



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA**  
**INGENIERÍA Y APLICADAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA**

**TESIS DE GRADO**

**TÍTULO:**

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PICO GENERADOR  
HIDROELÉCTRICO QUE GENERA 2.5 KW EN EL SECTOR DE SAN  
MIGUEL DE LANGOA PARROQUIA JUAN MONTALVO RESERVA  
LLANGANANTES, PROVINCIA DE COTOPAXI EN EL PERIODO 2014-2015”

Tesis presentada previa a la obtención del Título de Ingenieros Electromecánicos

Autores:

CAICEDO ROMERO HUGO  
MARCELO  
FERNÁNDEZ BALAREZO ALEX  
SANTIAGO

Director:

Ing. Cristian Fabián Gallardo Molina

Asesor Metodológico:

Ing. MS.c Susana Pallasco

Latacunga-Ecuador

MARZO 2016



## FORMULARIO DE LA APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi y por la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes:

- Fernández Balarezo Alex Santiago
- Caicedo Romero Hugo Marcelo

Con la tesis, cuyo título es:

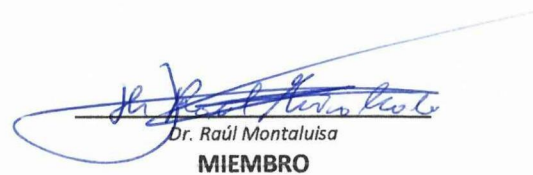
“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PICO GENERADOR HIDROELÉCTRICO QUE GENERA 2.5 KW EN EL SECTOR DE SAN MIGUEL DE LANGOA PARROQUIA JUAN MONTALVO RESERVA LLANGANANTES, PROVINCIA DE COTOPAXI EN EL PERIODO 2014-2015” Han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúnen los méritos suficientes para ser sometidos al **Acto de Defensa de Tesis** en la fecha y hora señalada.


Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

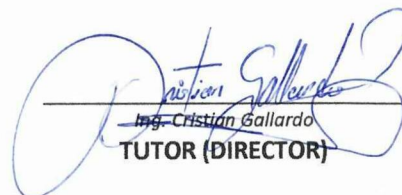
Latacunga, 03 de Marzo del 2016

Para constancia firman:

  
M.Sc. Ing. Edwin Moreano  
**PRESIDENTE**

  
Dr. Raúl Montaluisa  
**MIEMBRO**

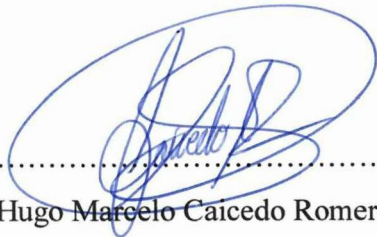
  
Ing. Carlos Espínel  
**OPOSITOR**

  
Ing. Cristian Gallardo  
**TUTOR (DIRECTOR)**




## AUTORIA

Los siguientes criterios emitidos en este trabajo de Tesis: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PICO GENERADOR HIDROELÉCTRICO QUE GENERA 2.5 KW EN EL SECTOR DE SAN MIGUEL DE LANGOA PARROQUIA JUAN MONTALVO RESERVA LLANGANANTES, PROVINCIA DE COTOPAXI EN EL PERIODO 2014-2015”** es basado en las técnicas de investigación y/o adaptaciones tecnológicas hechas en la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi, por lo cual los fundamentos teóricos y científicos emitidos en este trabajo son responsabilidad de los autores.



---

Hugo Marcelo Caicedo Romero



---

Alex Santiago Fernández Balarezo



## AVAL DE DIRECTOR DE TESIS

En calidad de Directo de trabajo de investigación sobre el tema: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PICO GENERADOR HIDROELÉCTRICO QUE GENERA 2.5 KW EN EL SECTOR DE SAN MIGUEL DE LANGOA PARROQUIA JUAN MONTALVO RESERVA LLANGANANTES, PROVINCIA DE COTOPAXI EN EL PERIODO 2014-2015” De los señores estudiantes; Fernández Balarezo Alex Santiago y Caicedo Romero Hugo Marcelo postulantes de la Carrera de Ingeniería en Electromecánica,

### CERTIFICO QUE:

Una vez revisado el documento entregado a mi persona, considero que dicho informe investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científicos - técnicos necesarios para ser sometidos a la **Evaluación del Tribunal de Validación de Anteproyecto** que el Honorable Consejo Académico de la Unidad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, 03 de Marzo 2016

EL DIRECTOR



Ing. Cristian Fabián Gallardo Molina

**DIRECTOR DE TESIS**



## AVAL DE ASESOR METODOLÓGICO

En calidad de **Asesor Metodológico** del Trabajo de Investigación sobre el tema:  
“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PICO GENERADOR HIDROELÉCTRICO QUE GENERA  
2.5 KW EN EL SECTOR DE SAN MIGUEL DE LANGOA PARROQUIA JUAN MONTALVO  
RESERVA LLANGANANTES, PROVINCIA DE COTOPAXI EN EL PERIODO 2014-2015”  
De los señores estudiante; Fernández Balarezo Alex Santiago y Caicedo Romero  
Hugo Marcelo postulante de la Carrera de Ingeniería en Electromecánica,

### CERTIFICO QUE:

Una vez revisado el documento entregado a mi persona, considero que dicho informe investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científicos - técnicos necesarios para ser sometidos a la **Evaluación del Tribunal de Validación de Tesis** que el Honorable Consejo Académico de la Unidad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, 03 de Marzo 2016

Ing. Mirian Susana Pallasco Venegas  
**ASESOR METODOLÓGICO**

CERTIFICADO DE LA ASOCIACION DE GANADEROS SAN MIGUELITO  
DE LANGOA

Ing. Segundo Espinosa socio de la asociación de ganaderos de San Miguelito de Langoa.

CERTIFICO que los señores Caicedo Romero Hugo Marcelo con cédula de ciudadanía número 050334961-5 y Fernández Balarezo Alex Santiago con cédula de ciudadanía número 050335540-6, realizaron el “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PICO GENERADOR HIDROELÉCTRICO QUE GENERA 2.5 KW EN EL SECTOR DE SAN MIGUEL DE LANGOA PARROQUIA JUAN MONTALVO RESERVA LLANGANANTES, PROVINCIA DE COTOPAXI EN EL PERIODO 2014-2015”

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

Latacunga, 01 de Diciembre del 2015



Ing. Segundo Espinosa  
Propietario socio de la asociación



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi



Ingeniería  
Electromecánica

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradecemos a todas las personas que con su afecto, esfuerzo y sacrificio nos han sabido guiar por el sendero de la superación.*

*Nuestra más eterna gratitud para todas aquellas personas que nos brindaron su apoyo en su momento, de manera especial al Ingeniero Cristian Fabián Gallardo Molinay a todos los ingenieros de la Universidad que nos brindaron su apoyo para poder hacer realidad este proyecto.*

*A nuestros familiares y amigos por ser el índice de fortaleza, comprensión y motivación durante nuestra vida académica.*

**SANTIAGO**

**HUGO**



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi



Ingeniería  
Electromecánica

## **DEDICATORIA**

*Esta tesis se la dedico a Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban.*

*A mis padres y familia por todo su apoyo incondicional, sus consejos, comprensión, amor, y ayuda en cada uno de los momentos difíciles a lo largo de mi carrera.*

*A mi hijo y esposa que ha sido las personas que me han apoyado de una manera incondicional en todo este proceso y como no llevarlas y tenerlas como un icono de esfuerzo.*

**SANTIAGO**



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi



Ingeniería  
Electromecánica

### **DEDICATORIA**

*Esta tesis se la dedico a mi madre ya que fue un pilar muy importante en mi vida académica, a mi familia por ese gran apoyo que me supieron brindar.*

*A Dios y al Niñito de Isinche por haberme dado salud para lograr mis objetivos, guiarme por el buen camino y brindarme su infinita bondad y amor.*

**HUGO**

## ÍNDICE GENERAL

Portada.....	i
Autoria.....	ii
Aval de Director de Tesis.....	iii
Aval de Asesor Metodològico.....	iv
Certificado de implementacion .....	v
Agradecimiento .....	vi
Dedicatoria .....	vii
Índice general .....	ix
Índice de figuras .....	xiv
Índice de tablas.....	xvi
Resumen.....	xviii
Abstract .....	xix
Aval del docente de ingles .....	xx
Capítulo i.....	1
1. Marco Teórico.....	1
1.1 Antecedentes investigativos .....	1
1.2. Fundamentación legal .....	2
1.3 Principios básicos.....	4
1.3.1 Transformación de Energía .....	4
1.3.2 Energía a partir del agua .....	5
1.3.3 Medición de Salto .....	6
1.3.3.1 Método de nivel de carpintero y tabla.....	7
1.3.3.2 Método del nivel del ingeniero .....	8
1.3.4 Medición de caudal .....	9
1.3.4.1 Método de recipiente.....	10
1.3.5 Medición del salto o altura bruta.....	11
1.3.6 Longitud de la tubería de presión.....	11
1.3.6.1. Diámetro interior de la tubería de presión.....	11
1.3.6.2 Velocidad de circulación del agua en la Tubería .....	12
1.3.6.3 Pérdidas de Fricción en la Tubería de Presión .....	12
1.3.7 Determinación de la altura neta.....	13

1.4 Turbinas hidráulicas y su clasificación .....	13
1.4.1 Turbina .....	13
1.4.2 Fenómenos de la Turbinas Hidráulicas .....	14
1.4.2.1 Cavitación .....	14
1.4.2.2 Velocidad de embalamiento .....	15
1.4.2.3 Golpe de ariete .....	15
1.5 Partes de la turbina hidráulica .....	16
1.5.1 Distribuidor .....	16
1.5.2 El rodete .....	16
1.5.3 Tubo de aspiración .....	17
1.5.4 Carcasa .....	17
1.5.5 Inyector .....	17
1.6 Equipo electromecánico .....	18
1.6.1 Turbinas Hidráulicas .....	18
1.6.2 Clasificación de las turbinas Hidráulicas .....	18
1.6.3 Criterios de selección .....	19
1.6.3.1 Selección de la turbina .....	19
1.6.4 Turbina Michell-Bamki.....	21
1.6.5 Dimensionamiento preliminar de una Turbina Michell-Banki .....	23
1.6.5.1 Velocidad de chorro .....	23
1.6.5.2 Espesor del chorro.....	23
1.6.5.3 Diámetro externo e interno.....	24
1.6.5.4 Ancho del rodete .....	24
1.6.5.5 Angulo del inyector.....	25
1.6.5.6 Número de álabes.....	25
1.6.5.7 Turbina de Reacción .....	25
1.7 Resolución del triángulo de velocidades a la entrada del rotor.....	26
1.7.1 Velocidad del inyector .....	26
1.7.2 Diámetro interior del rotor .....	27
1.7.3 Diámetro máximo del eje del rotor .....	27
1.7.4 Número óptimo de revoluciones de la turbina michellbanki .....	27
1.7.5 Velocidad de giro de la turbina .....	28

1.7.6 Velocidad nominal de rotación .....	28
1.7.7 Velocidad de embalamiento.....	28
1.7.8 Números específicos de revoluciones $n_q$ y $n_s$ .....	28
1.7.9 Arco admisión .....	29
1.7.10 Ancho del rotor .....	29
1.7.11 Ancho del inyector .....	30
1.7.12 Razón de aspecto.....	31
1.7.13 Paso entre álabes .....	31
1.7.14 Número de álabes que reciben el flujo de agua.....	31
1.7.15 Caudal que ingresa a un álabe.....	32
1.7.16 Determinación de la ecuación de la curva que presenta la voluta.....	32
1.7.17 Peso de un álabe .....	33
1.7.18 Fuerza hidráulica sobre un álabe ( $f_{hr}$ ) .....	34
1.7.19 Ángulo entre la fuerza hidráulica sobre el álabe y el eje $x$ .....	34
1.8 Transmisiones por bandas en $v$ .....	34
1.8.1 Diseño de transmisiones por bandas en $v$ .....	34
1.8.2 Pasos para el cálculo de bandas .....	35
1.9 Pico central de generación eléctrica.....	36
1.9.1 Construcción de la turbina .....	36
1.10 Microcentrales hidroeléctricas .....	37
1.10.1 Introducción a la Microhidro Generación.....	37
1.10.2 Centrales Hidroeléctricas en Derivación.....	37
1.10.3 Elementos que componen una Central Hidroeléctrica .....	38
1.10.3.1 Bocatoma.....	38
1.10.3.2 Obra de Conducción.....	39
1.10.3.3 Desarenador.....	39
1.10.3.4 Tanque de Presión .....	39
1.10.3.5 Aliviadero.....	39
1.10.3.6 Tubería de presión.....	39
1.10.3.7 Casa de máquinas.....	40
1.10.3.8 Otros elementos.....	40
Capítulo ii.....	41

2. Análisis e interpretación de resultados.....	41
2.1 Interpretación .....	41
2.2 Localización del Proyecto .....	42
2.3 Métodos.....	42
2.4. Técnicas.....	44
2.5 Instrumentos.....	45
2.6 Procedimiento para el Levantamiento de Datos.....	45
2.7 Tabulación de Datos.....	46
2.8 Estimación de la Demanda Energética.....	47
2.8.1 Información básica.....	47
2.9 Hipótesis.....	49
2.10 Operacionalización de Variables.....	50
2.10.1 Variable Independiente .....	50
2.10.2 Variable Dependiente.....	51
Capítulo iii.....	52
3. Presentación de la propuesta .....	52
Presentación .....	52
3.1 Justificación.....	53
3.2 Objetivos .....	54
3.2.1 Objetivo General .....	54
3.2.2 Objetivos Específicos.....	54
3.3 Formulación del Problema .....	54
3.4 Diseño y Construcción .....	55
3.4.1 Medición y Determinación de los Parámetros de Diseño .....	55
3.4.2 Medición del caudal .....	55
3.4.3 Método del GPS .....	56
3.4.4 Medición del salto o altura bruta.....	56
3.4.5 Cálculo de la longitud de la tubería de presión .....	57
3.4.6 Cálculo del diámetro interior de la tubería de presión .....	57
3.4.7 Cálculo de la Velocidad de circulación del agua en la Tubería .....	57
3.4.8 Cálculo de las pérdidas de Fricción en la Tubería de Presión.....	58
3.4.9 Cálculo de la altura neta.....	58

3.5 Selección del Generador .....	58
3.6 Diseño hidráulico, mecánico y eléctrico de la turbina .....	59
3.6.1 Cálculos de la turbina michell-banki.....	60
3.6.1.1 Resolución del triángulo de velocidades a la entrada del rotor.....	60
3.6.1.2 Cálculo de la velocidad del inyector .....	62
3.6.1.3 Selección del diámetro del rotor o rodete .....	63
3.6.1.4 Cálculo del diámetro interior del rotor.....	64
3.6.1.5 Cálculo del diámetro máximo del eje del rotor.....	65
3.6.1.6 Cálculo del número óptimo de revoluciones de la turbina michellbanki.....	65
3.6.1.7 Cálculo de la velocidad de embalamiento.....	66
3.6.1.8 Cálculo de la potencia al freno de la turbina.....	66
3.6.1.9 Cálculo del números específicos de revoluciones $n_q$ y $n_s$ .....	67
3.6.1.10 Selección del Número de Alabes de la Turbina.....	68
3.6.1.11 Selección del espesor de los álabes del rotor .....	68
3.6.1.12 Diámetro máximo permitido en el eje álabe directriz.....	69
3.6.1.13 Arco admisión .....	69
3.6.1.14 Ángulo de admisión .....	70
3.6.1.15 Área de admisión.....	71
3.6.1.16 Ancho del rotor .....	71
3.6.1.17 Cálculo del ancho del inyector.....	72
3.6.1.18 Razón de aspecto.....	74
3.6.1.19 Cálculo del paso entre álabes de la turbina .....	75
3.6.1.20 Número de álabes de la turbina que reciben el flujo de agua.....	75
3.6.1.21 Caudal que ingresa a un álabe de la turbina.....	75
3.6.1.22 Potencia.....	75
3.6.1.23 Determinación de la ecuación de la curva que presenta la voluta.....	76
3.6.1.24 Peso de un álabe de la turbina .....	78
3.6.1.25 Fuerza hidráulica sobre un álabe ( $f_{hr}$ ) de la turbina .....	79
3.6.1.26 Fuerza centrífuga sobre el álabe de la turbina.....	80
3.6.1.27 Fuerza total sobre el álabe de la turbina.....	80
3.6.1.28 Ángulo entre la fuerza hidráulica sobre el álabe de la turbina y el eje .....	81
3.6.1.29 Momento flector máximo sobre el álabe de la turbina.....	82

3.6.1.30 Factor de corrección del esfuerzo máximo en el álabe de la turbina .....	82
3.6.1.31 Esfuerzo máximo en el álabe de la turbina .....	82
3.6.2 Transmisiones por bandas en v .....	83
3.6.2.1 Pasos para el cálculo de bandas .....	85
3.7 Pico central de generación eléctrica.....	86
3.7.1 Construcción de la turbina .....	86
3.7.2 Construcción de los álabes .....	86
3.7.3 Construcción del eje del rodete .....	87
3.7.4 Soldado de los discos en el rodete.....	87
3.7.5 Instalación de la turbina dentro de la carcasa.....	88
3.7.6 Soldadura de los álabes al rotor .....	88
3.7.7 Construcción de la base de la turbina.....	89
3.7.8 Esmerilado de las partes externas de la carcasa .....	90
3.7.9 Perfil inyector.....	91
3.7.10 Armado de carcasa .....	91
3.7.11 Generador y sus características .....	92
3.7.12 Poleas y bandas de la turbina .....	93
3.8 Conclusiones y Recomendaciones .....	94
3.8.1 Conclusiones .....	94
3.8.2 Recomendaciones.....	95
4. Referencias Bibliográficas .....	96
4.1 Citadas.....	96
4.2 Consultada.....	97
4.3 Bibliografía Vínculos Web. ....	98
Anexos.....	99

### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Dibujo básico de transformación de energía .....	4
Figura 1.2 Grafico Energía a partir del agua.....	5
Figura 1. 3 Usando un nivel de carpintero para medir el salto .....	8
Figura 1. 4 Uso del nivel del ingeniero .....	9

Figura 1. 5 Medición de caudal.....	10
Figura 1.6 Método de recipiente .....	10
Figura 1. 7 Diagrama de selección de Turbinas.....	19
Figura 1. 8 Diagrama de selección de Turbinas OLADE .....	20
Figura 1. 9 Eficiencia a carga parcial de las turbinas.....	21
Figura 1. 10 Esquema de la Turbina Michell-Banki .....	21
Figura 1. 11 Dimensionamiento Básico de una Turbina Michell-Banki .....	25
Figura 1. 12 Perfiles de Inyectores para Turbinas Michell-Banki .....	26
Figura 1. 13 Inyector de la Turbina Michell-Banki .....	30
Figura 1. 14 Representación de la curva que presenta la voluta .....	33
Figura 1. 15 Esquema de la Bocatoma.....	38
Figura 2. 1 Lugar del proyecto.....	42
Figura 3. 1 Ubicación de los Puntos GPS del Proyecto .....	56
Figura 3. 2 Generador del Proyecto .....	58
Figura 3. 3 Características técnicas del Generador del proyecto .....	59
Figura 3. 4 Representación gráfica de las etapas en una turbina Michell-Banki ..	60
Figura 3. 5 Diagrama de Velocidad en el Rotor de la Turbina Michell-Banki .....	60
Figura 3. 6 Representación gráfica de las velocidades a la entrada del Rotor .....	61
Figura 3. 7 Perfil del Rodete .....	63
Figura 3.8 Sección Transversal de un álabe del Rotor.....	69
Figura 3. 9 Arco de trabajo de un rodete Michell-Banki con arco de admisión 1/3 .....	70
Figura 3. 10 Inyector de la Turbina Michell-Banki .....	72
Figura 3. 11 Dimensiones de los inyectores a 1/3 y 2/3.....	74

Figura 3. 12 Diagrama de Eficiencia Al 1/3, 2/3 O Capacidad Total .....	74
Figura 3. 13 Representación de la curva que presenta la voluta .....	78
Figura 3.14 Composición de fuerzas sobre el álabe.....	80
Figura 3.15 Diagrama de fuerzas actuando sobre el álabe del rodete.....	81

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1 Clasificación de las centrales según la potencia .....	7
Tabla 1. 2 Clasificación de las centrales según la potencia .....	7
Tabla 1. 3 Diferencias entre turbinas de acción y reacción.....	14
Tabla 1. 4 Coeficiente para determinar el espesor del chorro.....	24
Tabla 1. 5 Peso de un álabe.....	33
Tabla 1. 6 Ángulos entre la fuerza hidráulica sobre el álabe y el eje x.....	34
Tabla 1. 7 Composición de las aleaciones usadas corrientemente en las turbinas hidráulicas .....	36
Tabla 1. 8 Propiedades mecánicas de las aleaciones usadas en turbinas hidráulicas	36
Tabla 2. 1 Tabla de mediciones.....	46
Tabla 2. 2 Determinación de la demanda energética. ....	48
Tabla 2. 3 Potencia de Consumo.....	48
Tabla 3.1 Mediciones de tiempo para determinar el caudal existente .....	55
Tabla 3.2 Selección del Rodete.....	64
Tabla 3.3 Rango de aplicación de las Turbinas Hidráulicas .....	67
Tabla 3.4 Selección de álabes .....	68
Tabla 3.5 Selección del espesor de los álabes del rotor .....	68
Tabla 3.6 Diámetro Máximo Permitido en el eje álabe Directriz .....	69

Tabla 3.7 Peso de un álabe.....	78
Tabla 3.8 Ángulos característicos del Alabe.....	79
Tabla 3.9 Ángulos entre la fuerza hidráulica sobre el álabe y el eje x.....	81
Tabla 3.10 Factor de corrección del esfuerzo máximo en el álabe .....	82
Tabla 3.11 Composición de las aleaciones usadas corrientemente en las turbinas hidráulicas .....	86
Tabla 3.12 Propiedades mecánicas de las aleaciones usadas en turbinas hidráulicas .....	86



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi



Ingeniería  
Electromecánica

## RESUMEN

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PICO GENERADOR HIDROELÉCTRICO QUE GENERA 2.5 KW EN EL SECTOR DE SAN MIGUEL DE LANGOA PARROQUIA JUAN MONTALVO RESERVA LLANGANANTES, PROVINCIA DE COTOPAXI EN EL PERIODO 2014-2015”

La aplicación de tecnologías de generación limpia está enfocada a no causar daño alguno al ambiente, siendo una energía que podemos aprovechar y su remanente utilizarlo en sistemas de riego. Para el desarrollo de ésta pico central, primero se realizaron estudios del potencial energético en el lugar, en diferentes meses del año para poder determinar un caudal promedio al cual nosotros podamos diseñar y calcular los elementos mecánicos, eléctricos e hídricos para el desarrollo de la pequeña central. Por lo que se asegura que la energía hídrica es sostenible y sustentable en los páramos andinos de nuestro Ecuador, si estos son desarrollados con responsabilidad brindando al usuario un sistema eléctrico confiable y seguro para el desarrollo de sus actividades diarias enfocadas en el buen vivir.

