



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

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

**APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**TESIS DE GRADO**

**TEMA:**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PICO GENERADOR  
HIDROELÉCTRICO, APROVECHANDO EL CAUDAL DEL RÍO  
CANCHUPÍ UBICADA EN EL KILÓMETRO 107, DE LA VIA QUITO -  
CANTÓN PEDRO VICENTE MALDONADO DE LA PROVINCIA DE  
PICHINCHA”**

**Proyecto de tesis previo a la obtención del Título:**

Ingeniero Eléctrico en Sistemas Eléctricos de Potencia.

**Autores:**

Casa Sivinta Alex Mariano

Chicaiza Lema Richar Orlando

**Director:**

Ing. Efrén Barbosa

**Asesor:**

Msc. Galo Terán

**LATACUNGA – ECUADOR**

Marzo 2015

## 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:

- Alex Mariano Casa Sivinta
- Richar Orlando Chicaiza Lema

Con la tesis, cuyo título es:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PICO GENERADOR HIDROELÉCTRICO, APROVECHANDO EL CAUDAL DEL RÍO CANCHUPÍ UBICADA EN EL KILÓMETRO 107, DE LA VIA QUITO - CANTÓN PEDRO VICENTE MALDONADO DE LA PROVINCIA DE PICHINCHA”**

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.

---

*Ing. Marcelo Barrera*

**PRESIDENTE**

---

*Ing. Idalia Pacheco*

**MIEMBRO**

---

*Ing. Miguel Lucio*

**OPOSITOR**

---

*Ing. Efrén Barbosa*

**TUTOR (DIRECTOR)**

## AUTORÍA

El presente trabajo de grado, es basado en el proceso investigativo establecido por el reglamento de grado de tercer nivel de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas. Los criterios emitidos en el presente trabajo de investigación “Diseño e implementación de un pico generador hidroeléctrico aprovechando el caudal del río Canchupí ubicada en el kilómetro 107, de la vía Quito - cantón Pedro Vicente Maldonado de la provincia de Pichincha”, son de exclusiva responsabilidad de los autores, ya que la investigación y la propuesta son realizados en este sector en el que no se ha implementado ninguna otra investigación.

.....  
Casa Sivinta Alex Mariano

C.I. 050348832-2

.....  
Chicaiza Lema Richar Orlando

C.I. 050339944-6

## **AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS**

Yo Ing. Efrén Barbosa en calidad de Director de Tesis y cumpliendo con lo estipulado en el Reglamento del Curso Profesional de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Capítulo V, (Art. 9 literal f), me permito informar que los postulantes Casa Sivinta Alex Mariano y Chicaiza Lema Richar Orlando han desarrollado su Tesis de Grado de acuerdo al planteamiento formulado en el Anteproyecto de Tesis con el tema: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PICO GENERADOR HIDROELÉCTRICO, APROVECHANDO EL CAUDAL DEL RÍO CANCHUPÍ UBICADA EN EL KILÓMETRO 107, DE LA VIA QUITO - CANTÓN PEDRO VICENTE MALDONADO DE LA PROVINCIA DE PICHINCHA”**, cumpliendo sus objetivos respectivos.

En virtud de lo antes expuesto, considero que la presente Tesis de Grado se encuentra habilitada para presentarse al acto de defensa.

Latacunga, 28 de Febrero de 2015

.....  
Ing. Efrén Barbosa

**DIRECTOR DE TESIS**

## **AVAL DEL ASESOR METODOLÓGICO**

En calidad de Asesor Metodológico del Trabajo de Investigación sobre el tema: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PICO GENERADOR HIDROELÉCTRICO, APROVECHANDO EL CAUDAL DEL RÍO CANCHUPÍ UBICADA EN EL KILÓMETRO 107, DE LA VIA QUITO - CANTÓN PEDRO VICENTE MALDONADO DE LA PROVINCIA DE PICHINCHA”.

De los señores estudiantes; Alex Mariano Casa Sivinta y Richar Orlando Chicaiza Lema postulantes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica en Sistemas Eléctricos de Potencia,

### **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, 28 de Febrero del 2015

.....

Msc. Galo Terán

**ASESOR METODOLÓGICO**



MANTENIMIENTO INDUSTRIAL Y PRODUCCIÓN  
METALMECANICA  
SERVICIOS DE INGENIERÍA MECANICA  
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MAQUINARIA  
AGROINDUSTRIAL  
HERRAJES PARA MUEBLES DE OFICINA

ING. MILTON JAMI  
RUC. 1707254171001

MADRE SELVAS N47-111 Y AV EL INCA TLF: 022419685 CEL: 099396320  
QUITO- ECUADOR

## **CERTIFICADO DEL PROPIETARIO DE LA FINCA**

Yo Ing. Milton Salomón Jami, portador de la cedula de ciudadanía N°1707254171 en calidad de beneficiario del proyecto de grado cuyo tema es: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PICO GENERADOR HIDROELÉCTRICO, APROVECHANDO EL CAUDAL DEL RÍO CANCHUPÍ UBICADA EN EL KILÓMETRO 107, DE LA VIA QUITO - CANTÓN PEDRO VICENTE MALDONADO DE LA PROVINCIA DE PICHINCHA”**, previo a la obtención del título de ingenieros en la especialidad de Ingeniería Eléctrica, a petición verbal de los postulantes Casa Sivinta Alex Mariano y Chicaiza Lema Richar Orlando, tengo a bien:

### **CERTIFICAR**

Que recibo en perfectas condiciones tanto la construcción como el funcionamiento del Pico Generador Hidroeléctrico, y a la vez hago llegar mi más sincero agradecimiento a todas las autoridades de la Universidad Técnica de Cotopaxi, por el significativo aporte que brindan a sectores como este para potencializar su capacidad de crecimiento y su desarrollo turístico.

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

Pedro Vicente Maldonado a, 28 de Febrero del 2015

Atentamente

Ing. MILTON SALOMON JAMI. M.s.C.  
**Propietario de la finca**

## DEDICATORIA

*Quiero dedicarle este trabajo a Dios que me ha dado la vida y fortaleza para terminar este proyecto de tesis. A mi madre por su apoyo incondicional, sus consejos y por su gran humildad que hicieron engrandecer mis valores y mis ganas de seguir avanzando en mi vida profesional. A mis abuelitos que son unas de las personas que más se preocupan de mí, brindándome su sabiduría y enseñándome cosas vitales para la vida.*

*A mi familia que me ha brindado todo lo necesario para llegar hasta donde estoy, siendo el soporte necesario para la culminación de mi proyecto de tesis*

*Richar*

*A Dios, por fortalecer mi espíritu y así culminar con mi proyecto. A mis padres quienes me dieron la vida, educación, y consejos, que siempre estuvieron listos para brindarme toda su ayuda, ahora me toca regresar un poquito de todo lo inmenso que me han otorgado.*

*A mis maestros que en este andar por la vida, influyeron con sus lecciones y experiencias en formarme como una persona de bien y preparada para los retos que pone la vida, a todos y cada uno de ellos les dedico cada una de estas páginas de mi tesis.*

*Alex*

## AGRADECIMIENTO

*Un agradecimiento muy especial a Dios, por haberme permitido tener la oportunidad de vivir, a mi madre por el amor, comprensión y apoyo constante, sin ella no hubiera podido realizarse este logro tan importante en mi vida.*

*También un extensivo agradecimiento a mi familia por su apoyo moral y económico. También un especial agradecimiento a la Universidad Técnica de Cotopaxi por permitir emprender mis sueños como profesional.*

*A todos en general por darme el tiempo para realizarme en mi carrera como profesional.*

*Richar*

*El presente trabajo primeramente agradezco a Dios por bendecirme y guiar mis pasos, porque hiciste realidad este sueño anhelado.*

*A mi director de tesis, por su esfuerzo y dedicación, por su valiosa dirección y apoyo para seguir este camino de tesis y llegar a las conclusiones del mismo. Cuya experiencia y educación han sido mi fuente de motivación y curiosidad durante estos años, ha logrado en mí que pueda terminar mis estudios con éxito. Gracias a mi familia, porque con ellos compartí una infancia feliz que guardo en mi corazón y son el aliento para seguir triunfando en la vida*

*Alex*



## ÍNDICE GENERAL

FORMULARIO DE LA APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	II
AUTORÍA.....	III
AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS .....	IV
AVAL DEL ASESOR METODOLÓGICO .....	V
CERTIFICADO DEL PROPIETARIO DE LA FINCA.....	VI
DEDICATORIA .....	VII
AGRADECIMIENTO .....	VIII
ÍNDICE GENERAL.....	IX
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	XVII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XIX
RESUMEN.....	XX
ABSTRACT .....	XXI
AVAL DE LA TRADUCCIÓN DEL IDIOMA INGLES.....	XXII
INTRODUCCIÓN .....	XXIII
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Antecedentes Investigativos .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Energía.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3. Fuente de energía renovable.....</b>	<b>2</b>
1.3.1. La energía hidráulica .....	3
<b>1.4. Pico Generador Hidroeléctrico.....</b>	<b>3</b>
1.4.1. Componentes principales de un Pico Generador Hidroeléctrico.....	4
1.4.1.1. Bocatoma .....	4
1.4.1.1.1. Funciones de la bocatoma.....	4
1.4.1.2. Sistema de conducción .....	4
1.4.1.3. Tubería de Presión .....	5
1.4.1.3.1. Selección de la tubería de presión .....	6

1.4.1.4.	Desarenador .....	7
1.4.1.4.1.	Ancho y longitud .....	7
1.4.1.5.	Tanque de presión.....	8
1.4.1.5.1.	Volumen del tanque de presión .....	9
1.4.1.5.2.	Altura mínima del agua sobre la tubería de presión .....	9
1.4.1.6.	Casa de máquinas .....	11
1.4.1.6.1.	Aspectos considerados para el diseño de la casa de máquinas.....	11
1.4.1.7.	Aliviadero .....	12
1.4.1.8.	Desagües de fondo.....	12
1.4.2.	Principios básicos de un Pico Generador Hidroeléctrico .....	12
1.4.3.	Ventajas e inconvenientes de un Pico Hidroeléctrico .....	14
1.4.3.1.	Ventajas .....	14
1.4.3.2.	Inconvenientes .....	14
<b>1.5.</b>	<b>Turbina hidráulica</b> .....	14
1.5.1.	Turbina Michell Banki .....	15
1.5.1.1.	Introducción.....	15
1.5.1.2.	Descripción.....	15
1.5.1.3.	Características Generales.....	16
1.5.1.4.	Principio de funcionamiento.....	16
1.5.1.5.	Composición.....	18
<b>1.6.</b>	<b>Generador eléctrico</b> .....	19
1.6.1.	Principio de funcionamiento.....	20
1.6.2.	Generador síncrono.....	22
1.6.2.1.	Principio de funcionamiento.....	23
1.6.2.2.	Partes del generador síncrono.....	23
1.6.2.3.	Ventajas .....	25
1.6.2.4.	Desventajas .....	25
<b>1.7.</b>	<b>Medición del caudal</b> .....	26
1.7.1	Método del flotador .....	26
<b>1.8.</b>	<b>Altura bruta (<math>h_b</math>)</b> .....	27

1.8.1.	Método del levantamiento topográfico.....	27
1.8.1.1.	Planimetría.....	28
1.8.1.2.	Equipos e instrumentos de campo .....	28
1.8.2.	Altura neta ( $H_n$ ) .....	30
1.8.2.1.	Longitud de la tubería de presión .....	30
1.8.2.2.	Pérdidas primarias (Ecuación de Darcy-Weisbach) .....	31
1.8.2.3.	Ecuación general de las pérdidas secundarias .....	32
1.8.2.4.	Perdidas hidráulicas en un ducto ( $\Delta h(1 - 2)$ ) .....	32
1.8.2.5.	Potencia hidráulica neta ( $P_h$ ).....	34
1.8.2.6.	Potencia al freno de la turbina .....	34
1.8.2.7.	Potencia transmitida al generador (PTR).....	35
1.8.2.8.	Potencia en los bornes del generador .....	36
1.8.2.9.	Pares de polos del generador ( $N_{pp}$ ) .....	36
1.8.2.10.	Velocidad Específica .....	37
<b>1.9.</b>	<b>Diseño hidráulico</b> .....	<b>38</b>
1.9.1.	Selección del diámetro de la turbina.....	38
1.9.2.	Diagrama de Velocidades .....	39
1.9.2.1.	Velocidad del agua a la salida del inyector (Velocidad absoluta) .....	40
1.9.2.2.	Velocidad Tangencial .....	40
1.9.2.3.	Velocidad Relativa .....	41
1.9.2.4.	Velocidad Meridiana .....	41
1.9.3.	Geometría del inyector .....	41
1.9.4.	Geometría del rodete .....	42
1.9.5.	Geometría de la carcasa .....	43
<b>1.10.</b>	<b>Diseño mecánico</b> .....	<b>44</b>
1.10.1.	Ancho del rotor .....	44
1.10.2.	Número de álabes del rodete .....	45
1.10.3.	Fuerza hidráulica sobre un álabe .....	46
1.10.4.	Fuerza centrífuga sobre un álabe .....	47
1.10.5.	Fuerza total sobre el álabe .....	47

