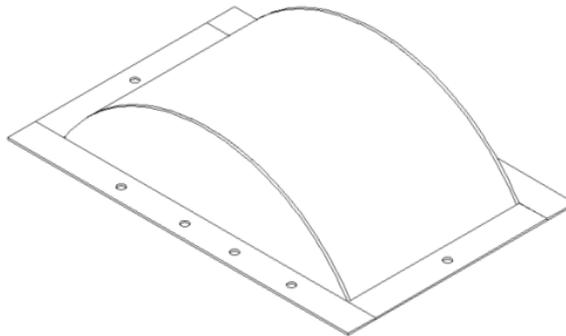
Los materiales utilizados para la fabricación de la carcasa son los siguientes:

- Plancha de acero de 1/3" de espesor, equivalente a 10 mm, de calidad comercial laminada al caliente.
- Las dimensiones de la plancha son 1.20m x 2.40m. En la fabricación de la carcasa se utilizó la plancha de acero cortada y soldada eléctricamente, pero también es posible fabricarlo por otros métodos como por ejemplo fundición.

### 3.8.1. Diseño de la tapa de la carcasa.

La siguiente figura muestra la tapa de la carcasa de la turbina de tipo Michel-Banki

**Figura 3.24.** TAPA DE LA CARCASA MICHEL-BANKI



**Fuente:** [http://taitsa.com.ar/esp/tmat\\_66\\_500/tmat\\_vau.htm](http://taitsa.com.ar/esp/tmat_66_500/tmat_vau.htm)

El corte de las planchas se realizó por oxicorte, utilizando como insumos oxígeno y acetileno principalmente, utilizando electrodos para unir las partes de la carcasa los cuales son:

- E6011 para penetración.
- E6013 para acabados

Se utilizó pintura anticorrosiva como base, luego para los acabados pintura acrílica para metal.

### **Procedimiento.**

El proceso de fabricación de la carcasa e inyector 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 descrita a continuación:

- 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 une los segmentos o partes de la carcasa mediante soldadura por arco, al término de esta quedan algunas rebabas y pequeños sobresalientes de cordón tanto en la parte interna como en la parte externa de la carcasa, estas rebabas hay que eliminarlas. La eliminación de las rebabas y sobresalientes de cordón en la parte interna es conveniente para disminuir la fricción con el agua, disminuyendo así las pérdidas en la zona.

### **3.9. Determinación del tipo del generador en función a la altura, caudal y potencia.**

El generador asincrónico que se encuentra en el sector Alubillo posee las siguientes características:

**Tabla 3.12. CARACTERÍSTICAS DEL GENERADOR ASINCRÓNICO.**

<b>Voltaje (V)</b>	<b>Potencia (kw )</b>	<b>Frecuencia (hz)</b>	<b>Amperaje (A)</b>	<b>Velocidad (rpm)</b>
110/220	8.5	60	15/18.8	1800

**Fuente:** Placa de datos del generador

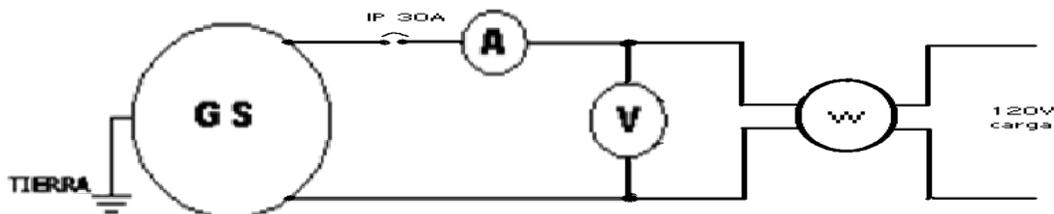
El cual después de realizarle un chequeo de todas sus partes y comprobar el estado del mismo, se pudo observar que los diodos se encontraban en mal estado, cambiándolos se realizó un mantenimiento correctivo a todos los elementos que conforman el generador para luego verificar su óptimo funcionamiento de generación en el laboratorio.

Una vez comprobado que el generador se encuentra en óptimas condiciones para ser instalado y puesto en funcionamiento, de acuerdo a la necesidad de potencia a ser generada se adapta el generador a la casa de máquinas.

### 3.10. Tablero o panel de control.

Los tableros de control son las cajas metálicas que contienen los instrumentos de medición y en su interior a los elementos de control, protección y el cableado de interconexión para 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.

**Figura 3.25. ESQUEMA BÁSICO DEL TABLERO DE CONTROL**



**Fuente:** <http://elektrogeek.blogspot.com/2011/12/fuente-de-alimentacion-para.html>

### 3.10.1. 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 producidos por el generador.

#### 3.10.1.1. Voltímetro.

Permite medir la tensión o 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 medir. Colocando 2 voltímetros uno de 110 voltios (v) y otro de 220 voltios (v).

**Figura 3.26.** VOLTÍMETRO ANALÓGICO

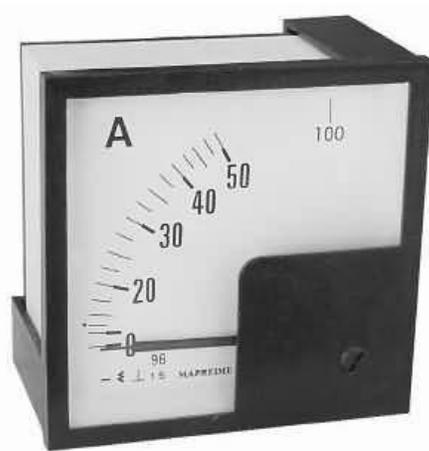


**Fuente:** <http://elektrogeek.blogspot.com/2011/12/fuente-de-alimentacion-para.html>

#### 3.10.1.2. Amperímetro.

Sirve para 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 en nuestro caso instalamos al tablero de control dos amperímetros de 50 amperios.

**Figura 3.27. AMPERÍMETRO ANALÓGICO**



**Fuente:** <http://elektrogeek.blogspot.com/2011/12/fuente-de-alimentacion-para.html>

### **3.10.1.3. Interruptor termomagnético (Breaker).**

El interruptor termomagnético es un elemento de protección, el cual debe ser dimensionado para operar en caso de cortocircuito o sobre carga, para nuestro caso se utilizará un fusible de 50 A (Breaker).

**Figura 3.28. INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO**



**Fuente:** <http://elektrogeek.blogspot.com/2011/12/fuente-de-alimentacion-para.html>

#### 3.10.1.4. Luz Piloto

Es un tipo de indicador de luz que se encuentra instalado en el tablero de control eléctrico, y se encuentra conectado a un voltímetro, en nuestro tablero utilizamos dos luces piloto una de 110 V, y otra de 220 V.

**Figura 3.29.** LUZ PILOTO

220 V

110 V



**Fuente:** <http://elektrogeek.blogspot.com/2011/12/fuente-de-alimentacion-para.html>

#### 3.10.1.5. Puesta a tierra.

Los tableros de control, el generador y todo dispositivo con cubierta metálica conductora, que guarde elementos bajo tensión, deben ponerse a tierra mediante la conexión de un borne montado sobre la parte metálica y un cable desnudo.

**Figura 3.30.** TABLERO DE CONTROL CON TODOS LOS INSTRUMENTOS ARMADOS.



**Fuente:** Sector Alubillo

### **3.11. Manual de operación y mantenimiento.**

Con el fin de conocer el comportamiento y las acciones de mantenimiento realizadas o por realizar, es necesario contar con un manual de registro de mantenimiento, que de manera permanente e inamovible debe permanecer en la casa de máquinas para su control por el personal autorizado.

Las principales acciones a tomar en cuenta para realizar el mantenimiento de la pico generadora hidroeléctrica son los siguientes:

- Bocatoma.
- Desarenador.
- Cámara de carga.
- Tubería de conducción.
- Acoplamientos, rodamientos y fajas.
- Generador y equipo electromecánico.

#### **3.11.1. Mantenimiento de la bocatoma.**

En la época de lluvias el canal trae consigo palos, arena, piedras y vegetación de la zona los mismos que se localizan en la bocatoma, pudiendo estos materiales taponar la entrada del agua hacia el canal de conducción, por lo que será necesario estar pendiente del mismo y evitar que el canal lleve consigo todos los materiales almacenados en la presa, todo esto se lo hará manualmente.

La limpieza de la presa se la puede hacer cuando exista una cantidad considerable de sedimentos almacenados en la misma, es decir no hay un tiempo establecido para realizar el mantenimiento de la presa.

La entrada de captación es el punto donde el agua deja el canal para ser conducido por la tubería de conducción, por lo que es necesario inspeccionar esta entrada

diariamente, especialmente en épocas de lluvia, debido a que algunos materiales flotantes podrían quedar atrapados en la reja y bloquear el paso del agua.

### **3.11.2. Mantenimiento de la tubería de conducción y de presión.**

En nuestro proyecto para realizar el sistema de conducción desde el tanque de presión hacia la casa de máquinas se utilizó la tubería de PVC de presión, por lo que las acciones de mantenimiento a seguir son las siguientes:

- Es importante inspeccionar el estado de los drenajes de conducción de aguas lluvia ya que de otro modo podrían socavar el terreno provocando inestabilidad, y en casos extremos deformación y hasta ruptura de la tubería.
- Es recomendable inspeccionar periódicamente el curso de la tubería y constatar que no existan fugas y en el caso de existir repararlas en forma inmediata.

### **3.11.3. Mantenimiento del desarenador.**

Una de las principales partes de una PCH es el desarenador, pues determina el deterioro por erosión de los alabes de la turbina en forma acelerada, en el caso de no existir un mantenimiento adecuado.

La velocidad del agua a la entrada del desarenador debe ser pequeña, permitiendo que las partículas en suspensión caigan a la base del desarenador, éstos sedimentos acumulados deben ser expulsados semanalmente, mediante la apertura de la válvula de purga, y en el caso de existir un volumen considerable de sedimentos se debe utilizar una pala y una escoba para su limpieza, de lo contrario se seguirán acumulando hasta que algún exceso pase a la turbina ocasionándole el deterioro de la misma.

Durante la temporada de lluvias la limpieza del desarenador se lo realizará con mayor frecuencia debido a la gran cantidad de sedimentos que acarrea el agua en estas épocas del año.