**Palabras claves:** Potencial energético, generación eléctrica, energía hídrica, pico central, sistema eléctrico



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi

CENTRO CULTURAL DE IDIOMAS

## **AVAL DEL DOCENTE DE INGLES**

Yo, Wilmer Patricio Collaguazo Vega, Licenciado en Ciencias De la Educación Especialidad Ingles, Docente del Centro de Idiomas, después de haber revisado el Abstract del presente proyecto de tesis: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PICO GENERADOR HIDROELÉCTRICO QUE GENERA 2.5 KW EN EL SECTOR DE SAN MIGUEL DE LANGOA PARROQUIA JUAN MONTALVO RESERVA LLANGANANTES, PROVINCIA DE COTOPAXI EN EL PERIODO 2014-2015”**, de Caicedo Romero Hugo Marcelo y Fernández Balarezo Alex Santiago, postulantes de Ingeniería Electromecánica, considero que el presente trabajo de tesis reúne los requisitos y moritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del tribunal.

Latacunga, Marzo 2016

Lic. Wilmer Patricio Collaguazo Vega  
C.I. 1722417571





Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi

CENTRO CULTURAL DE IDIOMAS

## ABSTRACT

“DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A PEAKING HYDROELECTRICITY GENERATOR THAT PRODUCES 2.5 KW IN SAN MIGUEL DE LANGOA SECTOR, JUAN MONTALVO PARISH, LLANGANANTES RESERVE, COTOPAXI PROVINCE DURING 2014-2015 PERIOD”

The application of clean energy generation technologies is focused on don't cause damage to the environment, which is an energy that someone can use and its remaining in irrigation system designs. For the development of this central peak; first, studies of energy potential at the site were conducted in different months in order to determine an average rate at which researchers can design and calculate the mechanical, electrical and water elements for the development of the small central. So, it is ensured that hydropower energy is sustainable and viable in the Andean highlands from Ecuador if these are developed with responsibly providing to users with a reliable and safe electrical system for the development of their daily activities focused on the good living.

**Keywords:** Energy potential, power generation, hydropower, central peak, electrical system.

## INTRODUCCIÓN

El suministro de energía eléctrica es un elemento primordial en las familias ecuatorianas, pero sin embargo, en el último censo, el 6.8% de 4'654.054 viviendas de los sectores rurales no poseen este servicio básico de gran importancia, ya que, contribuye de manera directa en las actividades productivas, y establece un factor esencial para el desarrollo económico y tecnológico en sus vidas, es por esto que hemos visto la importancia de proporcionar energía eléctrica al Sector de Sam Miguelito de Langoa, aprovechando un recurso natural, como es el agua a fin de disminuir el porcentaje de familias que no poseen este servicio.

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

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

En el capítulo III. Se abordan los cálculos relacionados con la fabricación de una turbina Michell-Banki, se presenta el modo en el cual se acoplará la turbina al generador para dar forma al sistema de generación.

# **CAPÍTULO I**

## **1. MARCO TEÓRICO**

### **1.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS**

Los antecedentes serán enmarcados con todos aquellos trabajos de investigación que preceden al que se está realizando. Son los relacionados con el objeto de estudio que en este caso son los sistemas amigables de generación eléctrica.

En la Revista del Ministerio Coordinador del Sector Estratégico, dentro de su ensayo, propone como objeto dar a conocer el cambio de la matriz productiva, en su artículo señala que: El desarrollo del sector energético en el Ecuador vive una nueva era. Los recursos naturales son la base del nuevo desarrollo económico y social. Dentro de este contexto de la energía juega un papel muy importante para mantener el crecimiento económico alcanzado en los últimos años.

Es así que el estado Ecuatoriano propone el contribuir con la demanda energética del país explotando recursos no contaminantes de amplitud renovable, reemplazando los métodos convencionales de generación los cuales producían contaminación, sin embargo no se ha hecho propuestas de proyectos de emprendimiento que cubran las necesidades de demanda energética que existen en las zonas rurales, es decir, dotar de recursos básicos a sectores y emplazamientos donde las líneas no han llegado todavía, en su mayoría a sectores de difícil acceso. Por lo cual con el fin de satisfacer estas falencias energéticas en los sectores desfavorecidos se han creado mini proyectos de generación de energía denominados pico hidroeléctricos que busca contribuir a las personas de bajos recurso económicos cuyos lugares son de difícil acceso, aplicando los conocimientos adquiridos y preservando medio ambiente, es así que en distintos

repositorios y centros de investigación se exponen teorías, antecedentes y referencias considerados para este proyecto.

De igual forma la Universidad Técnica de Cotopaxi ha venido realizando varios proyectos investigativos junto con la carrera de Ing. Eléctrica e Ing. Electromecánica han venido implementando varios sistemas de micro generación en distintos lugares y provincias de nuestro país, bajo algunos títulos hemos tomado como referente el de los autores ALAJO ALAJO Diego Vinicio y ANCHATUÑA CHUCHITO Eddy, concluyen que para los sectores alejados de la ciudad y zonas rurales donde no llega el sistema nacional interconectado este tipo de proyectos tienen una buena aceptación ya que esta tecnología es una alternativa para que habitantes de estos sectores mejoren su calidad de vida.

De tal forma se puede acoger distintos artículos de diferentes entidades pero que contengan similitud, el proporcionar energía limpia en lugares con bajos recursos económicos y de difícil acceso.

Así también cabe recalcar y podemos citar que este tipo de proyectos es viable ya que son innovadores y no causan daño al ecosistema, además solventan las necesidades energéticas del sector San Miguel de Langoa Parroquia Juan Montalvo Reserva Llanganantes, Provincia de Cotopaxi.

## **1.2. FUNDAMENTACIÓN LEGAL**

En la constitución del 2008 de la república del Ecuador hay un artículo importante el cual podemos citar:

**Ley de Aguas; Título VII de las Aguas para fines Energéticos, Industriales y Mineros, Art. 42.-** Se concederán derechos de aprovechamientos de aguas para la generación de energía destinada a actividades y mineras, especialmente a las contempladas en el Plan General de Desarrollo del País.

Las aguas destinadas a la generación de energía y trabajos mineros, deberán ser devueltas a un cauce público obligándose el concesionario a tratarlas, si el consejo Nacional de Recursos Hídricos lo estimara necesario.

Dentro de la fundamentación legal cabe recalcar que para desarrollar proyectos de macro, micro y pico generación hidroeléctrica es necesario dar a conocer a la entidad reguladora y la encargada de salvaguardar la diversidad tanto del ecosistema en general como velar por la integridad de los afluentes ríos y riachuelos. En este caso el Ministerio del Ambiente junto a la SENAGUA, encargados de las políticas ambientales de los proyectos y programas para el cuidado del ecosistema y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, puntualiza normas para conseguir buenas prácticas y producción de recursos naturales, desarrollándolos de forma responsables conservando la vida diversidad. pág. 43

**Plan Nacional del Buen Vivir Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo Estrategias** “la producción, transferencia y consumo de energía debe orientarse radicalmente a ser ambientalmente sostenible a través del fenómeno de energías renovables y eficiencia energética”

**“Política 4.3.** Diversificar la matriz energética nacional, promoviendo la eficiencia y una mayor participación de energías renovables sostenibles.” pág. 86

**“Artículo 3.13** El estado se reserva el derecho de administrar, regular, controlar y gestionar los sectores estratégicos de conformidad con los principios de sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia. *Se consideran sectores estratégicos la energía en todas sus formas*” pág. 50

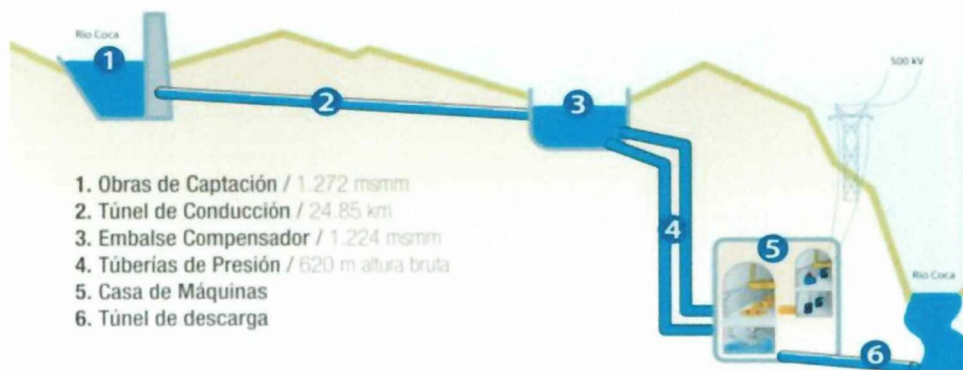
**“Artículo 3.14** El estado será responsable de la provisión de los servicios públicos, agua potable y riego, saneamiento, energía eléctrica, telecomunicaciones, vialidad, infraestructuras portuarias y aeroportuarias y los demás que determine la ley.” pág. 50

“Artículo 4.13 El estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias, así como de energías renovables diversificadas de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria ni el derecho al agua.” pág. 75

### 1.3 PRINCIPIOS BÁSICOS

#### 1.3.1 Transformación de Energía

Figura 1.1 Dibujo básico de transformación de energía



Fuente: <http://www.energia.gob.ec/coca-codo-sinclair/> 10/10/2014

Según WILDI, Theodoro, 2011:

El agua se encuentra en constante movimiento, a través de un canal, a la cual se la suspenderá, a una determinada altura, luego será transportada mediante una tubería de presión, con lo que se transforma la energía cinética en energía potencial.

Por lo cual la transformación de energía es realizada mediante estos dos tipos de energía, la energía cinética es la derivación del movimiento de las partículas y la energía potencial, la cual adquiere con respecto a un plano de referencia, según cuál sea el desnivel o la ubicación de la salto de agua respecto al plano que se toma como referencia.

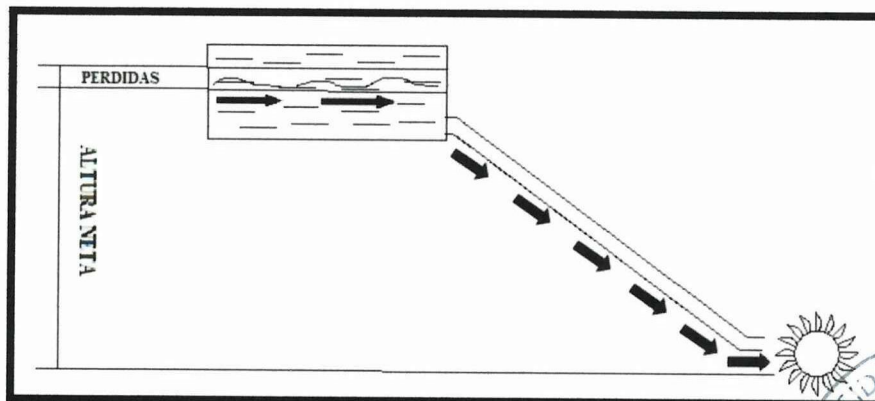
Una vez que el agua descende por la tubería de presión, se aprovecha la velocidad lineal del agua para mover la turbina, generando así un movimiento rotatorio entorno a un eje. Acoplado mediante una banda a un generador, produciendo energía eléctrica limpia como se muestra en la figura 1.1. pág. 665

### 1.3.2 Energía a partir del agua

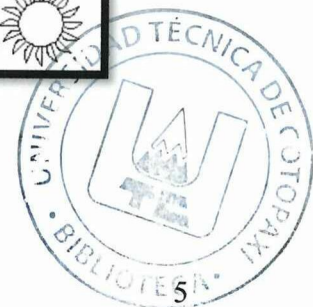
Según COS, Federico 2013:

Es necesario que el caudal del agua, tenga una altura determinada, a la cual se la denomina como “salto bruto” dado en metros, además, se tiene presente que van a existir pérdidas de energía por la forma irregular del terreno, por lo cual el salto neto que es la diferencia entre el salto bruto y las pérdidas, darán como resultado, la potencia para la generación de electricidad, que es una conversión de energías, la energía cinética se convierte en energía potencial y esta al mismo tiempo se convierte en energía mecánica al ingresar a una turbina, la cual esta acoplada a un generador, el cual convertirá a energía eléctrica como se muestra en la figura 1.2. pág. 4

**Figura 1.2** Grafico Energía a partir del agua



Fuente: Fernández y Caicedo



La potencia de salida es igual al producto entre la potencia de entrada y la eficiencia de conversión de la turbina, se tomara en cuenta este valor de 0.6 rendimiento de la turbina.

**Ec (1.1)**

Potencia de salida = potencia de entrada \* eficiencia de conversión

**Ec (1.2)**

$$P = \gamma * Q * H_n * n$$

Dónde:

P = potencia neta (w)

$\gamma$  = peso específico del agua 9800 (kg/m<sup>3</sup>)

Q = caudal (m<sup>3</sup> / s)

H<sub>n</sub> = altura neta

n = eficiencia de la turbina (0.6)

Según SANZ, Francisco 2008:

El primer paso para determinar la potencia de generación, se debe realizar las mediciones del salto y del caudal. El caudal depende del canal a utilizar.

El salto tiene relación directa con la topografía del terreno, ya que el mismo es irregular, por lo cual se explica los métodos para mediciones del salto. pág. 13

### **1.3.3 Medición de Salto**

Según SANZ, José Francisco 2012:

La medición del salto debe ser hecha en la caída de agua de mayor prolongación, para tener mayor potencia de generación, las medidas pueden ser mediante métodos tales como: método de manguera de nivelación, método de manguera y manómetro,

método de nivel de carpintero y tabla, método de altímetro, método de eclímetro, método de nivel de Ingeniero. pág. 15

Además según el tipo de salto tenemos:

- a) Central hidroeléctrica de bajo salto
- b) Central hidroeléctrica de medio salto
- c) Central hidroeléctrica de salto elevado. Como se muestra en la tabla 1.1

Es decir, se especifica, según la caída se clasifican en:

**Tabla 1. 1** Clasificación de las centrales según la potencia

<b>CAIDA EN METROS</b>			
	<b>BAJA</b>	<b>MEDIA</b>	<b>ALTA</b>
<b>Mini</b>	H< 15	15<H<50	H>50
<b>Micro</b>	H<20	20<H<100	H>100
<b>Pequeña</b>	H<25	25<H<130	H>130

**Fuente:** Pequeñas Centrales Hidroeléctricas

Según OLADE 2010 “De acuerdo con la potencia instalada, la Organización Latinoamericana de Energías OLADE ha clasificado las pequeñas hidroeléctricas de la siguiente manera.” Como se muestra en la tabla 1.2. pág. 10

**Tabla 1. 2** Clasificación de las centrales según la potencia

<b>POTENCIA</b>	<b>TIPO</b>
0-50 kw	MICROCENTRAL
50-500 kw	MINICENTRAL
500-5000 kw	PEQUEÑA CENTRAL

**Fuente:** Pequeñas Centrales Hidroeléctricas

### 1.3.3.1 Método de nivel de carpintero y tabla

Según SANZ, José Francisco 2012:

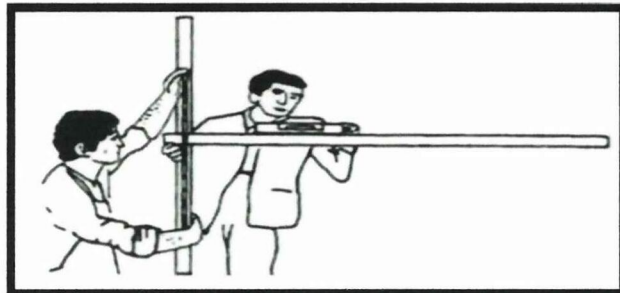
Consiste en usar una varilla graduada en el plano vertical y una tabla de madera recta y fija, con un nivel de carpintero o de

burbuja, en el plano horizontal, con lo cual se realiza las respectivas mediciones, puede ser desde el punto más bajo, hasta el punto máximo. pág. 27

Procedimiento:

- La varilla graduada se ubica en la posición de inicio de mediciones, con la tabla de madera, y el nivel de carpintero, precisar si la tabla esta perpendicular a la varilla graduada, para que la medición sea exacta.
- Registrar dicha altura y ubicar el punto respecto a la tabla de madera, donde se va a tomar las siguientes mediciones, ascendiendo la pendiente.
- Luego sumar todas las alturas medidas para obtener la altura bruta. Este método en pendientes suaves es muy lento, pero en pendientes fuertes es el indicado, especialmente para pequeñas caídas, como la que se muestra en la figura 1.3.

**Figura 1. 3** Usando un nivel de carpintero para medir el salto



Fuente: Manual de Mini y Micro Centrales Hidroeléctricas

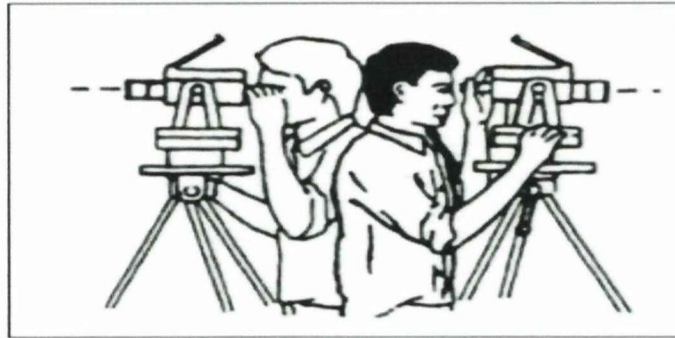
### 1.3.3.2 Método del nivel del ingeniero

Según COZ, Federico 2013

Las distancias pueden ser medidas simultáneamente, pero no es apropiado para lugares escarpados o que exista presencia de árboles. El nivel de ingenieros puede registrar 1mm de

precisión, pero el operador deberá ser diestro, para evitar errores por las largas series de cálculos que hay que efectuar, como se muestra en la figura 1.4. pág. 3

**Figura 1. 4** Uso del nivel del ingeniero



**Fuente:** Manual de Mini y Micro Centrales Hidráulicas

#### **1.3.4 Medición de caudal**

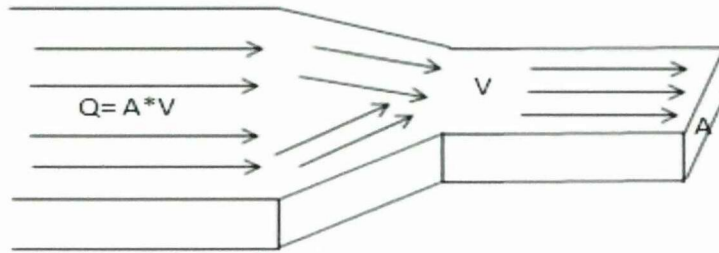
Según SANZ, José Francisco:

La medición de caudal puede ser hecha mediante los siguientes métodos: método de la solución de sal, método de recipiente, método del área y velocidad, método del flotador, medidores de corriente, método de la sección de control y regla graduada, método de vertedero y pared delgada, otros métodos. La medición de caudal, que pasa por un río, depende directamente de la sección transversal a la corriente y a la velocidad medida del agua, la fórmula es la siguiente. Como se indica en la figura 1.5 pág. 23

**Ec (1.3)**

$$Q=A*V$$

**Figura 1.5** Medición de caudal



**Fuente:** Universidad Técnica de Cotopaxi

Dónde:

Q= Caudal ( $m^3/s$ )

A= Área de la sección transversal ( $m^2$ )

V= Velocidad medida del agua en el punto analizado (m/s)

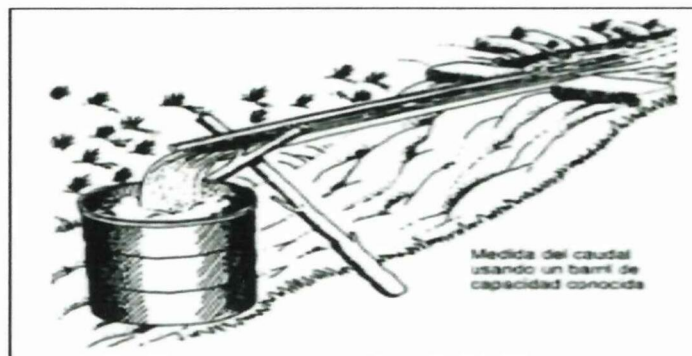
Como se muestra en la figura 1.5

#### 1.3.4.1 Método de recipiente

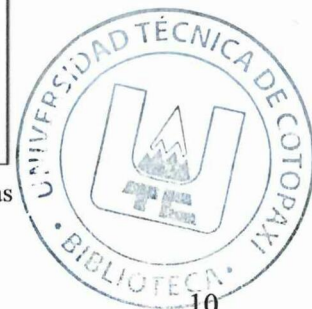
Según COZ, Federico 2013:

Consiste en canalizar todo el caudal, para llenar un recipiente, previamente seleccionado con medida volumétrica, y cronometrar el tiempo que demora en llenarse. Es una manera simple de medir el caudal, su desventaja es que todo el caudal debe ser direccionado al envase. Generalmente es empleado para caudales pequeños. Como se indica en la figura 1.6 pág. 33

**Figura 1.6** Método de recipiente



**Fuente:** Manual de Mini y Micro Centrales Hidroeléctricas



### 1.3.5 Medición del salto o altura bruta

Según SANZ, José Francisco 2008:

La medición debemos realizarla desde la caída de agua de mayor prolongación, para obtener mayor potencia de generación, la medición pueden ser hecha mediante métodos tales como: método de manguera de nivelación, método de manguera y manómetro, método de nivel de carpintero y tablas, método de alfilero, método de eclímetro, método de nivel del Ingeniero. pág. 43

Además, dicha altura es el salto que tiene el agua desde el punto más alto del tanque hasta la turbina, sin considerar pérdidas.