1.10.6.	Plancha del inyector.....	48
1.10.7.	Diseño del eje principal .....	48
1.10.7.1.	Discos de unión de álabes.....	49
1.10.7.2.	Torque de accionamiento.....	49
1.10.7.3.	Selección de rodamientos .....	52
1.10.7.4.	Sistema de transmisión de potencia mecánica.....	52
1.10.7.5.	Diámetro de la polea.....	53
1.10.7.6.	Potencia corregida .....	54
1.10.7.7.	Distancia entre ejes.....	55
1.10.7.8.	Longitud primitiva de la correa trapezoidal .....	56
1.10.7.9.	Arco de contacto.....	57
1.10.7.10.	Potencia transmitida por la correa trapezoidal .....	57
1.10.7.11.	Determinación del número de bandas .....	59
<b>1.11.</b>	<b>Tablero de Control .....</b>	<b>59</b>
1.11.1.	Instrumentos que conforman el tablero de control .....	59
1.11.1.1.	Voltímetro.....	59
1.11.1.2.	Amperímetro.....	59
1.11.1.3.	Luz Piloto .....	60
1.11.1.4.	Puesta a tierra.....	60
1.11.1.5.	Protección contra sobrecarga.....	60
<b>1.12.</b>	<b>Análisis económico del proyecto.....</b>	<b>61</b>
1.12.1.	Costos .....	61
1.12.1.1.	Costos directos.....	61
1.12.1.2.	Costos indirectos .....	62
1.12.1.3.	Valor de la depreciación .....	62
1.12.2.	Costo de la energía .....	63
1.12.3.	Relación beneficio costo.....	63
1.12.4.	Cálculo del valor de inversión .....	64
1.12.5.	Costo del KWh producido por el PGH.....	65

## CAPÍTULO II

<b>2.</b>	<b>PRESENTACIÓN, TABULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	66
<b>2.1.</b>	<b>Recolección de datos</b>	66
2.1.1.	Medición topográfica	66
2.1.2.	Medición del caudal	67
<b>2.2.</b>	<b>Metodología de la investigación</b>	69
2.2.1.	Métodos de investigación	69
2.2.1.1.	El método científico	70
2.2.1.2.	El método analítico	70
2.2.2.	Tipos de investigación	70
2.2.2.1.	De campo	70
2.2.2.2.	Descriptiva	71
2.2.3.	Técnicas de investigación	71
2.2.3.1.	La observación	71
2.2.3.2.	La entrevista	72
<b>2.3.</b>	<b>Población y muestra</b>	72
<b>2.4.</b>	<b>Análisis e interpretación de resultados de la entrevista</b>	73
2.4.1.	Conclusión de la entrevista	75
<b>2.5.</b>	<b>Hipótesis</b>	76
2.5.1.	Verificación de la hipótesis	76

## CAPÍTULO III

<b>3.</b>	<b>APLICACIÓN Y VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA</b>	77
<b>3.1.</b>	<b>Presentación</b>	77
<b>3.2.</b>	<b>Cantón Pedro Vicente Maldonado</b>	78
3.2.1.	Reseña Histórica	78
3.2.2.	Límites generales	78
3.2.3.	Geografía	79
3.2.4.	Hidrografía	79
3.2.5.	Clima	79

<b>3.3.</b>	<b>Justificación.....</b>	<b>80</b>
<b>3.4.</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>81</b>
3.4.1.	Objetivo General.....	81
3.4.2.	Objetivos Específicos .....	81
<b>3.5.</b>	<b>Desarrollo de la propuesta .....</b>	<b>81</b>
3.5.1.	Obras Civiles .....	81
3.5.1.1.	Bocatoma .....	82
3.5.1.2.	Compuerta de regulación.....	82
3.5.1.3.	Sistema de conducción .....	82
3.5.1.4.	Tubería de Presión .....	83
3.5.1.5.	Anclajes y apoyos.....	86
3.5.1.6.	Desarenador .....	86
3.5.1.6.1.	Ancho y longitud .....	86
3.5.1.7.	Tanque de presión.....	87
3.5.1.7.1.	Volumen del tanque de presión .....	87
3.5.1.7.2.	Altura mínima del agua sobre la tubería de presión .....	88
3.5.1.8.	Válvula de compuerta.....	90
3.5.1.9.	Casa de máquinas .....	90
3.5.1.10.	Canal de descarga .....	91
3.5.2.	Parámetros de diseño .....	92
3.5.2.1.	Medición del caudal aplicando el método del flotador.....	92
3.5.2.2.	Cálculo de la longitud de la tubería de presión .....	93
3.5.2.3.	Cálculo de las pérdidas primarias en la tubería de presión.....	93
3.5.2.4.	Cálculo de las pérdidas secundarias en la tubería de presión .....	94
3.5.2.5.	Parámetros de selección del equipo hidráulico.....	95
3.5.2.6.	Potencia hidráulica neta ( $P_h$ ).....	96
3.5.2.7.	Potencia transmitida al generador (PTR).....	97
3.5.2.8.	Velocidad Específica .....	98
3.5.3.	Diseño hidráulico.....	98
3.5.3.1.	Selección del diametro de la turbina.....	98

3.5.3.2.	Velocidad del agua a la salida del inyector (Velocidad absoluta).....	99
3.5.3.3.	Velocidad Tangencial .....	99
3.5.3.4.	Velocidad Relativa .....	99
3.5.3.5.	Velocidad Meridiana .....	100
3.5.3.6.	Ancho del inyector.....	100
3.5.3.7.	Geometría del rodete .....	100
3.5.3.8.	Geometría de la carcasa.....	101
3.5.4.	Diseño mecánico.....	101
3.5.4.1.	Ancho del rotor.....	101
3.5.4.2.	Espesor de los álabes del rodete .....	102
3.5.4.3.	Fuerza hidráulica sobre un álabe .....	103
3.5.4.4.	Fuerza aplicada en la plancha del inyector .....	104
3.5.4.5.	Disco de unión de álabes .....	105
3.5.4.6.	Torque de accionamiento.....	105
3.5.4.7.	Selección de rodamientos .....	106
3.5.4.8.	Caja de transmisión .....	107
3.5.4.9.	Potencia corregida .....	108
3.5.4.10.	Selección de la correa trapezoidal .....	108
3.5.4.11.	Arco de contacto.....	109
3.5.4.12.	Determinación del número de bandas .....	110
3.5.5.	Equipo eléctrico.....	110
3.5.5.1.	Selección del generador.....	110
3.5.6.	Verificación del Proyecto Implementado .....	113
3.5.7.	Análisis de resultados .....	114
3.5.7.1.	Curva de la Potencia a generar vs. Voltaje.....	114
3.5.7.2.	Curva de la Velocidad de la turbina vs. el caudal .....	114
3.5.7.3.	Curva de la Potencia a generar vs. el caudal .....	115
3.5.7.4.	Curva de la Presión vs. apertura de la válvula de compuerta.....	115
3.5.7.5.	Curva de la frecuencia vs. la velocidad del generador .....	116
3.5.7.6.	Curva del rendimiento de la turbina vs. el caudal .....	116

<b>3.6.</b>	<b>Análisis económico del proyecto.....</b>	<b>117</b>
3.6.1.	Beneficios .....	118
3.6.2.	Cálculo del costo de la energía.....	119
3.6.3.	Cálculo del valor de inversión .....	122
<b>3.7.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>123</b>
3.7.1.	Conclusiones.....	123
3.7.2.	Recomendaciones .....	125
<b>3.8.</b>	<b>Referencias Bibliográficas .....</b>	<b>127</b>
3.8.1.	Bibliografía Citada .....	127
3.8.2.	Bibliografía Consultada.....	128
3.8.3.	Bibliografía Virtual .....	129



## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1.1</b> Ángulo de entrada del desarenador .....	8
<b>Gráfico 1.2</b> Altura mínima del agua sobre la tubería de presión.....	10
<b>Gráfico 1.3</b> Diagrama de velocidades .....	40
<b>Gráfico 1.4</b> Ángulo de la velocidad absoluta, a la entrada y salida del alabe .....	46
<b>Gráfico 1.5</b> Composición de fuerzas sobre el álabe .....	47
<b>Gráfico 1.6</b> Plancha del inyector .....	48
<b>Gráfico 2.1</b> Curva de caudales .....	69
<b>Gráfico 3.1</b> Esquema del tablero de control .....	111
<b>Gráfico 3.2</b> Potencia VS. Voltaje .....	114
<b>Gráfico 3.3</b> RPM Turbina VS. Caudal .....	114
<b>Gráfico 3.4</b> Potencia VS. Caudal .....	115
<b>Gráfico 3.5</b> Presión VS. Apertura de la válvula.....	115
<b>Gráfico 3.6</b> Frecuencia VS. RPM Generador.....	116
<b>Gráfico 3.7</b> Rendimiento de la turbina VS. Caudal.....	116

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> Componentes de un Sistema Hidroeléctrico.....	13
<b>Figura 1.2</b> Partes de una turbina.....	17
<b>Figura 1.3</b> Funcionamiento del inyector de la turbina tipo michell banki .....	19
<b>Figura 1.4</b> Líneas de flujo magnético y fem inducida en una máquina eléctrica rotativa .....	20
<b>Figura 1.5</b> Generador elemental.....	21
<b>Figura 1.6</b> Giro de la espira de 0 a 360° .....	21
<b>Figura 1.7</b> Onda sinusoidal .....	22
<b>Figura 1.8</b> Rotor de un Generador Síncrono .....	23
<b>Figura 1.9</b> Estator de un Generador Síncrono.....	24
<b>Figura 1.10</b> Estación Total.....	29
<b>Figura 1.11</b> Trípode.....	29
<b>Figura 1.12</b> Prisma simple con Tarjeta de Puntería .....	30
<b>Figura 1.13</b> Longitud del Rodete .....	44
<b>Figura 1.14</b> Luz piloto.....	60
<b>Figura 3.1</b> Bocatoma .....	82
<b>Figura 3.2</b> Sistema de Conducción .....	83
<b>Figura 3.3</b> Triángulo de Pitágoras.....	83
<b>Figura 3.4</b> Caída libre de un cuerpo.....	84
<b>Figura 3.5</b> Desarenador y Tanque de Presión .....	88
<b>Figura 3.6</b> Casa de Máquinas.....	90
<b>Figura 3.7</b> Canal de Descarga .....	91
<b>Figura 3.8</b> Selección de turbinas hidroeléctricas en función a la potencia generada.	96
<b>Figura 3.9</b> Curvas para la selección de correas trapezoidales.....	108

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1</b> Coeficiente de perdidas secundarias $\xi$ en accesorios .....	33
<b>Tabla 1.2</b> Tipos de transmisión para pico generadores hidroeléctricos .....	36
<b>Tabla 1.3</b> Rango de aplicación de turbinas hidráulicas .....	37
<b>Tabla 1.4</b> Selección del número de alabes del rotor.....	45
<b>Tabla 1.5</b> Propiedades mecánicas de las aleaciones usadas en turbinas hidráulicas..	50
<b>Tabla 1.6</b> Valores de (c) según las condiciones de trabajo y carga.....	55
<b>Tabla 1.7</b> Correas trapeciales de sección convencional .....	56
<b>Tabla 1.8</b> Factor de corrección $CT$ para arcos de contacto inferiores a $180^\circ$ .....	58
<b>Tabla 1.9</b> Factor de corrección $Cl$ en función al tipo de correa .....	58
<b>Tabla 2.1</b> Medición topográfica .....	67
<b>Tabla 2.2</b> Tiempos medidos .....	67
<b>Tabla 2.3</b> Hidrología de caudales obtenidos .....	68
<b>Tabla 3.1</b> Constante k para diferentes tipos de materiales .....	93
<b>Tabla 3.2</b> Selección del diámetro del rotor .....	99
<b>Tabla 3.3</b> Sección transversal de un alabe del rotor .....	102
<b>Tabla 3.4</b> Características del alabe.....	103
<b>Tabla 3.5</b> Angulo entre la fuerza hidráulica.....	104
<b>Tabla 3.6</b> Características del generador .....	111
<b>Tabla 3.7</b> Resultados medidos en el funcionamiento del pico generador hidroeléctrico.....	113
<b>Tabla 3.8</b> Costos directos .....	117
<b>Tabla 3.9</b> Costos indirectos .....	117
<b>Tabla 3.10</b> Costo total del proyecto .....	118
<b>Tabla 3.11</b> Consumo de la energía diaria.....	119
<b>Tabla 3.12</b> Beneficios y costos totales .....	121

## **RESUMEN**

El Ecuador presenta recursos energéticos renovables y alternativos, como: el sol, viento, agua, biomasa, energía de los océanos y geotermia. En el presente proyecto se utiliza el recurso hídrico del río Canchupí para la producción de energía eléctrica a través del aprovechamiento de la energía del agua. La energía eléctrica es uno de los servicios básicos y necesarios para el desarrollo de la sociedad, se propuso el aprovechamiento de una energía alternativa la cual presenta un reducido impacto ambiental. En la actualidad existen ciertos sectores rurales que no disponen de este servicio básico debido a la zona en la que se encuentra ubicada, pero cuentan con recursos naturales que pueden ser aprovechadas, ya que se encuentran alejados del tendido eléctrico de distribución. Partiendo del levantamiento topográfico y el caudal existente en la zona se recopiló información eficaz y necesaria, para deducir el tipo de turbina; así como también se realizó un análisis del requerimiento de demanda con la cual podemos determinar la potencia del generador; con estos parámetros se procede a realizar el diseño de los componentes del pico generador hidroeléctrico. Tales componentes como la bocatoma, el sistema de conducción, el desarenador, tanque de presión y tubería de presión ayudan a determinar una presión y velocidad óptima en la turbina que es la indispensable para la producción de energía eléctrica en el sector. Teniendo en cuenta que el sistema de acople entre la turbina y el generador es mediante bandas de transmisión, se consideran elementos de protección mecánicos y eléctricos.