#### **3.11.4. Mantenimiento del tanque de presión.**

El tanque de presión está conectado directamente con la tubería de presión, la misma que tiene una rejilla de protección que impide la entrada del material flotante hacia la tubería de presión, por lo que la limpieza de la rejilla se realizará diariamente debido a la gran cantidad de materiales flotantes que el agua traiga consigo, es importante que el único elemento que pase hacia la turbina sea el agua, cualquier objeto dependiendo de su dimensión, podría causar severos daños, al quedarse atorado en un intersticio de la turbina.

Es importante revisar con frecuencia la rejilla para evitar que materiales flotantes estén sobre la misma, y en el caso de existir la limpieza se lo realizará en forma manual, con un rastillo de mango largo.

#### **3.11.5. Mantenimiento de la turbina Michell-Banki.**

La turbina Michell-Banki es una turbina de acción, en donde el proceso de flujo se realiza a presión atmosférica, y es empleada en grandes y pequeñas centrales hidroeléctricas por lo que las acciones de mantenimiento que se realiza para este tipo de turbinas son:

La turbina necesitará poco mantenimiento en la medida en que el agua se mantenga limpia, de ocurrir que algún objeto se incruste en el interior de la turbina, será necesario desmontar la carcasa de protección de la misma y proceder a extraer el objeto de la turbina.

Será necesario realizar una inspección general rigurosa de los alabes de la turbina, para determinar el grado de desgaste que ocurre a lo largo del tiempo, de esta forma se controlará el desgaste y nos permitirá tener suficientes criterios para programar una reparación general de la turbina.

Se deben mantener lubricadas las partes móviles de la turbina tales como, eje, inyector y todos los pernos de anclaje de la turbina para evitar que se corroan.

Se debe controlar el grado de corrosión que ocurra en la carcasa de la turbina y si es necesario pintarla con pintura anticorrosiva.

#### **3.11.6. Mantenimiento del acoplamiento.**

El acoplamiento está formado por ejes, poleas, bandas y rodamientos, es conocido también como acoplamiento indirecto, el mismo que necesita ser inspeccionado frecuentemente con el fin de detectar vibraciones a causa de deslizamientos, tensiones excesivas de bandas o falta de lubricante en los mismos.

El tensado de las bandas se debe verificar de acuerdo a las recomendaciones del fabricante, el mismo que recomienda de acuerdo al tipo de banda una máxima flecha de deformación.

Otro punto de especial cuidado son los rodamientos, por lo que se debe estar pendiente ante la existencia de ruidos extraños o sobrecalentamientos, pues estos son indicadores que algo está funcionando mal, de tal manera que deben ser lubricados periódicamente.

Los rodamientos deberán ser cambiados aproximadamente cada 5 años, siendo estos engrasados cada 300 horas, y el recambio de la grasa cada 3 000 horas de servicio.

### 3.12. Verificación del proyecto implementado.

Una vez que se implemento y entro en funcionamiento la pico generadora hidroeléctrica se obtuvo los datos que se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 3.13.** DATOS MEDIDOS DURANTE EL FUNCIONAMIENTO DE LA PICO GENERADORA.

ALABE DIRECTRIZ	N° VUELTAS	Q	I	V	FRECUENCIA	N TURBINA	N GENERADOR	P PRESIÓN	POT ELEC MEDIDA	POT ELEC TEÓRICA	n EFICIENCIA
		(lts/s)	(Amp)	(volts)	(Hz)	(RPM)	(RPM)	(Psi)	(Watts)	(Watts)	(%)
100%	Totalmente abierto	75,2	66,33	120,6	60,77	868,5	1807	43	7999,39	8000	0,85
87,50%	Cerrado 1 vuelta	65,6	58,03	110,6	52,9	759,9	1572,9	46	6418,118	6814,5	0,85
75%	Cerrado 2 vueltas	56,3	49,74	90,45	45,37	651,8	1349,2	49	4498,98	5120,3	0,84
62,5%	Cerrado 3 vueltas	46,8	41,45	75,37	37,81	542,9	1123,8	52	3124,4	3980,5	0,84
50%	Cerrado 4 vueltas	37,5	33,16	60,3	30,25	431,2	892,584	55	1999,54	2250,6	0,83
37,50%	Cerrado 5 vueltas	28,1	24,87	45,22	22,68	352,6	729,88	58	1124,62	1505,7	0,82
25%	Cerrado 6 vueltas	18,75	16,58	30,15	15,12	217,12	449,43	61	499,88	571,16	0,81
12,50%	Cerrado 7 vueltas	9,337	8,29	15,07	7,56	108,56	224,71	67	124,93	362,64	0,8

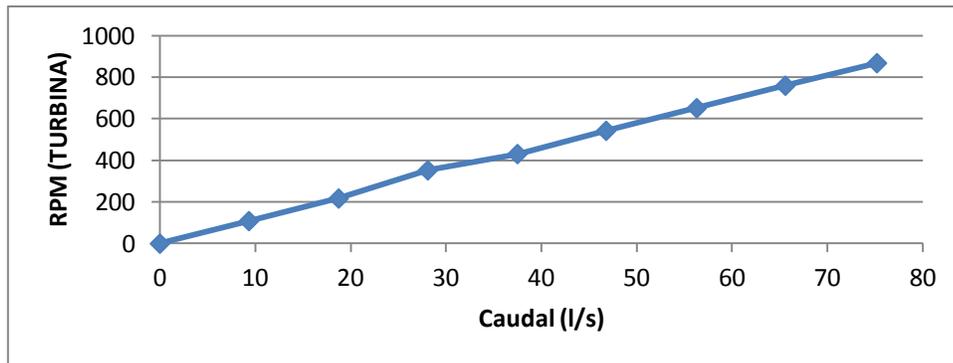
Fuente: Postulantes

Como observación de esta tabla de datos se podría decir que por limitaciones de carga no se probó el generador al 100% de su carga total y se lo realizo en el laboratorio.

### 3.12.1. Análisis de resultados.

#### 3.12.1.1. Caudal Vs. Revoluciones (RPM) turbina

**Figura 3.31. CAUDAL Vs. RPM TURBINA**

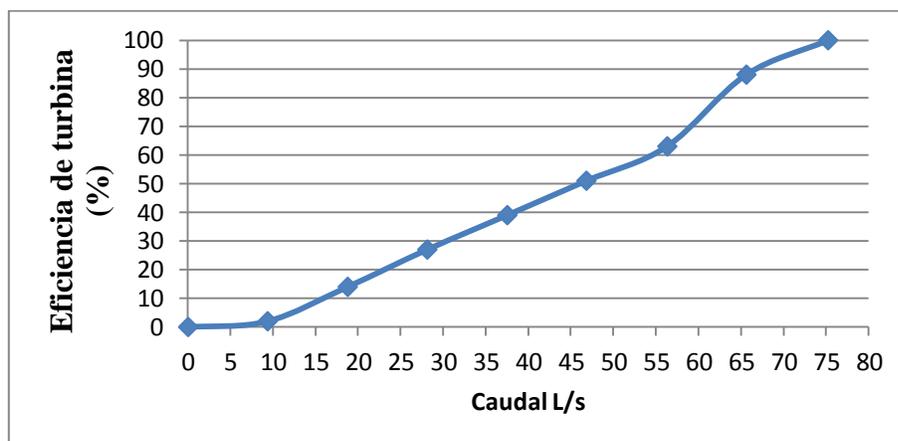


Fuente: Postulantes

En la **Figura 3.31.** Se aprecia el porcentaje de caudal que ingresa a la turbina vs las revoluciones de giro de la misma, dichos porcentajes se lo realizaron en vacío llegando a tener valores desde 840 a 868.5 rpm los mismos que al someter carga del generador disminuye su valor nominal de transmisión.

#### 3.12.1.2. Caudal Vs. Eficiencia de la turbina.

**Figura 3.32. CAUDAL Vs. EFICIENCIA DE TURBINA**

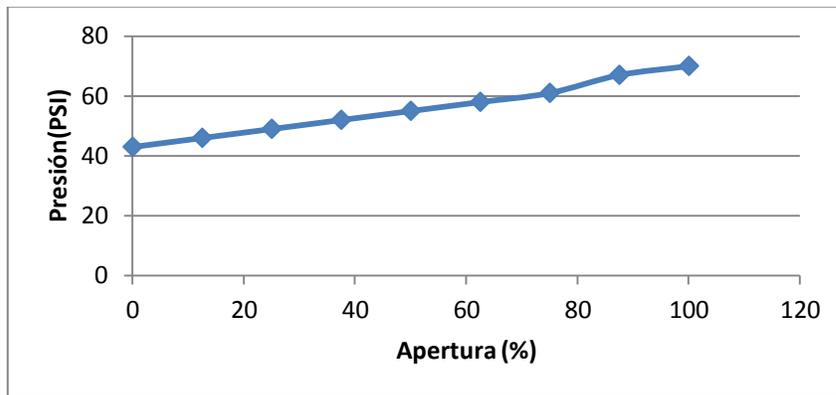


Fuente: Postulantes

En la **Figura 3.32**. Podemos observar que la eficiencia de la turbina incrementa mediante el ingreso de mayor caudal hacia el rodete de la misma por medio del inyector

### 3.12.1.3. Apertura de volante Vs. Presión.

**Figura 3.33.** APERTURA DE VOLANTE Vs. PRESIÓN

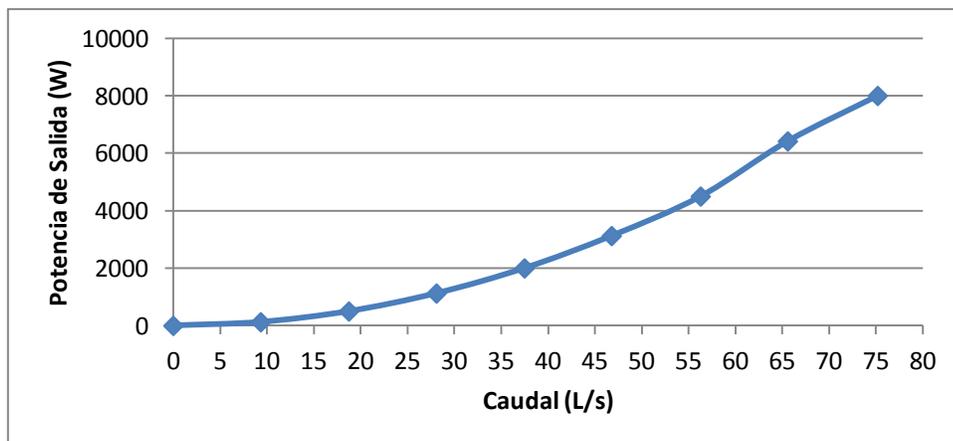


**Fuente:** Postulantes

En la **Figura 3.33**. Se aprecia los rangos de apertura del volante del alabe directriz aumentando la presión de flujo de agua cuando se encuentre abierto en su totalidad.