**Ec (1.4)**

$$H_b = Z_2 - Z_1$$

### 1.3.6 Longitud de la tubería de presión

La longitud de la tubería de presión, va desde el punto más alto del terreno hasta el cuarto de máquinas que se conectará a la Turbina Michell-Banki. Resolviendo se tiene que:

**Ec (1.5)**

$$L_{(\text{tub-presn})} = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2}$$

#### 1.3.6.1. Diámetro interior de la tubería de presión

Según HARPER, Gilberto 2011:

Su función es captar el agua en la base de la cámara de carga y conducirla hacia la turbina, convirtiendo la energía potencial en energía cinética, que al llegar al rodete de la turbina se

transforma en energía mecánica; que a su vez, mediante un sistema de transmisión de bandas y poleas acoplado a un generador, proporcionan electricidad. La tubería de presión es el elemento primordial de las obras de derivación. Para determinar el diámetro interno de la tubería de presión se emplea la siguiente fórmula: pág. 548

**Ec (1.6)**

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

Dónde:

$Di$  = Diámetro interno de la tubería de presión (m)

$Q^3$  = Caudal ( $m^3/s$ )

### 1.3.6.2 Velocidad de circulación del agua en la Tubería

Este cálculo de la velocidad está basado en la siguiente fórmula:

**Ec (1.7)**

$$Q = V * A$$

Pero se tiene que:

**Ec (1.8)**

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

Por ende, se realiza el siguiente reemplazo, obteniendo la fórmula:

**Ec (1.9)**

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

### 1.3.6.3 Pérdidas de Fricción en la Tubería de Presión

Según HARPER, Gilberto 2011 "En el transporte de un fluido se generan

pérdidas de energía, por lo general, a causa de rozamiento, entre el fluido y las paredes de la tubería, por lo cual debemos realizar cálculos para poder disminuir esos efectos”. pág. 549

**Ec (1. 10)**

$$h_f = f \cdot \left(\frac{L}{D}\right) \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Dónde:

L = Longitud de la tubería de presión (m)

D = Diámetro de la tubería de presión (m)

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

$h_f$  = Pérdidas por fricción (m)

f = Factor de fricción del material.

g = Es la constante de gravitación. (9.8 m/seg<sup>2</sup>)

### **1.3.7 Determinación de la altura neta**

Según SANZ, José Francisco 2012 “La altura neta ( $H_n$ ) consiste en restar la altura bruta y las pérdidas de carga o fricción, que se producen por el rozamiento del agua con las paredes de la tubería de presión”. pág. 20

**Ec (1. 11)**

$$H_n = H_b - h_f$$

## **1.4 TURBINAS HIDRÁULICAS Y SU CLASIFICACIÓN**

### **1.4.1 Turbina**

Según MENÉNDEZ, Emilio 2001:

El equipo encargado de convertir la energía hidráulica en mecánica, acoplado directamente a un generador y en conjunto cubren la demanda energética del sector. Según la manera de transformar la energía cinética que ingresa a la turbina en

energía mecánica, se hallan los siguientes tipos: turbinas de reacción y turbinas de acción. pág. 342

Para diferenciar entre los tipos de turbinas tenemos la siguiente tabla 1.3:

**Tabla 1. 3**Diferencias entre turbinas de acción y reacción

TIPOS DE TURBINAS	
Turbina Pelton	También es conocida como turbina de presión. Estas son adecuadas para saltos de grandes y bajos caudales.
Turbina Francis	Son conocidas como turbinas de sobrepresión, ya que la presión varía en diferentes zonas del rodillo.
Turbina Kaplan.	Son turbinas de admisión y de reacción total. Se usan en saltos de pequeña altura con caudales medianos y grandes.

Fuente: Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (Ortiz, 2010)

## 1.4.2 Fenómenos de la Turbinas Hidráulicas

### 1.4.2.1 Cavitación

Según COZ, Federico 2013:

En turbinas como Pelton, Turgo y Michell-Banki, puede suceder este fenómeno llamado cavitación, en el inyector a causa de geometría desfavorable o corresponde a una pequeña discontinuidad de las superficies. No es preciso calcular una altura de aspiración en este tipo de turbinas, como se debe hacer en turbinas de reacción, ya que el proceso de flujo en el rodete se lleva a cabo a presión atmosférica. pág. 27

Según ORTIZ., Ramiro 2010:

La cavitación es un fenómeno de formación de burbujas en un líquido, que a causa de alcanzar altas velocidades de flujo, la presión estática absoluta es menor que la presión del vapor



correspondiente a la temperatura del líquido. Posteriormente, al alcanzar dichas burbujas zonas de mayor presión que la presión del vapor, se condensan abruptamente, originando problemas hidráulicos y mecánicos. Algunos de los efectos que se pueden revelar son: producción de ruido, vibraciones, desgaste de los alabes y zonas contiguas, disminución de potencia. pág. 123

#### **1.4.2.2 Velocidad de embalamiento**

Según ORTIZ., Ramiro 2010:

La velocidad de embalamiento es mayor a la velocidad nominal de la turbina, dependiendo del tipo de turbina que se vaya a utilizar, para las turbinas michell-banki y la turbina Pelton es de 1.8 veces la velocidad nominal, una vez adquirido el movimiento, el rodete tiene a aumentar la velocidad, ya que al empujar el agua los alabes con la energía cinética obtenida en el descenso el caudal presenta menor resistencia, comparándola cuando la turbina está en el arranque que tiene que superar la fuerza de reposo, y la rotación del rodete es mayor, es decir alcanza una velocidad máxima. pág. 178

#### **1.4.2.3 Golpe de ariete**

Según ORTIZ, Ramiro 2010:

Si el flujo del caudal de agua en la turbina se detiene abruptamente, por ejemplo, por motivo de un bloqueo imprevisto cerca de la turbina, se producen sobrepresiones elevadas denominadas golpes de ariete. La tubería debe ser resistente a no romperse cuando ocurra este tipo de acontecimientos. Estas presiones provocaran que la tubería se mueva, produciendo daño en los anclajes si estos no fueran los bastante resistentes.

En la tubería de presión se crean ondas de oscilación que deben ser amortiguadas en la cámara de presión, obligando a una regulación del caudal. Estas ondas de oscilación son altas en el momento del arranque de la turbina o en su parada total por su rechazo a la carga. Estas ondas pueden ser positivas o negativas conocidas como golpe de ariete. pág. 154

Según COZ, Federico 2013:

El golpe de ariete positivo exige de la turbina un mayor espesor, este puede reducirse con un cierre lento de la tubería. Cuando la turbina requiere la apertura total se produce un golpe de ariete negativo, el cual tiene características similares, pero, en sentido inverso. pág. 356

## **1.5 PARTES DE LA TURBINA HIDRÁULICA**

Entre los elementos fundamentales tenemos los siguientes:

### **1.5.1 Distribuidor**

Es el elemento encargado de acelerar el flujo, una vez descendido el caudal por la pendiente y transformar en forma total (turbinas de acción) o parcial (turbinas de reacción), la energía potencial del agua en energía cinética y energía de presión, direccionando el flujo de agua hacia el rodete, por lo cual, adoptan algunas formas como: el tipo inyector en las turbinas de acción, o de forma radial, semiaxial y axial en turbinas de reacción, también actúa como miembro regulador del caudal.

### **1.5.2 El rodete**

Según COZ, Federico 2013:

Conocido también como rotor de rueda, es un disco dotado de un número de alabes, paletas o cucharas alrededor de este, que

se mueven a una velocidad angular determinada, su función es transformar o convertir la energía hidráulica generada por el salto útil, en energía mecánica, mediante la aceleración y división, el flujo del agua pasa por el sistema de alabes o cucharas y lo hace girar, aprovechando el caudal, según sea el salto dependerá la velocidad angular que adquiera el rodete. pág. 128

### **1.5.3 Tubo de aspiración**

Según HARPER, Gilberto 2011:

Se instala a continuación del rodete y efectúa lo siguiente: recuperar la altura de salida del rodete y el nivel de caudal del desagüe, además recobrar una parte de la energía cinética relacionada con la velocidad residual del agua en la salida del rodete, desde un diseño de tipo difusor. pág.125

### **1.5.4 Carcasa**

Según HARPER, Gilberto 2011, “Es el almacén de la turbina, es el encargado de cubrir y soportar todas las partes de la turbina hidráulica, según el tipo de turbina será la forma de la carcasa, y según el dimensionamiento será el tamaño”. pág. 126

### **1.5.5 Inyector**

Según HARPER, Gilberto 2011:

Es un elemento fijo, en el inyector se producen el cambio de energía potencial a cinética, este consiste en una aboquilla o tobera en la cual permite que el fluido salga en forma de chorro, en algunos casos se pueden utilizar más de un inyector según sea el diseño. pág. 127

Este dispositivo contiene una aguja la cual permite abrir o cerrar el chorro del agua para así regular y obtener el caudal adecuado.

## **1.6 EQUIPO ELECTROMECAÁNICO**

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

### **1.6.1 Turbinas Hidráulicas**

La turbina hidráulica es un motor rotativo que convierte en energía mecánica, la energía de una corriente de agua. El elemento básico de la turbina es la rueda, rotor o rodete, que cuenta con palas, hélices, cuchillas o cubos colocados alrededor de su circunferencia, de tal forma que el fluido en movimiento produce un fuerza tangencial, que impulsa la rueda y la hace girar. Esta energía mecánica se transforma a través de un eje, para proporcionar el movimiento de una máquina, un generador eléctrico o una hélice.

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

Por ser turbo máquinas siguen las misma clasificación de estas, y pertenecen, obviamente, al sub grupo de las turbo máquinas hidráulicas y al subgrupo de las turbo máquinas motoras. En el lenguaje común de las turbinas hidráulicas se suelen hablar al cambio de presión en el rodete o al grado de reacción.

Según FRANZINI y FINNEMORE 1999, manifiestan que “Las turbinas hidráulicas se clasifican en dos grandes grupos, turbinas de acción y turbinas de reacción”. pág. 93 y 105

Las turbinas de acción son aquellas en las cuales el agua impacta en los alabes de la turbina a presión atmosférica; en este caso el agua es dirigida hacia los alabes a

través de un inyector, que convierte la energía potencial del agua en energía mecánica a través de cambios de sección.

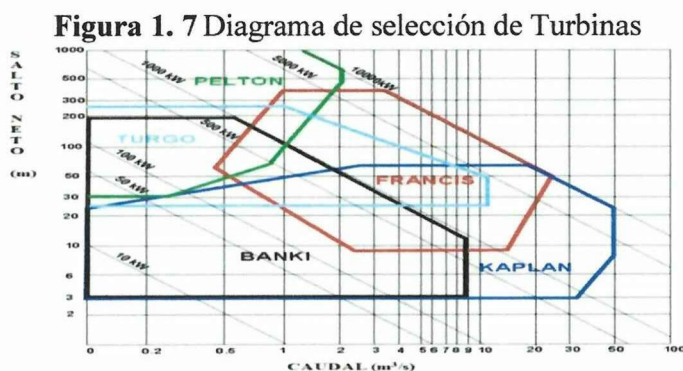
En las turbinas de reacción el agua llega a los alabes de la turbina a una presión superior a la presión atmosférica, pero también a una velocidad alta, es decir su ingreso la introducción de energía cinética y potencial, que se transforman en energía mecánica y rotacional.

No obstante, la clasificación más difundida de las turbinas hidráulicas es según el salto y el caudal relativo de trabajo a la que está sometida esta máquina: turbinas hidráulicas de grandes caídas, y pequeños caudales (en este grupo solo están las turbinas de acción); turbinas de medianas caídas medianos caudales (en este grupo constan as turbinas de acción y reacción), y turbinas de pequeñas caídas y grandes caudales (en este grupo están las turbinas de reacción).

### 1.6.3 CRITERIOS DE SELECCIÓN

#### 1.6.3.1 Selección de la turbina

La selección de la turbina está hecha en base al siguiente diagrama de empleo de las diferentes turbinas, según el caudal y la altura en las cuales pueden ser utilizadas. Como se muestra en la figura 1.7



**Fuente:** II Curso Internacional de Especialización de Micro y Mini Centrales Eléctricas  
Según este el diagrama para:

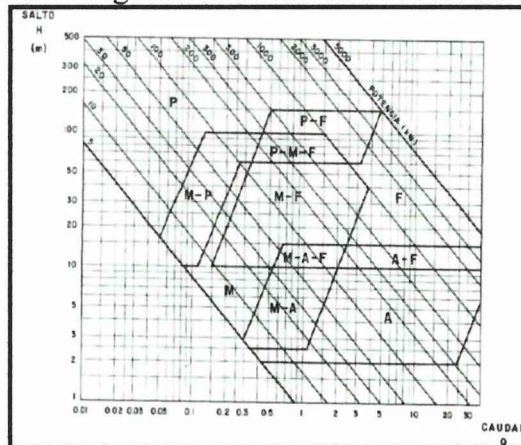
**Caudal.....  $Q=50L/s=0.050m^3/s$**

**Altura neta.....  $H_n= 11m$**

Según la OLADE 1995:

La que se utilizará es una Turbina MichellBanki, ya que sus características permiten generar la potencia apropiada para el Sector Langoa en los páramos de la Provincia de Cotopaxi. Confirmándose esta selección con el siguiente diagrama. Como se muestra en la figura 1.8

**Figura 1.8** Diagrama de selección de Turbinas OLADE



**Fuente:** Manual de Diseño y Estandarización OLADE

Dónde:

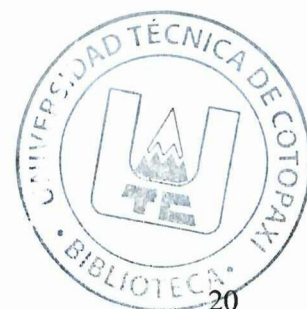
P= Turbina Pelton

M= Turbina Michell-Banki

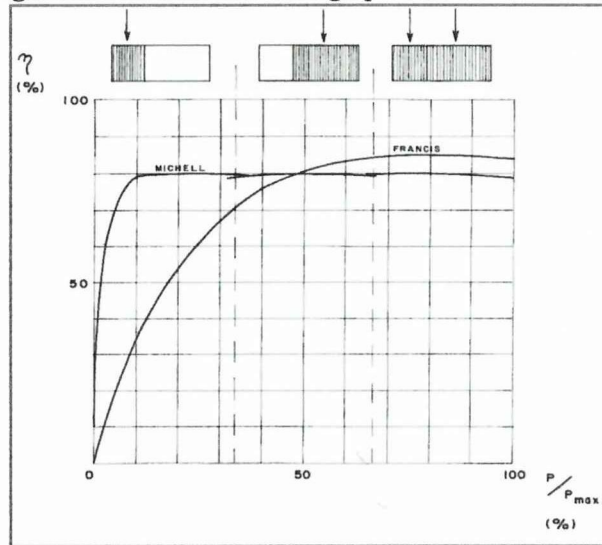
F= Turbina Francis

A= Turbina Axial

Además presenta bajos costos de mantenimiento y construcción, dándose la selección adecuada para este proyecto. Cabe agregar la selección de dicha turbina también está basada en la eficiencia que presenta la turbina Michell-Banki con respecto a la Potencia de generación a carga parcial. Como se muestra en la figura 1.9



**Figura 1. 9** Eficiencia a carga parcial de las turbinas

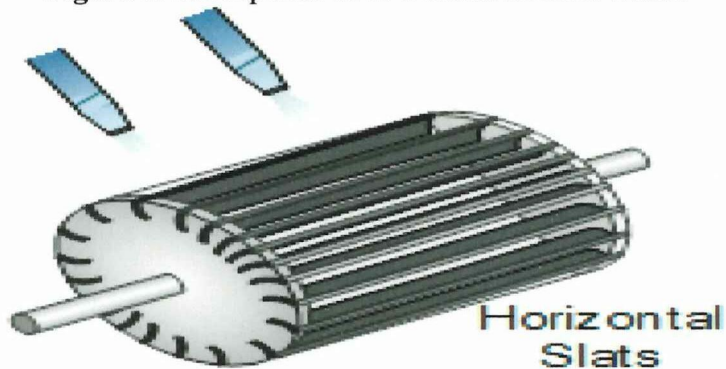


**Fuente:** Manual de Diseño y Estandarización OLADE

#### 1.6.4 Turbina Michell-Banki

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

**Figura 1. 10** Esquema de la Turbina Michell-Banki



**Fuente:** <http://www.alternative-energy-tutorials.com/hydro-energy/water-turbine-design.html>

Los rangos con los que opera esta turbina son los siguientes:

- Altura  $H$ :  $1\text{m} \leq H \leq 100\text{m}$
- Caudal  $Q$ :  $0,2\text{m}^3/\text{s} \leq Q \leq 7\text{m}^3/\text{s}$
- Potencia  $P$ :  $P \leq 1\text{Mw}$

- Velocidad específica  $ns: 30 \leq ns \leq 180$

Las características más importantes de estas turbinas son:

- Tiene un rango de aplicación y es rápida.
- Puede operar en amplios rangos de caudal y altura sin variar su eficiencia.
- Su construcción es sencilla, pudiendo ser fabricada en pequeños talleres.
- Presenta los menores costos ya sea en construcción, mantenimiento.
- Es la turbina que mejor se adapta para ser usada en medios rurales.

Entre los elementos de esta turbina tenemos:

a) Según HARPER, Gilberto 2011:

El distribuidor en la actualidad se emplean inyectores que cubren un mayor arco de la superficie del rodete. Tiene como objetivo el incrementar el flujo unitario, permitiendo mantener pequeño el tamaño de la turbina. El distribuidor impulsa el chorro de agua a una sección rectangular, y este circula por la corona de paletas del rodete en forma de cilindro además es conformado por una tobera de sección rectangular, que cubre al rodete en un cierto ángulo de admisión parcial, y una paleta directriz que ayudara a la regulación del caudal. pág. 128

b) Según ORTIZ, Ramiro 2010:

El rodete tiene la forma como de tambor o cilindro, está provisto de discos en su periferia, que están unidos mediante soldaduras, para grandes caudales y bajas alturas por su bajo costo. Trabaja eficientemente en grandes rangos de variación de caudal, es necesario darle la longitud correspondiente por su bajo costo y fácil construcción, es una de las alternativas para pequeñas hidroeléctricas. La característica principal de esta turbina, con respecto a las otras es que no existe flexión axial del chorro,

como es una turbina de acción opera en condiciones atmosférica, se recomienda que en caso de saltos bajos, debe tener un tubo de aspiración cilíndrico. pág. 239

### 1.6.5 Dimensionamiento preliminar de una Turbina Michell-Banki

Hay que considerar algunas especificaciones básicas para el dimensionamiento de la Turbina Michell-Banki, como son:

#### 1.6.5.1 Velocidad de chorro

Por la aproximación entre el inyector y el rodete, se genera una sobrepresión insignificante en la intersección debajo del arco de admisión, dado por el ángulo  $\Theta$ . Obteniéndose la velocidad de chorro empleando la siguiente formula.

*Ec (1. 12)*

$$C = \varphi \sqrt{2gH}$$

Puede tomarse el mismo coeficiente  $\varphi = 0.95$ , empleado en las Turbinas Pelton.

#### 1.6.5.2 Espesor del chorro

Se lo determina empleado la siguiente formula:

*Ec (1. 13)*

$$a = K_a D_2$$

Dónde:

a= Espesor del chorro (m)

$K_a$ = Coeficiente que depende del ángulo del inyector y del ángulo de admisión  $\Theta$ .

$D_2$ = Diámetro exterior del rodete (m)

Para  $a=16^\circ$  se puede tomar los siguientes valores: como se muestra en la tabla 1.4.

**Tabla 1. 4** Coeficiente para determinar el espesor del chorro

$\Theta^\circ$	60°	90°	120°
$K_a$	0.1443	0.2164	0.2886

Fuente: Pequeñas Centrales Hidroeléctricas

### 1.6.5.3 Diámetro externo e interno

Para determinar las medidas básicas del rodete, se utilizan las siguientes formulas:

- Diámetro interior ( $D_1$ )

**Ec(1. 14)**

$$D_1 = 0.66D_2$$

- Diámetro exterior ( $D_2$ )

**Ec(1. 15)**

$$D_2 = (37 \text{ a } 39) \frac{\sqrt{H}}{N}$$

Dónde:

H= Altura neta

N= Número de revoluciones

Los valores bajo el coeficiente pertenecen a turbinas rápidas con rodetes anchos y los valores a turbinas lentas con rodetes angostos. Se recomienda elegir rodetes de 200, 300, 400 mm de diámetro.

### 1.6.5.4 Ancho del rodete

Se lo determina con la siguiente formula:

**Ec (1. 16)**

$$B = 98.8 \frac{Q}{D_2 \sqrt{H} \theta}$$



Entre las turbinas de este tipo están las siguientes:

- Turbinas Francis
- Turbinas Deriaz
- Turbina Kaplan y de Hélice
- Turbinas Axiales, en sus variantes: tubular, bulbo, y de generador periférico.