**DESCRIPTORES:** Diseño e Implementación de un Pico Generador Hidroeléctrico, Kilómetro 107 Quito – Cantón Pedro Vicente Maldonado.

## **ABSTRACT**

Ecuador presents renewable and alternative energy resources such as: sun, wind, water, biomass, ocean energy and geothermal. In this project, the water resources of Canchupí River are used to produce electricity through the water energy. Electricity is a basic and indispensable for the society services development. The alternative energy use was proposed which will reduce environmental impact. Currently, there are some rural areas that do not have this basic service due to the area in which it is located, but these rural zones have natural resources that can be exploited. In this way, they are away from the power line distribution. On the survey and inflow with effective and necessary information collected helped to deduce the turbine type. Also, an analysis on the demand requirement could determine the generator power. On these parameters was possible to design hydroelectric generator peak components. Components such as the intake, the conduction system, the sand trap, and pressure tank and pressure pipe defined an optimal pressure and speed in the turbine. All mentioned are essential for electricity production in the sector. Finally, the coupling system between the turbine and the generator by transmission bands are considered of mechanical and electrical protection elements.

**DESCRIPTORS:** Design and Implementation of a Hydroelectric Generator Pico, 107 Kilometer Quito - Cantón Pedro Vicente Maldonado.

## **AVAL DE LA TRADUCCIÓN DEL IDIOMA INGLES**

En calidad de Docente del Centro Cultural de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi. Yo, Lic. Mgs. Amparo Romero con cedula de identidad N° 0501369185 certifico que he realizado la respectiva revisión a la traducción del Abstract; con el tema: **“DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN PICO GENERADOR HIDROELECTRICO, APROVECHANDO EL CAUDAL DEL RIO CANCHUPI UBICADA EN EL KILOMETRO 107, DE LA VIA QUITO - CANTON PEDRO VICENTE MALDONADO DE LA PROVINCIA DE PICHINCHA”**, de Cuyos autores son: Alex Mariano Casa Sivinta y Richar Orlando Chicaiza Lema y Director de Tesis, Ing. Efrén Barbosa. Dejando el contenido bien estructurado y libre de errores.

Latacunga a 28 de Febrero del 2015

Lo certifico:

.....  
Lic. Mgs. Amparo Romero

**C.I 0501369185**

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad las centrales hidráulicas son energías limpias y renovables, que aporta una quinta parte de la energía eléctrica producida en el mundo; distinguiéndose a su vez en múltiples beneficios como regadío, agua potable, turismo, pesca, la navegabilidad, reducción de inundaciones entre otros. Esto hace indudablemente que la energía hidroeléctrica tenga un papel importante por desempeñar en el futuro como puede ser el suministro de energía y aprovechamiento de los recursos hídricos. Los cuales se deben realizar conjuntamente con el desarrollo social, el medio ambiente y el avance técnico económico.

Es fácil predecir que la demanda mundial de energía eléctrica aumentará significativamente durante el presente siglo, no solo a causa del incremento de la población, sino también a través del aumento en el nivel de calidad de vida, en especial en los países subdesarrollados. En vista de esta situación muchas fuentes serán necesarias, pero por razones técnicas ambientales, una alta prioridad tiene la energía hidroeléctrica la cual exige una gran cantidad de trabajo técnico, ambiental, financiero, etc.

El proceso de generación de energía hidroeléctrica consiste en la conversión de energía potencial en cinética, posteriormente en mecánica y consecuentemente en electricidad; en zonas aisladas es una labor indispensable para el desarrollo sostenible de estos sectores, la principal fuente energética para este objetivo es la proporcionada por las caídas de agua existente en riachuelos, quebradas y acequias cercanas.

En tal sentido el proyecto está orientado a facilitar la asimilación de fundamentos de hidrostática e hidrodinámica aplicados a procesos de conversión de energía hidráulica y a los fenómenos que los acompañan para cumplir con este propósito. Siendo este tema de gran relevancia ante la sociedad, se ha visto la necesidad de diseñar y construir un pico generador hidroeléctrico, para hacerlo hay que tomar en

consideración múltiples aspectos, desde la elección del sitio adecuado hasta el aprovechamiento requerido del recurso hídrico. Todo ello exige un amplio conocimiento sobre planificación, ingeniería, financiamiento y construcción; este proyecto reúne todos esos conocimientos de forma que se pueda seguir paso a paso el camino que le conducirá a la generación requerida.

El proyecto de investigación realizado se encuentra estructurado por tres capítulos:

El primer capítulo presenta la investigación sobre la teoría de las centrales hidroeléctricas, obra civil y equipos electromecánicos, dentro de estos equipos se muestran la clasificación de las turbinas hidráulicas. También se puede conocer el principio de funcionamiento de los generadores y las protecciones del sistema eléctrico.

El segundo capítulo resume los principales métodos, técnicas e instrumentos utilizados para la presentación, tabulación y el análisis de los resultados.

El tercer capítulo presentan los cálculos relacionados con la fabricación de la turbina Mitchell Banki, el sistema de acoplamiento y transmisión de potencia entre la turbina y el generador para la generación de energía eléctrica. También se presenta la conexión del tablero de control así la acometida de la cabaña y la verificación del proyecto implementado.

Se indican las conclusiones y recomendaciones a las que se ha llegado con la implementación de este proyecto.



# CAPÍTULO I

## 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 1.1. Antecedentes Investigativos

La energía hidráulica es uno de los recursos renovables más utilizados en el mundo. En el Ecuador, debido a su situación privilegiada desde el punto de vista hidrológico, tiene un gran potencial para desarrollar proyectos que impliquen aprovechamientos hidráulicos.

Estudiantes, Luis Iván Caisachana Vega y Washinton Geovanny Molina Zapata (2012) de la Universidad Técnica de Cotopaxi realizaron un proyecto de tesis que trata del “Diseño Construcción e Implementación de una Pico Generadora Hidroeléctrica”, la cual principalmente utiliza una turbina Michell Banki, un generador síncrono y un sistema de control.

En este proyecto se toman en cuenta diferentes características técnicas que fueron utilizados con la finalidad de tener un óptimo funcionamiento, por ende se tiene los siguientes ordenamientos.

La turbina aprovecha la energía cinética del agua y lo transforma en energía mecánica, para luego ser acoplada con el generador mediante poleas y bandas trapezoidales; dando como resultado la energía eléctrica. El sistema de control distribuye y controla el suministro de energía ayudándole al operador al momento de maniobrar el sistema implementado.

Los estudiantes llegan a concluir que el caudal y la altura neta son parámetros primordiales al momento de realizar el diseño de este proyecto de generación.

## **1.2. Energía**

Según, DE JUANA José. Energías Renovables para el Desarrollo: Formas de Energía, Primera edición. (2009); manifiesta que:

**La energía se define en forma general como toda causa capaz de producir un trabajo, y su manifestación es precisamente la realización de su virtualidad, es decir la producción de un trabajo o bien su transformación en otra forma de energía** Pag. 5.

MARTINEZ Alessandro. Investigación y Experiencias Didácticas: Conceptos de energía y calor. (1994); menciona que: “Energía es una magnitud física que se presenta bajo diversas formas, está involucrada en todos los procesos de cambio de estado, se transforma y se transmite, depende del sistema de referencia” Pág. 370.

Como principio general de la naturaleza se establece que la energía ni se crea ni se destruye, solamente se transforma; tiene muchas formas, tales como la luz, el calor, la electricidad, la energía química y energía mecánica.

## **1.3. Fuente de energía renovable**

Es aquella que puede producir energía constantemente, de forma que la energía consumida se renueva constantemente y, en consecuencia, su utilización es ilimitada.

Dentro de estas energías se considera de mayor interés para los pueblos en vías de desarrollo, que será las de más fácil uso por necesitar menor avance tecnológico y

menor inversión para su aplicación. Por ende la más empleada en el Ecuador es la que mencionamos a continuación.

### ***1.3.1. La energía hidráulica***

El agua almacena energía según las características de su flujo y su posición dentro del campo de la gravedad. Represando el agua se lo obliga a elevar su energía potencial, que podrá ser usada mediante una salida controlada. De esta forma, primero se transforma en energía cinética, y posteriormente en energía mecánica y eléctrica.

Esta energía también se origina mediante el sol, pues el ciclo hidráulico está movido por la energía solar, primero para evaporar el agua de los océanos y luego, una vez formado las nubes, para transportarlas mediante el viento. Esta fuente de energía es de gran aplicación en el país, ya que es fácil encontrar numerosos lugares útiles para la instalación de mini centrales eléctricas especialmente en las zonas montañosas.

## **1.4. Pico Generador Hidroeléctrico**

Estas centrales se encuentran condicionadas por las características que presenta el lugar donde van a ser construidas, se debe tomar en cuenta la topografía del terreno al momento de poner en marcha una instalación de este tipo, ya que influirá en la obra civil tanto como en la maquinaria.

Los sistemas hidroeléctricos de este tamaño gozan de ventajas en términos de costos y simplicidad, comparados con sistemas hidroeléctricos de mayores capacidades, debido a distintos procedimientos que se aplican en los pasos de diseño, planificación e instalación de los Pico-sistemas. Son ideales para abastecer a zonas aisladas de preferencia comunidades donde la carga se encuentre cerca de la generación, por lo tanto, una Pico Central es una fuente de potencia versátil. Puede generar electricidad

CA (corriente alterna) permitiendo el funcionamiento de equipos eléctricos estándar, y la distribución de la electricidad a toda una localidad.

### ***1.4.1. Componentes principales de un Pico Generador Hidroeléctrico***

#### ***1.4.1.1. Bocatoma***

Es un componente fundamental de los aprovechamientos hidráulicos convencionales, en los que se utiliza para elevar el nivel del agua o para crear un embalse donde almacenarla, se encarga de regular y captar un determinado caudal de agua, de esta manera mantener el funcionamiento del sistema hidráulico adecuado.

##### ***1.4.1.1.1. Funciones de la bocatoma***

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

#### ***1.4.1.2. Sistema de conducción***

La alimentación del agua a las turbinas se hace a través de un sistema complejo de canalizaciones. Dicho sistema se encarga de transportar el flujo de agua a un nivel adecuado y de manera eficaz, conduciéndola desde la bocatoma hasta el desarenador y la cámara de carga. Tomando en cuenta un desnivel máximo de 0 a 10°.

En el caso de los canales, se pueden realizar excavando el terreno o de forma artificial mediante estructuras de hormigón. Su construcción está siempre condicionada a las condiciones geográficas. Por eso, la mejor solución es construir un túnel de carga, aunque el costo de inversión sea más elevado.

### **1.4.1.3. Tubería de Presión**

Se encarga de transportar un cierto caudal de agua desde la cámara de carga hasta la casa de máquinas no parece tarea difícil, y sin embargo, el diseño de una tubería forzada no es asunto fácil. Las tuberías forzadas pueden instalarse sobre o bajo el terreno según sea la naturaleza. Para la selección del tipo de material en la tubería se debe considerar: la temperatura ambiente y las exigencias medioambientales del entorno.

Para obtener los diámetros adecuados se debe encontrar la velocidad del agua en cada tramo seleccionado empleando el teorema de pitágoras.

#### **Ecuación 1.1**

$$c^2 = a^2 + b^2$$

Por consiguiente se determina el ángulo de caída que tiene la tubería de presión utilizando las funciones trigonométricas.