### 3.12.1.4. Caudal Vs. Potencia.

**Figura 3.34.** CAUDAL Vs. POTENCIA

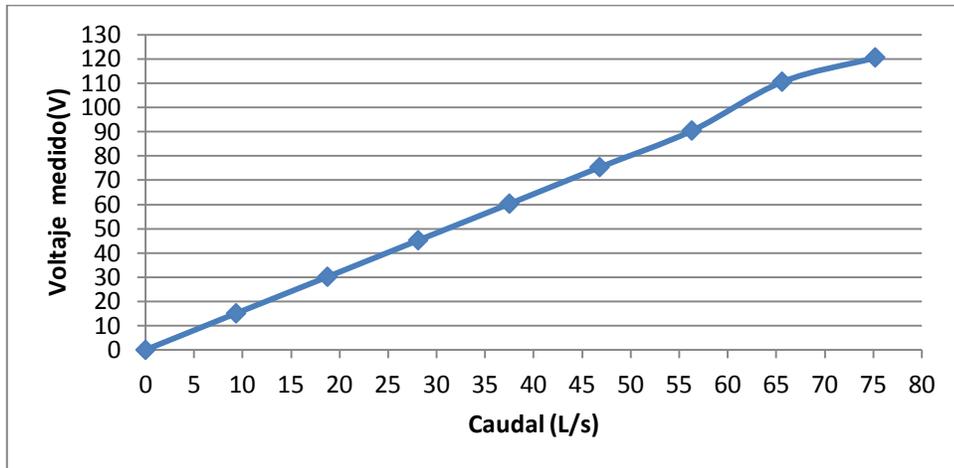


**Fuente:** Postulantes

En la **Figura 3.34**. Observamos que la potencia de salida del generador es directamente proporcional al caudal, llegando al punto estimado cuando se encuentre el caudal en 75 l/s.

### 3.12.1.5. Caudal Vs. Voltaje medido.

**Figura 3.35. CAUDAL Vs. VOLTAJE MEDIDO**

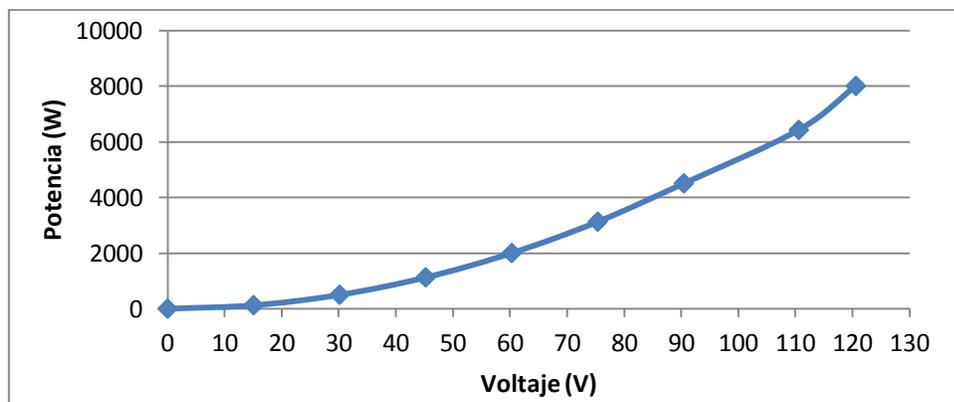


**Fuente:** Postulantes

En la **Figura 3.35**. Observamos que el voltaje depende necesariamente del caudal de diseño, para que este sea constante pues hay que mantener el caudal.

### 3.12.1.6. Potencia Vs. voltaje.

**Figura 3.36. POTENCIA Vs. VOLTAJE**



**Fuente:** Postulantes

En la **Figura 3.36**. Se aprecia la potencia Vs. el voltaje concluyendo que ambas son directamente proporcionales y llegan a sus puntos máximos necesariamente dependiendo del caudal y la altura neta.

### 3.13. Análisis económico del proyecto.

#### 3.13.1. Costos.

El análisis económico de este proyecto es muy importante, pues es el factor inicial mediante el cual se toman decisiones en torno a ejecutarlo o no.

##### 3.13.1.1. Costos directos.

Los costos directos del presente proyecto son:

- Adquisición de materiales.
- Transporte.
- Mano de obra.

En las siguientes tablas se detallan los costos directos de la instalación del sistema:

**Tabla 3.14. COSTO DE MATERIALES PARA LA OBRA CIVIL**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO (USD)	SUBTOTAL (USD)
Volqueta de arena	m <sup>3</sup>	2	100	200
Volqueta de ripio	m <sup>3</sup>	2	100	200
Cemento Chimborazo	qq	30	8	240
Hoja de Zn (3m)	μ	4	10	40
Clavos	libra	4	1.50	6
Varilla de Media L = 12m	μ	4	10	40
Bloques	μ	500	0.25	125
Pingos para cubierta casa de máquinas	μ	5	2	10
Malla fina	metro	2	5	10
<b>TOTAL</b>				<b>871</b>

Fuente: Postulantes

**Tabla 3.15. COSTO DE MATERIALES PARA LA INSTALACIÓN  
HIDRÁULICA**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO (USD)	SUBTOTAL (USD)
Tubería PVC de Ø 12 in presión (6m)	μ	7	200	1.400
Tubería PVC de Ø 8 in presión (6m)	μ	7	120	840
Tubería PVC de Ø 6 in presión (6m)	μ	6	60	360
Reducción PVC de Ø 12-8 in	μ	1	80	80
Reducción PVC de Ø 8-6 in	μ	1	60	60
Kali pega	galón	1	30	30
Compuerta metálica para canal	μ	1	30	30
Rejilla para tanque de presión	μ	1	20	20
Válvula alivio de presión 6"	μ	1	40	40
Collarín	μ	1	20	20
Banda B 49	μ	2	10	20
Malla Ideal exagonal 5/8	metros	4	2.50	10
Discos de corte	μ	5	4	20
Grasa de Li	litro	1	5	5
<b>TOTAL</b>				<b>2.935</b>

Fuente: Postulantes

**Tabla 3.16. COSTO DE MATERIALES PARA LA INSTALACIÓN ELECTROMECAÁNICA**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO (USD)	SUBTOTAL (USD)
Turbina	μ	1	2.000	2.000
Mantenimiento generador	μ	1	200	200
Conductor AWG dúplex 6X5	metro	10	3.00	30.00
Voltímetro AC/DC 0-300	μ	2	15.00	30.00
Amperímetro 0-30 AC	μ	2	20.00	40.00
Taco térmico 32 A	μ	1	10.00	10.00
Caja metálica 40*30 cm	μ	1	40	40.00
<b>TOTAL</b>				<b>2.350</b>

Fuente: Postulantes

**Tabla 3.17. COSTO DE TRANSPORTE**

DESCRIPCIÓN	Subtotal (USD)
Postulantes	300
<b>TOTAL</b>	<b>300</b>

Fuente: Postulantes

**Tabla 3.18. COSTO POR MANO DE OBRA**

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>Tipo de personal</b>	<b># de Trabajadores</b>	<b>Días trabajados</b>	<b>USD/día trabajador</b>	<b>Subtotal (USD)</b>
Excavación de la zanja para tubería de presión y conducción	Peón	4	5	5	100
Instalación de la tubería de conducción y presión	Gasfitero	2	5	10	100
Elaboración del desarenador, tanque de presión y casa de máquinas	Albañil	2	5	10	100
Instalación de maquinaria y equipo electromecánico	Técnico	1	1	25	25
Instalación del sistema eléctrico y de protección	Electricista	1	1	20	20
Construcción de la compuerta y rejilla	Mecánico	1	1	15	15
Soldadura de varillas en pernos de anclaje	Soldador	1	1	8	8
<b>TOTAL</b>					<b>368</b>

**Fuente:** Postulantes

El costo directo se detalla en la siguiente tabla:

**Tabla 3.19. COSTO DIRECTO DEL PROYECTO**

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>Subtotal (USD)</b>
Costo de materiales para la obra civil	871
Costo de materiales para la instalación hidráulica	2.935
Costo de materiales para la instalación eléctrica	2.350
Costo de transporte	300
Costo por mano de obra	368
<b>TOTAL</b>	<b>6.824</b>

Fuente: Postulantes

### 3.13.1.2. Costos indirectos

Los costos indirectos del proyecto son:

- Costo ingenieril.
- Imprevistos.

**Tabla 3.20. COSTO INDIRECTO DEL PROYECTO**

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>Subtotal (USD)</b>
Costo ingenieril	600
Imprevistos	100
<b>TOTAL</b>	<b>700</b>

Fuente: Postulantes

La siguiente tabla indica el costo total de la instalación del sistema hidroeléctrico.

**Tabla 3.21. COSTO TOTAL DE LA PICO GENERADORA**

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>Subtotal (USD)</b>
Costo directo	<b>6.824</b>
Costo indirecto	<b>700</b>
<b>TOTAL</b>	<b>7.524</b>

Fuente: Postulantes

### 3.13.2. Beneficios de la pico generadora hidroeléctrica de tipo Michell-Banky.

Los beneficios que aporta el diseño, construcción e implementación de la pico generadora hidroeléctrica se ven reflejados en el ahorro de los habitantes del sector Alubillo, más aun si tomamos en cuenta la relación de costo kw/h entre la pico generadora y el sistema interconectado, esto sumado al hecho de que se trata de energía limpia, amigable con el medio ambiente permitirá a los habitantes de este sector implementar una microempresa la cual les permitirá mejorar significativamente su calidad de vida y consecuentemente brindar estabilidad socioeconómica a sus familias.

### 3.13.3. Valor de la depreciación.

Para determinar la depreciación del presente proyecto utilizaremos la depreciación lineal, misma que tiene como principio fundamental que un bien pierde su valor anualmente de manera uniforme, desde el valor inicial en el año de la instalación hasta cero en el último año de la vida útil del proyecto.

La vida útil para pico generadoras se considera de 15 años, y para la obra civil de 20 años.