### 1.7 RESOLUCIÓN DEL TRIÁNGULO DE VELOCIDADES A LA ENTRADA DEL ROTOR

*Ec (1.17)*

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

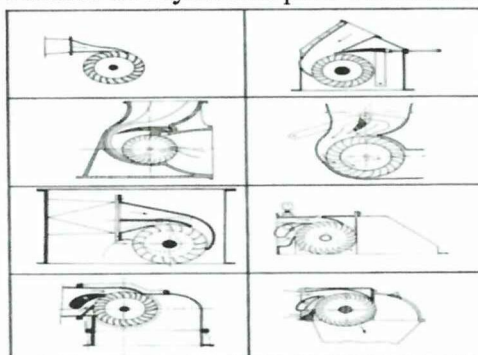
Sonnek (1923), modificó la teoría de Banki asumiendo un ángulo constante e igual a 30°, con lo que da la expresión del rendimiento máximo es: pág. 320

*Ec (1.18)*

$$n_{max} = \left( 0.863 - 0.264 \frac{D}{H} \right) * 100\%$$

#### 1.7.1 Velocidad del inyector

**Figura 1.12** Perfiles de Inyectores para Turbinas Michell-Banki



**Fuente:** Manual de Diseño y Estandarización OLADE

**Ec (1. 19)**

$$C_1 = 4.429K_c\sqrt{H_n}$$

### **1.7.2 Diámetro interior del rotor**

**Ec (1. 20)**

$$Di = 0.66De$$

(8avo Congreso Liberoamericano de Ingeniería Mecánica de Metodología de diseño Hidráulico y Mecánico de una Turbina Michell - Banki, 2007)

### **1.7.3 Diámetro máximo del eje del rotor**

**Ec (1. 21)**

$$de_{max} = 0.33De$$

### **1.7.4 Número óptimo de revoluciones de la turbina michellbanki**

Según la OLADE 2010, “Otro parámetro necesario para el Diseño de la Turbina Michell-Banki, es determinar el número óptimo de revoluciones, a las que deberá operar la turbina, para ello se emplea la siguiente fórmula”:

**Ec(1. 22)**

$$N = \frac{39.85\sqrt{H}}{De}$$

En donde:

N: Numero de revoluciones optimas (RPM)

De: Diámetro exterior del rodete (m)

H: Salto neto aprovechable (m)

### 1.7.5 Velocidad de giro de la turbina

**Ec (1. 23)**

$$N = \frac{60(U_1)}{\pi * D}$$

### 1.7.6 Velocidad nominal de rotación

**Ec (1. 24)**

$$N = \frac{40\sqrt{H}}{D}$$

### 1.7.7 Velocidad de embalamiento

Para turbinas Michell-Banki se tiene que es 1.8 veces la velocidad nominal de la turbina, por ello, se halla la velocidad de embalamiento empleando la siguiente fórmula:

**Ec (1. 25)**

$$N_{emb} = 1.8 * N$$

### 1.7.8 Números específicos de revoluciones nq y ns

Según la OLADE 2010 “Estos números de revoluciones Nq y Ns definen el Rango de Aplicación de las diferentes turbinas hidráulicas”.

**Ec (1. 26)**

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

**Ec(1. 27)**

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

Dónde:

P: Potencia al freno de la turbina (C.V.)

Q: caudal máximo que fluye por la turbina (m3/s)

H: Salto neto de la central (m)

N: velocidad de giro de la turbina (RPM)

Para determinar  $N_q$  y  $N_s$  tomaremos a  $N=660.84$  RPM, que es el Número Óptimo de Revoluciones de la Turbina.

### 1.7.9 Arco admisión

*Ec (1. 28)*

$$La = \frac{\pi D}{Z} Za + Za * e$$

Dónde:

La= Arco de admisión (m)

e= Espesor del álabe (m)

D=Diámetro del Rotor (m)

Z= Numero de álabes

Za=Numero de álabes en la Admisión

$X_z$ : es la relación entre el número de álabes de la admisión ( $Z_a$ ) y el número de álabes totales ( $Z$ )

*Ec (1. 29)*

$$X_z = \frac{Z_a}{Z} < 0.35$$

$$La = \frac{\pi D}{Z} Za + Za * e$$

### 1.7.10 Ancho del rotor

Según la OLADES “El ancho que va a ser construido el rotor teniendo en cuenta cada uno de los parámetros que se están tomando para la generación”.

$$Br = \frac{Q}{\pi * De * C1 * \sin \alpha_1 * X_z}$$

Dónde:

Q=Caudal ( $0.050\text{m}^3/\text{s}$ )

Z=número de álabes (22 álabes)

Kc=0.98

H=altura neta (11m)

De= diámetro exterior (0.200m)

$\alpha_1=16.10^\circ$

C1: Velocidad Absoluta (14.40m/s)

Za=Numero de álabes en la Admisión (2.75)

$X_Z$ : es la relación entre el número de álabes de la admisión (Za) y el número de álabes totales (Z) (0.125)

**Ec (1.31)**

$$Br = \frac{Q}{\pi * De * C1 * \sin \alpha_1 * X_Z}$$

### 1.7.11 Ancho del inyector

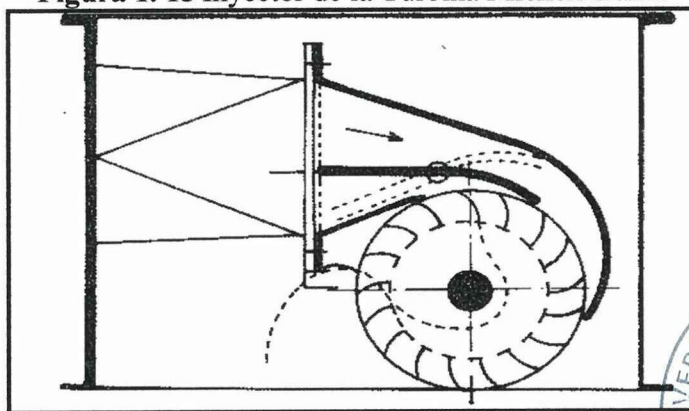
Para el ancho del inyector encontramos algunas fórmulas que no coinciden en el resultado, como las siguientes:

**Ec (1.32)**

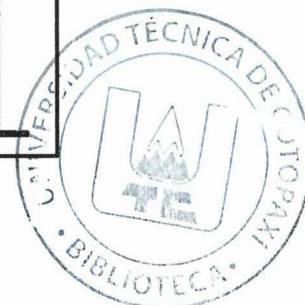
$$Bi = \frac{360Q}{(\pi De - e * Z) \delta * K * \sqrt{2gH} * \sin \alpha_1}$$

$$Bi = \frac{0.96Q}{De\sqrt{H}}$$

**Figura 1. 13** Inyector de la Turbina Michell-Banki



Fuente: Manual de Diseño y Estandarización OLADE



Dónde:

Q=Caudal (0.050m<sup>3</sup>/s)

e= espesor del álabe (0.00516m)

Z=número de álabes (22 álabes)

δ=ángulo de admisión  $\theta_a = 53.13^0$

K=0.98

g= gravedad (9.8m/s<sup>2</sup>)

H=altura neta (11m)

De= diámetro exterior (0.200m)

$\alpha_1 = 16.10^0$

### 1.7.12 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

**Ec (1. 33)**

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

### 1.7.13 Paso entre álabes

El peso en cada uno de los álabes de la turbina es de gran importancia ya que si es muy pesado el golpe del agua no lograra moverlo.

**Ec (1. 34)**

$$P_z = \frac{\pi D}{Z}$$

### 1.7.14 Número de álabes que reciben el flujo de agua

**Ec (1. 35)**

$$Zf = \frac{\delta}{360^0} * Z$$

Dónde:

$Z$  = número de álabes

$\delta$  = ángulo de admisión del rotor ( $\theta_a = 53.13^\circ$ )

### 1.7.15 Caudal que ingresa a un álabe

El caudal que ingresa a un álabe es aquel que nos permite la fuerza adecuada para lograr el giro de la turbina.

**Ec (1.36)**

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

### 1.7.16 Determinación de la ecuación de la curva que presenta la voluta

**Ec (1.37)**

$$\tau_\theta = R * e^{\left(\frac{1-\frac{\theta}{\theta_a}}{BC}\right)} * Q$$

Dónde:

- $R$  = radio del rotor

**Ec (1.38)**

$$R = \frac{D}{2}$$

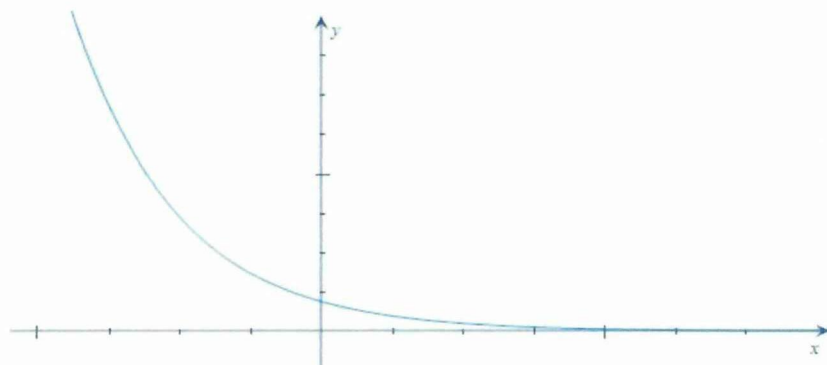
**Ec (1.39)**

- $C = 2.3n_h \frac{D\sqrt{H}}{Kc}$

$n_h$  = rendimiento hidraulico

(8avo Congreso Liberoamericano de Ingeniería Mecánico de Metodología de diseño Hidráulico y Mecánico de una Turbina Michell - Banki, 2007)

**Figura 1. 14** Representación de la curva que presenta la voluta



**Fuente:** Elaborado por los autores

**Ec (1. 40)**

$$ht = \tau_{\theta} - R$$

$$ht = R * e^{\left(1 - \frac{\theta}{\theta_a}\right) * Q} - R$$

**1.7.17** Peso de un álabe

**Ec (1. 41)**

$$Pa = Pu * L$$

Dónde:

Pa= Peso de un álabe

Pu=Peso de un álabe por unidad de longitud (kgf/m)

L=Longitud del álabe

**Tabla 1. 5** Peso de un álabe

ROTOR	TUBERÍA		
	Diámetro (mm)	Espesor (mm)	Peso (kgf/m)
200	2.5	5.16	8.62
300	4	6.02	16.07
400	5	6.55	21.78
500	6	7.11	28.26

**Fuente:** INE (1986)

### 1.7.18 Fuerza hidráulica sobre un álabe (fhr)

(8avo Congreso Liberoamericano de Ingeniería Mecánica de Metodología de diseño Hidráulico y Mecánico de una Turbina Michell -Banki, 2007)

Esta fuerza se debe, al cambio de dirección que experimenta el agua al pasar por las paletas del rotor.

Componentes rectangulares de la fuerza hidráulica:

*Ec (1.42)*

$$F_{hx} = 429.38 * Qa\sqrt{H_{max}} * (\cos 16^\circ - \sin \phi)$$

*Ec (1.43)*

$$F_{hx} = 429.38 * Qa\sqrt{H_{max}} * (\sin 16^\circ + \cos \phi)$$

### 1.7.19 Ángulo entre la fuerza hidráulica sobre el álabe y el eje x

**Tabla 1. 6** Ángulos entre la fuerza hidráulica sobre el álabe y el eje x

Diámetro del rotor(mm)	(°)
200	29.75
300	32.02
400	30.50
500	29.90

Fuente: INE (1986)

## 1.8 TRANSMISIONES POR BANDAS EN V

### 1.8.1 Diseño de transmisiones por bandas en v

Los factores que intervienen en la selección de una banda V y las poleas motriz y conducida de la transmisión se detallan a continuación. Datos básicos necesarios para seleccionar la transmisión:

- La potencia específica del motor o máquina motriz
- El factor de servicio, con base en el motor y la carga impulsada
- La distancia entre centros
- La capacidad de potencia de una banda, en función del tamaño y la velocidad de la polea menor
- La longitud de la banda
- El tamaño de las poleas motriz y conducida
- El factor de corrección por longitud de la banda
- El factor de corrección por ángulo de contacto en la polea menor
- El número de bandas
- La tensión inicial sobre la banda

### **1.8.2 Pasos para el cálculo de bandas**

Según MOTT, Robert 2010 los pasos para el cálculo de las bandas son: pág. 91

1. Calcule la potencia de diseño
2. Seleccione la sección de la banda
3. Calcule la relación de velocidades nominales
4. Calcule el tamaño de la polea motriz
5. Seleccione tamaños tentativos de la polea de entrada y calcule el tamaño adecuado de la polea de salida
6. Determine la potencia nominal a partir de las figuras anteriores, según sea de 3V, 5V o 8V.
7. Especifique una distancia entre centros tentativa
8. Calcule la longitud de la banda necesaria
9. Seleccione una longitud estándar en la tabla
10. Calcule el ángulo de contacto de la banda en la polea menor
11. Determine los factores de corrección
12. Calcule la potencia nominal corregida por la banda y la cantidad de bandas necesarias para manejar la potencia de diseño



## 1.9 PICO CENTRAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

### 1.9.1 Construcción de la turbina

**Tabla 1. 7** Composición de las aleaciones usadas corrientemente en las turbinas hidráulicas

MATERIAL	C%	Mn%	Si%	Cr%	Ni%
ACERO AL 13% Cr	0.10	0.5	0.4	12.5	0.9
ACERO AL 18% Cr, 8% Ni	0.07	0.5	1.0	18.0	9.0
ACERO AL 2% Ni	0.24	0.7	0.3	0.2	0.2
ACERO AL 1.5% Mn	0.24	1.6	0.3	0.2	0.4
BRONCE AL ALUMINIO	Al10.0	Fe8.0	Mn5.0	Ni2.0	Cu Diferencia

Fuente: Manual de diseño y estandarización OLADE

**Tabla 1. 8** Propiedades mecánicas de las aleaciones usadas en turbinas hidráulicas

MATERIAL	ESFUERZO DE FRECUENCIAS Kg/mm <sup>2</sup>	ESFUERZO DE TENSION Kg/mm <sup>2</sup>	MINIMA ELONGACIÓN Lx5d %	MÍNIMA RESISTENCIA DE IMPACTO Kg/cm <sup>2</sup>	DUREZA BRINELL Kg/mm <sup>2</sup>	LIMITE DE FATIGA Kg/mm <sup>2</sup>
ACERO AL 13% Cr	45	65-75	15	4	190-30	30
ACERO AL 18% Cr, 8% Ni	15	40-50	30	18	130-170	13
ACERO AL 2% Ni	35	55-65	18	6	155-195	22
ACERO AL 1.5% Mn	34	50-60	22	6	140-180	18
BRONCE AL ALUMINIO	30	60-70	7	1	190-230	15

Fuente: Manual de diseño y estandarización OLADE

## **1.10 MICROCENTRALES HIDROELÉCTRICAS**

### **1.10.1 Introducción a la Microhidro Generación**

Según FOX, Mc Donald:

Son sistemas de generación hidráulica en pequeñas escalas, se las diferencia en tres grupos: de gran escala, mini y micro generación, las de gran escala sean las encargadas de generar y abastecer de energía a ciudades enteras, producen hasta 10 MW, las mini centrales son las encargadas de generar de 300KW hasta 10MW y las micro centrales son las encargadas de generar 200W hasta 300KW, estas pueden abastecer de energía a pequeños sectores. pág. 54

Una de las necesidades básicas en los sectores rurales del país, es la energía eléctrica razón por lo cual estos sectores carecen de los servicios básicos para cualquier ser humano.

Es una realidad injusta en estos tiempos, por lo cual hemos adoptado una solución a este gran problema la realización de pequeñas centrales hidroeléctricas, las cuales son de gran importancia como alternativa para la generación de energía eléctrica en zonas rurales, las cuales se encuentran alejadas de las redes eléctricas.

### **1.10.2 Centrales Hidroeléctricas en Derivación**

Según BRISEÑO, Eduardo 2008:

El sistema consiste en almacenar la suficiente cantidad de agua de un caudal mediante una boca toma que permitirá para utilizar en la generación de energía eléctrica, donde el recurso hídrico debe tener un sistema de captación en tiempos donde el caudal disminuya, en este lugar se coloca un tanque con un desarenador, el cual se conecta a su vez, a una tubería, encargada de conducir

el caudal a una determinada pendiente donde se obtendrá la altura necesaria para lograr la potencia requerida. pág. 86

### 1.10.3 Elementos que componen una Central Hidroeléctrica

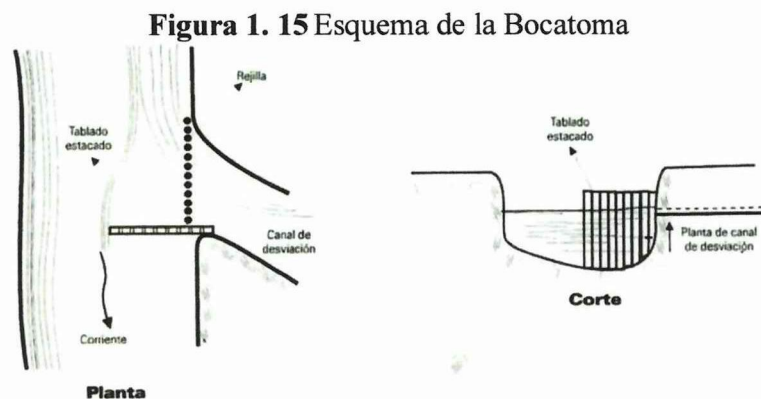
#### 1.10.3.1 Bocatoma

Según BRISEÑO, Eduardo 2008 “Las bocatomas son obras civiles hidráulicas que permiten regular y captar un determinado caudal de agua para la generación de energía eléctrica”. pág. 90 - 100

La bocatoma nos permite captar el agua del río y conducirla aprovechando la fuerza de gravedad.

El lugar de la captación debe de lo posible no tener un flujo turbulento, con motivo de que no se acumulen residuos, piedras, etc., esto permitirá que no se tape la entrada de la bocatoma pues se debe evitar obstrucciones a largo plazo.

En la bocatoma debe existir varios elementos que ayuden a retener todos los materiales que arrastra el flujo del cauce. Se puede colocar protecciones de mallas metálicas gruesas que impida el ingreso de materiales grandes, sin embargo debe existir la facilidad para realizar limpiezas en caso de que exista demasiada acumulación.



Fuente: [http://repositorio.sena.edu.co/sitios/calidad\\_del\\_agua/operacion\\_potabilizacion/index.html](http://repositorio.sena.edu.co/sitios/calidad_del_agua/operacion_potabilizacion/index.html)

### **1.10.3.2 Obra de Conducción**

Es un canal que se ubica en lugares estratégicos con una pequeña pendiente, se lo puede construir de cemento, tierra o de tubería, por el cual se conducirá el recurso hídrico desde la bocatoma hacia el tanque de almacenamiento.

### **1.10.3.3 Desarenador**

La función principal de esta es disminuir la velocidad con las que circulan las partículas, para que estas desciendan al fondo del desarenador, con la finalidad de separar toda partícula sólida del recurso hídrico, para hacia conducir por la tubería agua libre de dichas partículas.

### **1.10.3.4 Tanque de Presión**

En este punto el agua permanece en reposo, el tanque tiene la finalidad de almacenar la mayor cantidad de agua posible, garantizando que no ingrese partículas de aire en la tubería y así eliminando el golpe de ariete en el grupo turbina-generator.

### **1.10.3.5 Aliviadero**

El aliviadero es una compuerta que permite eliminar el exceso del agua, cuando el tanque de presión llega a su máximo, regresando el exceso de agua a su cauce natural.

### **1.10.3.6 Tubería de presión**

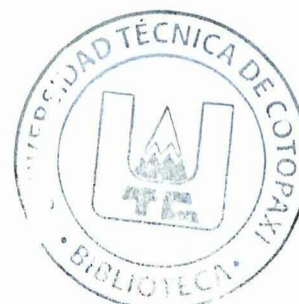
Su función es conducir el caudal, hasta la tubería, debe ser tubería de presión y estar perfilada, para soportar la presión que genera el volumen de agua, por lo cual, a de más debe soportar las dilataciones que ocurre por el cambio de tubería.

### **1.10.3.7 Casa de máquinas**

Se llama así, ya que se encuentra, la turbina y el generador, elementos encargados de convertir la energía hidráulica en energía mecánica y mediante un sistema de poleas que se conectan de la turbina al generador se convierte en energía eléctrica. Y posteriormente un sistema de líneas de transmisión llevarlas al consumidor.

### **1.10.3.8 Otros elementos**

Aquí se incluyen los elementos que se utilizaran como válvulas, reguladores, volante, tablero de medida y protecciones, subestación, barrajes, fusibles.



## **CAPÍTULO II**

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

#### **2.1 Interpretación**

Teniendo en cuenta que en el Ecuador existen diversos recursos naturales aptos para la generación de energía eléctrica y conociendo las necesidades existentes en varios sectores donde no llega el sistema nacional interconectado, en el estado se ha creado varios proyectos de generación eléctrica mediante sistemas alternativos.

La provincia de Cotopaxi cuenta con varios sectores de difícil acceso los cuales no cuentan con energía eléctrica. Gracias a la irregularidad que existe en la provincia, se están realizando proyectos para poder generar energía eléctrica y abastecer a los sectores alejados.

De tal forma y observando que en el sector de San Miguelito de Langoa existen los recursos adecuados, y gracias a que la Universidad Técnica de Cotopaxi que está vinculada con el pueblo, se ha visto factible la implementación de un pico generador hidroeléctrico, el cual suministrara energía necesaria para mejorar la calidad de vida de los habitantes.