#### **Ecuación 1.2**

$$\text{Sen } \beta = \frac{\text{cateto opuesto}}{\text{hipotenusa}}$$

De esta forma se procede a calcular las velocidades aplicando el método de la caída libre de los cuerpos. Empleando las siguientes ecuaciones:

#### **Ecuación 1.3**

$$\sum Fx = m * a$$

#### **Ecuación 1.4**

$$V^2 = V_0^2 + 2 * a * d$$

Dónde:

V: Velocidad

V<sub>o</sub>: Velocidad inicial

a: Aceleración

d: Distancia

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

La selección de ésta es uno de los parámetros más fundamentales para el buen funcionamiento del sistema hidráulico, ya que transportan agua a altas presiones desde el desarenador hasta la casa de máquinas.

Resumiendo los puntos vistos sobre las tuberías de presión, una metodología adecuada de selección podría ser:

- Considerar las diferentes clases de material para uniones
- Comparar costos de mantenimiento
- Tomar diámetros de tubería y espesores de pared disponibles
- Diseñar soportes, anclajes y uniones
- Seleccionar el diámetro en función del menor costo y menores pérdidas de energía

Para lo cual se deben considerar los materiales frecuentemente utilizados en estas instalaciones, tomando en cuenta su peso y grado de dificultad de la instalación, transporte hasta el sitio de instalación, etc. Dentro de estos materiales se mencionan los más empleados que son los siguientes:

- Acero soldado
- Polietileno PE
- PVC
- Fundición
- Hierro dúctil
- Metal corrugado

#### 1.4.1.4. Desarenador

Componente destinado a la remoción de las arenas y sólidos que están en suspensión en el agua, mediante un proceso de sedimentación.

##### 1.4.1.4.1. Ancho y longitud

Para determinar estos parámetros procedemos a calcular con las siguientes ecuaciones: [5]

**Ecuación 1.5**

$$W = \frac{Q}{V_H * d_a}$$

**Ecuación 1.6**

$$L_d = \frac{V_H}{V_d} * d_a * f$$

Dónde:

Q: Caudal de diseño  $0.051 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$

W: Ancho del desarenador[m]

$L_d$ : Longitud del desarenador [m]

$V_H$ : Velocidad horizontal del agua en el desarenador  $0.2 \left[ \frac{m}{s} \right]$

$V_d$ : Velocidad de decantación de la partícula  $0.03 \left[ \frac{m}{s} \right]$ , para partículas de 0.3 [mm].

$d_a$ : Profundidad de decantación 0.3[m], se recomienda valores inferiores a 1 [m].

f: Factor de seguridad se recomienda de 2 a 3

Para el cálculo de la profundidad mínima  $d_r$ , se deben considerar los siguientes criterios:

- La transición de entrada debe tener un ángulo de divergencia suave que oscila entre los 12° a 30°.

- La pendiente longitudinal del canal central de la cámara varía de 2° a 6°

**Ecuación 1.7**

$$d_r = L_d * \tan 6$$

Luego se determina la longitud con la siguiente ecuación [h].

**Ecuación 1.8**

$$L_e = \frac{W - W'}{2 \tan \alpha} < \frac{1}{3} L_d$$

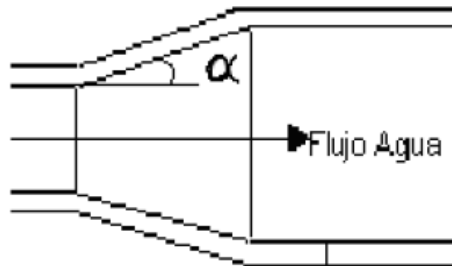
Dónde

$W'$ : Ancho del canal de conducción en [m], (ancho de la tubería 0.1524 m)

$\alpha$ : Ángulo de entrada al desarenador (30°)

**Gráfico 1.1**

**ÁNGULO DE ENTRADA DEL DESARENADOR**



**Fuente:** <http://www.bvsde.ops-oms.org/tecapro/documentos/agua/158esp-diseno-desare.pdf>

**1.4.1.5. Tanque de presión**

El tanque de presión puede usarse para asegurar que la cantidad de agua que necesita el sistema para trabajar correctamente esté disponible si la red de suministro ha fallado o si no es capaz de suministrar agua durante un pico de demanda, su objetivo principal es alimentar directamente la tubería de presión. La misma que debe cumplir las siguientes funciones:



- Impedir la entrada de materiales solidos de arrastre y flotantes que ingresen a la tubería de presión.
- Mantener el volumen de agua necesario para mantener un fluido contante, de esta manera evitamos el ingreso de aire a la tubería de presión.

#### ***1.4.1.5.1. Volumen del tanque de presión***

Ayuda a mantener un caudal constante de agua que permite a la turbina girar a una velocidad adecuada (R.P.M). El volumen del tanque de presión se determina con la siguiente ecuación. [g]

**Ecuación 1.9**

$$V = \frac{0.693 * A * V_0^2}{i * g}$$

**Ecuación 1.10**

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

Donde:

V: Volumen del tanque. [m<sup>3</sup>]

A: Sección del canal o tubería de conducción, [m<sup>2</sup>].

V<sub>0</sub>: Velocidad del agua en la conducción  $\left[\frac{m}{s}\right]$

g: Aceleración de la gravedad

i: 1% = 0.01, Pendiente

D: Diámetro interior de la tubería de presión

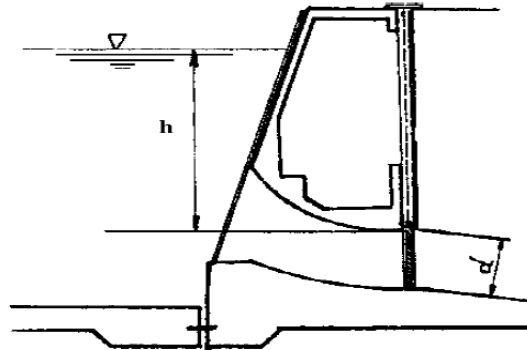
#### ***1.4.1.5.2. Altura mínima del agua sobre la tubería de presión***

Para el dimensionamiento de esta altura se debe tener cuidado con la formación de remolinos ya que estas permiten la entrada del aire a la tubería de presión ocasionando problemas en la misma así como también perjudicando el buen

rendimiento de la turbina. En la gráfico que se muestra a continuación se puede ver el esquema de la altura mínima del agua sobre la tubería de presión. [9]

**Gráfico 1.2**

**ALTURA MÍNIMA DEL AGUA SOBRE LA TUBERÍA DE PRESIÓN**



**Fuente:** <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/interesantes/laderasandinas/paginas/canales.htm>

La altura mínima del agua sobre la tubería de presión se calcula con las siguientes ecuaciones:

**Ecuación 1.11**

Para salida frontal del flujo.  $h = 0.543 * V * \sqrt{d}$

**Ecuación 1.12**

Para salida lateral del flujo.  $h = 0.724 * V * \sqrt{d}$

Donde:

$h$  : Altura mínima [m]

$V$ : Velocidad en la tubería de presión  $\left[\frac{m}{s}\right]$

$D$ : Diámetro interior de la tubería de presión [m]

Una vez calculado el ancho del tanque y la altura, se determina el largo de la misma con la siguiente ecuación:

**Ecuación 1.13**

$$V = l_t * W * h_t$$

Dónde:

V: Volumen del tanque [m<sup>3</sup>]

W: Ancho del tanque [m]

$l_t$  : Longitud del tanque [m]

$h_t$  : Altura total del tanque [m]

**1.4.1.6. Casa de máquinas**

La casa de máquinas tiene como misión proteger de las adversidades climatológicas, el equipo electro-hidráulico que convierte la energía potencial del agua en electricidad, construcción donde se sitúan las máquinas (turbinas, alternadores, etc.) y elementos de regulación y control de la central. El tipo de construcción varía de acuerdo a la disponibilidad de materiales así como también del clima en donde se sitúa.

**1.4.1.6.1. Aspectos considerados para el diseño de la casa de máquinas**

Se puede mencionar los aspectos más relevantes que se considera como son los siguientes:

- Las irregularidades de la superficie del terreno en donde se implementará el Pico Generador Hidroeléctrico.
- Vías de acceso para el ingreso de los materiales para la construcción.
- Dimensionamiento de los equipos electromecánicos.
- La casa de máquinas debe estar situada cerca de la demanda.

- Tener en cuenta que en el canal de desagüe no se acumulen sedimentos que disminuyan la sección.
- Poseer una buena cimentación para la ubicación de las máquinas electromecánicas.
- Tener en cuenta al momento de la construcción su ubicación, porque existe la época de invierno.

#### ***1.4.1.7. Aliviadero***

Son elementos de las presas que tienen la misión de liberar parte del agua retenida o embalsada evitando su paso por la casa de máquinas. Básicamente es un canal abierto, redondeado en la cresta, y con una fuerte pendiente, que permite evacuar el agua.

#### ***1.4.1.8. Desagües de fondo***

Los desagües de fondo se utilizan para vaciar el embalse, ya sea en caso de emergencia o para facilitar la reparación y mantenimiento de la presa. En general se trata de un conducto situado a un nivel bajo, con una válvula de compuerta a la entrada, o una válvula cónica a la salida.

### ***1.4.2. Principios básicos de un Pico Generador Hidroeléctrico***

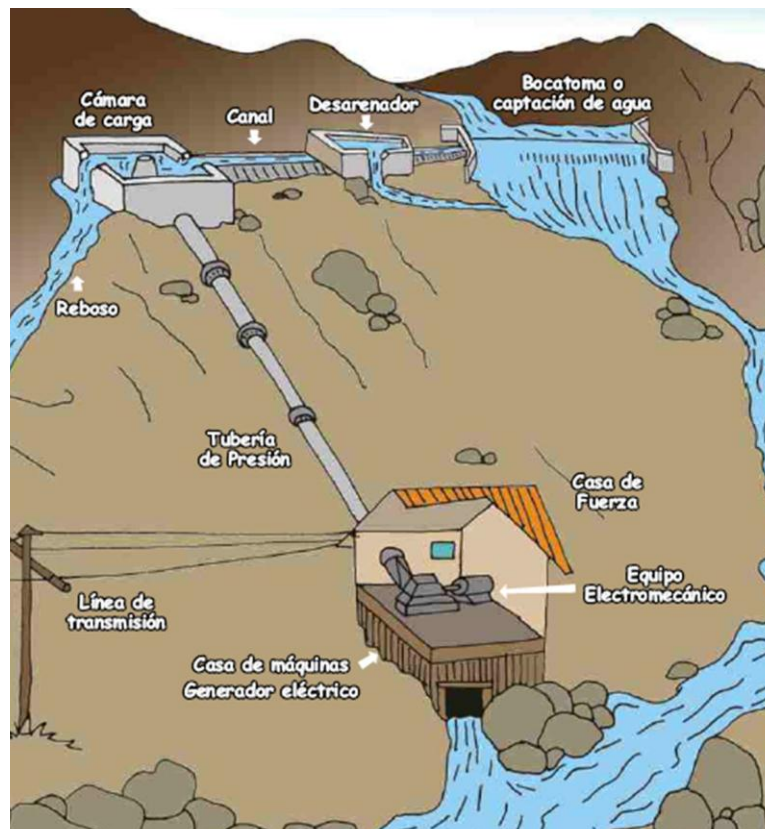
El recurso hídrico (agua) fluye desde el río hacia la Cámara de Carga, la cual se dimensiona para formar un pequeño reservorio que puede ser útil para almacenamiento de agua, en caso que el caudal sea insuficiente en temporada seca. Pasando por la cámara de carga, desarenador y la tubería de presión el agua sale del inyector en forma de chorro a alta presión. La potencia del chorro de agua, a la cual se la conoce como la “potencia hidráulica”, es transmitida al rodete de la turbina, la misma que transforma la potencia hidráulica en potencia mecánica.

El rodete de la turbina contiene álabes o cucharas que lo hacen rotar cuando reciba el impacto del chorro de agua. Por último la potencia mecánica es transformada en potencia eléctrica mediante una relación de transferencia (bandas de giro) de la turbina y generador.

Se conecta un controlador electrónico a las salidas del generador, esto hace que la potencia eléctrica generada corresponda con las cargas eléctricas que se conectan al sistema. Dicho controlador es necesario para evitar que el voltaje suba y baje cada vez que se prendieran y apagarán las luces y otros dispositivos eléctricos.

**Figura 1.1**

**COMPONENTES DE UN SISTEMA HIDROELÉCTRICO**



Fuente: [http://www.academia.edu/5252790/peque%C3%91as\\_centrales\\_hidroelectricas](http://www.academia.edu/5252790/peque%C3%91as_centrales_hidroelectricas)

### ***1.4.3. Ventajas e inconvenientes de un Pico Hidroeléctrico***

#### ***1.4.3.1. Ventajas***

- No necesitan combustibles fósiles y son limpias ya que no contaminan ni el aire ni el agua.
- A menudo los embalses pueden combinarse con otros beneficios, como el regadío, protección contra las inundaciones o para suministrar agua a las poblaciones próximas.
- Las turbinas hidráulicas son máquinas sencillas de fácil control, segura y eficiente, ya que puede ponerse en marcha y detenerse con rapidez, requieren poca vigilancia.