El valor residual se determina con la siguiente ecuación:

$$VR_n = V_i - V_i \frac{(n)}{N}$$

**Ecuación 3.56.**

Donde:

$VR_n$  = Valor residual en el año n, en US\$

$V$  = Valor inicial del bien, en el año de su instalación

$N$  = Vida útil del bien

$N$  = Tiempo de uso en el proyecto

Valor residual de las obras civiles

$$VR_n = 871 - 871 * \left(\frac{14}{20}\right)$$

$$VR_n = 261,3 \text{ U.S.D}$$

Valor residual del equipo  
electromecánico

$$VR_n = 2.350 - 2.350 * \left(\frac{14}{20}\right)$$

$$VR_n = 705 \text{ U.S.D}$$

### 3.13.4. Determinación del costo de la energía.

Para poder determinar el costo de la energía consumida se determinó el consumo diario, posteriormente se calculó el consumo anual y se lo multiplicarlo por el valor vigente del Kw/h del sistema interconectado, encontrando así el valor anual de la energía, los mismos que se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 3.22. COSTO DE LA ENERGÍA CONSUMIDA**

Energía consumida en un día (Kw-h)	192
Producción anual de energía(KW-h)	70080
Costo vigente del KW-h (USD)	0,12
Ingresos por consumo de energía anuales(USD)	8409.6

Fuente: Postulantes

### 3.13.5. Determinación de la tasa interna de retorno (TIR).

La tasa interna de retorno (TIR) de una inversión, está definida como la tasa de interés con la cual el valor actual neto (VAN) es igual a cero.

### 3.13.6. Valor actual neto (VAN).

El VAN actualiza a una determinada tasa de descuento y los flujos de caja, se determina el valor actual neto a diferentes tasas de descuento para nuestro proyecto.

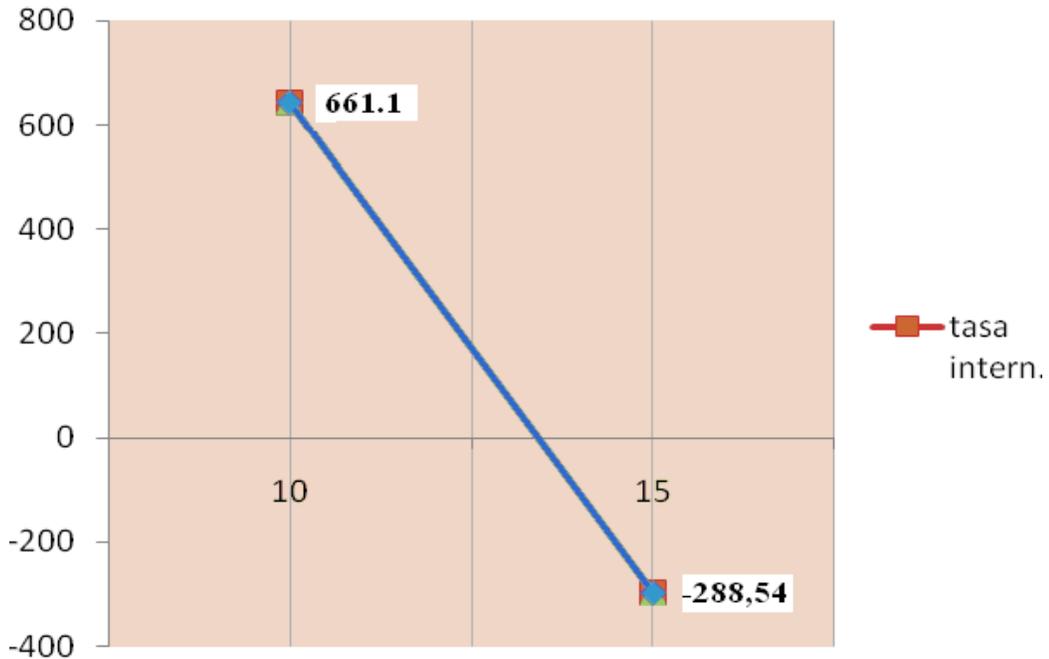
**Tabla 3.23. VALOR ACTUAL NETO PARA LA DETERMINACIÓN DEL TIR.**

<b>VALOR ACTUAL NETO PARA DETERMINAR EL TIR</b>					
<b>Año</b>	<b>Flujo de Caja</b>	<b>Tasa 15%</b>		<b>Tasa 10%</b>	
		<b>Factor del valor Actual</b>	<b>VAN 15%</b>	<b>Factor del valor Actual</b>	<b>VAN 10%</b>
1	-3928,23	0,8696	-3415,99	0,9091	-3571,153
2	620	0,7562	468,844	0,8265	512,43
3	620	0,6575	407,65	0,7513	465,806
4	620	0,5718	354,516	0,683	423,46
5	620	0,4972	308,264	0,6209	384,958
6	620	0,4323	268,0226	0,5646	350,052
7	620	0,3759	233,0528	0,5132	318,184
8	620	0,3269	202,678	0,4662	289,044
9	620	0,2843	176,266	0,4241	262,942
10	620	0,2472	153,264	0,3856	239,072
11	620	0,215	133,3	0,3505	217,31
12	620	0,1869	115,878	0,3186	197,532
13	620	0,1625	100,75	0,2897	179,614
14	620	0,1413	87,606	0,2633	163,246
15	954,908	0,1229	117,3582	0,2394	228,60498
	<b>VAN</b>		<b>-288,540</b>	<b>VAN</b>	<b>661,10198</b>

**Fuente:** Postulantes

Por medio de la siguiente figura, determinamos en valor del TIR

**Figura 3.37. TASA INTERNA DE RETORNO**



Fuente: Postulantes

Como se puede apreciar en la **Figura 3.37**, el valor del TIR calculado es igual a 13.2%, por lo que este valor es mayor que la tasa de interés anual en vigencia ( $i = 9.24\%$ ), por lo tanto el proyecto es rentable.

### 3.13.7. Costo referencial total de la energía eléctrica producida.

Para determinar el valor del kilovatio-hora consumido en el proyecto dividimos el costo total de la obra para el número de kilovatios-hora consumidos en el tiempo de vida útil.

En la siguiente tabla podemos apreciar los parámetros para realizar el cálculo de costo referencial total de la energía eléctrica producida.

**Tabla 3.24. PARÁMETROS DEL COSTO REFERENCIAL ANUAL**

DETALLE	PICO CENTRAL ALUBILLO
Potencia efectiva	8 kw
Costo unitario de inversión	940,5 USD
Vida útil	15 años
Tasa de descuento anual	12 %
Costo de administración	2 %
Costo de operación y mantenimiento	4 %
Energía generada media anual	61440 Kw.h

**Fuente:** Postulantes

Con la siguiente ecuación se realiza el cálculo del costo referencial total de la energía eléctrica producida.

**Ecuación 3.57.**

$$CTP = \frac{K i_a (1 - i_a)^n}{(1 - i_a)^n - 1}$$

Donde:

CTP = Costo total de producción

$i_a$  = Interés anual

K = Inversión total por potencia

En la siguiente tabla podemos observar los cálculos realizados del costo total de producción por Kw.h.

**Tabla 3.25. CÁLCULO DE VALORES DEL COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN**

k	\$ 7.524,00
CTP	\$ 1.104,71
O & M	\$ 300,96
Costo ADM	\$ 150,48
Costo I + O & M+ costo ADM	\$ 1.556,15
<b>CFME</b>	<b>\$ 0,02533</b>

**Fuente:** Postulantes

Obteniendo un costo de 2 centavos de dólar por kilovatio hora.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones:

- Los objetivos planteados al inicio del presente proyecto de tesis se cumplen a satisfacción, pues los resultados prácticos demuestran todos los cálculos de diseño.
- Para un caudal de  $0,075 \text{ m}^3/\text{s}$ , y una altura de 19 m. se obtiene una potencia teórica de 8 kw.
- La turbina elegida para el caudal y altura obtenida en el proceso de toma de datos es de tipo Michell-Banki.
- El tiempo de recuperación de la inversión realizada será en el lapso de 11 meses.

## **Recomendaciones:**

- Para la realización de proyectos similares realizar un análisis minucioso a fin de determinar las condiciones topográficas del terreno donde será puesta la tubería de presión, esto permitirá reducir considerablemente los tiempos de construcción de la obra civil.
- Seleccionar, analizar y realizar el diseño de la turbina de acuerdo a los datos obtenidos en el trabajo de campo esto proporcionara eficiencia a nuestra pico generadora hidroeléctrica.
- En caso de no contar con herramientas de medición es recomendable determinar estas mediciones utilizando los métodos del objeto flotante y el método de manguera de nivelación respectivamente.
- Finalmente recomendamos a las Autoridades de esta importante Institución de Educación Superior continuar impulsando este tipo de proyectos de investigación pues proporcionan a los lugares menos favorecidos del país alternativas idóneas para sustentar su desarrollo socioeconómico y de esta forma mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:**

- OLADE. Manual de diseño, estandarización y fabricación de equipos para pequeñas centrales hidroeléctricas. Vol 1.
- Arter, A., and Meier, U., 1990, Hydraulics Engineering Manual, St Gallen-Switzerland, SKAT.
- Bazo, 1983, Manual de Diseño, Estandarización y Fabricación De Equipos para Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, Quito, OLADE.
- INE, 1986, Estandarización de turbinas Tipo Michell-Banki, Quito, Instituto Nacional de Energía.
- Mataix Claudio, 1985, Turbomáquinas Hidráulicas, Madrid, Editorial Icai.
- Morales, L. R., 1985, Turbinas Pelton y Michell-Banki, Lima, ITINTEC.
- Tiago, Filho, G.L., 1987, Desenvolvimento Teórico e Experimental para Dimensionamento de Turbina Hidráulica
- Michell-Banki, Tese de mestrado em Ciências em engenharia Mecânica, Itajubá-MG.
- OLADE. Apuntes para un manual de diseño para pequeñas centrales hidroeléctricas. Vol 1. 1988.

## **CITAS BIBLIOGRÁFICAS**

- NAUTA EDITORES. Enciclopedia de la Técnica y de la Mecánica. Vol. 2. Pág. 306. Barcelona. 1970.
- GOMEZ EXPOSITO Antonio (2002). pág. 26.
- Según el ITDG. Manual de mini y micro centrales hidroeléctricas. Pág. 54
- FOX Mc Donald. Introducción a la Mecánica de Fluidos. Mc Graw Hill. Pág. 78.
- OLADE. Apuntes para un manual de diseño para pequeñas centrales hidroeléctricas. Vol 1. 1988. Pág. 15
- Según ZOPPETTI JUDEZ, Gaudencio (1982). Pág. 33.