## 2.2 Localización del Proyecto

**Figura 2. 1** Lugar del proyecto



**Fuente:** <https://www.google.com/maps/@-0.9117095,-78.3720002,12394a,20y,90h/data=!3m1!1e3>

El pico generador se encuentra ubicado en el sector de la asociación de ganadero de San Miguel de Langoa, Parroquia Juan Montalvo, Reserva los Llanganantes, Provincia De Cotopaxi (-0.917858, -78.379133), el suministro de energía abastecerá a la vivienda que existe en el sector.

El sector se encuentra entre las provincias de Cotopaxi, Tungurahua y Napo, ubicada a aproximadamente 2 horas del cantón Latacunga.

**Superficie:** El territorio del sector presenta una topografía muy irregular y montañosa y esto permite que exista el recurso y viabilidad para la implementación de la pico central hidroeléctrica.

## 2.3 Métodos

En el presente proyecto de tesis, utilizamos diversos tipos de métodos, como el método deductivo, ya que este va de lo general a lo particular es decir que se utilizó información general de las turbinas y así seleccionar una sola turbina que sea adecuada para este tipo de proyecto, otro de los métodos fue el sintético - analítico, porque mediante este método se ha logrado agrupar diversos elementos de forma racional en una nueva totalidad, para así poder establecer una

explicación de la información más importante para el desarrollo de la pico central de generación eléctrica, ya que se ha extraído información generalizada siendo derivadas estas del conocimiento experimental, como: la transformación de energía a partir del agua, que explica el fundamento de lo que es la conversión de energía cinética, en energía potencial y esta a su vez en energía mecánica y posteriormente en energía eléctrica mediante un mecanismo que conecta a generador.

A demás se ha empleado el método de investigación bibliográfica, utilizando libros, artículos, anexos, tesis tanto en bibliotecas de las universidades de la provincia y sitios web, que nos han servido para guiarnos y recopilar información necesaria.

La observación al lugar se la realizo luego de la aprobación de los socios, ahí se ratificó el problema de la falta de energía eléctrica en el sector, ya que el objetivo principal fue observar directamente el lugar de estudio, combinar técnicas que permitan comprobar las necesidades del lugar.

Mediante la investigación bibliográfica, empleando libros, tesis, etc. que podemos encontrar en la biblioteca o en sitios web, estructuramos, el método científico que nos permite seguir esquemáticamente el proceso de la investigación, analizando y detallando el problema, los objetivos, las hipostasis, las variables, y así poder incluir una propuesta de investigación, primero definiendo el anteproyecto.

Utilizando instrumentos técnicos que permitan obtener y manejar de una mejor manera la investigación de campo, cada uno de los instrumentos son de vital importancia ya que en ellos van cada uno de los datos obtenidos entre ellos tenemos: cuadernos, aparatos (GPS), libros de registro.

La investigación experimental nos permite estudiar la relación causa-efecto mediante la cual se concluye que la demanda energética en el sector es de 2.5KW, por lo cual es necesario una altura de 11m de salto neto y un caudal de

50litros/segundo, para alcanzar la potencia máxima de generación y el rango según el diagrama de selección de la turbina nos indica que es una turbina Michell-Banki.

Para identificar la turbina se utiliza el método deductivo, ya que se recopiló datos de todas las turbinas hidráulicas, la selección de la turbina para este proyecto es la Michell-Banki empleada para pequeñas centrales de generación eléctrica que poseen pequeños caudales y pequeñas alturas, la cual cumple con los requisitos apropiados para generar 2.5 KW.

A demás se empleó el método analítico, el cual nos permite descomponer el objeto de estudio, separándolos en partes, y así poderlos estudiar de manera individual, esto se lo realizo con la turbina Michell-Banki, la cual fue calculada y analizada para determinar los diferentes valores para la generación de 2KW.

#### **2.4. Técnicas**

Se utilizó la técnica documental, la cual nos permite obtener información de fuentes bibliográficas, de documentos los cuales ya fueron elaborados con anterioridad, como son tesis, nexos, libros, folletos.

Utilizamos la técnica de observación directa, ya que nos permite observar y afirmar aseveraciones, con nuestro objeto de estudio, además de la técnica documental, la cual nos permite recopilar información de manera escrita.

Combinando las técnicas anteriores, las cuales se pudo establecer en valores la realidad del lugar, la documental se utilizó para poder determinar las formulas necesarias para el diseño de la pico central de generación eléctrica, y la observación directa para la construcción y pruebas de funcionamiento.

## 2.5 Instrumentos

Se aplicó instrumentos de investigación de campo, como son las Bibliotecas, web, computadoras, CD's, apuntes de cuadernos, notas de registro, copias de libros, tesis relacionadas al tema anterior mente hechas, fichas bibliográficas, fotos, flash memory.

También utilizamos instrumentos como, caudalímetros, flexómetros e instrumentos de medición adecuados para obtener los datos exactos y así poder realizar los cálculos de la turbina, tubería y materiales que se utilizarán en el proyecto.

Los siguientes instrumentos: Software para cálculos matemáticos, AutoCAD para diseño de planos, GPS para tomar datos de coordenadas y distancias, calculadora, esferos, lápices, borradores, libros de la biblioteca, cuaderno de apuntes, taller mecánico para su elaboración, se los utilizo para realizar cada uno de los cálculos, planos y demás documentos que sirven para la realización de la tesis.

## 2.6 Procedimiento para el Levantamiento de Datos

1. Observación del lugar.
  - 1.1 Medición del caudal.
  - 1.2 Medición de la altura mediante el método del GPS.
2. Elaboración de los objetivos, hipótesis, variables, etc.
3. Recopilación de información para el marco teórico.
4. Identificar los tipos, métodos, técnicas e instrumentos aplicados en la investigación.
5. Identificar parámetros de diseño, como son la altura neta, y caudal según la demanda energética.
6. Selección de la turbina hidráulica.
7. Diseño de las partes de la turbina Michell-Banki.
8. Confirmación de cálculos antes del proceso a la construcción.



9. Construcción de las partes.
  - 9.1. Chapas metálicas para rodete.
  - 9.2. Eje del rodete.
  - 9.3. Álabes de la turbina.
  - 9.4. Base y carcasa de la turbina.
  - 9.5. Inyector
  - 9.6. Voluta
  - 9.7. Tubo de ingreso
  - 9.8. Carcasa metálica.
10. Armado de la pico central
11. Pruebas de funcionamiento.
12. Pintado de la turbina.
13. Conclusiones y recomendaciones.

## 2.7 Tabulación de Datos

**Tabla 2. 1**Tabla de mediciones

Mes /2015	Velocidad (m/s)	Tiempo (s)	Caudal (m <sup>3</sup> )
Abril	0.34	1.44	0.051
	0.35	1.45	0.053
Mayo	0.40	1.43	0.060
	0.35	1,34	0.058
	0.34	1.37	0.053
	0.39	1.40	0.058
Junio	0.37	1.39	0.051
	0.32	1.53	0.050
	0.35	1.43	0.053
	0.44	1.36	0.062
Julio	0.33	1.43	0.063
	0.35	1.36	0.050
	0.38	1.40	0.057
	0.36	1.45	0.046
Agosto	0.32	1.38	0.047
	0.34	1.44	0.045

	0.35	1.48	0.045
Septiembre	0.36	1.46	0.043
	0.32	1.43	0.045
	0.34	1.44	0.046

**Fuente:** Elaborado Fernández y Caicedo

**Análisis:** Según los datos analizados durante los 6 meses se ha determinado que en el sector existe un caudal que fluctúa entre 0.043 y 0.063 m<sup>3</sup> que nos da un promedio de 0.053 m<sup>3</sup> de agua teniendo en cuenta que la medición fue realizada durante los meses de invierno y verano en los cuales se registra menor cantidad de precipitaciones que alimentan el caudal del río.

## **2.8 Estimación de la Demanda Energética**

El análisis de la demanda es un aspecto importante para el diseño o estudio de una micro o mini central hidroeléctrica. Sus resultados deben aportar el consumo actual de la población a la que se desea suministrar energía, y con estos, proyectar la demanda por un periodo de tiempo según su necesidad.

Para un análisis en zonas rurales de difícil acceso, se debe hacer un análisis personalizado buscando los mejores métodos y herramientas ya que tiene sus propias características de densidad, crecimiento poblacional, infraestructura, servicios existentes, recursos naturales y potenciales de producción. Por lo tanto cada región aislada prevista para la electrificación necesita una evaluación particular de su potencial de desarrollo y su futura demanda de energía eléctrica.

### **2.8.1 Información básica**

Con el fin de identificar la demanda actual del emplazamiento poblado al que se planea suministrar energía, se debe conocer información que refleje el consumo energético.

- Población
- Numero de vivienda o usuarios
- Capacidad instalada

**Población.** Con este dato estimaremos una potencia requerida, el sector cuenta con un habitante permanente y 7 casuales.

**Numero de vivienda y usuarios.** Con el proyecto se abastecerá de energía eléctrica a una vivienda.

**Capacidad instalada.** Para este punto hacemos uso de los datos tomados producto de la observación que se realizó en el lugar haciendo un cuadro de estimación de energía, asumiendo que no todas las cargas se producen simultáneamente. Para ello aremos un cuadro donde estimamos la potencia de cada equipo seleccionado.

**Tabla 2. 2**Determinación de la demanda energética.

DESCRIPCIÓN	CANT	P(W)	P. TOTAL (W)
Punto de alumbrado	6	40	600
Punto de apliques	4	25	100
Radio/Grabadora	1	80	80
Licadora	1	250	250
<b>TOTAL REQUERIMIENTO ENERGETICO</b>			1040

**Fuente:** Elaborado Fernández y Caicedo

Conociendo estos datos ahora estimaremos el periodo de uso y la frecuencia con la que son accionados esto elementos para lo cual efectuaremos la siguiente tabla.

**Tabla 2. 3**Potencia de Consumo  
DEMANDA DIARIA ESTIMADA

Utilidad residencial	Potencia (W)	N°	Horario de uso en horas	
			0-3	3-6
Bombillos /	40	6	720	

Focos				
Punto de Aplicación	25	4	300	
Radio/Grabadora	80	1	240	
Licuada	250	1	750	
Total requerido por día			2010w	

**Fuente:** Elaborado Fernández y Caicedo

El cuadro se lo elabora con la siguiente ecuación matemática

**Ec (2.1)**

$$Phora = P * N^{\circ}c * N^{\circ}horas.u$$

Dónde:

Phora= Potencia por horas

P= Potencia

N<sup>°</sup>c= Número de componentes

N<sup>°</sup>horas.u= Número de horas usadas (W)

**Ec (2.2)**

$$Pd = \sum Phoras$$

Dónde:

Pd= Potencia por día

Phoras= Potencia por horas

## 2.9 HIPÓTESIS

Con el diseño e implementación de un pico generador hidroeléctrico de 2.5 KW, permitirá la generación de energía limpia y sostenible en el Sector San Miguelito de Langoa, Reserva Llanganates, Provincia de Cotopaxi, por lo cual mejorara las condiciones de vida de los moradores del sector.

## 2.10 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

### 2.10.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PICO GENERADOR HIDROELÉCTRICO			
CONCEPTO	CATEGORIAS	INDICADORES	ITEMS BASICOS
Es el conjunto de elementos, que aprovechan las fuentes de energía hidráulica para poder proveer de electricidad a la misma demanda.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elementos</li> <li>• Energía hídrica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Medir el caudal del agua</li> <li>❖ Medir la velocidad del agua</li> <li>❖ Dimensionamiento estructural</li> <li>❖ Demanda</li> </ul>	<p>¿Cree usted que el sector posee suficiente caudal para implementar un pico generador hidroeléctrico?</p> <p>¿Considera usted que un sistema hídrico puede sustituir la energía transmitida por las redes eléctricas?</p>
			<p>TECNICA E INSTRUMENTOS</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Medición</li> <li>✓ Caudalímetro</li> <li>✓ Observación</li> </ul>

ELEBORADO POR: Fernández y Caicedo



## 2.10.2 VARIABLE DEPENDIENTE

GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA				
CONCEPTO	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS BASICOS	TECNICA E INSTRUMENTOS
Un sistema de generación hídrico puede garantizar una producción eléctrica estable durante todo el año, siempre y cuando la unidad hídrica esté ubicada en un lugar en el que las condiciones para generar la energía sean las adecuadas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generación de energía sustentable.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Energía eléctrica hídrica.</li> <li>❖ Potencia generada.</li> <li>❖ Potencia consumida.</li> </ul>	¿Considera usted que es factible dotar de energía eléctrica al sector?	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Medición</li> <li>✓ Observación</li> <li>✓ Voltímetro</li> <li>✓ Amperímetro</li> <li>✓ Vatímetro</li> </ul>

ELABORADO POR: Fernández y Caicedo

## CAPÍTULO III

### 3. PRESENTACIÓN DE LA PROPUESTA

#### Presentación

La provincia de Cotopaxi posee una gran cantidad de recursos naturales, entre ellos los hidráulicos, las que pueden ser aprovechadas para la generación eléctrica en zonas rurales, debido al recurso natural existente se realizan pruebas de factibilidad en el sector de Langoa, con el fin de implementar una pico central hidroeléctrica, la misma que servirá como base fundamental para el desarrollo integral para el sector, con la finalidad de brindar mayor comodidad y cubrir las necesidades de los usuarios del sector.

Las pico centrales hidroeléctricas constituyen una alternativa energética viable, conviviendo en perfecta armonía con el hombre, y el medio ambiente, en el sector de Langoa existe el recurso hídrico para fomentar el desarrollo de un sistema energético aprovechando la energía reusable de pequeños y medianos cursos de agua y la transforma en energía eléctrica.

Estas tecnologías de energías renovables a pequeña escala representan una alternativa económica y ambiental factible para la abastecimiento de energía eléctrica a sectores alejados, además representan una forma de energía valiosa, porque con un impacto ambiental mínimo, utilizan fuentes energéticas renovables y reutilizables.

La implementación de este proyecto nos permitirá poner en destreza cada uno de los conocimientos adquiridos, aplicándolos en el campo practico para de esta forma dar a conocer a la comunidad una alternativa importante para su desarrollo.

### 3.1 JUSTIFICACIÓN

La propuesta es implementar un sistema hidroeléctrico en el cual intervenga solo fuentes de energía renovables, que reemplace a las que operan con combustibles fósiles, minimizando así los impactos medioambientales negativos que estos producen, disminuyendo los costos de instalación, generación, operación y mantenimiento.

Este contenido consiste en aprovechar el agua que nace en los páramos del Cotopaxi dando origen a pequeños riachuelos, este es un recurso natural abundante y reutilizable que tenemos a disposición en el sector de Langoa. Además es un sistema hidroeléctrico a pequeña escala apropiada para las condiciones de los usuarios del sector y no requieren de una inversión para combustibles fósiles.

Este proyecto no solo enriquece conocimiento técnico personal de los investigadores acerca del tema, sino que también se transforma en un pequeño esfuerzo en comparación a de otras instituciones que contribuyen a la generación de energía eléctrica, que busca un cambio en el pensamiento de la sociedad a cerca de la conservación del medio ambiente y la independencia energética.

Para el diseño e implantación de la pico central hidroeléctrica se realizó un análisis de los recursos del sector donde se obtuvo los siguientes parámetros para el diseño, obteniendo una altura bruta de 13m una determinación de caudal máximo de 50l/s en épocas de invierno.

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

En los sistemas pico hidroeléctricos, la naturaleza no se adapta a las dimensiones del sistema de generación eléctrica, sucede todo lo opuesto, se dimensiona el sistema de tal manera que se pueda aprovechar sin afectar el medio ambiente, por

lo cual se convierte la pico central hidroeléctrica en la mejor opción para aprovechar la energía hidráulica en la generación de energía eléctrica.

## **3.2 OBJETIVOS**

### **3.2.1 Objetivo General**

- Diseñar e implementar un pico generador eléctrico utilizando el recurso hídrico del sector de San Miguel de Langoa parroquia Juan Montalvo reserva Llanganantes, Provincia de Cotopaxi para mejorar el estilo de vida de los habitantes e impulsando el desarrollo del lugar antes mencionado.

### **3.2.2 Objetivos Específicos**

- Aprovechar los recursos renovables, como causes pequeños de agua que posee el Ecuador por medio de una pico central hidráulica.
- Dotar de energía propia y de bajo costo al sector de San Miguel de Langoa, Parroquia Juan Montalvo, Reserva Llanganantes.
- Conocer claramente todos los parámetros de diseño de la turbina y selección de todos los demás componentes de una pico hidro para posteriormente poderlos aplicar con todos los datos técnicos adquiridos.

## **3.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cómo dotar de servicio eléctrico al sector de San Miguel De Langoa Parroquia Juan Montalvo Reserva Llanganantes a través del sistema de pico central hidroeléctrica aprovechando el recurso hídrico del lugar?

### 3.4 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

#### 3.4.1 Medición y Determinación de los Parámetros de Diseño

Para el diseño, de este proyecto es necesario determinar los siguientes parámetros:

#### 3.4.2 Medición del caudal

Para determinar el caudal, se empleó el método de recipiente, detallándose a continuación, las siguientes mediciones: como se muestra en la tabla 3.1.

**Tabla 3.1** Mediciones de tiempo para determinar el caudal existente

Numero de mediciones	Tiempo (s)
T1	2.07
T2	2.19
T3	2.14
T4	1.84
T5	1.82

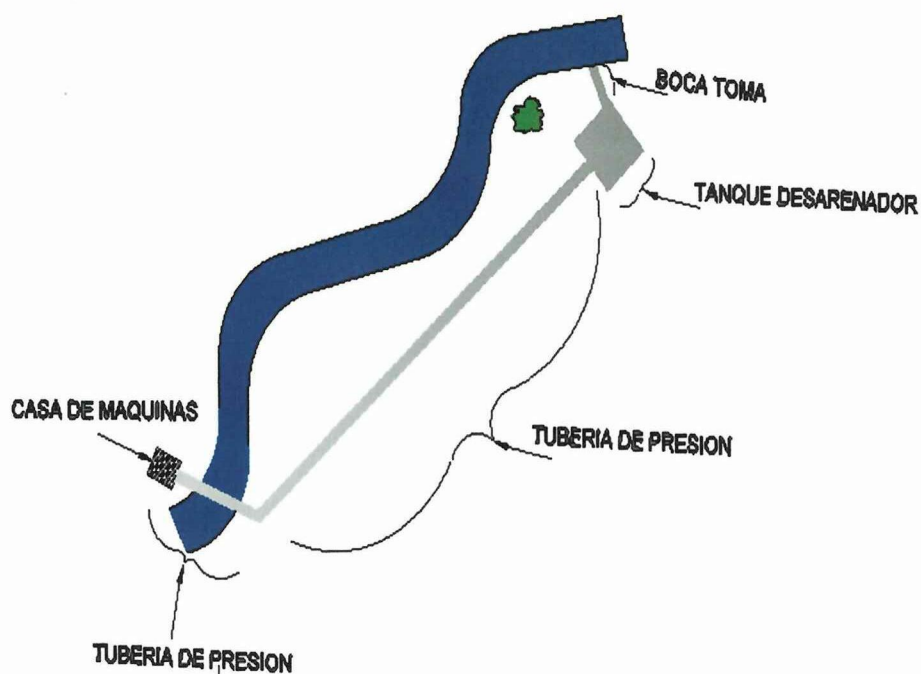
Fuente: Elaborado Fernández y Caicedo

Obtuvimos un promedio del tiempo de llenado en un recipiente de: 2.02seg. Para realizar estas mediciones se utilizó, un recipiente de 10 Litros, comprobándose que el caudal disponible es de 5L/seg, para esto, es necesario, realizar un sistema de captación de agua. Para los demás cálculos se utilizará como dato  $Q=50L/seg=0.050m^3/s$ , ya que, será el caudal empleado para el trabajo de la turbina.



### 3.4.3 Método del GPS

Figura 3. 1 Ubicación de los Puntos GPS del Proyecto



Fuente: Elaborado por Fernández y Caicedo

Con un GPS se determinó la ubicación exacta del sector, que permite establecer los datos necesarios para la determinación de la altura o salto y la longitud de las tuberías. Como se muestra detalladamente en la figura 3.1

### 3.4.4 Medición del salto o altura bruta

La altura bruta está determinada mediante los puntos de ubicación de la altitud del Tanque y el cuarto de máquinas, donde se ubicará la Turbina Michell-Banki, por ello determinó la altura bruta mediante la ecuación 1.4.

$$H_b = 3490.215088\text{m} - 3503.493408\text{m}$$

$$H_b = 13.27\text{m}$$

### 3.4.5 Cálculo de la longitud de la tubería de presión

La longitud de la tubería de presión se la determina mediante la ecuación 1.5 obteniendo como resultado:

$$L_{(\text{tub-presn})} = \frac{\sqrt{(791981.431 - 791764.392)^2 + (9898780.463 - 9898375.320)^2 + (3490.215088 - 3524.614502)^2}}{\sqrt{(217.039)^2 + (405.143)^2 + (-34.399414)^2}}$$
$$L_{(\text{tub-presn})} = 460.9013969$$
$$L_{(\text{tub-presn})} = 460.90 \text{ m}$$

### 3.4.6 Cálculo del diámetro interior de la tubería de presión

Para el cálculo del diámetro de la tubería de presión se utiliza la ecuación 1.6

$$Di = \sqrt[3]{0.0052(0.050)^3}$$
$$Di = 0.130656\text{m}$$
$$Di = 5.15\text{plg}$$

No es valor de tubería comercial y para obtener mayor presión hemos seleccionado una tubería de diámetro 4 pulgadas .