#### ***1.4.3.2. Inconvenientes***

- Por lo general el tiempo de construcción suelen ser más largos, en comparación con otros tipos de centrales eléctricas.
- La generación de energía eléctrica se encuentra influenciada por las condiciones climáticas ya que pueden variar de estación a estación.
- Generalmente están situadas en lugares lejanos del punto de consumo y, por lo tanto, los costos de inversión en infraestructuras de transporte pueden ser elevados.

## **1.5. Turbina hidráulica**

Es el elemento fundamental para el aprovechamiento de la energía en las centrales hidráulicas, transforman la energía cinética del agua en energía mecánica. Su componente más importante es el rotor, que tiene una serie de álabes que son impulsadas por la fuerza producida por el agua en movimiento, haciéndolo girar.

## ***1.5.1. Turbina Michell Banki***

### ***1.5.1.1. Introducción***

Esta turbina presenta perspectivas de utilización en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas principalmente por su simplicidad de diseño, tienen bajos costos de fabricación, de instalación y de fácil mantenimiento, pueden ser utilizadas en amplios intervalos de caudal y altura sin disminuir de manera apreciable su eficiencia. La turbina de flujo transversal se conoce como una máquina de pequeña escala, esto no impide que la turbina se utilice en grandes instalaciones.

El origen de la Turbina Michell Banki se remota a principios de siglo cuando el ingeniero A.G. Michell desarrolló, en 1903, la turbina de flujo cruzado de doble paso, la cual fue estudiada en la Universidad de Budapest por el ingeniero D. Banki entre los años 1917 y 1919. En 1993 el ingeniero alemán Fritz Ossberger desarrolló la turbina que denominó Cross – Flow, que era una turbina de flujo transversal con un mejor diseño que la desarrollada por Michell y estudiada por Banki.

### ***1.5.1.2. Descripción***

La turbina Michell Banki es una máquina de acción, de flujo transversal y de admisión parcial, son de gran importancia en pequeños aprovechamientos hidroeléctricos donde se aprovecha un salto y un caudal medio para satisfacer la demanda de un sistema eléctrico.

Su característica principal es que un amplio chorro de agua, de sección rectangular, incide dos veces, cruzando por el interior del rotor, sobre los álabes. Otra ventaja de la turbina de flujo cruzado con respecto a la Turbina Francis constituye su reducido costo de fabricación.

Además presenta algunas variantes constructivas que permiten el diseño de un sistema de regulación de esta máquina. Como ventaja de esta turbina, se tiene que, el rotor atmosférico evita la necesidad de una complicada y bien sellada carcasa. Los cojinetes no tienen contacto con el flujo, ya que estos se encuentran fuera de la carcasa apoyada sobre la estructura de la turbina o montada en bases.

#### ***1.5.1.3. Características Generales***

Esta turbina se basa fundamentalmente en un sencillo diseño y fácil construcción lo que la hace especialmente atractiva en el balance económico de un aprovechamiento en pequeña escala. Dentro de este punto podemos mencionar algunas características primordiales como son las siguientes:

- Presenta un amplio rango de aplicación, estando entre un margen establecido de la turbina Peltón de doble inyector y las Francis.
- Puede operar en amplios rangos de caudal y altura sin afectar su eficiencia.
- Presenta una construcción sencilla, ya que pueden ser fabricados en pequeños talleres mecánicos.
- Debido a su simplicidad de construcción y funcionamiento, presentan costos operación y mantenimiento reducidos.
- Es la turbina que mejor se aplica para ser empleadas en zonas rurales, donde no existe el tendido de red eléctrica.

#### ***1.5.1.4. Principio de funcionamiento***

El agua fluye a través de la turbina, forzándolo para dar vuelta. Generalmente, el flujo que atraviesa la turbina es controlado por un alabe directriz, que permiten que el flujo sea reducido o apagado totalmente, de acuerdo con la variación de la demanda de potencia del generador. La turbina está conectada con un generador, directamente por medio de engranajes o correas trapezoidales, así como también utilizando poleas.

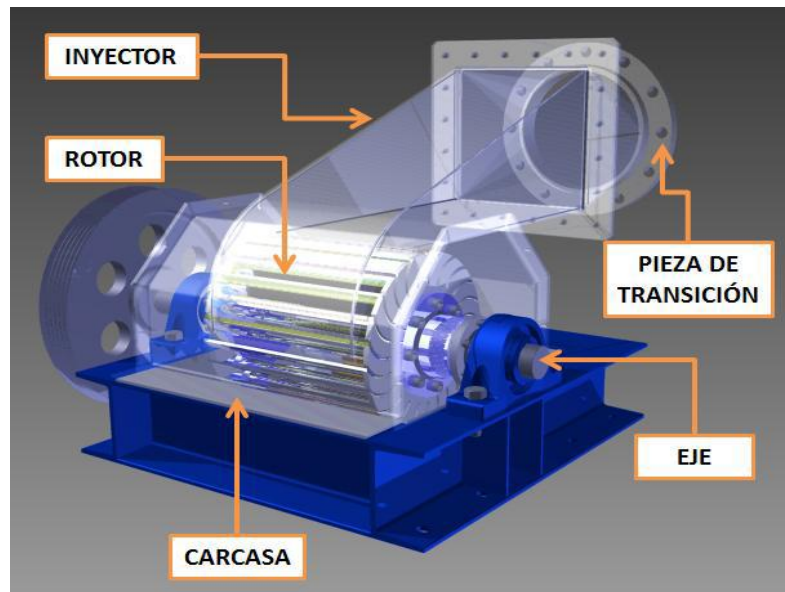


Una vez que el agua termina su recorrido por el inyector, ingresa al rodete, entregando parte de su energía al entrar en contacto con los álabes. El flujo del agua en el rodete es básicamente radial; por esta razón, el agua hace contacto con los álabes de la turbina en dos instantes interrumpidos por el tiempo que le toma al fluido cruzar el espacio interno del rodete. En el segundo contacto del agua con los álabes, hace una última entrega de la energía que lleva como fluido en la parte inferior del rodete.

Finalmente al abandonar el rodete, es descargada por la abertura inferior directamente al canal de descarga. La figura 1.2 presenta las partes de una turbina Michell Banki.

**Figura 1.2**

**PARTES DE UNA TURBINA**



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

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

El rodete va situado conjuntamente con el eje principal a través del cual se transmite la potencia mecánica de rotación. Este eje va conectado al eje del generador directamente o por medio de sistemas de transmisión (poleas, bandas transmisoras, etc). Su disposición es de forma horizontal o vertical de tal modo que no afecte su rendimiento.

#### ***1.5.1.5. Composición***

La turbina consta de dos componentes esenciales que mencionaremos a continuación:

##### **a) Rodete**

El rodete es una parte fundamental de la turbina, que constan de álabes que pueden ser fabricadas en acero perfilado estirado blanco y soldadas a ambos lados en discos paralelos terminales según el diseño en el anexo D, hoja 4 de 22.

Según sea su tamaño, el rodete puede poseer un número específico de álabes, curvado linealmente produciendo un empuje axial pequeño, este empuje es amortiguado por medio de los rodamientos en los cuales van situados. Una vez concluido su construcción, para el montaje final el eje de la turbina es sometido a un balanceo y un perfecto alineamiento.

##### **b) Inyector**

En la turbina Michell Banki, la entrada del agua (energía cinética) es impulsada a través de la tubería de presión, este flujo de agua es manipulada por medio del alabe directriz permitiendo mantener un fluido constante al ingreso de la turbina.

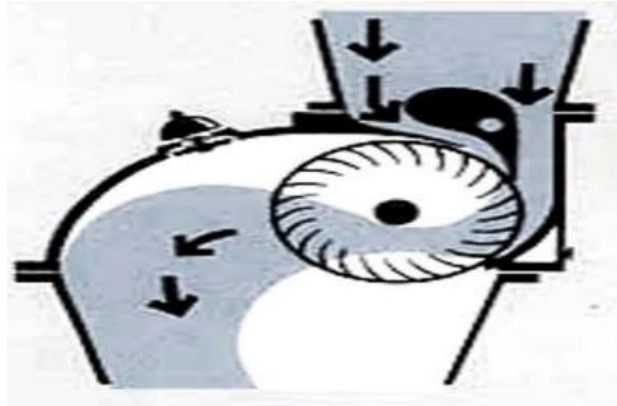
Este inyector es el que dirige el agua hacia el rotor a través de una sección que toma una determinada cantidad de álabes del mismo, y guía el agua para que entre al rotor con un ángulo determinado obteniendo el mayor aprovechamiento. Los alabes

directrices dividen y dirigen la corriente de agua que proviene de la cámara de carga, haciendo que ésta llegue al rodete sin efecto de golpe.

El inyector posee una sección transversal rectangular que va unida a la tubería en forma rectangular – circular.

**Figura 1.3**

**FUNCIONAMIENTO DEL INYECTOR DE LA TURBINA TIPO MICHELL BANKI**



**Fuente:** [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0550\\_M.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0550_M.pdf)

### **1.6. Generador eléctrico**

Es todo dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrica entre dos de sus puntos (llamados polos, terminales o bornes) transformando la energía mecánica en eléctrica, como se sabe, los generadores eléctricos están accionados por turbinas o primo-motores.

Esta transformación se lleva a cabo por la acción de un campo magnético sobre los conductores eléctricos (espiras) dispuestos sobre una armadura (estator). Si se produce mecánicamente un movimiento relativo entre los conductores y el campo, se generará una fuerza electromotriz.

### 1.6.1. Principio de funcionamiento

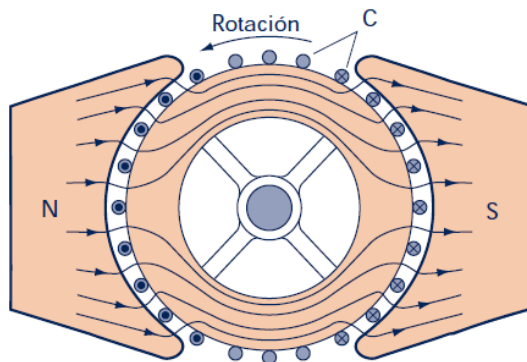
Los dos principios fundamentales en los que se basa cualquier máquina rotativa son los siguientes:

- Cuando un conductor que se encuentra situado en el interior de un campo magnético se mueve de tal forma que corta líneas de flujo magnético, se genera en él una fuerza electromotriz (fem).
- Al circular una corriente eléctrica a través de un conductor situado dentro de un campo magnético, se produce una fuerza mecánica que tiende a mover al conductor en dirección perpendicular a la corriente y al campo magnético.

En las máquinas rotativas, los conductores se montan paralelos al eje de rotación y sobre el inducido, como se representa en la figura 1.4.

**Figura 1.4**

LÍNEAS DE FLUJO MAGNÉTICO Y FEM INDUCIDA EN UNA MÁQUINA ELÉCTRICA ROTATIVA



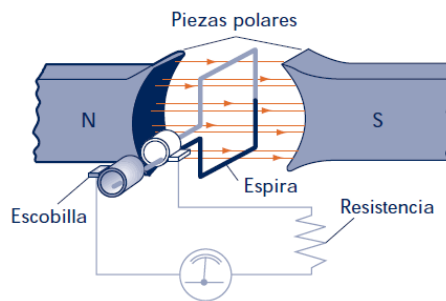
**Fuente:** file:///C:/Users/USUARIO/Desktop/maquinas+rotatorias.desbloqueado.pdf

Cuando gira el inducido, los conductores (C) cortan las líneas de campo magnético, de este modo se genera en ellos una f.e.m. Los puntos y las cruces representados en las secciones de los conductores (C) de la Figura 1.4 indican el sentido de la f.e.m. generada cuando el inducido gira en sentido contrario a las agujas del reloj.

Por tanto, si se coloca una espira dentro de un campo magnético, como se representa en la Figura 1.5, ésta cortará en su giro las líneas de fuerza del campo magnético creado por los polos norte y sur, conectando de este modo sus extremos a sendos anillos sobre los cuales se apoyan las escobillas que están conectadas al circuito exterior a través de una resistencia. El aparato de medida registrará el paso de corriente eléctrica.