## LINKOGRAFIA

- <http://www.solucionespracticas.org.pe/fichastecnicas/pdf/Fichatecnica2-Turbina%20michell%20bankL.pdf> (FICHA TÉCNICA TURBINA MICHELL-BANKI)
- [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0550\\_M.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0550_M.pdf) (MICRO-HIDROELÉCTRICA TIPO MICHELL BANKI)
- [http://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/PNAAP285.pdf](http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNAAP285.pdf) (MANUAL DE CONTRUCCION TURBINA MICHELL-BANKI)
- [http://www.dahujori.com/energias/manual/microturbina\\_hidraulicas/centrales.pdf](http://www.dahujori.com/energias/manual/microturbina_hidraulicas/centrales.pdf) (CENTRALES)
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Cross-flow\\_turbine](http://en.wikipedia.org/wiki/Cross-flow_turbine) (CROSS-FLOW TURBINE)
- [http://fing.uncu.edu.ar/catedras/archivos/electrotecnia/apuntes/máquinas\\_sincronas/maq\\_sincronas1.pdf](http://fing.uncu.edu.ar/catedras/archivos/electrotecnia/apuntes/máquinas_sincronas/maq_sincronas1.pdf) (GENERADORES)
- [http://www.ute.com.uy/servicios\\_cliente/docs/C%20I-F.pdf](http://www.ute.com.uy/servicios_cliente/docs/C%20I-F.pdf) (PROTECCIONES ELÉCTRICAS)
- [http://www.alipso.com/monografias/2547\\_proteccion/](http://www.alipso.com/monografias/2547_proteccion/)(PROTECCIÓN DE MOTORES)
- <http://www.geocities.com/SiliconValley/Program/7735/TECNOL16.html> (PROTECCIONES DE FUSIBLES)
- [es%20generadores%20y%20convertidores.pdf](#) (REGLAMENTO DE PROTECCIÓN DE MOTORES Y GENERADORES)
- <http://guia.mercadolibre.com.ar/criterios-construccion-transformadores-monofasicos-14836-VGP> (CONSTRUCCIÓN DE TRANSFORMADORES)
- [http://taitsa.com.ar/esp/tmat\\_66\\_500/tmat\\_vau.htm](http://taitsa.com.ar/esp/tmat_66_500/tmat_vau.htm) (CONSTRUCCIÓN DE LA CARCASA)
- <http://sas.editorialcep.com/muestra/electricistas.pdf> (PROTECCIONES DE CASAS)

# **ANEXOS**

# **ANEXO A**

## **DETERMINACIÓN DEL DIFERENCIAL DE DEMANDA ENERGÉTICA EN EL SECTOR ALUBILLO**

**Anexo A.1. DETERMINACIÓN REFERENCIAL DE DEMANDA ENERGÉTICA EN EL SECTOR ALUBILLO**

<b>NORMAS PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN</b>								
<b>PARAMETROS DE DISEÑO</b>								
<b>PLANILLA PARA LA DETERMINACIÓN DE DEMANDA DE DISEÑO</b>								
<b>NOMBRE DEL PROYECTO:</b> Convenio UTC-GAD Municipal de CALUMA								
<b>LOCALIZACIÓN:</b> Sector Alubillo-Cantón Caluma-Provincia de Bolívar								
<b>APARATOS ELÉCTRICOS Y DE ALUMBRADO</b>		<b>CANT</b>	<b>Pn (W)</b>	<b>CI (W)</b>	<b>FFUn (%)</b>	<b>CIR (W)</b>	<b>FSn (%)</b>	<b>DMU (W)</b>
<b>DESCRIPCIÓN</b>								
<b>Vivienda 1</b>								
Puntos de iluminación		3	64	192	100%	192	90%	172.8
Radio		1	70	70	60%	42	60%	25.2
<b>Vivienda 2</b>								
Puntos de iluminación		4	20	80	100%	80	90%	72
Radio		1	70	70	60%	42	60%	25.2
<b>Vivienda 3</b>								
Puntos de iluminación		6	20	120	100%	120	80%	96
Radio		1	70	70	50%	35	50%	17.5
<b>Vivienda 4</b>								
Puntos de iluminación		2	64	128	100%	128	90%	115.2
Radio		1	70	70	50%	35	50%	17.5
<b>Vivienda 5</b>								
Puntos de iluminación		5	20	100	100%	100	90%	90
Radio		1	70	70	70%	49	70%	34.3
<b>Vivienda 6</b>								
Puntos de iluminación		4	20	80	100%	80	90%	72
Radio		1	70	70	50%	35	50%	17.5
<b>Vivienda 7</b>								
Puntos de iluminación		15	64	960	100%	960	90%	864

Refrigerador	4	300	1200	100%	1200	90%	1080
Bomba de agua	2	440	880	100%	880	90%	792
Televisor	1	150	150	100%	150	90%	135
DVD	1	25	25	100%	25	90%	22.5
Licuada	2	200	400	100%	400	90%	360
Ventilador	4	100	400	100%	400	90%	360
Radio	3	70	210	50%	105	50%	52.5
<b>TOTALES</b>		<b>1977</b>	<b>5345</b>		<b>5058</b>		<b>4421</b>

Fuente: Postulantes

FACTOR DE POTENCIA DMU (KVA) 0.85  
FMD (KVA) = 1,73

FACTOR DE DEMANDA  $\frac{DMU = 4407}{CI = 5325}$

0,83 || TOTAL

**Donde:**

Pn = Potencia Nominal

DMU = Demanda máxima unitaria

CI = Carga instalada

FFUn = Factor de frecuencia de uso

CIR = Carga instalada por consumidor representativo

FSn = Factor de simultaneidad para la carga individual

FDM = Factor de demanda

## Anexo A.2. ESTRATOS DE CONSUMO

<b>CATEGORÍA DE ESTRATO DE CONSUMO</b>	<b>ESCALAS DE CONSUMO (KWh/mes/cliente)</b>
E	0-100
D	101-150
C	151-250
B	251-350
A	351-500

**Fuente:** NORMAS PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN – PARTE A – GUÍA PARA DISEÑO, de la Empresa Eléctrica Quito S.A.

Resultados de categorización por viviendas:

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CATEGORÍA</b>
Vivienda 1	E
Vivienda 2	E
Vivienda 3	E
Vivienda 4	E
Vivienda 5	E
Vivienda 6	E
Vivienda 7	C

**Fuente:** NORMAS PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN – PARTE A – GUÍA PARA DISEÑO, de la Empresa Eléctrica Quito S.A.

### Anexo A.3

**Ejemplo para realizar el cálculo del volumen final del tanque de presión.**

$$V_f = V_t - V_0 + V_s - S$$

Donde:

$V_f$  = Volumen final

$V_t$  = Volumen Total

$V_0$  = Volumen entrada

$V_s$  = Volumen salida

$S$  = Volumen de desfogue

Entonces:

$$V_f = V_t - Q_o * t + Q_s * t - S$$

Donde:

$Q_o$  = Caudal de Ingreso

$t$  = Tiempo

$Q_s$  = Caudal de salida

Remplazando tenemos los siguientes valores:

$$V_f = 60 \text{ m}^3 - 0.075 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} 8 \text{ h} * \frac{3600\text{s}}{1\text{h}} + 0.080 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} 8 \text{ h} * \frac{3600\text{s}}{1\text{h}} - 0$$

$$V_f = 204 \text{ m}^3$$

# **ANEXO B**

## **GLOSARIO DE TÉRMINOS**

## **GLOSARIO DE TERMINOS**

### **Amperio**

Unidad de medida de la corriente eléctrica, y representa el número de cargas (coulombs) por segundo que pasan por un punto de un material conductor.

### **Bobina**

Arrollamiento de un cable conductor alrededor de un cilindro sólido o hueco, con lo cual y debido a la especial geometría obtiene importantes características magnéticas.

### **Captación**

La captación consiste en recolectar y almacenar agua proveniente de diversas fuentes para su uso benéfico.

### **Central Hidroeléctrica**

Es aquella central donde se aprovecha la energía producida por la caída del agua para golpear y mover el eje de los generadores eléctricos.

### **Comercialización**

Consiste en la venta, facturación y cobro por el servicio eléctrico prestado a los consumidores finales.

### **Corriente Eléctrica**

Es el flujo de electricidad que pasa por un material conductor; siendo su unidad de medida el amperio, y se representan por la letra I.

## **Corriente Eléctrica Alterna**

El flujo de corriente en un circuito que varía periódicamente de sentido. Se le denota como corriente A.C. (Altern current) o C.A. (Corriente alterna).

## **Corriente Eléctrica Continua**

El flujo de corriente en un circuito producido siempre en una dirección. Se le denota como corriente D.C. (Direct current) o C.C. (Corriente continua).

## **Distribución**

Incluye el transporte de electricidad de bajo voltaje (generalmente entre 120 Volt. y 34.500 Volt) y la actividad de suministro de la electricidad hasta los consumidores finales.

## **Efecto Venturi**

Consiste en que un fluido en movimiento dentro de un conducto cerrado disminuye su presión al aumentar la velocidad después de pasar por una zona de sección menor.

## **Eficiencia**

La eficiencia energética o ahorro de energía es una práctica empleada durante el consumo de energía que tiene como objeto procurar disminuir el uso de energía pero con el mismo resultado final. Es una optimización del consumo de energía.

## **Electroimán**

Es la magnetización de un material, utilizando para ello la electricidad.

## **Factor**

Elemento o circunstancia que contribuye, junto con otras cosas, a producir un resultado.

## **Generación de Energía**

Comprende la producción de energía eléctrica a través de la transformación de otro tipo de energía (mecánica, química, potencial, eólica, etc) utilizando para ello las denominadas centrales eléctricas.

## **Generador**

Dispositivo electromecánico utilizado para convertir energía mecánica en energía eléctrica por medio de la inducción electromagnética.

## **Hercio (Hz)**

Unidad de frecuencia igual a un ciclo por segundo, en corrientes alternas el número de cambios de los ciclos positivo y negativo por segundo.