### 3.4.7 Cálculo de la Velocidad de circulación del agua en la Tubería (Alonso, 1980)

Para la velocidad de circulación del agua en la tubería se realiza la ecuación 1.9 la cual es un remplazo de la ecuación 1.7 para así obtener una velocidad adecuada.

$$V = \frac{4Q}{\pi Di^2}$$
$$V = \frac{4(0.50\text{m}^3/\text{s})}{\pi(0.130656\text{m})^2}$$
$$V = 3.73\text{m/s}$$

### 3.4.8 Cálculo de las pérdidas de Fricción en la Tubería de Presión

Para calcular las pérdidas de carga que se producen en la tubería de presión, se emplea la siguiente fórmula:

$$h_f = 0.01646 * \left( \frac{11.18m}{0.130656m} \right) * \frac{(3.73m/s)^2}{2(9.8m/s^2)}$$

$$h_f = 0.99977m$$

$$h_f \approx 1m$$

### 3.4.9 Cálculo de la altura neta

Esta es muy importante ya que mediante este cálculo sabremos cual es la altura con la que se trabajara para la generación. Para ello se emplea la ecuación 1.11

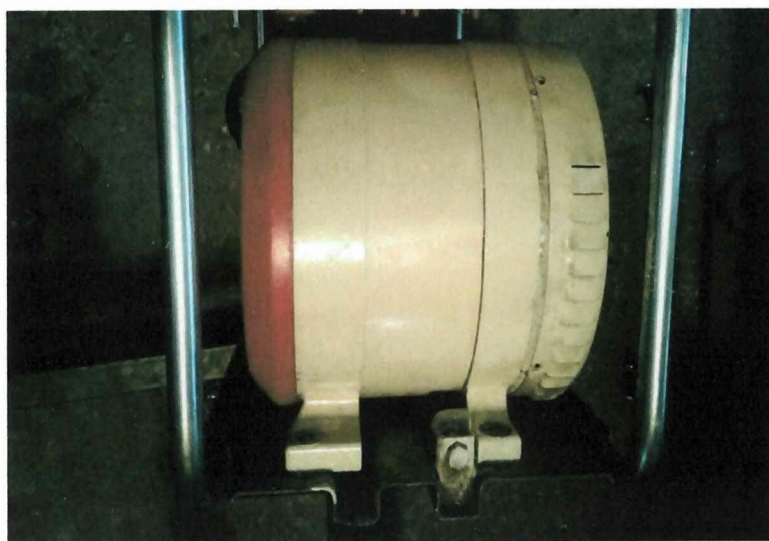
$$H_n = H_b - h_f$$

$$H_n = 13m - 1m$$

$$H_n = 12m$$

## 3.5 SELECCIÓN DEL GENERADOR

**Figura 3. 2 Generador del Proyecto**



**Fuente:** Elaborado por Fernández y Caicedo

**Figura 3. 3** Características técnicas del Generador del proyecto



**Fuente:** Elaborado por Fernández y Caicedo

Para la selección del generador es necesario, las especificaciones técnicas que se detalla a continuación:

Modelo No: HONDA E2500	Corriente: 8.3 <sup>a</sup>
Potencia: 2.5 KVA	Frecuencia: 60 Hz
RPM: 3600	Factor de Potencia: 1
Voltaje AC: 115V	Temperatura de Trabajo: 40°C

Cumpliendo con los requerimientos actuales del Sector Langoa en los páramos de la Provincia de Cotopaxi y con proyección a crecimiento energético. Por fenómenos existentes en la Turbinas que se no pueden controlar y pudieran darse en el transcurso del funcionamiento de la turbina, que disminuyan la potencia del generador, se tomará la Potencia del Generador de 2.5 KW, para cálculos de diseño, es decir, se prevé una disminución de potencia del 16.67%.

### **3.6 DISEÑO HIDRÁULICO, MECÁNICO Y ELÉCTRICO DE LA TURBINA**

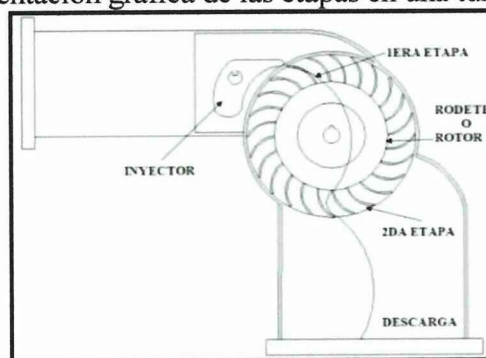
La selección determina que la turbina Michell-Banki es la correcta y apropiada, por ello a continuación se detalla los cálculos de dicha turbina:

### 3.6.1 Cálculos de la turbina michell-banki

La energía del agua que ingresa a la turbina, es transferida al rotor en dos etapas:

- 1era etapa.- entrega un 70% de la energía total transferida al rotor.
- 2da etapa.- entrega el 30% restante de la energía total. Como se muestra en la figura 3.7

**Figura 3. 4**Representación gráfica de las etapas en una turbina Michell-Banki

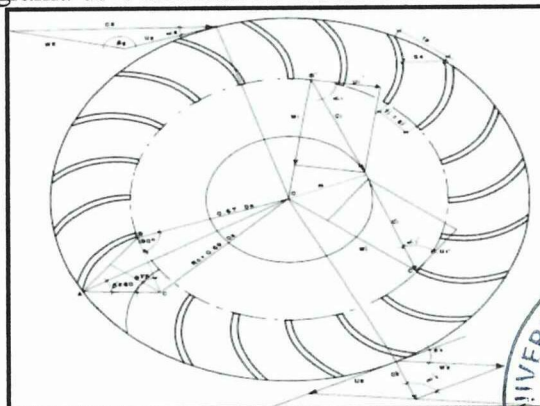


Fuente: Elaborado por Fernández y Caicedo

#### 3.6.1.1.- Resolución del triángulo de velocidades a la entrada del rotor

Para resolver el triángulo debemos utilizar la ecuación 1.17

**Figura 3. 5** Diagrama de Velocidad en el Rotor de la Turbina Michell-Banki



Fuente: Manual de Diseño y Estandarización OLADE

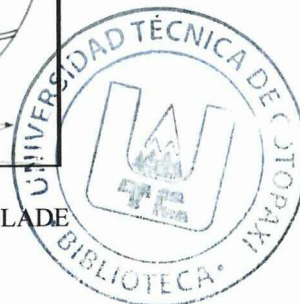
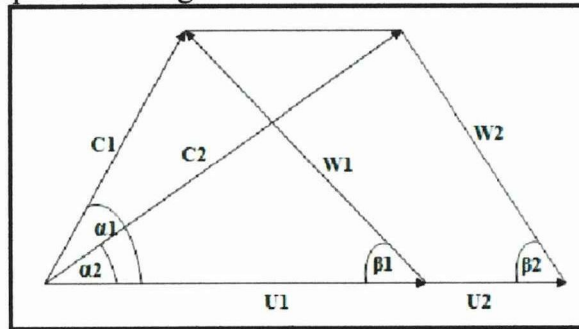


Figura 3. 6 Representación gráfica de las velocidades a la entrada del Rotor



Fuente: Elaborado por Fernández y Caicedo

Para la mediciones empíricas de la ecuación 1.18 se toma  $\beta=30^\circ$

$$n_{max} = \left(0.863 - 0.264 \frac{D}{H}\right) * 100\%$$

$$n_{max} = \left(0.863 - 0.264 \frac{0.200M}{13M}\right) * 100\%$$

$$n_{max} = 0.8589 * 100\%$$

$$n_{max} = 85,89$$

Resolviendo el triángulo de velocidades tenemos:

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned}
(\sin 30^\circ)^2 - \frac{3(\cos \alpha_1)^2 (\sin 30^\circ)^2}{4} &= (\sin \alpha_1)^2 \\
(\sin \alpha_1)^2 + \frac{3(\cos \alpha_1)^2 (\sin 30^\circ)^2}{4} &= (\sin 30^\circ)^2 \\
1 - (\cos \alpha_1)^2 + \frac{3(\cos \alpha_1)^2 (\sin 30^\circ)^2}{4} &= (\sin 30^\circ)^2 \\
\frac{3(\cos \alpha_1)^2 (\sin 30^\circ)^2}{4} - (\cos \alpha_1)^2 &= (\sin 30^\circ)^2 - 1 \\
(\cos \alpha_1)^2 \left( \frac{3(\sin 30^\circ)^2}{4} - 1 \right) &= (\sin 30^\circ)^2 - 1 \\
(\cos \alpha_1)^2 &= \frac{(\sin 30^\circ)^2 - 1}{\frac{3(\sin 30^\circ)^2}{4} - 1} \\
(\cos \alpha_1)^2 &= 0.923 \\
\cos \alpha_1 &= \sqrt{0.923}
\end{aligned}$$

### 3.6.1.2.-Cálculo de la velocidad del inyector

$Kc = [0.97 - 0.98]$ : es un valor determinado de forma experimental, para el diseño  $Kc = 0.98$ , el cual remplazamos en la ecuación 1.19.

$$C_1 = 4.429K_c\sqrt{H_n}$$

$$C_1 = 4.429(0.98)\sqrt{11m}$$

$$C_1 = 14.395 \frac{m}{s}$$

$$C_1 = 14.40 \frac{m}{s}$$

$$\triangleright U_1 = 2.214K_c\sqrt{H_n} \cos \alpha_1$$

$$U_1 = 2.214(0.98)\sqrt{11m} \cos(16.10^\circ)$$

$$U_1 = 6.91 \frac{m}{s}$$

$$\triangleright W_1 = 4.429K_c\sqrt{H_n} \frac{\sin \alpha_1}{\sin(180^\circ - B_1)}$$

$$W_1 = 4.429(0.98)\sqrt{11m} \frac{\sin 16.10^\circ}{\sin(180^\circ - 30^\circ)}$$

$$W_1 = 7.98 \frac{m}{s}$$

$$\rightarrow Cm_1 = c_1 * \sin \alpha_1$$

$$Cm_1 = \left(14.40 \frac{m}{s}\right) * \sin 16.10^\circ$$

$$Cm_1 = 3.99 \frac{m}{s}$$

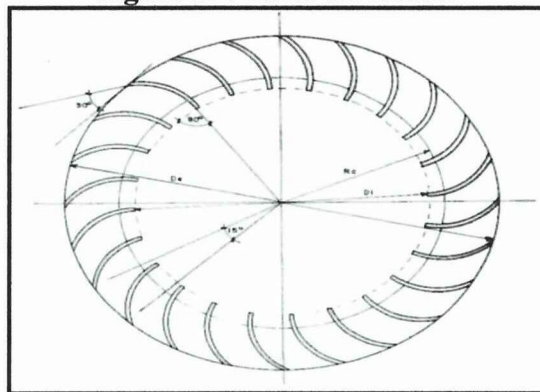
$$Cm_1 \approx 4.00 \frac{m}{s}$$

### Resumen del triángulo de velocidades

1. Velocidad Absoluta ( $C_1$ )..... 14.40m/s
2. Velocidad Relativa ( $W_1$ )..... 7.98m/s
3. Velocidad Tangencial ( $U_1$ ) ..... 6.91m/s
4. Velocidad Meridiana ( $Cm_1$ ) ..... 4.00m/s

#### 3.6.1.3.- Selección del diámetro del rotor o rodete

**Figura 3. 7 Perfil del Rodete**



**Fuente:** Manual de Diseño y Estandarización OLADE

Para ello empleamos la siguiente fórmula:  $\frac{Q}{\sqrt{H}}$

Teniendo en cuenta la siguiente tabla de estandarización:

(8avo Congreso Liberoamericano de Ingeniería Mecánica de Metodología de diseño Hidráulico y Mecánico de una Turbina Michell - Banki, 2007)

**Tabla 3.2** Selección del Rodete

$\frac{Q}{\sqrt{H}}$	Diámetro del rotor(mm)
0.02236-0.04743	200
0.04743-0.07906	300
0.07906-0.11068	400
0.07906-0.15812	500

Fuente: INE (1986)

Dividiendo tenemos:

Sel=selección

$$Sel = \frac{Q}{\sqrt{H}}$$

$$Sel = \frac{0.050 \frac{m^3}{s}}{\sqrt{11m}}$$

$$Sel = 0.0150$$

0.0150: este valor está por debajo de los valores de la tabla, ya que; el diámetro de esta máquina no depende del caudal, es por ello, que se toma el valor de 200mm (valor mínimo de la tabla de estandarización)

$$De=200mm$$

### 3.6.1.4.- Cálculo del diámetro interior del rotor

El diámetro interior del rotor se calcula con la ecuación 1.20

$$Di = 0.66De$$

$$Di = 0.66 (200mm)$$

$$Di = 132mm$$

### 3.6.1.5.- Cálculo del diámetro máximo del eje del rotor

El diámetro máximo del eje del rotor se lo calcula con la ecuación 1.21

$$de_{max} = 0.33De$$
$$de_{max} = 0.33(200mm)$$
$$de_{max} = 66mm$$

### 3.6.1.6.- Cálculo del número óptimo de revoluciones de la turbina michellbanki

Mediante la ecuación 1.22 obtenemos el número óptimo de revoluciones.

$$N = \frac{39.85\sqrt{11}}{0.200}$$
$$N = 660.84RPM$$

A este número de revoluciones también se las puede encontrar como:

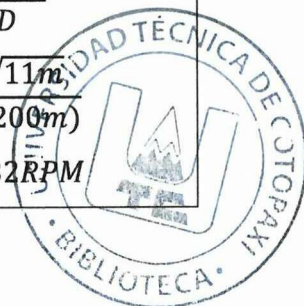
- Velocidad de giro de la turbina.
- Velocidad nominal de rotación.

Para determinar su valor, podemos emplear las siguientes dos ecuaciones, respectivamente:

Velocidad de giro de la turbina	Velocidad nominal de rotación
$N = \frac{60(U_1)}{\pi * D}$	$N = \frac{40\sqrt{H}}{D}$
$N = \frac{60(6.91m/s)}{\pi * (0.200m)}$	$N = \frac{40\sqrt{11m}}{D(0.200m)}$
$N = 659.86RPM$	$N = 663.32RPM$

Obtenemos un promedio de **N=661.6RPM**

Aproximado: **N=662RPM**



### 3.6.1.7.- Cálculo de la velocidad de embalamiento

La velocidad de embalamiento se la calcula mediante la ecuación 1.25

$$\begin{aligned}N_{emb} &= 1.8 * N \\N_{emb} &= 1.8 * (662RPM) \\N_{emb} &= 1191.6RPM\end{aligned}$$

### 3.6.1.8.- Cálculo de la potencia al freno de la turbina

Se la obtiene con la siguiente fórmula:

$$P_T = \frac{P_g}{n_g * n_{tr}}$$

Dónde:

$P_g$ : Potencia máxima que el generador entrega al sistema eléctrico.

$n_g$ : eficiencia del generador

$n_{tr}$ : eficiencia de la transmisión mecánica utilizado entre la turbina y el generador.

$P_g = 2.5KW$

$n_g = 0.90$

$n_{tr} = 0.85$

$$\begin{aligned}P_T &= \frac{P_g}{n_g * n_{tr}} \\P_T &= \frac{2.5KW}{0.90 * 0.85} \\P_T &= 3.27KW \\P_T &= 3.27KW * \frac{1000Watts}{1KW} * \frac{1CV}{735Watts} = 4.45CV\end{aligned}$$

(Olade, 1995) (Sanz, 2008)

### 3.6.1.9.- Cálculo del números específicos de revoluciones nq y ns

Para determinar Nq y Ns tomaremos a N=660.84 RPM, que es el Número Óptimo de Revoluciones de la Turbina y la ecuación 1.26 y 1.27.

$$N_q = \frac{N\sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H^3}} \qquad N_s = \frac{N\sqrt{P}}{\sqrt[4]{H^5}}$$

$$N_q = \frac{660.84\sqrt{0.050}}{\sqrt[4]{11^3}} \qquad N_s = \frac{660.84\sqrt{4.45}}{\sqrt[4]{11^5}}$$

$$N_q = 24.46PM \qquad N_s = 69.59 \text{ RPM}$$

En la siguiente tabla se muestra el rango de aplicación de las diferentes turbinas hidráulicas. En particular el rango de la Turbina Michell-Banki, está definido a limitaciones de diseño mecánico en el límite superior y eficiencia en su rango inferior. Como se muestra en la tabla 3.3.

**Tabla 3.3**Rango de aplicación de las Turbinas Hidráulicas

TIPO DE TURBINA	Nq	Ns
Pelton de 1 Tobera	Hasta 9	Hasta 30
Pelton de 2 Toberas	4-13	14-42
Pelton de 3 Toberas o más	5-22	17-73
<b>Michell-Banki</b>	<b>18-60</b>	<b>60-200</b>
Francis Lento	18-38	39-125
Francis Normal	38-68	125-225
Francis Rápida	68-135	225-450
Axiales	105-300	350-1000

Fuente: Manual de Diseño y Estandarización OLADE

Como se puede observar:

- Nq= 24.46 RPM, está en el rango de Nq=18-60 y
- Ns= 69.59 RPM, está en el rango de Ns= 60-200

Rangos pertenecientes al Rango de Aplicación de la Turbina Hidráulica

Michell-Banki, por ello, una justificación primordial para su construcción para este proyecto de tesis.

### 3.6.1.10.- Selección del Número de Alabes de la Turbina

Para ello empleamos la siguiente tabla 3.4:

**Tabla 3.4** Selección de álabes

Diámetro del rotor (D)	Numero de álabes (Z)
200	22
300	24
400	26
500	28

Fuente: INE (1986)

De acuerdo a la tabla.- NUMERO DE ÁLABES (Z)= 22 ÁLABES

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

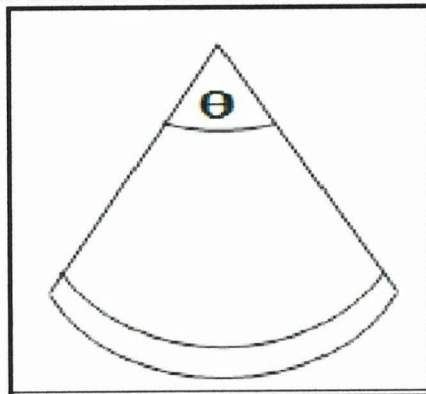
Para facilitar la construcción de los álabes, algunos fabricantes utilizan tuberías comerciales de acero al carbono. Estas al ser cortadas, forman un arco de circunferencia; para ello, la siguiente tabla muestra los diámetros de tuberías recomendados. Como se muestra en la tabla 3.5.

**Tabla 3.5** Selección del espesor de los álabes del rotor

ROTOR Diámetro (mm)	TUBERÍA		
	Diámetro (mm)	Espesor (mm)	Peso (kgf/m)
200	2.5	5.16	8.62
300	4	6.02	16.07
400	5	6.55	21.78
500	6	7.11	28.26

Fuente: INE (1986)

**Figura 3.8** Sección Transversal de un álabe del Rotor



Fuente: Elaborado por Fernández y Caicedo

Según la tabla 3.5 se determina que: **ESPESOR=5.16mm**

### 3.6.1.12.- Diámetro máximo permitido en el eje álabe directriz

**Tabla 3.6** Diámetro Máximo Permitido en el eje álabe Directriz

De(mm)	di(mm)
200	26
300	38
400	50
500	63
600	76

Fuente: INE (1986)

De acuerdo a la tabla 3.6:

El diámetro máximo permitido en el eje álabe directriz es, **di = 26mm**

### 3.6.1.13.- Arco admisión

Se lo calcula mediante la ecuación 1.28

$$X_z = \frac{Za}{Z} < 0.35$$

$$X_z: 0.05 - 0.35$$

Para el diseño se emplea:  $X_z = 0.125$  en la ecuación 1.29

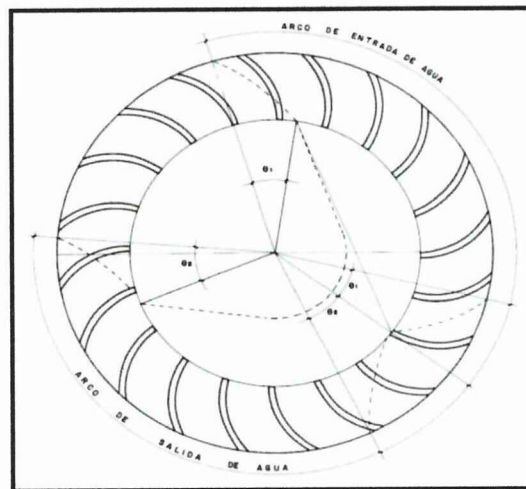
$$X_z = \frac{Za}{Z}$$

$$Za = Z * X_z$$

$$Za = (22) * 0.125$$

$$Za = 2.75$$

**Figura 3. 9** Arco de trabajo de un rodete Michell-Banki con arco de admisión 1/3



Fuente: Manual de Diseño y Estandarización OLADE

$$La = \frac{\pi D}{Z} Za + Za * e$$

$$La = \frac{\pi(0.200m)}{22} (2.75) + (2.75) * (0.00516m)$$

$$La = 0.09273m$$

$$La = 92.73mm$$

### 3.6.1.14.-Ángulo de admisión

Se reemplaza los valores en la ecuación 1.30

$$\theta_a = \frac{360^\circ}{\pi D} * La$$

$$\theta_a = \frac{360^\circ}{\pi(200mm)} * (92.73mm)$$

$$\theta_a = 53.13^\circ$$



### 3.6.1.15.-Área de admisión

$$A_a = \frac{Q}{CM_1}$$

$$A_a = \frac{Q 0.050 \frac{m^3}{s}}{4 \frac{m}{s}}$$

$$A_a = 0.0125m^2 * \frac{(1000mm)^2}{(1m)^2}$$

$$A_a = 12500mm^2$$

### 3.6.1.16.- Ancho del rotor

Para determinar su valor, se emplean las ecuaciones 1.31:

$$Br = \frac{Q}{\pi * De * C1 * \sin \alpha_1 * X_z}$$

$$Br = \frac{0.050}{\pi * 0.200 * 14.40 * \sin 16.10^\circ * 0.125}$$

$$Br = 0.15942m$$

$$Br = 159.42mm$$

$$Br = \frac{0.259 * Q}{Kc * De * \sqrt{H} * X_z}$$

$$Br = \frac{0.259 * 0.050}{0.98 * 0.200 * \sqrt{11} * 0.125}$$

$$Br = 0.15937m$$

$$Br = 159.37mm$$

$$Br = \frac{Q * z}{\pi * De * C1 * \sin \alpha_1 * Z_a}$$

$$Br = \frac{0.50 * 22}{\pi * 0.200 * 14.4 * \sin 16.10^\circ * 2.75}$$

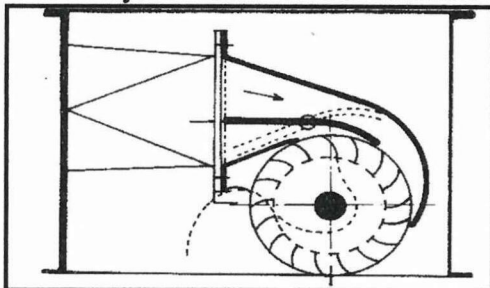
$$Br = 0.15942m$$

$$Br = 159.42mm$$

Aproximado: 159.40mm

### 3.6.1.17.- Cálculo del ancho del inyector

Figura 3. 10 Inyector de la Turbina Michell-Banki



Fuente: Manual de Diseño y Estandarización OLADE

Para el ancho del inyector encontramos algunas fórmulas que no coinciden en el resultado, tomando así la ecuación 1.32

$$Bi = \frac{360(0.050)}{(\pi(0.200) - (0.00516) * 22)(53.13^0) * (0.98) * \sqrt{2} * 9.8 * 11 * \sin 16.10^0}$$

$$Bi = \frac{18}{(0.5147985307)(53.13^0) * (0.98) * (14.68332387) * \sin 16.10^0}$$

$$Bi = \frac{18}{109.97}$$

$$Bi = 0.16368m$$

$$Bi = 163.68mm$$

Para resolver esta discrepancia de valores, entre estas fórmulas anteriores, se debe apoyar en las fórmulas del Rodete o Rotor, donde sus valores coinciden con un aproximado de centésimas y en la relación ancho del Rotor y ancho del Inyector; que consiste en lo siguiente: El ancho del Rotor se construye 20% a 40% mayor que el ancho del inyector, para ello se emplea la siguiente fórmula:

$$Br = 1.3Bi$$

$$Bi = \frac{Br}{1.3}$$

$$Bi = \frac{159.40mm}{1.3}$$

$$Bi = 122.62mm$$

Bi= 122.62mm sea el caso para la capacidad total de la turbina para el ancho total el rotor, pero, el diseño de la Turbina Michell-Banki permite que esta trabaje a los 2/3 y 1/3 de la capacidad de dicha turbina, se divide el ancho del Rotor, quedando dos partes. La relación entre estas partes es que la una es el doble de la otra, quedando de la siguiente forma:

- Ancho del 1/3 de la capacidad de la turbina:

$$Br_{\left(\frac{1}{3}\right)} = \frac{Br}{3}$$

$$Br_{\left(\frac{1}{3}\right)} = \frac{159.40mm}{3}$$

$$Br_{\left(\frac{1}{3}\right)} = 53.13mm$$

- Ancho del 2/3 de la capacidad de la turbina:

$$Br_{\left(\frac{2}{3}\right)} = 2 * Br_{\left(\frac{1}{3}\right)}$$

$$Br_{\left(\frac{2}{3}\right)} = 2 * \frac{159.40mm}{3}$$

$$Br_{\left(\frac{2}{3}\right)} = 106.27mm$$

Con estos datos, se calcula el ancho de los inyectores para la turbina, para la 1/3 de la capacidad y 2/3 de la capacidad de la turbina.

Inyector 1/3 de la capacidad

$$Bi_{\left(\frac{1}{3}\right)} = \frac{53.13mm}{1.3}$$

$$Bi_{\left(\frac{1}{3}\right)} = 40.87mm$$

$$Bi_{\left(\frac{1}{3}\right)} = \frac{53.13mm}{1.3}$$

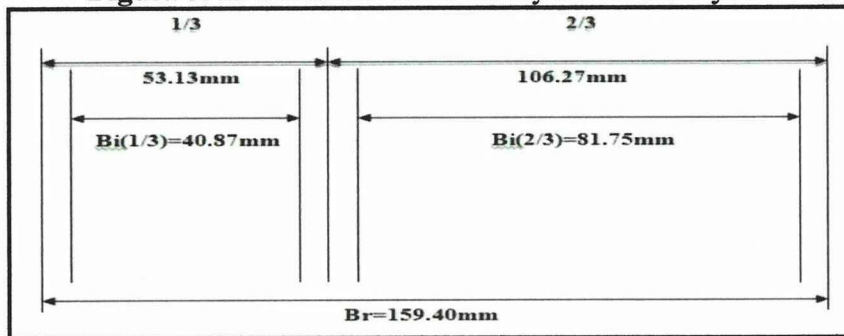
Inyector 2/3 de la capacidad

$$Bi_{\left(\frac{2}{3}\right)} = \frac{Br_{\left(\frac{2}{3}\right)}}{1.3}$$

$$Bi_{\left(\frac{2}{3}\right)} = \frac{106.27mm}{1.3}$$

$$Bi_{\left(\frac{2}{3}\right)} = 81.75mm$$

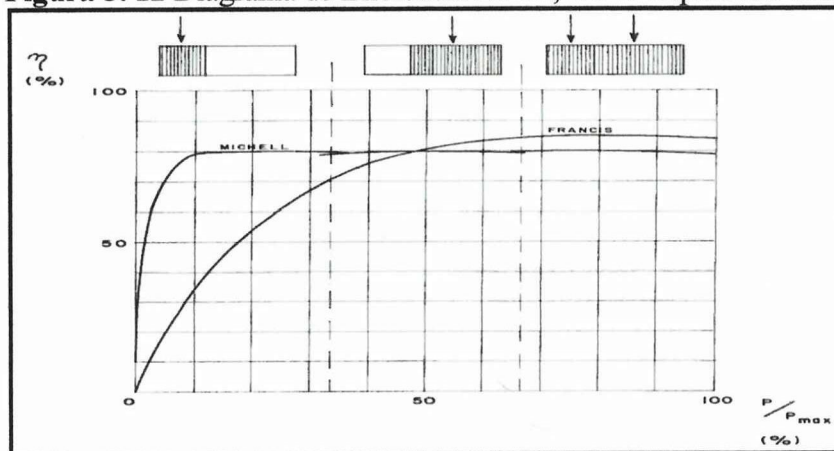
**Figura 3. 11 Dimensiones de los inyectores a 1/3 y 2/3**



Fuente: Elaborado por Fernández y Caicedo

Esta es una de las características principales de la Turbina Michell-Banki, que le permite funcionar, ya sea, a un 1/3, 2/3 o a capacidad total, sin bajar en su eficiencia como Turbina Hidráulica, como se puede observar en la siguiente figura

**Figura 3. 12 Diagrama de Eficiencia Al 1/3, 2/3 O Capacidad Total**



Fuente: Manual de Diseño y Estandarización OLADE

### 3.6.1.18.- Razón de aspecto

Para obtener esta relación se toma en cuenta la ecuación 1.33

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

$$R = \frac{159.40\text{mm}}{200\text{mm}}$$

$$R = 0.797$$

### 3.6.1.19.- Cálculo del paso entre álabes de la turbina

Para calcular el peso del alabe de la turbina se lo realiza con la ecuación 1.34

$$P_z = \frac{\pi D}{Z}$$
$$P_z = \frac{\pi(200\text{mm})}{22}$$
$$P_z = 28.56\text{mm}$$

### 3.6.1.20.- Número de álabes de la turbina que reciben el flujo de agua

Mediante la ecuación 1.35 se logra determinar el número de alabes de la turbina en los que va a chocar el flujo de agua.

$$Zf = \frac{53.13^0}{360^0} * (22)$$
$$Zf = 3.25 \text{ álabes}$$

Teniendo en cuenta que el valor no es un numero entero en el diseño de la turbina se optó por hacer chocar en 4 alabes.

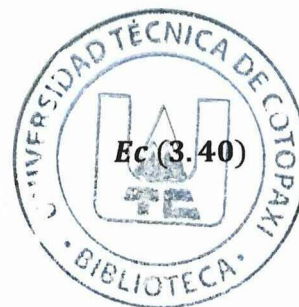
### 3.6.1.21.- Caudal que ingresa a un álabe de la turbina.

El caudal del alabe está calculado mediante la ecuación 1.36

$$Q_a = \frac{Q_{max}}{Zf}$$
$$Q_a = \frac{0.050\text{m}^3/\text{s}}{3.25}$$
$$Q_a = 15.38 * 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

### 3.6.1.22.- Potencia

$$P = \gamma * Q * H * n$$



Dónde:

$P$ =Potencia (watt)

$\gamma$  =9800 (Peso específico del agua Kg/m<sup>3</sup>)

$Q$ =0.050 (Caudal m<sup>3</sup>/s)

$H$ =11 (Alturas m)

$n$ = 0.60 (Eficiencia de la turbina)

$$P = 9800 * 0.050 * 11 * 0.6$$

$$P = 3234 W$$

$$P = 3.234 KW$$

Tomando como supuesto que la eficiencia de la turbina fuera de 100%; es decir igual a 1.0, la potencia la turbina sería:

$$P = 9800 * 0.050 * 11 * 1.0$$

$$P = 5390 W$$

$$P = 5.39 KW$$

Basándose en la eficiencia de la turbinas a carga parcial, la turbina Michell-Banki alcanza una eficiencia o rendimiento máximo del 85.82%, así que se tendría una potencia igual a:

$$P = 9800 * 0.050 * 11 * 0.8582$$

$$P = 4626 W$$

$$P = 4.63 KW$$

Es decir la potencia de dicha turbina cubre con las necesidades actuales, y tiene una proyección a crecimiento energético del sector.

### **3.6.1.23.- Determinación de la ecuación de la curva que presenta la voluta**

Para determinarlo se utilizaron las ecuaciones 1.37, 1.38, 1.39.

$$R = \frac{D}{2}$$

$$R = \frac{200\text{mm}}{2}$$

$$R = 100\text{mm} = 0.100\text{m}$$

$$\bullet \quad C = 2.3n_h \frac{D\sqrt{H}}{Kc}$$

$n_h = \text{rendimiento hidraulico}$

$$n_h = 0.6$$

$$C = 2.3n_h \frac{D\sqrt{H}}{Kc}$$

$$C = 2.3(0.60) \frac{(0.200)\sqrt{11}}{0.98}$$

$$C = 0.934$$

- $\theta_a = 53.13^\circ$
- $B = 159.40\text{mm} = 0.15940\text{m}$
- $Q = 0.050\text{m}^3/\text{s}$

Reemplazando, datos en la ecuación de la espiral:

$$\tau_\theta = R * e^{\left(\frac{1-\frac{\theta}{\theta_a}}{BC}\right)} * Q$$

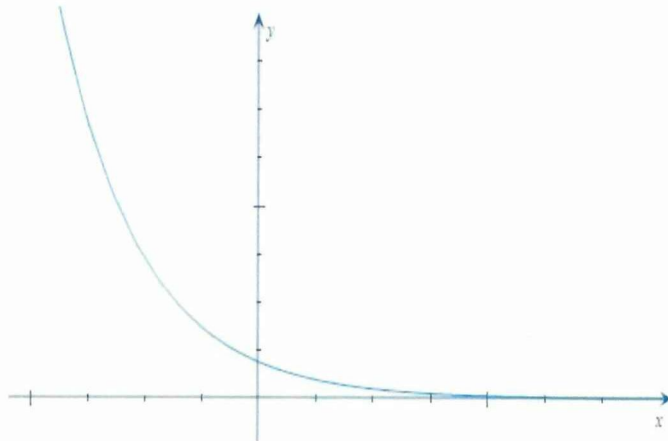
$$\tau_\theta = 0.1 * e^{\left(\frac{1-\frac{53.13}{53.13}}{0.15940*0.934}\right)} * 0.050$$

$$\tau_\theta = 0.1 * e^{\left(\frac{1-\frac{53.13}{53.13}}{53.13}\right)} * 0.3358 \quad (\text{m})$$

$$\tau_\theta = 100 * e^{\left(1 - \frac{\theta}{53.13}\right)} * 0.3358(\text{mm})$$

$$\tau_\theta = y\theta = x$$

**Figura 3. 13** Representación de la curva que presenta la voluta



Fuente: Elaborado por Fernández y Caicedo

### 3.6.1.24.- Peso de un álabe de la turbina

El peso de un alabe de la turbina se lo calcula con la ecuación 1.41

**Tabla 3.7** Peso de un álabe

ROTOR	TUBERÍA		
Diámetro (mm)	Diámetro (mm)	Espesor (mm)	Peso (kgf/m)
200	2.5	5.16	8.62
300	4	6.02	16.07
400	5	6.55	21.78
500	6	7.11	28.26

Fuente: INE (1986)

Según la tabla 3.7:  $P_u = 8.62 \text{ Kg/m}$

$L = 92.73 \text{ mm} = 0.09273 \text{ m}$

$$P_a = P_u * L$$

$$P_a = 8.62 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}} * (0.09273 \text{ m})$$

$$P_a = 0.79933 \text{ Kgf}$$

$$P_a \approx 0.80 \text{ Kgf}$$

### 3.6.1.25.- Fuerza hidráulica sobre un álabe (fhr) de la turbina

**Tabla 3.8** Ángulos característicos del Alabe

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: INE (1986)

Para el diseño, según los datos de la tabla 3.8, tenemos y remplazándolos en las ecuaciones 1.42 y 1.43 tenemos:

$$\Phi = 15.5^\circ$$

$$\theta = 74.5^\circ$$

Componente en x:

$$Fhx = 429.38 * Qa * \sqrt{Hmax} * (\cos 16^\circ - \sin \Phi)$$

$$Fhx = 429.38 * (15.38 * 10^{-3}) * \sqrt{12} * (\cos 16^\circ - \sin 15.5^\circ)$$

$$Fhx = 15.8767 \text{Kgf}$$

Componente en y:

$$Fhy = 429.38 * Qa * \sqrt{Hmax} * (\sin 16^\circ + \cos \Phi)$$

$$Fhy = 429.38 * (15.38 * 10^{-3}) * \sqrt{12} * (\sin 16^\circ + \cos 15.5^\circ)$$

$$Fhy = 28.35 \text{Kgf}$$

Fuerza hidráulica resultante:

$$Fhr = \sqrt{Fhx^2 + Fhy^2}$$

$$Fhr = \sqrt{15.8767^2 + 28.35^2} \text{Kgf}$$

$$Fhr = 32.49 \text{Kgf}$$

### 3.6.1.26.- Fuerza centrífuga sobre el álabe de la turbina

$$F_c = 0.895 \frac{Pa * H_{max}}{De}$$

Dónde:

Pa: 0.80Kgf

Hmax=11m

De=0.200m

$$F_c = 0.895 \frac{(0.80) * (12)}{0.20}$$
$$F_c = 39.38Kgf$$

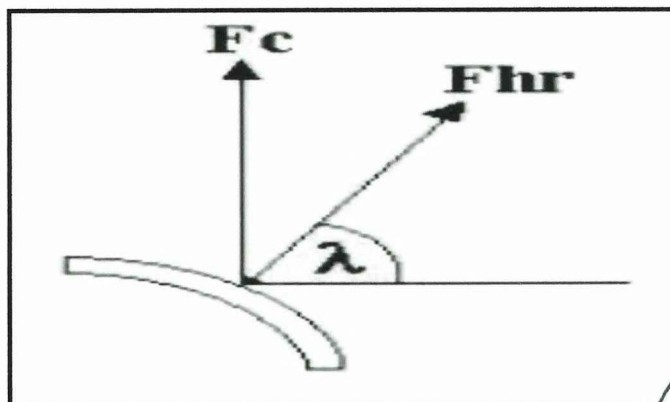
### 3.6.1.27 Fuerza total sobre el álabe de la turbina

$$R_x = F_{hr} * \cos\lambda$$

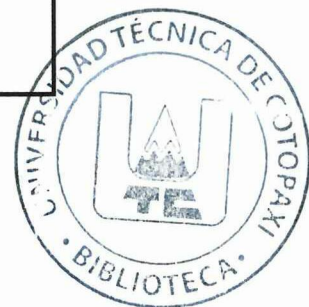
$$R_x = F_{hr} * \sin\lambda + F_c$$

$$R_T = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

Figura 3.14 Composición de fuerzas sobre el álabe



Fuente: 8<sup>vo</sup> Congreso Iberoamericano de Mecánica



### 3.6.1.28 Ángulo entre la fuerza hidráulica sobre el álabe de la turbina y el eje

**Tabla 3.9** Ángulos entre la fuerza hidráulica sobre el álabe y el eje x

Diámetro del rotor(mm)	(°)
200	29.75
300	32.02
400	30.50
500	29.90

Fuente: INE (1986)

Según la tabla 3.9  $\lambda=29.75^\circ$

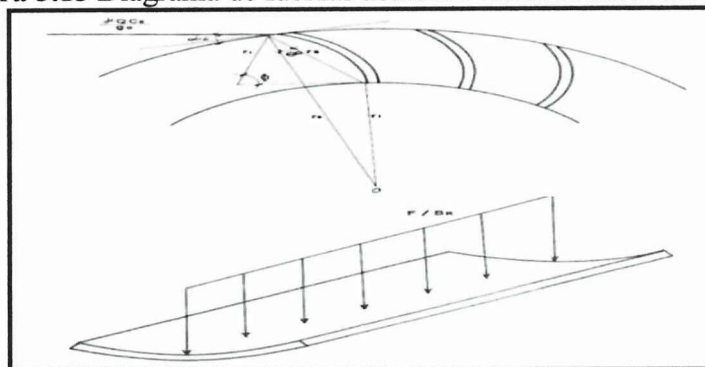
Componente en x de la Fuerza Total sobre el álabe

$$\begin{aligned}R_x &= Fhr * \cos\lambda \\R_x &= (31.11Kgf) * \cos 29.75^\circ \\R_x &= 27Kgf\end{aligned}$$

Componente en y de la Fuerza Total sobre el álabe

$$\begin{aligned}R_y &= Fhr * \sin\lambda + Fc \\R_y &= (31.11Kgf) * \sin(29.75^\circ) + (39.38Kgf) \\R_y &= 54.82Kgf\end{aligned}$$

**Figura 3.15** Diagrama de fuerzas actuando sobre el álabe del rodete



Fuente: Manual de Diseño y Estandarización OLADE

Fuerza Total sobre el álabe

$$R_T = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$
$$R_T = \sqrt{(27)^2 + (54.82)^2} \text{Kgf}$$
$$R_T = 61.11 \text{Kgf}$$

### 3.6.1.29.- Momento flector máximo sobre el álabe de la turbina

$$M = \frac{R_T * Brc}{12}$$
$$M = \frac{(61.11) * (21.278)}{12}$$
$$M = 108.36 \text{Kgf} * \text{cm}$$

Dónde:

Brc=Ancho del rotor (cm)

Brc=212.78mm=21.278cm

R<sub>T</sub>= Fuerza total sobre el álabe

RT=61.11kgf

### 3.6.1.30.- Factor de corrección del esfuerzo máximo en el álabe de la turbina

Tabla 3. 10Factor de corrección del esfuerzo máximo en el álabe

Diámetro del rotor (mm)	E(1/cm <sup>3</sup> )
200	510.88
300	250.32
400	162.92
500	111.91

Fuente: INE (1986)

### 3.6.1.31.- Esfuerzo máximo en el álabe de la turbina

$$\sigma = E * M$$

Dónde:

E=Factor de corrección del esfuerzo máximo en el álabe

M=Momento flector máximo sobre el álabe

$$\sigma = E * M$$

$$\sigma = \left(51.88 \frac{1}{\text{cm}^3}\right) * 108.36 \text{Kgf} * \text{cm}$$

$$\sigma = 55358.96 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}$$

### 3.6.2. Transmisiones por bandas en v

1. La polea, con una o varias ranuras circunferenciales donde se apoyan las bandas, se llama polea acanalada.
2. El tamaño de una polea se indica con su diámetro de paso, que es un poco menor que su diámetro exterior.
3. La reacción de velocidades de las poleas motriz y conducida es inversamente proporcional a la relación de los diámetros de paso. Esto es consecuencia de la observación de allí no existe deslizamiento (bajo cargas normales). Así, la velocidad lineal de paso en ambas poleas es igual a la velocidad de banda ( $v_b$ ).

$$V_b = R_1 W_1 = R_2 W_2$$

$$\text{Pero } R_1 = \frac{D_1}{2} \text{ y } R_2 = \frac{D_2}{2}$$

$$V_b = \frac{D_1 W_1}{2} = \frac{D_2 W_2}{2}$$

Por ello la relación de velocidades angulares queda determinada por la siguiente relación:

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{D_1}{D_2}$$

4. Las relaciones entre la longitud y el paso  $L$ , la distancia entre centros  $C$  y los diámetros de las poleas son:

$$L = 2C + 1.57(D_2 + D_1) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4C}$$

$$C = \frac{B + \sqrt{B^2 - 32(D_2 - D_1)^2}}{16}$$

$$\text{Donde } B = 4L - 6.28(D_2 + D_1)$$

5. El ángulo de contacto de la banda en cada polea es:

$$\theta_1 = 180^\circ + 2\text{sen}^{-1} \left[ \frac{D_2 - D_1}{2C} \right]$$

$$\theta_2 = 180^\circ + 2\text{sen}^{-1} \left[ \frac{D_2 - D_1}{2C} \right]$$

Esos ángulos son importantes porque la capacidad de las bandas comerciales se evalúa con un ángulo de contacto, supuesto, de  $180^\circ$ . Eso solo sucede si la relación de dos poleas siempre será menor que  $180^\circ$ , y baja su capacidad de transmisión de potencia.