**Figura 1.5**

**GENERADOR ELEMENTAL**

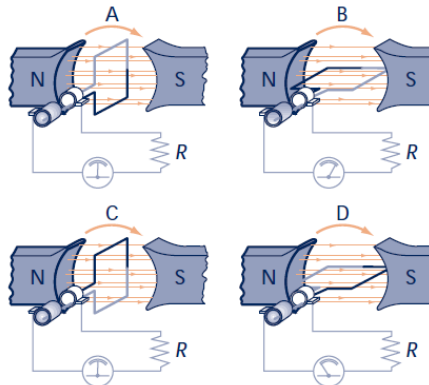


**Fuente:** file:///C:/Users/USUARIO/Desktop/maquinas+rotatorias.desbloqueado.pdf

La forma de esta corriente eléctrica es una onda sinusoidal como lo es también la f.e.m. inducida, que gira de  $0^\circ$  a  $360^\circ$  (Figura 1.6).

**Figura 1.6**

**GIRO DE LA ESPIRA DE  $0^\circ$  A  $360^\circ$**

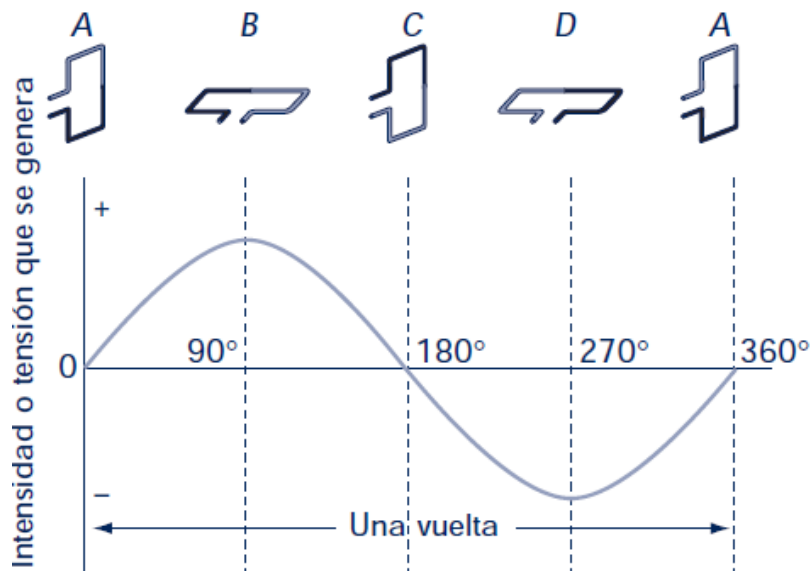


**Fuente:** file:///C:/Users/USUARIO/Desktop/maquinas+rotatorias.desbloqueado.pdf

Gira a  $360^\circ$  a través de las posiciones A ( $0^\circ$ ), B ( $0^\circ$  a  $90^\circ$ ), C ( $90^\circ$  a  $180^\circ$ ) y D ( $180^\circ$  a  $270^\circ$ ), para pasar de nuevo a la posición A inicial, se produce la onda sinusoidal de la Figura 1.7, como se puede observar, se corresponde con la representación de una corriente o voltaje alterno.

**Figura 1.7**

ONDA SINUSOIDAL



**Fuente:** file:///C:/Users/USUARIO/Desktop/maquinas+rotatorias.desbloqueado.pdf

### ***1.6.2. Generador síncrono***

Son máquinas eléctricas rotativas que se acoplan directa o indirectamente al rodete de la turbina y así conjuntamente producen energía eléctrica, generando una corriente alterna mediante inducción electromagnética.

Su principio fundamental de funcionamiento consiste en la excitación independiente variable que genera un flujo constante en el rotor por "corriente continua" y la corriente generada en el estator es alterna, de ahí que también se denomina como alternador.

### ***1.6.2.1. Principio de funcionamiento***

El principio de funcionamiento se basa en la ley de Faraday. Para crear tensión inducida en el circuito de armadura (estator), se creara un campo magnético en el rotor o circuito de campo, esto se lograra alimentado el rotor con una batería, este campo magnético inducirá una tensión en el devanado de armadura por lo que se tendrá una corriente alterna fluyendo a través de él.

### ***1.6.2.2. Partes del generador síncrono***

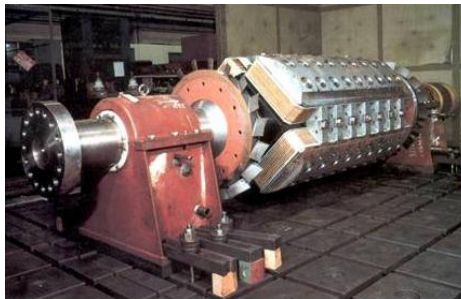
Está compuesto de las siguientes partes que mencionaremos a continuación:

#### **a) Rotor**

Es la parte giratoria de la máquina, constituido básicamente de un material envuelto en enrollamientos, que tiene como función primordial producir un campo magnético constante así como en el caso del generador de corriente continua para interactuar con el campo producido por el enrollamiento del estator.

**Figura 1.8**

**ROTOR DE UN GENERADOR SÍNCRONO**



**Fuente:** <http://www.monografias.com/trabajos82/generadores-sincronos/generadores-sincronos2.shtml>

#### **b) Estator o Armadura**

Conforma la parte fija de la máquina, que cubre al rotor de forma que el mismo pueda girar en su interior, también constituido de un material ferromagnético envuelto en un conjunto de enrollamientos distribuidos al largo de su circunferencia (figura 1.9).

Por el estator circula toda la energía eléctrica generada, siendo que tanto el voltaje así como la corriente eléctrica que circulan son bastante elevados en relación al campo, que tiene como función sólo producir un campo magnético para "excitar" la máquina de forma que fuera posible la inducción de tensiones en las terminales de los enrollamientos del estator.

**Figura 1.9**

**ESTATOR DE UN GENERADOR SÍNCRONO**



**Fuente:** <http://www.monografias.com/trabajos82/generadores-sincronos/generadores-sincronos2.shtml>

**c) Regulador de voltaje**

Es un dispositivo diseñado para mantener un nivel de voltaje constante, además se encarga de proteger el equipo de sobrecorrientes o de corrientes muy bajas que empeoren su desempeño o que pongan en peligro la máquina o la estabilidad del sistema.

**d) Regulador de Velocidad**

Es el mecanismo destinado a conseguir, en cualquier circunstancia, el equilibrio de los trabajos en una turbina, manteniendo, sensiblemente constante, la velocidad de sincronismo del grupo ante todas las cargas solicitadas, protegiéndole, además, contra velocidades excesivas que pudieran surgir.



### ***1.6.2.3. Ventajas***

- Pueden ser monofásicas o trifásicas, especialmente en aplicaciones de potencia con grandes eficiencias.
- Presentan largas horas de funcionamiento.
- Frecuencias sincrónicas normalizadas: 50 y 60 Hz.
- La velocidad de giro de la máquina en rpm. (revoluciones por minuto), permanece invariable, la velocidad rotativa es dada por la máquina, en este caso la turbina hidráulica.
- El alternador puede soportar altas corrientes instantáneas de carga o bajos factores de potencia lo que es típico en el arranque de un motor de inducción.
- Los alternadores normales permiten el desbalance de las corrientes de carga de hasta un 25% sin superar la corriente nominal, a cargas parciales el valor de desbalance puede ser mayor, pero sin superar el 40% para evitar el desequilibrio de tensiones y hasta sobre tensiones.

### ***1.6.2.4. Desventajas***

- Cuando un generador síncrono está sometido a carga, la tensión inducida sufre cambios por lo que se deberá utilizar equipos auxiliares que garanticen una óptima operación del mismo.
- Los generadores síncronos presentan pérdidas de energía en el circuito excitatriz.
- La regulación debe ser mantenida en rangos establecidos de regulación, usualmente aceptan una caída del 5% de la velocidad, de lo contrario presenta exceso de calentamiento por sobre excitación y disminución de aire de enfriamiento.

## 1.7. Medición del caudal

La capacidad de generación depende básicamente del caudal y altura aprovechable que se pueda obtener dentro del terreno. Dentro de esta se mencionan diversos métodos que pueden utilizarse para determinar la altura así como también el caudal existente en el río, de tal manera que la exactitud de estos métodos está ligada a la utilización de equipos e instrumentos sofisticados.

### 1.7.1 Método del flotador

Este método relaciona el área de la sección que conduce agua y la velocidad de escurrimiento. Se utiliza en canales, acequias o ríos y da sólo una medida aproximada de los caudales, siendo necesario el uso de otros métodos cuando se requiere mayor precisión.

La metodología a emplear es la siguiente:

- Se elige un tramo del río que sea de sección transversal uniforme, donde el agua circule libremente.
- En el tramo seleccionado se ubican dos puntos A (inicio) y B (llegada), y se procede a medir.
- Medición del área de sección trasversal en el tramo seleccionado del río, para lo cual se aplica la siguiente fórmula:

**Ecuación 1.14**

$$A = a \cdot h$$

- Para determinar la velocidad que lleva el agua en esa sección, se marca en el terreno la longitud elegida y se toma el tiempo que demora un flotador en recorrerla.
- Como flotador se puede usar cualquier objeto que sea capaz de permanecer sobre el agua, como un trozo de madera, corcho, hojas de árbol u otro material similar,

que no ofrezca gran resistencia al contacto con el aire y que se deje arrastrar fácilmente por la corriente de agua.

- Determinación de velocidad. Se divide la longitud del tramo por el tiempo que tarda el flotador en recorrerla, como se puede ver en la formula siguiente:

**Ecuación 1.15**

$$V = \frac{L}{t} \left[ \frac{m}{s} \right]$$

- Por último se determina el caudal del rio con la siguiente formula:

**Ecuación 1.16**

$$Q=A*V*C \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

## **1.8. Altura bruta ( $h_b$ )**

Se considera como el aprovechamiento de la altura o salto de la masa de agua existente entre el punto de la bocatoma y el punto de descarga del caudal turbinado al río, producidas por los desniveles existentes en los cauces por donde aquellas discurren, tiene lugar, no por la velocidad de esta, sino por la presión que puede obtenerse al descender las mismas para obtener de esta manera en su caída el trabajo aprovechable. A esta altura se la conoce como altura bruta y puede ser determinada de varias formas.

### ***1.8.1. Método del levantamiento topográfico***

Es un conjunto de operaciones que determinan las posiciones de diferentes puntos, mediante la representación gráfica, la cual cumple con todos los requerimientos que necesita un constructor para ubicar un proyecto en el terreno, ya que éste proporciona una representación completa del relieve y de las obras existentes. Tienen por objeto tomar suficientes datos de campo que permitirán trazar mapas o planos de un área, en los cuales aparecen las principales características físicas del terreno, tales como ríos,

lagos, caminos, etc.; y las diferencias de altura de los diferentes relieves, tales como valles, llanuras, colinas o pendientes.

#### ***1.8.1.1. Planimetría***

Es la representación horizontal de todos los detalles importantes del terreno sobre una superficie plana, la cual es la superficie media de la tierra; se estudia el conjunto de métodos y procedimientos para fijar las posiciones de puntos proyectados en un plano horizontal, sin tomar en cuenta sus elevaciones, ya que aquí no importan las diferencias relativas de las elevaciones entre los diferentes puntos del terreno. Es decir se representa el terreno visto desde arriba o en planta.

El conjunto de líneas que unen los puntos observados se denomina Poligonal Base y es la que conforma la red fundamental del levantamiento, la poligonal base puede ser abierta o cerrada según los requerimientos del levantamiento topográfico. Como resultado de los trabajos de planimetría se obtiene un esquema horizontal.

La ubicación de los diferentes puntos sobre la superficie de la tierra se hace mediante la medición de ángulos y distancias a partir de puntos y líneas de referencia proyectadas sobre un plano horizontal.

#### ***1.8.1.2. Equipos e instrumentos de campo***

##### **a) Estación total**

Es un aparato electro-óptico utilizado en la topografía, cuyo funcionamiento se apoya en la tecnología electrónica. Consiste en la incorporación de un distanciómetro y un microprocesador a un teodolito electrónico.

Estos aparatos pueden medir automáticamente ángulos horizontales y verticales, y también distancias inclinadas desde una sola estación, con estos datos pueden calcular

instantáneamente las componentes horizontales y verticales de las distancias, las elevaciones y coordenadas.

La estación total se puede observar en la figura 1.10.

**Figura 1.10**  
ESTACIÓN TOTAL



**Fuente:** <http://construadictos.wordpress.com/2008/12/05/topografia/>

#### **b) Trípode**

Es un instrumento que sirve para soportar y evitar el movimiento de un equipo de medición, su manejo es sencillo, ya que consta de tres patas, las cuales son regulables para así poder tener un mejor manejo al momento de subir o bajar las patas que se encuentran fijadas en el terreno, en su extremo tienen una punta metálica de forma cónica y en su parte superior una articulación por donde se une a la cabeza.

**Figura 1.11**  
TRÍPODE



**Fuente:** <http://construadictos.wordpress.com/2008/12/05/topografia/>

c) **Prisma simple**

Los prismas son circulares, de cristal óptico de alta calidad, fabricados observando estrictas tolerancias.