## **Inducción Electromagnética**

Es la creación de electricidad en un conductor, debido al movimiento de un campo magnético cerca de este o por el movimiento de él en un campo magnético.

## **Inyector**

Un inyector es un dispositivo utilizado para bombear fluidos utilizando el efecto Venturi, utiliza un fluido a alta presión que sale por una boquilla a alta velocidad y baja presión convirtiendo su energía potencial en energía cinética.

## **Kilowatt**

Es un múltiplo de la unidad de medida de la potencia eléctrica y representa 1000 watts.

## **Motor eléctrico**

El motor eléctrico permite la transformación de energía eléctrica en energía mecánica, esto se logra, mediante la rotación de un campo magnético alrededor de una espira o bobinado que toma diferentes formas.

## **Presa**

Una presa es un muro grueso construido en el cauce de un río para embalsar el agua.

## **Rodete**

El rodete es un tipo de rotor situado dentro de una tubería o un conducto y encargado de impulsar un fluido.

## **Turbina**

Máquina rotativa con la capacidad de convertir la energía cinética de un fluido en energía mecánica.

## **Voltio**

Es la unidad de fuerza que impulsa a las cargas eléctricas a que puedan moverse a través de un conductor.

## **Voltímetro**

Es un instrumento utilizado para medir la diferencia de voltaje de dos puntos distintos y su conexión dentro de un circuito eléctrico es en paralelo.

## **Watt**

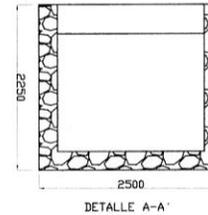
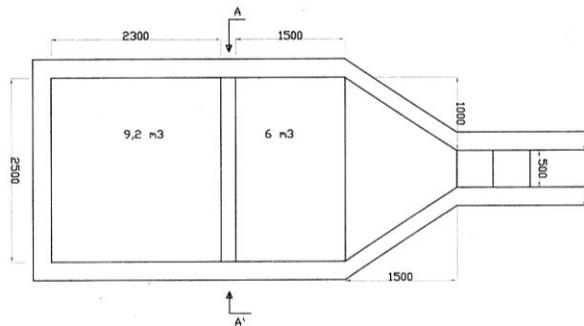
Es la unidad de potencia de un elemento receptor de energía (por ejemplo una radio, un televisor).

## **Weber**

Unidad del sistema eléctrico internacional que indica el flujo magnético.

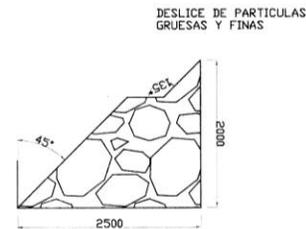
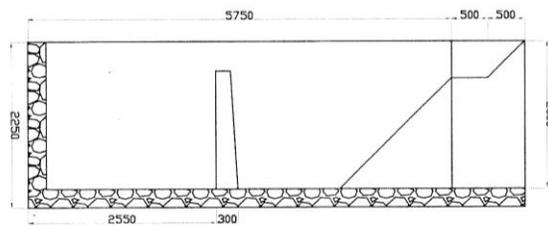
# **ANEXO C**

## **PLANOS**

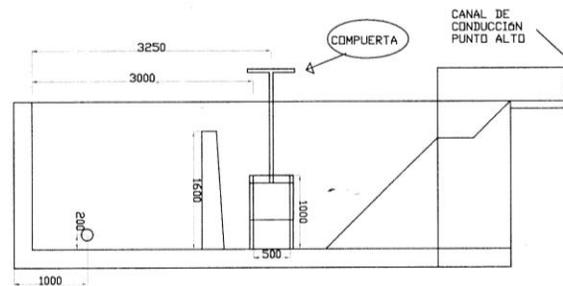


DETALLE A-A'

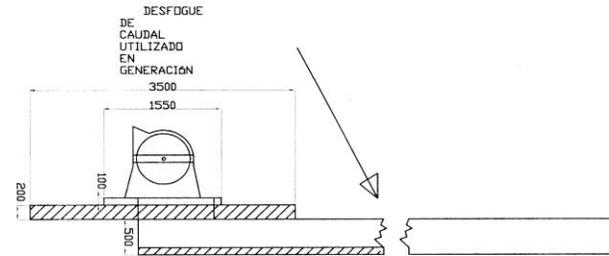
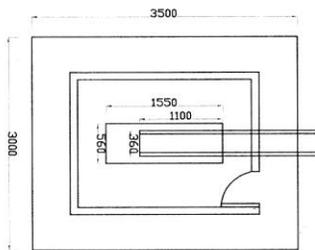
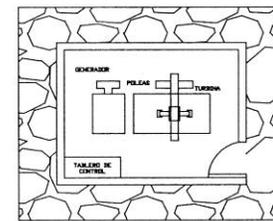
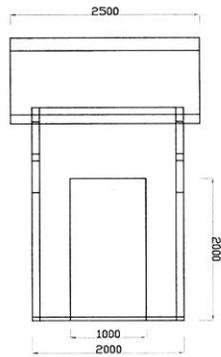
NOTAS:  
 1.- TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN EN MM.  
 2.- EL HORMIGON A UTILIZAR TENDRA UNA RESISTENCIA DE 210 Kg / cm<sup>2</sup>.



DESLICE DE PARTICULAS GRUESAS Y FINAS



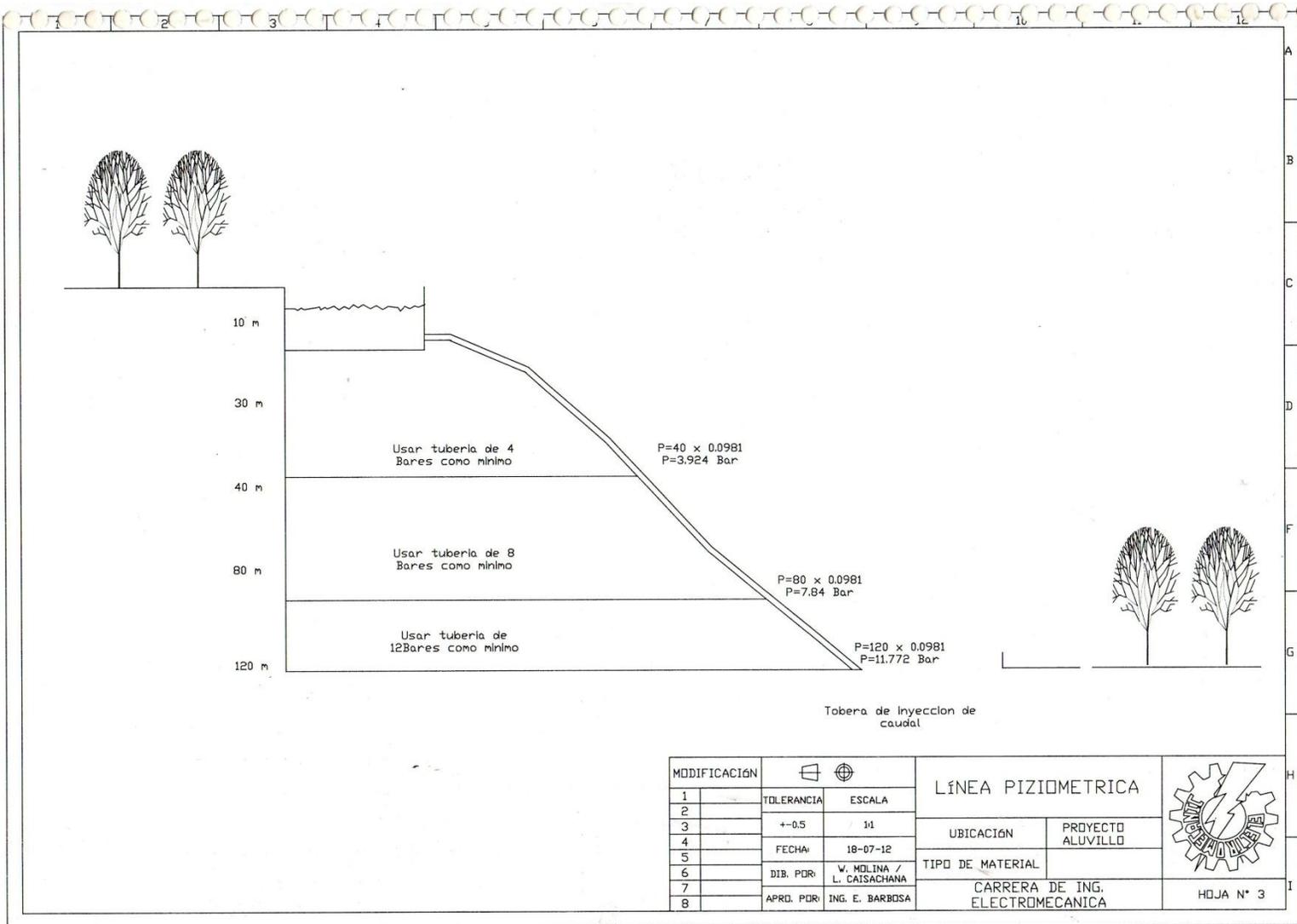
MODIFICACION			TANQUE DE PRESION Y DESARENADOR		
1	TOLERANCIA	ESCALA			
2					
3	±0.5	1:1	PESO TOTAL	1550,89 KG.	
4			TIPO DE MATERIAL	HORMIGON ARMADO	
5	FECHA:	18-07-12			
6	DIB. POR:	W. MOLINA / L. CAISACHANA			
7	APRO. POR:	ING. E. BARBOSA			
8			CARRERA DE ING. ELECTROMECANICA		HOJA N° 1