6. La longitud del espacio libre entre las dos poleas, dentro del cual la banda no está soportada, es:

$$S = \sqrt{C^2 - \left[ \frac{D_2 - D_1}{2} \right]^2}$$

Esto tiene importancia por dos razones: Puede comprobar la tensión correcta de la banda al medir la fuerza necesaria para desviar la banda una cantidad determinada a la mitad del espacio libre. También, la tendencia de la banda a vibrar o a chicotear dependerá de esta longitud.

7. Los contribuyentes al esfuerzo en la banda son:
- La fuerza de tensión en la banda, máxima en su lado tenso.
  - La flexión de la banda en torno a las poleas, máxima en el lado tenso de la banda en torno a la polea menor.
  - Las fuerzas centrífugas producidas cuando la banda se mueve alrededor las poleas.

El esfuerzo total máximo se presenta donde la banda entra a la polea menor, y donde el esfuerzo de flexión es parte mayor. Por lo expuesto anteriormente, existen diámetros de poleas más o menos recomendados para las bandas normales. El uso de poleas menores reduce en forma drástica la duración de las bandas.

8. El valor de diseño de la relación de tensión en el lado a la tensión en el lado flojo es 5.0 para transmisiones con bandas V. el valor real puede ser tan alto como 10.0.

### 3.6.2.1 Pasos para el cálculo de bandas

1. Calcule la potencia de diseño
2. Seleccione la sección de la banda
3. Calcule la relación de velocidades nominales
4. Calcule el tamaño de la polea motriz
5. Seleccione tamaños tentativos de la polea de entrada y calcule el tamaño adecuado de la polea de salida
6. Determine la potencia nominal a partir de las figuras anteriores, según sea de 3V, 5V o 8V.
7. Especifique una distancia entre centros tentativa
8. Calcule la longitud de la banda necesaria
9. Calcule el ángulo de contacto de la banda en la polea menor
10. Determine los factores de corrección
11. Calcule la potencia nominal corregida por la banda y la cantidad de bandas necesarias para manejar la potencia de diseño.



### 3.7 PICO CENTRAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

#### 3.7.1 Construcción de la turbina

**Tabla 3.11** Composición de las aleaciones usadas corrientemente en las turbinas hidráulicas

MATERIAL	C%	Mn%	Si%	Cr%	Ni%
ACERO AL 13% Cr	0.10	0.5	0.4	12.5	0.9
ACERO AL 18% Cr, 8% Ni	0.07	0.5	1.0	18.0	9.0
ACERO AL 2% Ni	0.24	0.7	0.3	0.2	0.2
ACERO AL 1.5% Mn	0.24	1.6	0.3	0.2	0.4
BRONCE AL ALUMINIO	Al10.0	Fe8.0	Mn5.0	Ni2.0	Cu Diferencia

Fuente: Manual de diseño y estandarización OLADE

**Tabla 3.12** Propiedades mecánicas de las aleaciones usadas en turbinas hidráulicas

MATERIAL	ESFUERZO DE FRECUENCIAS Kg/mm <sup>2</sup>	ESFUERZO DE TENSION Kg/mm <sup>2</sup>	MINIMA ELONGACIÓN Lx5d %	MÍNIMA RESISTENCIA DE IMPACTO Kg/cm <sup>2</sup>	DUREZA BRINELL Kg/mm <sup>2</sup>	LIMITE DE FATIGA Kg/mm <sup>2</sup>
ACERO AL 13% Cr	45	65-75	15	4	190-30	30
ACERO AL 18% Cr, 8% Ni	15	40-50	30	18	130-170	13
ACERO AL 2% Ni	35	55-65	18	6	155-195	22
ACERO AL 1.5% Mn	34	50-60	22	6	140-180	18
BRONCE AL ALUMINIO	30	60-70	7	1	190-230	15

Fuente: Manual de diseño y estandarización OLADE

#### 3.7.2 Construcción de los álabes

Este proceso es realizado en las 3 chapas que se requiere en el corte de los álabes

se utilizó un tubo de acero al carbono el mismo que tiene un espesor de 5.1mm característica técnica requerida en la construcción.

Por ser tubería de acero se cortó con discos de corte y se lo refrentó a la medida que se requiere, luego refrentado en la máquina de herramienta fresadora también se instaló un disco de corte y se procede a cortarlos a un ancho 40mm se ha cortado 44 álabes, 22 álabes de 106mm de largo y 22 álabes de 53mm de largo, los álabes de 53mm dando la pauta de que la turbina es bipartida.

Los álabes de ancho de 40mm se los rectificó para tener todos, la misma medida con una fresa frontal y 150RPM, se procedió a rectificarlos. Como se muestra en el Anexo 1, 2,3.

### **3.7.3 Construcción del eje del rodete**

En su parte central se realizó una perforación de 30mm esta medida tiene una tolerancia de  $\pm 0.1$  con este ajuste el eje central será ubicado con cierto grado de presión. Como se muestra en el Anexo 4,5.

### **3.7.4 Soldado de los discos en el rodete**

Para el ensamblaje de la turbina se soldó una de las chapas en el eje central a una medida 70mm se soldó con E 6011 y se comprueba su rectitud después de comprobarla se procede a soldar con E 7018 y se rectifica la suelda y también se procede al refrentado de la chapa para dejar la tolerancia de  $\pm 0.1$ . Soldada la primera chapa se suelda la segunda chapa a una longitud de 53mm se realiza el mismo procedimiento de la anterior chapa.

Para posicionar la tercera chapa se suelda por afuera con E 7018, rectifica la suelda y se refrenta la chapa (refrentar: proceso que se realiza en el torno mismo que consiste en dejar una cara a las caras del objeto o pieza a trabajar sin excentricidad). Como se muestra en el Anexo 6.

### **3.7.5 Instalación de la turbina dentro de la carcasa**

Instalada la turbina dentro de la carcasa se comprueba su movimiento interno, comprobando así el giro interior, teniendo como resultado un giro totalmente libre sin excentricidad sin remordimientos.

Colocada la turbina en la parte interna de la carcasa se realiza el condicionamiento de la pared superior la misma que es construida en plancha de acero galvanizado en 3mm esta pared superior permite que el agua que ingresa la turbina tenga el mayor ángulo de rozamiento contra la turbina y sea eficiente en el trabajo este se lo considera con una álabe directo. Tiene la forma de dos semi-círculos por su complejidad de curva se la realizo en dos secciones.

Y para su acondicionamiento total se la soldó en el interior de la carcasa el soldado realizó con E 6011. Como se muestra en el anexo 7

### **3.7.6 Soldadura de los álabes al rotor**

Luego de soldada las chapas en el eje central de la turbina las tres chapas son divididas en 22 partes con un ángulo de 16°, estos grados es el ángulo apropiado para que golpee en el agua en los álabes y dan movimiento a la turbina. Cada uno de los álabes fue puesto a 28.2mm y con el ángulo antes mencionado el posicionamiento inicial se lo hizo con E 6011 y verificándolos el soldeo final se lo realizo con E 7018. Este proceso se lo realizó con los 44 álabes y soldando arriba y abajo cada uno de los mismos.

Al final del soldeo se verifica que la dilatación lineal no haya afectado a la turbina la afectación si existiera fuera en la deformación total de la turbina por su exceso de calor en la misma. Como se muestra en el Anexo 8,9.

Para que no exista un desbalanceo total en la turbina se procedió a cilindrar la turbina.

Luego de cilindrada la turbina se observó visualmente con un palpador su cilindridad o redondez teniendo un rango de 001 de centésima de pulgada.

El eje central tiene un largo total de 405mm en uno de sus extremos se torneo a una medida de 25.4mm con un largo de 105mm para darle ajuste a la polea de aluminio la misma será la polea motriz. En este mismo cilindrado se freso un chavatero de 6mm por un largo de 80mm y una profundidad de 35mm se construyó la chaveta en acero de 705.

### **3.7.7 Construcción de la base de la turbina**

Base del generador. Esta base también es construida en ángulo de 2''x1/4 esta base está ubicada en la parte de atrás de la carcasa de la turbina su diseño se basa en las medidas del generador.

Dicha base esta soldada con E 7018 y tiene perforaciones corredizas las mismas que servirán para temblar las bandas de la polea motriz hacia la conducida. Las perforaciones corredizas están ubicadas en el lado izquierdo inferior. Para sujetarla generador se construyó una base en forma de U la misma que esta empennada al frente del generador el material usado fue platina de 1x1/4 y de 2x1/4 en la parte inferior de la U se realizará también dos perforaciones las cuales sirven para el recorrido del generador de la banda.

La elección del material se hizo de acuerdo a las especificaciones requeridas, es así que para la base se eligió ángulos de 2''X1/4.

Para la construcción se determinaron medidas como 825mm de largo y de ancho 315mm de ancho.

Para cortar las esquinas del material se realizó cortes de 45°, los mismos que por sus características presentan mayor resistencia para la deformación o fatiga de material con las medidas deseadas y verificados se procedió a soldar la base de la

estructura con electrodo E 7018, soldado la estructura se procedió a pulir y volver a verificar las medidas requeridas.

Luego la base principal se procedió a construir la voluta de la turbina la misma que alberga a la turbina para su construcción se eligió una plancha ST 37 de 4mm se cortó con plasma, la medida requerida 600mm x 220mm; se pulen sus costados. El barolado es el mecanizado de la plancha para darle su forma semi-cónica, teniendo la forma deseada se pone sobre la base y se la ubica con E 6011. Ubicada se la suelda con E 7018.

### **3.7.8 Esmerilado de las partes externas de la carcasa**

En la parte interna de la carcasa se la refuerza con ángulo de 2''x1/4 haciendo cortes sucesivos y dando la forma interna realizado los cortes en el ángulo se suelda con E 7018 y se pule las sueldas la cara lateral derecha es toralmente fija esta cara tiene un espesor de 6mm y es soldada a toda la estructura su soldeo se realizó con E 7018.

Para poder dar mantenimiento a la turbina se procedió a tener la cara lateral izquierda removible la misma tiene un espesor de 6mm su fijación o posicionamiento se realizó con 8 pernos 3/8 NCx1''.

El ingreso de la turbina se realizó sin inconvenientes ya que tiene un buen rango de tolerancia en todos sus accesos en las dos caras de la carcasa se ubicaron dos chumaceras de pared las chumaceras son de 1 ¼ de diámetro interior las mismas que permiten que el eje de la turbina gire libremente para centrarles en las tapas se puso el eje y se realizó las perforaciones en sus costado las perforaciones son de 12mm para poner pernos de 12mm x 1 ¼ de largo con tuercas de presión.

Para construir la turbina se utilizó chapas de acero galvanizado las mismas que tienen un espesor de 6mm el proceso de trabajo para cortar las chapas de 200mm se las cortaron con una tolerancia de 205mm. Luego del corte se procedió a su

mecanización la misma que se realizó en el torno para dejarlos a la medida requerida es 200mm.

### **3.7.9 Perfil inyector**

El perfil inyector se construyó en dos secciones un eje de 20mm diámetro el mismo que abarca toda la carcasa a lo ancho. Para el eje se construye un tubo, el mismo que está sujeto al eje central, en el tubo se realizó dos perforaciones de  $\frac{1}{4}$  para prisioneros. En el tubo se soldó una placa de 3mm que sirve de inyector tiene un movimiento de arriba hacia abajo y viceversa. Para que el inyector no exceda su bajada se construyó un tope fijo el mismo que está sujeta y soldada a la carcasa en su parte interna.

El mecanismo para dar movimiento el inyector se realizó en tres secciones. La primera sección es una platina que esta soldada al eje principal encima de la platina esta la segunda sección que es una platina en forma de U que esta perforada en parte superior tiene una perforación de 6mm la misma que permite pasar un perno de lado la tercera sección es un bocín que tiene tres perforaciones una pasante para el perno de 4mm que está sujeta a la U en el mismo eje tiene una perforación de 4mm para el prisionero de  $\frac{1}{4}$  NC y en su parte superior una perforación para que encaje en el cuello loco del perno.

Este perno tiene una palanca en su parte superior el mismo que permite dar el giro tanto a la derecha como izquierda y permite regular la cantidad de agua en la turbina cabe recalcar que por cada giro del perno el inyector sube y baja 3mm.

### **3.7.10 Armado de carcasa**

La parte frontal de la turbina está construida por un tubo que tiene forma trapezoidal en su entrada la misma que es construida para que tenga una mayor eficiencia de trabajo, como objetivo dar mayor presión al agua a su entrada y

mover la turbina con facilidad, este tramo esta soldado con E 7018 la tubería tiene un diámetro de 4''x4mm sin costura y de alta presión.

También se soldó un tubo de 500mm de largo de 4'' con un ángulo de 6° el cual permitirá que la tubería exterior sea más fácil de poner para la entrada de agua el tubo también se soldó al contorno de E 6078.

En el extremo de la tubería de 4'' se torneo una placa de 4mm ST 37 la misma que sirve de brida sujetadora con otro acople que también tiene otra placa estas dos placas van sujetas con 8 pernos el cual permitirá el anclaje o sujeción definitivamente de ambas tuberías.

### **3.7.11 Generador y sus características**

Por precauciones se construyó una cubierta para el generador, la cubierta está hecho en una placa de 25 mm de acuerdo a las medidas del generador para el anclaje del generador es uno de sus extremos se puso dos platinas de 70mm x 3mm con perforación la misma que está sujeta a la base del generador. En la parte posterior se realizó un agujero para sacar los cables del generador.

La tornillera usado fue la siguiente en sus diferentes diámetros y largos, ocho pernos para las chumaceras de 12mm x 1 ½ NC tuerca de presión.

Diez pernos de presión 7/16 x ¾ NC para la tapa frontal izquierda y la base del generador.

Dos pernos de ¼ x1'' para carcasa del generador.

Un perno de ½ x 4'' para mecanismo de inyector.

La polea del generador es de 50mm doble canal en este caso es la polea conducida.

### **3.7.12 Poleas y bandas de la turbina**

También se construyó un eje cónico de diámetro 19mm en el material acero de transmisión, este eje permite la tracción de la polea conducida, el cono del eje es 4°.

Para que no exista descentramiento en el eje conducido se adquirió una chumacera al frente del generador. Las dos poleas motriz y conducida serán alineadas por medio de escuadra y así verifican que las bandas estén completamente rectas para que al momento del funcionamiento sea totalmente horizontal.

La polea motriz tiene un diámetro de 200mm y doble canal en su interior se torneó para eje de 30mm (1 ¼) y también se construyó un chavetero interno de 6mm x 4mm, lo cual, sirve para la fijación al eje central de la turbina.

## 3.8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 3.8.1 Conclusiones

- El presente proyecto de tesis se logró implementar el sistema pico-central para la generación de energía eléctrica a través del movimiento del agua, en la cual se utilizó una turbina Pelton la cual fue diseñada y construida de acuerdo a los cálculos para turbinas Michell-Banki, permitiendo dotar de energía eléctrica a la hacienda.
- La turbina Michell-Banki fue la que se ajustó a los datos técnicos y características del lugar, la importancia de utilizar este tipo de turbina se debe a la eficiencia que la misma posee.
- Los sistemas hidroeléctricos a pequeña escala es una tecnología sencilla, por lo que no se prevén dificultades en la operación y mantenimiento del sistema picocentral en la Hacienda Ecológica Baños.
- Estos tipos de proyectos tienen una buena aceptación en las zonas rurales y especialmente en sectores alejados de la ciudad, donde es muy difícil que llegue el sistema nacional interconectado, esta tecnología es una alternativa para que los habitantes del sector gocen de un servicio básico, como es la energía eléctrica.
- El caudal se lo controlará mediante el inyector para así obtener a la entrada adecuada a la turbina cuando aumente o disminuya el caudal del río.

### **3.8.2 Recomendaciones**

Se recomienda:

- Realizar una limpieza diaria o semanal del desarenador y tanque de presión para evitar que se acumulen sedimentos que pueden dificultar el ingreso de agua hacia la turbina.
  
- Regular el caudal con los inyectores, no con las válvulas instaladas en el sistema pico-central.
  
- Tener cuidado en la apertura y cierre de los inyectores y de las válvulas instaladas en el sistema, debe realizarse en forma lenta para evitar el golpe de ariete.
  
- Revisar el estado de la carcasa de la turbina ya que la misma va estar en contacto diario con el agua, con el propósito de prevenir que exista corrosión del material de la carcasa.

## 4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### 4.1 Citadas

- **Balairon, Luis. 2012.** *Gestión de Recursos Hidricos.* s.l. : Ediciones PUS, 2012. Primera edición.
- **Briseño, Eduardo. 2008.** *Manual de la Capacitación en la operación y mantenimiento de pequeñas centrales hidráulicas.* Primera Edición. Perú : Forma e Imagen de Billy, 2008. Primera Edición.
- **Corominas, Joaquín. 2010.** *La Ruta de la Energía.* Barcelona : Anthropos, 2010. Cuarta colección.
- **Coz, Federico. 2013.** *Manual de mini y microcentrales hidráulicas.* Lima : ITDG, 2013. Primera Impresión.
- **Davila C. & Otros. 2010.** *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas.* Lima : Soluciones Practicas, 2010.
- **Fink, Donald. 1981.** *Manual Práctico de Electricidad para Ingenieros.* Versión española adaptada : REVERTE, 1981. tomo I, 11va Edición.
- **FOX, Mc Donald. Mc Donald.** *Introcucción a la Mecánica de Fluidos.* España : s.n., Mc Donald.
- **Franzini, Joseph B. y Finnemore E. John. 1999.** *Macánica de Fluidos con aplicaciones en Ingeniería .* 1999. 9na edición.
- **Harper, Gilberto. 2011.** *Elementos de Centrales Eléctricas.* México : LIMUSA, 2011. Primera edición.
- **Menéndez, Emilio. 2001.** *Energía Renovables, sustentabilidad y creacuón de empleo.* s.l. : Libros de la CATARATA, 2001. primera edición.
- **Mott, Robert L. 2010.** *Diseño de elemento de Máquinas.* Mexico : Pearson Educación, 2010. Cuarta Edición.
- **OLADE. 1988.** *Apuntes para un manual de diseño, estandarización y fabricacion de equipos para pequeñas centrales hidroelectricas. "Turbina Pelton".* 1988. Vol. II.

- **Olade, Organización Latinoamericana de Energía. 2010.** *Diseño y Estandarización y fabricación de turbinas Michell-Banki*. Quito : s.n., 2010. Volumen I.
- **Ortiz, Ramiro. 2010.** *Pequeñas Centrales Hidroelectricas*. Bogota, Colombia : Nomos S.A., 2010.
- **Rolán, José. 2012.** *Energías renovables*. España : Ediciones parafino S.A., 2012. Primera edición.
- **Sanz, Jose Francisco. 2012.** *Energías renovables, Energía Hidraulica*. Saragoza : Prensas Universitarias de Saragoza, 2012. Primera edición.
- **Viedma, Antono. 1997.** *Teoría de máquinas hidráulicas* . Murcia : Servicio de publicaciones Universidad de Murcia, 1997.
- **Wildi, Theodore. 2011.** *Maquinas Eléctricas y sistemas de potencia*. Mexico : PEARON Educación, 2011. Sexta Edición.

#### 4.2 Consultada

- **8vo congreso Latinoamericano de Ingeniería Mecánica de Metodología de diseño Hidráulico y Mecánico de una Turbina Michell-Banki**. Paz, E2007 Cusco: s.n., 2007. 8vo congreso
- Baena, Gillermina. 2010. *Metodología de la Investigación*. México: Publicaciones culturales, 2010. Doceava re-impresión.
- Bastian, Peter 2012. *Electrotecnia Ciclo Formativos*. Madrid: Impreso en Fernández, 2012. Cuarta edición.
- Castejón A.; & Santamaría G. *Tecnología eléctrica Electricidad y Electrónica*. Interamericana de España, Editorial McGraw Hill
- Dávila C. Vilar D.; Sánchez T.; Viani, B.; Segura J.; Rodríguez L.; & Otros. *Manual para la evaluación de la demanda de recursos hídricos; diseño e instalación de Microcentrales Hidroeléctrica*. Lima: Soluciones prácticas. 2010.
- Enríquez Harper Gilberto. *El libro practico de los generadores, transformadores y motores eléctricos*. México. Editorial Limusa. 2010.

- Massey, B. S & Ward-Smith A. J, 2011. *Mechanics of Fluids (Ninth edición)*. London, New York: SponPress.
- Ray K. Linsley & Franzini Joseph B. *Recursos hídricos Ingeniería*. USA; Editorial. McGraw-Hill Science. Ingeniería. 4ta Edit. 1991.
- Santos Martínez María Dolores, 2010, *Cuerpo de profesores de enseñanza secundaria. Tecnología. Programación didáctica*. Mad-Eduforma.

#### 4.3 Bibliografía Vínculos Web.

- Bocatoma  
[http://repositorio.sena.edu.co/sitios/calidad\\_del\\_agua/operacion\\_potabilizacion/index.html](http://repositorio.sena.edu.co/sitios/calidad_del_agua/operacion_potabilizacion/index.html)
- EUROIMPORTADORA, <Peso\_Específico\_de\_Materiales.pdf>, 2013
- EUROIMPORTADORA. "Pesos específicos de material de construcción". [En Línea].
- Gray K. Linsley & Franzini Joseph B. Editora de Universidade de Sao Paulo e Editora McGraw-Hill do Brasil, Ltda 1978. "Energía hidráulica". [En Línea].  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa\\_hidr%C3%Alulica](https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_hidr%C3%Alulica).
- [http://www.endesaeduca.com/Endesa\\_educarecursos-interactivos/produccion-de-electricidad/xi.-las-centrales-hidroelectricas](http://www.endesaeduca.com/Endesa_educarecursos-interactivos/produccion-de-electricidad/xi.-las-centrales-hidroelectricas).
- <http://www.energia.gob.ec/coca-codo-sinclair/>
- [http://www.oas.org/usde/environmentlaw/waterlaw/documents/Ecuador-Ley\\_de\\_Agua\\_\(1972\).pdf](http://www.oas.org/usde/environmentlaw/waterlaw/documents/Ecuador-Ley_de_Agua_(1972).pdf)