**Figura 1.12**

**PRISMA SIMPLE CON TARJETA DE PUNTERÍA**



**Fuente:** <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/30397/1/articulo3.pdf>

**1.8.2. Altura neta ( $H_n$ )**

Es aquella altura aprovechable en forma de presión y velocidad, que se obtiene del cálculo entre la altura bruta menos las pérdidas de fricción que son producidas debido al rozamiento del agua con las paredes de la tubería de presión, así como se aprecia en la siguiente ecuación: [h]

**Ecuación 1.17**

$$H_n = H_b - \Delta h_{(1-2)}$$

**1.8.2.1. Longitud de la tubería de presión**

Este cálculo tiene la finalidad de determinar las pérdidas existentes provocadas por el rozamiento del agua con las paredes de la tubería durante la conducción del flujo de agua desde el tanque de presión hasta la casa de máquinas, la misma que se encuentra aplicando la siguiente formula. [g]

**Ecuación 1.18**

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

### 1.8.2.2. Pérdidas primarias (Ecuación de Darcy-Weisbach)

Para determinar las pérdidas primarias o de superficie  $\Delta h_l$  se emplea la “ecuación de Darcy-Weisbach”, la cual determina la pérdida de carga debida a la fricción dentro de una tubería. Esta ecuación fue inicialmente una variante de la ecuación de Prony, desarrollada por el francés Henry Darcy, que en 1845 fue refinada por Julius Weisbach de Sajonia, hasta la forma en que se conoce actualmente: [h]

#### Ecuación 1.19

$$\Delta h_l = \lambda \left( \frac{L}{D} \right) \left( \frac{v^2}{2g} \right)$$

Donde  $\Delta h_l$  es la pérdida de carga debida a la fricción, calculada a partir del coeficiente de fricción  $\lambda$  (término este conocido como factor de fricción de Darcy o coeficiente de rozamiento), la relación entre la longitud y el diámetro de la tubería  $L/D$ , la velocidad de flujo  $v$ , y la aceleración debida a la gravedad  $g$  que es constante.

El factor de fricción  $\lambda$  varía de acuerdo con los parámetros de la tubería y la velocidad del flujo y puede ser conocido con cierta exactitud dentro de ciertos regímenes de flujo. El coeficiente de pérdida equivale a:

#### Ecuación 1.20

$$\lambda = 0.01 \left( \frac{k}{D} \right)^{0.134}$$

Donde la constante  $k$  se determina en función del tipo de material.

Dónde:

$\lambda$ : Factor de fricción

$\Delta h_l$ : Pérdidas primarias [m]

$k$ : Constante en función del tipo de material [mm]

- D: Diámetro de la tubería [m]  
 L: 45.80 longitud de la tubería de la presión [m].  
 $v$ : Velocidad de flujo de agua  $\left[\frac{m}{s}\right]$   
 $g$ : 9.81 aceleración de la gravedad  $\left[\frac{m}{s^2}\right]$

### 1.8.2.3. Ecuación general de las pérdidas secundarias

Cuando en un tramo de un tubo de corriente se tienen puntos que deforman el movimiento del fluido se generan pérdidas secundarias  $\Delta h_{acc}$  (salidas de depósito, codos, cambios bruscos de diámetro, válvulas, etc), los cuales son función de la velocidad, y se determinan con ecuaciones experimentales del tipo: [h]

#### Ecuación 1.21

$$\Delta h_{acc} = \xi \left( \frac{v^2}{2g} \right)$$

Los coeficientes  $\xi$  se encuentran tabulados en la literatura técnica especializada, o deben ser proporcionados por los fabricantes de piezas para conducciones. En general si se realiza el cálculo sin considerar las pérdidas secundarias, los errores cometidos resultan poco significativos para efectos prácticos.

Las pérdidas secundarias son generadas por la fricción de los elemento que componen la conducción del fluido, como: La rejilla  $h_r$ , la entrada de la tubería  $h_e$ , los codos  $h_k$ , las válvulas  $h_v$ , bifurcaciones  $h_{ram}$ , el estrechamiento del tubo  $h_{estr}$ . La tabla 1.1 indica el coeficiente de pérdidas para varios accesorios de tubería de presión.

### 1.8.2.4. Perdidas hidráulicas en un ducto ( $\Delta h_{(1-2)}$ )

Las perdidas hidráulicas de un ducto corresponden a pérdidas de caída y equivalen a la suma de las perdidas primarias y secundarias presentes en el. Ellas corresponden a:  
 [h]

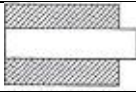
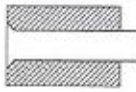
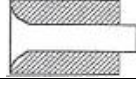

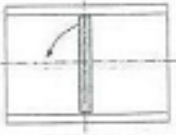
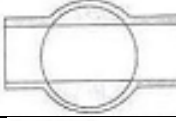
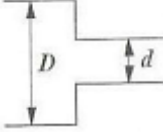
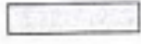




**Ecuación 1.22**

$$\Delta h_{(1-2)} = \sum \Delta h_l + \sum \Delta h_{acc}$$

**Tabla 1.1**

**COEFICIENTE DE PÉRDIDAS SECUNDARIAS  $\xi$  EN ACCESORIOS**

<b>PÉRDIDAS SECUNDARIAS</b>		$\xi$	
<b>ACCESORIO</b>	<b>TIPO</b>		
Toma de agua	En borde vivo o agudo	 0.50-1.0	
	En borde ligeramente redondeado	 0.2-0.25	
	En campana	 0.05-0.10	
Codo	a=10°		0.044
	a=15°		0.062
	a=22.5°		0.154
	a=30°		0.165
	a=45°		0.320
	a=60°		0.684
	a=90°		1.265
Válvula	Mariposa	 0.2-0.4	
	Esférica	 0.1	
Contracción brusca	D/d = 0.50		0.15
	D/d = 0.60		0.20
	D/d = 0.70		0.25
	D/d = 0.80		0.30
Rejilla con barrotes	En borde vivo o agudo	 2.4	
	En borde ligeramente redondeado o circular	 1.0-1.8	
	En borde hidráulico	 0.8	

**Fuente:** ORTIZ FLÒREZ Ramiro. Hidráulico Generación de Energía

**Elaborado por:** Postulantes

#### 1.8.2.5. Potencia hidráulica neta ( $P_h$ )

La potencia hidráulica neta que podrá suministrar el pico generador hidroeléctrico, viene dada por: [6]

**Ecuación 1.23**

$$P_h = \gamma_w * Q * Hn$$

Dónde:

$\gamma_w$ : Peso específico del agua, (1000)  $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

$Q$ : Caudal de diseño  $\left[\frac{m^3}{s}\right]$

$Hn$ : Altura neta disponible en la central [m]

#### 1.8.2.6. Potencia al freno de la turbina

Para una turbina Michell Banki se requieren determinar los datos del salto neto aprovechable y el caudal máximo que fluirá por ella. En algunos proyectos este caudal corresponde al caudal mínimo anual que se dispone, obtenido del estudio hidrológico, y en otros proyectos se deduce de la potencia al freno que la turbina deberá entregar al generador para que este entregue al sistema eléctrico una potencia determinada. [8]

La potencia al freno de la turbina se obtiene con la ecuación:

**Ecuación 1.24**

$$P_T = \frac{P_g}{\eta_g \eta_{tr}}$$

Dónde:

$P_T$  : Potencia al freno de la turbina

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

$\eta_g$ : Eficiencia de un generador 93%

$\eta_{tr}$ : Eficiencia de transmisión, considerando un sistema de bandas o sea 95%

$\eta_T$ : Eficiencia de la turbina cuando opera a plena carga

Una vez encontrado la potencia al freno de la turbina se determina el caudal de diseño, el que se obtiene con la ecuación:

**Ecuación 1.25**

$$Q = \frac{P_T}{9.807Hn * \eta_T}$$

Otro de los parámetros necesarios para el diseño de la turbina lo constituye el número óptimo de revoluciones con que deberá operar la turbina, que se deduce con la ecuación.

**Ecuación 1.26**

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

Dónde:

N: Numero óptimo de revoluciones

De: Diámetro exterior del rodete

#### ***1.8.2.7. Potencia transmitida al generador ( $P_{TR}$ )***

Para encontrar la potencia transmitida al generador se emplea la siguiente ecuación:

[3]

**Ecuación 1.27**

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

Dónde:

$P_T$ : Potencia al freno de la turbina, Watts.

$\eta_{TR}$ : Potencia transmitida al generador, Watts.

El tipo de transmisión utilizado son del tipo engranajes o bandas como se muestra en la tabla 1.2.

**Tabla 1.2**

**TIPOS DE TRANSMISIÓN PARA PICO GENERADORES HIDROELÉCTRICOS**

<b>TIPO</b>	<b><math>\eta_{TR}</math></b>
Engranajes	0.98
Bandas o fajas en “V”	0.95

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

**Elaborado por:** Postulantes

**1.8.2.8. Potencia en los bornes del generador**

Para micro centrales, es recomendable el empleo de generadores de dos y cuatro polos (1800 RPM y 3600 RPM) que funcionan a 60 Hz. [3]

**Ecuación 1.28**

$$P_g = P_{TR} * \eta_g$$

Dónde:

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

$\eta_g$ : Eficiencia del generador, [0.85 – 0.98]

**1.8.2.9. Pares de polos del generador ( $N_{pp}$ )**

Dentro de los generadores síncronos la velocidad de rotación del rotor que genera el campo magnético y la frecuencia de la señal eléctrica inducida están relacionadas a través de la siguiente ecuación:

**Ecuación 1.29**

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

Dónde:

$W_g$ : Velocidad del generador RPM [900 – 1200 – 1800 – 3600]

f: Frecuencia [Hz]

### 1.8.2.10. Velocidad Específica

Esto representa el número de revoluciones por minuto que dará la turbina. El rango de aplicación de la turbina Michell Banki está comprendido dentro del rango de aplicación de la Turbina Francis, superándola en eficiencia cuando la turbina opera la mayor parte del tiempo a carga parcial, lo cual ocurre en proyectos de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. Este rango de aplicación lo definen los números específicos de revoluciones  $N_q$  y  $N_s$  (Tabla 1.3), los cuales se obtienen con las ecuaciones: [8]

#### Ecuación 1.30

$$N_q = N \frac{Q^{1/2}}{H^{3/4}} \quad N_s = N \frac{P^{1/2}}{H^{5/4}}$$

**Tabla 1.3**

#### RANGOS DE APLICACIÓN DE TURBINAS HIDRÁULICAS

<b>Tipo de Turbina</b>	<b><math>N_q</math></b>	<b><math>N_s</math></b>
Turbina Peltón de 1 tobera	Hasta 9	Hasta 30
Turbina Peltón de 2 toberas	4 – 13	14 – 42
Turbina Peltón de 3 o más toberas	5 – 22	17 – 73
Turbina Michell Banki	18 – 60	60 – 200
Turbina Francis Lenta	18 -38	69 – 125
Turbina Francis Normal	38 – 68	125 – 225
Turbina Francis Rápida	68 - 135	225 – 450
Turbina Axial	105 - 300	350 - 1000

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

**Elaborado por:** Postulantes

## 1.9. Diseño hidráulico

Para la implementación de un pico generador hidroeléctrico se debe considerar un equipo hidráulico (Turbina Michell - Banki) y eléctrico correctamente diseñado. Uno de los criterios fundamentales que influyo para seleccionar la turbina de tipo Michell-Banki fue la potencia que se va suministrar, la misma que es directamente proporcional a dos magnitudes que son: la altura y el caudal turbinable del agua.

### 1.9.1. Selección del diámetro de la turbina

La selección del diámetro de la turbina no es dependiente del caudal, esto facilita el diseño de la maquina ya que varios autores señalan que, para pequeños centrales hidraulicas se necesita comunmente un diámetro de 200mm hasta los 500mm, por el hecho que esta turbina puede trabajar dentro de un amplio rango de velocidades de rotacion.

Factores que se consideran en el diseño:

- Si se reduce el diámetro del rodete se reduce la eficiencia hidraulica
- Los rodetes mas grandes tienen una velocidad de embalamiento menor
- La eficiencia de estas turbinas no varían en amplios intervalos de valores

Utilizando estos criterios se selecciona el diámetro del rotor, con la siguiente ecuación: [12]

**Ecuación 1.31**

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

### ***1.9.2. Diagrama de Velocidades***

Los perfiles de los álabes del rodete de una turbina, se determinan en base a los diagrama de velocidades en cada punto del rodete.