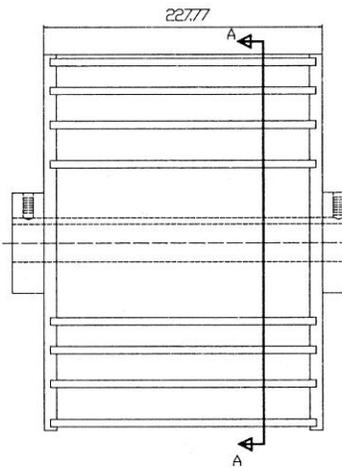
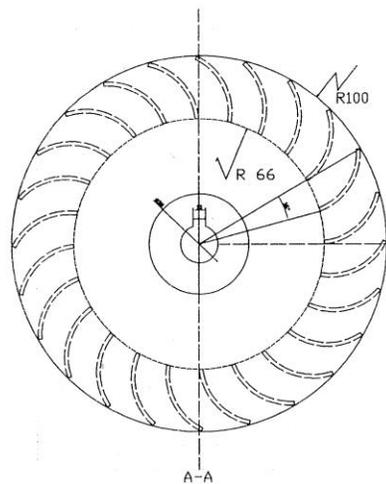
MODIFICACIÓN			CASA DE MÁQUINAS	
1	TOLERANCIA	ESCALA		
2				
3	±0.5	1:1		
4	FECHA:	18-07-12	PESO TOTAL	1205 KG.
5	DIB. POR:	W. MOLINA / L. CAISACHANA	TIPO DE MATERIAL	HORMIGÓN ARMADO
6			CARRERA DE ING. ELECTROMECÁNICA	
7	APRD. POR:	ING. E. BARBOSA		
8				



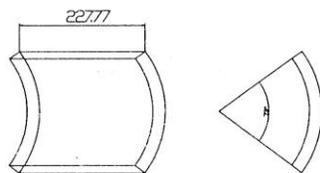
HOJA N° 2



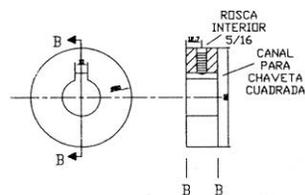
MODIFICACION			LÍNEA PIZIDMETRICA		
1	TOLERANCIA	ESCALA			
2					
3	+/-0.5	1:1	TIPO DE MATERIAL		
4	FECHA	18-07-12	CARRERA DE ING. ELECTROMECANICA		
5					
6	DIB. PDR	W. MOLINA / L. CAISACHANA			
7					
8	APRO. PDR	ING. E. BARBOSA			HOJA N° 3



ROTOR



ALABE  
ESPEJOR DE 1/4 Plg.



MODIFICACION			TURBINA MICHELL-BANKI		
1	TOLERANCIA	ESCALA			
2					
3	+/-0.5	1:1	UBICACION	PROYECTO ALUBILLO	
4	FECHA:	21-04-12			
5					
6	DIB. POR:	V. MOLINA / L. CAISACHANA	TIPO DE MATERIAL		
7			CARRERA DE ING. ELECTROMECANICA		
8	APRO. POR:	ING. E. BARBOSA			HOJA N° 4

# **ANEXO D**

## **CERTIFICACIONES**



# GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DE CALUMA

*Alcaldía*



El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Caluma, tiene a bien:

## CERTIFICAR

**Que**, una vez realizadas las correspondientes pruebas de funcionamiento, la Universidad Técnica de Cotopaxi, hace la entrega de un SISTEMA HIDROELÉCTRICO, con una capacidad de generación equivalente a 8Kw.

En tal virtud, hace extensivo el formal agradecimiento a las distinguidas Autoridades de tan importante Institución Educativa de Nivel Superior y a la vez hace votos por la ejecución de más proyectos como este que buscan elevar el nivel de vida de los habitantes de sectores vulnerables del país y consecuentemente potencializar su capacidad de desarrollo socioeconómico.

Caluma, noviembre 05 de 2012.

Atentamente,

  
**Ing. LEÓN GARÓFALO CHÁVEZ**  
Alcalde del Cantón Caluma



  
**Ing. ANDREA ARMAS V.**  
Directora de Desarrollo Local



**GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO  
MUNICIPAL DE CALUMA**

*Alcaldía*



---

---

**Ing. LEÓN GARÓFALO CHÁVEZ**  
Alcalde del Cantón Caluma

**CERTIFICA**

**Que**, el Señor CAISACHANA VEGA LUIS IVAN, portador de la cédula de ciudadanía N° 050266879-1, alumno de Ingeniería especialidad Electromecánica, de la Universidad Técnica de Cotopaxi; **realizó su tesis**, previo a la obtención del TÍTULO DE INGENIERO ELECTROMECAÁNICO, cuyo tema es: "**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PICOGENERADORA, APROVECHANDO EL RECURSO HÍDRICO DEL SECTOR DE ALUVILLO, EN EL CANTÓN CALUMA, PROVINCIA DE BOLÍVAR**"; demostrando en todo momento trabajo en equipo, puntualidad, honradez, responsabilidad y sobre todo muchos deseos de superación; cualidades que lo hicieron merecedor a la estima y consideración de todos.

Además me permito informar que el mencionado equipo fue entregado con fecha sábado 20 de octubre del año en curso, mismo que luego de las respectivas pruebas de funcionamiento se encuentra en óptimas condiciones de funcionamiento.

Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad, el interesado puede hacer uso del presente documento en lo que estime conveniente, salvo asuntos judiciales.

Caluma, octubre 22 de 2012.

Atentamente,  
  
**Ing. LEÓN GARÓFALO CHÁVEZ**  
Alcalde del Cantón Caluma





**GOBIERNO AUTÓNOMO  
DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DE  
CALUMA**



**Ing. LEÓN GARÓFALO CHAVEZ**  
Alcalde del Cantón Caluma

---

---

**CERTIFICA**

Que, el Señor **WASHINGTON GEOVANNY MOLINA ZAPATA**, portador de la cédula de ciudadanía N° 0503246209, alumno de Ingeniería especialidad Electromecánica, de la Universidad Técnica de Cotopaxi; **realizó su tesis**, previo a la obtención del **TÍTULO DE INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**, cuyo tema es: **"DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PICOGENERADORA, APROVECHANDO EL RECURSO HÍDRICO DEL SECTOR DE ALUVILLO, EN EL CANTÓN CALUMA, PROVINCIA DE BOLÍVAR"**; demostrando en todo momento trabajo en equipo, puntualidad, honradez, responsabilidad y sobre todo muchos deseos de superación; cualidades que lo hicieron merecedor a la estima y consideración de todos.

Además me permito informar que el mencionado equipo fue entregado con fecha sábado 20 de octubre del año en curso, mismo que luego de las respectivas pruebas de funcionamiento se encuentra en óptimas condiciones de funcionamiento.

Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad, el interesado puede hacer uso del presente documento en lo que estime conveniente, salvo asuntos judiciales.

Caluma, octubre 22 de 2012.

Atentamente,  
  
**Ing. LEÓN GARÓFALO CHÁVEZ**  
Alcalde del Cantón Caluma



# **ANEXO E**

**CONSTRUCCIÓN E  
IMPLEMENTACIÓN PICO  
GENERADORA  
HIDROELÉCTRICA**

## CONSTRUCCIÓN INYECTOR



## PROCESO DE SOLDADURA



## PULIDA DE LA TURBINA



## VOLANTE



## ALABE DIRECTRIZ



## TURBINA TERMINADA



## TRANSPORTE DEL GENERADOR LATACUNGA-ALUBILLO



## ENTREGA DE LA TURBINA A LOS BENEFICIARIOS



## CONSTRUCCIÓN DEL TANQUE DE PRESIÓN



## CASA DE MÁQUINAS



## MEDICIÓN DE RPM DEL EJE DEL ROTOR



## TUBERÍA DE PRESIÓN



## TABLERO DE CONTROL



# **ANEXO F**

**ENCUESTAS A LOS  
HABITANTES DEL SECTOR  
ALUBILLO**



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

### ENCUESTA APLICADA A LOS MORADORES DEL SECTOR ALUBILLO, PERTENECIENTE AL CANTÓN CALUMA DE LA PROVINCIA DE BOLÍVAR

1.- ¿Cuántas familias aproximadamente existen en el sector Alubillo?

4                       5                       6                       7

2.- ¿Cómo califica su nivel de vida en el sector Alubillo?

Bueno                       Regular                       Malo

3.- ¿Considera Usted que la energía eléctrica es un factor importante para el desarrollo socioeconómico de este sector?

Si                       No

4.- ¿Cree Usted que al proporcionar energía eléctrica a este sector se podrá emprender una microempresa que permita mejorar las condiciones de vida de los habitantes de Alubillo?

Si                       No

5.- ¿En el caso de estar en capacidad de emprender una microempresa a que actividad comercial se dedicaría esta?

Pesca                       Procesamiento de Caña de azúcar

6.- ¿En el caso de tratarse de una microempresa de procesamiento de peces que maquinaria considera Usted que sería necesario usar?

Cortadora                       Refrigeradora                       Bomba

**7.- ¿Cuántas personas considera Usted que podrán trabajar en esta microempresa?**

5

10

15

**8.- ¿Cuántas horas al día considera Usted que esta microempresa laborará?**

8

12

24

**GRACIAS POR SU COLABORACIÓN**

# **ANEXO G**

**CONVENIO**

**U.T.C. – G.A.D. M. CALUMA**

**CONVENIO DE COOPERACIÓN ENTRE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE  
COTOPAXI Y EL GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO  
MUNICIPAL DE CALUMA**

Comparecen a la celebración del presente convenio, por una parte, el Ing. M Se Hernán Yáñez Ávila, Rector y representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi UTC; y, por otra, el Ing. León Arturo Garófalo Chávez, en calidad de Alcalde y en representación del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Caluma, provincia de Bolívar. Para efectos del presente documento se denominará a las instituciones nombradas como UTC y CAD-MC, respectivamente; quienes de manera libre y voluntaria convienen en celebrar el presente convenio de cooperación, con las siguientes cláusulas:

**PRIMERA.- ANTECEDENTES,-**

a.- La UTC es una institución de educación superior, con personería jurídica y reconocimiento legal, con autonomía administrativa y financiera, con capacidad instalada, técnica y científica; tiene como misión contribuir en la satisfacción de las demandas de formación y superación profesional, en el avance científico, tecnológico y en el desarrollo cultural, universal y ancestral de la población ecuatoriana, para lograr una sociedad solidaria, justa, equitativa y humanista. Para ello, desarrolla la actividad docente con niveles adecuados de calidad, brindando una oferta educativa alternativa en pregrado y posgrado, formando profesionales analíticos, críticos, investigadores y humanistas capaces de generar ciencia y tecnología. Así mismo, realiza una actividad científico-investigativa, que permite brindar aportes en la solución de los problemas más importantes de nuestro radio de acción; a través de la vinculación con la colectividad, se potencia el trabajo extensionista.

La UTC se vincula con todos los sectores de la sociedad, especialmente con aquellos de escasos recursos económicos, respetando todas las corrientes del pensamiento

humano. Además orienta sus esfuerzos hacia la búsqueda de mayores niveles de calidad, pertinencia y cooperación nacional e internacional, tratando de lograr niveles adecuados de eficiencia, eficacia y efectividad en su gestión. Se distingue de otras instituciones de educación superior de la provincia de Cotopaxi y del país, por ser una universidad alternativa, vinculada fuertemente al pueblo en todas sus actividades.

b.- La UTC oferta las siguientes carreras de formación en ingenierías:

CARRERA DE CIENCIAS AGROPECUARIAS, AMBIENTALES Y VETERINARIAS.- Agronómica, Agroindustrial, Medio Ambiente, Ecoturismo y Medicina Veterinaria.

CARRERA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS.- Informática y Sistemas Computacionales, Diseño Gráfico Computarizado, Electromecánica, Eléctrica e Industrial.

CARRERA DE CIENCIA ADMINISTRATIVAS Y HUMANÍSTICAS.- Comercial; Contabilidad y Auditoría; Licenciaturas: Inglés, Parvularia, Comunicación Social, Secretariado Ejecutivo y Educación Básica.

En posgrados con algunas maestrías en el ámbito técnico como en docencia y pedagogía.

Cuenta también con centros de investigación, laboratorios, bibliotecas suficientemente equipadas, que favorecen el adecuado interaprendizaje de sus estudiantes.

c- El GAD-MC entre sus estrategias organizacionales está el de patrocinar el incentivar proyectos de ayuda comunitaria, con miras a propender el crecimiento

socioeconómico sostenido de la población rural, a través de un manejo técnico y ecológico los recursos medioambientales de la región, fortaleciendo el crecimiento comunitario del cantón, la provincia y del país.

#### **SEGUNDA.- OBJETIVOS.-**

a.- Desarrollar proyectos técnicos y ecológicos conjuntos e impulsar procesos de investigación y producción en las actividades en las que trabaja la Municipalidad del Cantón Caluma, relacionados con los propósitos y estrategias de su organización, en los cuales participan estudiantes y docentes de la UTC, aplicando los conocimientos adquiridos en las aulas.

b.- Crear y mantener mecanismos de cooperación y asistencia técnica entre las dos instituciones, que permita la ejecución de proyectos de investigación, transferencia de tecnología, capacitación y prestación de servicios en las áreas de interés común.

C- Establecer en forma conjunta las áreas técnicas y administrativas de asesoría o gestión, que puedan ser objeto de cooperación técnica e institucional, así como definir los proyectos de investigación y desarrollo tecnológico que puedan realizar e incorporarlos en un plan anual de trabajo.

#### **TERCERA.- OBLIGACIÓN DE LAS PARTES.-**

a.- Las dos instituciones proporcionaran las facilidades necesarias para el desarrollo de las actividades de cooperación, tales como el acceso a los sitios de trabajo y a la información disponible a los servicios o proyectos con que cuentan.

b.- Realizar reuniones trimestrales del Comité de Coordinación para el seguimiento y evaluación del plan anual de trabajo.

c.-La UTC motivará a sus estudiantes para que realicen sus pasantías, estudios o investigaciones dentro de sus instalaciones de acuerdo a los términos que se especifiquen en cada uno de los proyectos o actividades contempladas en el plan de trabajo.

#### **CUARTA.- PLANIFICACIÓN, COORDINACIÓN Y SEGUIMIENTO.-**

Para cumplir los objetivos establecidos en el presente convenio se conformará un Comité de Coordinación, integrado por dos delegados de cada una de las partes, quienes serán los responsables de la elaboración de los planes anuales de trabajo, así como de su coordinación, seguimiento y evaluación.

#### **QUINTA.- MODALIDAD DE EJECUCIÓN DEL CONVENIO.-**

Para el cumplimiento de los proyectos y las diversas actividades establecidas en los planes anuales de trabajo, se tendrán las siguientes modalidades:

1. Pasantías, para el caso de estudiantes que cursen niveles medios o avanzados de las carreras que ofrece la UTC.
2. Pasantías con estudio de investigación o proyectos de titulación para los estudiantes que requieran graduarse.
3. Desarrollo de proyectos de investigación, de formación o perfeccionamiento y asistencia, de interés mutuo, con la participación del personal y demás recursos de las dos partes.

## **SEXTA.- CONVENIOS ESPECIFICOS.-**

Si fuera necesario para la ejecución de los proyectos, las partes suscribirán convenios específicos en los cuales se hará constar las particularidades de cada uno y el financiamiento, sin perjuicio de lo anterior. Las cláusulas del presente convenio se incorporaran al convenio específico.

## **SÉPTIMA.- REALIZACIÓN DE PASANTIAS.-**

a.- La UTC proporcionará al GAD-MC una nómina de estudiantes que se hicieran acreedores al beneficio de las pasantías o prácticas pre profesionales, realizando una selección técnica de los mismos, tomando en cuenta parámetros de rendimiento, conducta e idoneidad, quienes cumplirán las siguientes condiciones:

1. Los estudiantes a seleccionarse serán de niveles medios y superiores, que se encuentren asistiendo regularmente a clases y que no hayan sido sancionados por motivos de conducta o suspendidos en anteriores pasantías o prácticas.
2. Los estudiantes, en el ejercicio de sus pasantías o prácticas se sujetarán a las disposiciones que imparta internamente el GAD-MC, por intermedio del señor Alcalde o su delegado.
3. En caso comportamientos negativo de parte de uno o más practicantes o pasantes, el GAD-MC se reserva el derecho de suspender la pasantía o practica, resolución que será comunicada inmediatamente a la UTC, señalando el motivo, la misma que podrá ser objetada o apelada.

b.- El GAD-MC establecerá el número máximo de alumnos a ser recibidos en cada una de las ramas profesionales establecidas en este convenio y se compromete a:

1. Brindar las facilidades necesarias para que los practicantes, pasantes o tesistas obtengan el mayor beneficio de sus estadía en los sitios de construcción de los proyectos, adicionalmente y de estar en condiciones de hacerlo, podrá dar las facilidades a los estudiantes para la investigación de temas que interesen al GAD-MC.

2. Proveer los materiales e insumos necesarios para la obra civil del proyecto, tales como material pétreo, boques, cemento, varillas, tuberías, desalojo de escombros.

3. Proporcionar la estadía, alimentación y transporte a los estudiantes y docentes involucrados en los proyectos.

4. Los practicantes, pasantes o tesistas tendrán un horario máximo de seis horas de labores diarias, durante cinco días a la semana, diferentes a las horas de clases o exámenes.

5. Al final del período de la práctica, pasantía o proyecto de tesis, el GAD-MC en coordinación con la UTC, conferirá los correspondientes certificados, calificando

la gestión de los estudiantes; documento que será tomado en cuenta por ésta última para los fines académicos pertinentes.

#### **OCTAVA.- NATURALEZA JURIDICA.-**

Dada la naturaleza de este convenio, las pasantías pre profesionales se registrarán conforme a lo señalado en el artículo 87 de la Ley Orgánica de Educación Superior, por lo tanto no se crea relación laboral alguna entre el GAD-MC o la UTC y los practicantes o pasantes, por tanto no serán aplicables las normas del Código de Trabajo y demás disposiciones conexas. En armonía con las disposiciones legales establecidas en los artículos: Artículo 225, numeral 2; Artículo 227; Artículo 264,

numeral 7 y Artículo 343 de la Constitución de la República del Ecuador y en concordancia con los artículos: Artículo 1; Artículo 2, literal 2; y, Artículo 3, literal a; Artículo 57, literales a y t; Artículo 60, literales a, n y v; Artículo 126; y, Artículo 138 del Código de Organización Territorial Autonomía y Descentralización COTAD.

#### **NOVENA.- CONFIDENCIALIDAD, PROPIEDAD Y USO.-**

Los resultados de las investigaciones o de los proyectos que se ejecuten, serán manejados con absoluta confidencialidad por parte de la UTC y el GAD-MC.

Los equipos, máquinas, sistemas de control, partes o piezas que se instalen en un proyecto específico son de propiedad de los beneficiarios de los proyectos, puesto que es la parte que auspicia y financia el proyecto como mínimo con el 35%.

El trabajo final de titulación de tesis o trabajo de grado que desarrollen los estudiantes en el marco de la ejecución de este convenio, constituyen propiedad intelectual de la UTC, por lo que los derechos de autor, esto es producción,

publicación, distribución, comercialización, importación y transformación son es ejercicio exclusivo de la universidad; sin embargo, al GAD-MC, previo la suscripción de un acuerdo puntual.

#### **DÉCIMA.- DURACION.-**

La duración del presente convenio será de dos años calendario a partir de la suscripción, pudiendo ser renovado el mismo las veces que fueren necesarias, a través de comunicaciones escritas en las que se expresará la constancia de aceptación, de así convenir las partes.

#### **DECIMOPRIMERA.- TERMINACION.-**

Las partes podrán convenir por mutuo acuerdo la terminación del presente convenio, habiéndose escrito la correspondiente acta. Sin embargo las prácticas, pasantías, proyectos de tesis, investigaciones o proyectos de investigación vigentes seguirán en su curso hasta culminar con los plazos establecidos, en cuyo momento se efectivizará el acta.

#### **DECIMOSEGUNDA.- CONTROVERSIAS.-**

Si se suscitaren controversias en la ejecución o interpretación del presente convenio, las partes tratarán de llegar a un acuerdo que solucione el problema, de no darse el acuerdo, las partes se someterán a los jueces competentes del Cantón Latacunga y al trámite verbal sumario.

#### **DECIMOTERCERA.- DOMICILIO.-**

La UTC señala como domicilio la avenida Simón Rodríguez, s/n, barrio San Felipe, parroquia Eloy Alfaro, cantón Latacunga. Teléfonos 032813176 y 032813157.

El GAD-MC señala como su domicilio en las calles avenida La Naranja 042 y Alfredo Camacho, cantón Caluma. Teléfono 032974389.

#### **DECIMOCUARTA.- ACEPTACION.-**

Para constancia y fe de lo actuado, las partes se ratifican y firman en original y tres copias, de igual contenido y valor, en la ciudad de Caluma, a los veintitrés días del mes de agosto del dos mil once.

Ing. M Se Hernán Yánez Ávila  
**RECTOR DE LA UTC**

Ing. León Arturo Garófaro Chávez  
**ALCALDE GAD M. CALUMA**