Para determinar estos diagramas, es necesario definir la velocidad de salida del agua del inyector, la que se determina en base a la Ecuación de Bernoulli aplicada entre la superficie del reservorio, donde la velocidad del agua es aproximadamente cero, y a la salida del inyector. [8]

#### **Ecuación 1.32**

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

En donde:

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

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

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

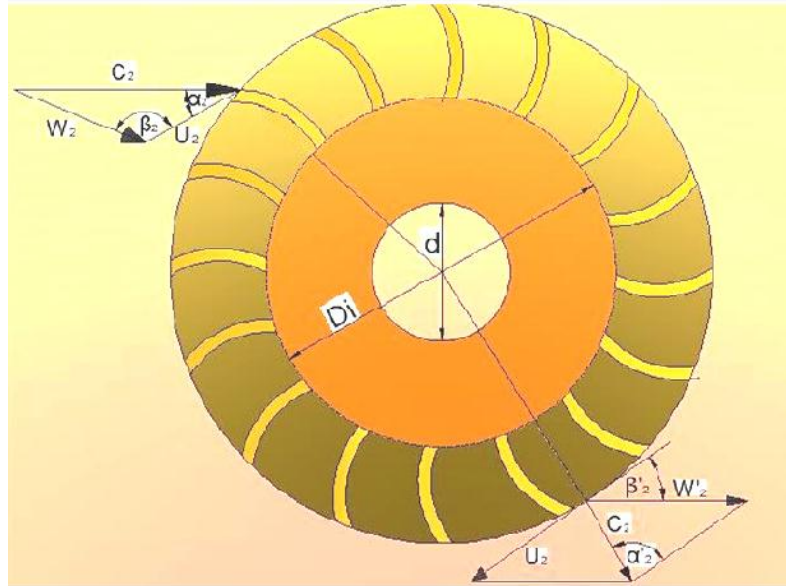
**γw** y **g**: representan el peso específico del agua y la aceleración de la gravedad, respectivamente.

**ΔHt**: La pérdida de presión por efecto de la fricción del agua con las paredes de la tubería depresión.

**ΔHi**: es la pérdida de presión por efecto de la fricción del agua con las paredes del inyector.

**Gráfico 1.3**

**DIAGRAMA DE VELOCIDADES**



**Fuente:**[http://www.efn.uncor.edu/posgrado/rrhh/asignaturaspdf/Tesis/Tesis\\_CAG\\_2012.pdf](http://www.efn.uncor.edu/posgrado/rrhh/asignaturaspdf/Tesis/Tesis_CAG_2012.pdf)

Todas las velocidades se pueden expresar en forma práctica cuando se definen las constantes. Por ejemplo si asumimos un ángulo promedio  $\alpha_2 = 16^\circ$ , un coeficiente de velocidad  $K_c = 0.98$ , un coeficiente de velocidad tangencial  $K_u = 0.5$  y un coeficiente de velocidad relativa  $K_f = 0.98$ , obtenemos las siguientes expresiones prácticas:

**1.9.2.1. Velocidad del agua a la salida del inyector (Velocidad absoluta)**

**Ecuación 1.33**

$$C_2 = 4.34\sqrt{Hn}$$

**1.9.2.2. Velocidad Tangencial**

**Ecuación 1.34**

$$U_2 = 2.09\sqrt{Hn}$$



### 1.9.2.3. *Velocidad Relativa*

**Ecuación 1.35**

$$W_2 = 2.40\sqrt{Hn}$$

### 1.9.2.4. *Velocidad Meridiana*

**Ecuación 1.36**

$$W'_2 = 2.35\sqrt{Hn}$$

Los diagramas de velocidades sólo dependen del salto y los ángulos son independientes de las condiciones de salto y caudal. Sonnek (1923), modificó la teoría de Banki asumiendo un ángulo constante e igual a  $30^\circ$ , con lo que da la expresión del rendimiento máximo es: [8]

**Ecuación 1.37**

$$\eta_{max} = \left(0.863 - 0.264 \frac{De}{Hn}\right) * 100\%$$

### 1.9.3. *Geometría del inyector*

Para definir la geometría del inyector es necesario considerar una buena conducción y aceleración del flujo del agua, así como también una adecuada orientación y regulación del flujo hacia los alabes del rodete, ya que determinan la eficiencia de la turbina.

El inyector posee una sección transversal de forma rectangular compuestas por caras laterales rectas que permiten descargar el fluido sobre todo el ancho del rotor considerando un balance de presión en el flujo de agua producida por la tubería de presión. Su geometría se puede observar en el anexo D, hoja 16 de 22.

Con el valor del diámetro de rodete asumido, se determina la geometría del rodete e inyector, para la cual es necesario determinar el ancho del inyector con la fórmula práctica. [8]

**Ecuación 1.38**

$$B = \frac{0.96 Q}{De\sqrt{Hn}}$$

#### ***1.9.4. Geometría del rodete***

La geometría del rodete se determina en base a los ángulos obtenidos de los diagramas de velocidades. Considerando  $\alpha_2$  igual a  $16^\circ$  y  $K_u$  igual a 0.5 se obtiene el diámetro interno con la siguiente ecuación. [8]

**Ecuación 1.39**

$$D_i = 0.66 * D_e$$

En el diseño de la turbina Michell Banki también se debe considerar que desde el punto de vista teórico existe el limitante en cuanto al ángulo de admisión. [9]

**Ecuación 1.40**

$$\theta_{ad} = \frac{2 * 1000 * 180 * Q}{C2 * De * B * \text{sen}16 * \pi}$$

En donde:

C2: Velocidad a la salida del inyector,  $\left[\frac{m}{s}\right]$

Q: Caudal de diseño,  $\left[\frac{m^3}{s}\right]$

B: Ancho del inyector, [m]

De: Diámetro del rodete, en [mm]

El número de álabes que reciben el flujo de agua que ingresa al rotor puede calcularse con la siguiente ecuación. [9]

**Ecuación 1.41**

$$Na = \frac{Z * \theta_{ad}}{360}$$

Dónde:

$Na$ : Número de álabes de admisión

$\theta_{ad}$ : Ángulo de admisión del rotor

$Z$ : Número de álabes del rodete

$Qa$ : Caudal para cada álabe de admisión

Logicamente el caudal para cada álabe de admisión sera: [9]

**Ecuación 1.42**

$$Qa = \frac{Q}{Na}$$

### ***1.9.5. Geometría de la carcasa***

Es la parte que se encarga de cubrir y proteger al inyector, rotor y otros elementos mecánicos ya sean móviles o fijas que conforman la turbina.

La geometría de la carcasa depende de la longitud de los álabes y el diámetro del rodete, también está constituido por un desfogue del fluido de agua, la misma que cumple la función de direccionar el chorro turbinado hacia el canal de descarga.

## 1.10. Diseño mecánico

El diseño de una turbina se realiza para definir las dimensiones de sus elementos antes descritos, esto se realiza para verificar si el material utilizado en los elementos de diseño está en condiciones de soportar los esfuerzos que se presentan en ella.

### 1.10.1. Ancho del rotor

Para que no existan pérdidas de caudal en la interface entre el inyector y el rotor el ancho de este se construye 20 a 40 % mayor que el ancho del inyector tomando en cuenta el espacio requerido para la soldadura de los álabes del disco. En este caso se usa la siguiente ecuación: [3]

**Ecuación 1.43**

$$Br = 1.5 * B$$

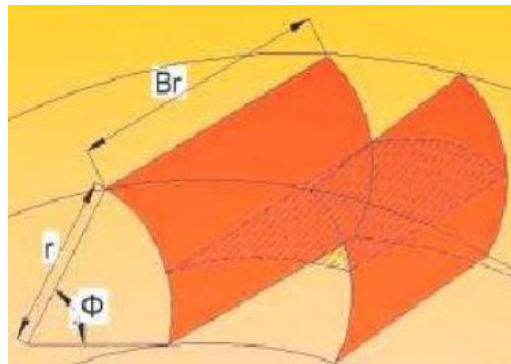
Dónde:

Br: Longitud del rodete [m].

B: Ancho del inyector[m].

**Figura 1.13**

LONGITUD DEL RODETE



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

### 1.10.2. Número de álabes del rodete

La selección del número de álabes se realiza en función al diámetro y a las condiciones de funcionamiento de la turbina, es decir la altura y el caudal. El número de álabes se determina con ayuda de la siguiente tabla:

**Tabla 1.4**

#### SELECCIÓN DEL NÚMERO DE ÁLABES DEL RODETE

Diámetro del rotor	Número de álabes
200	22
300	24
400	26
500	28

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

**Elaborado por:** Postulantes

Debe existir una distancia con que un alabe se separa uno con respecto al otro, tomando en cuenta el diámetro exterior y el número total de los álabes del rotor.

El paso entre álabes se lo encuentra de la siguiente manera: [9]

#### Ecuación 1.44

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

Dónde:

Pz: Paso entre álabes

De: Diámetro exterior del rodete

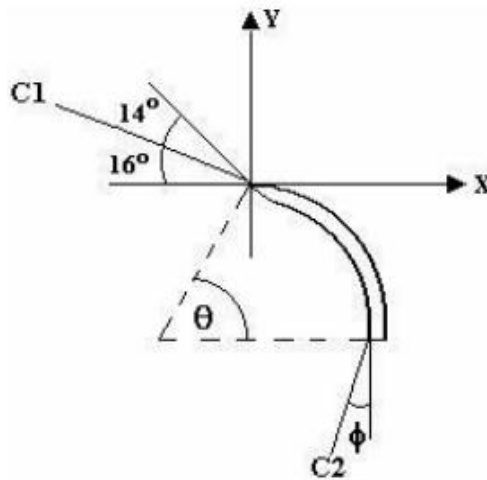
Z: Número de álabes

### 1.10.3. Fuerza hidráulica sobre un álabe

Esta fuerza se debe al cambio que sufre la dirección del chorro de agua al pasar por los alabes de la turbina. Esto puede calcularse aplicando la ecuación de conservación de la cantidad de movimiento en un álabe. [9]

**Gráfico 1.4**

ÁNGULO DE LA VELOCIDAD ABSOLUTA, A LA ENTRADA Y SALIDA DEL ALABE



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

**Ecuación 1.45**

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

**Ecuación 1.46**

$$F_{hy} = 429.38 * Qa\sqrt{Hn}(\sin 16^{\circ} + \cos \phi)$$

**Ecuación 1.47**

$$F_{hr} = \sqrt{(F_{hx})^2 + (F_{hy})^2}$$

#### 1.10.4. Fuerza centrífuga sobre un álabe

Es el impulso que tiende a apartar los alabes del centro de rotor mediante la velocidad tangencial, puede calcularse con la siguiente ecuación: [9]

**Ecuación 1.48**

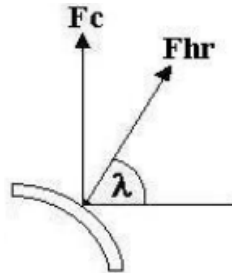
$$F_c = 0.895 * \frac{Pa * Hn}{De}$$

#### 1.10.5. Fuerza total sobre el álabe

La fuerza total se calcula para el caso más desfavorable, en el cual la resultante de las fuerzas hidráulica y centrífuga es mayor, este caso se muestra en el siguiente gráfico, donde el ángulo  $\lambda$  es diferente para cada diámetro de rotor. [9]

**Gráfico 1.5**

COMPOSICIÓN DE FUERZAS SOBRE EL ÁLABE



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

**Ecuación 1.49**

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

**Ecuación 1.50**

$$R_y = F_{hr} * \sen\lambda + F_c$$

**Ecuación 1.51**

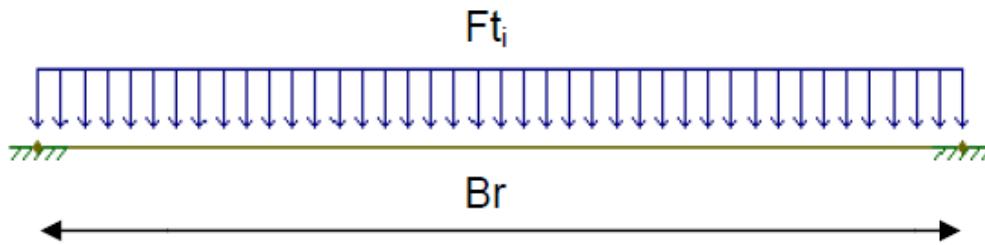
$$R_t = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

### 1.10.6. Plancha del inyector

Para el análisis de la fuerza (presión) total sobre el inyector, se debe considerar la sección de entrada de éste, donde actúa la fuerza de presión del agua, esta fuerza lo podemos calcular con la siguiente ecuación 1.52.

**Gráfico 1.6**

PLANCHA DEL INYECTOR



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

**Ecuación 1.52**

$$F_{ti} = 390 * De * Hn * Br \text{ [kgf]}$$

Dónde:

Br: Ancho del rodete [m]

Hn: Altura neta [m]

De: Diámetro exterior del rodete [m]

### 1.10.7. Diseño del eje principal

El diseño de la turbina se realiza considerando, que la turbina transmitiera su potencia al generador por intermedio de acoplamiento o un sistema de transmisión por bandas o engranajes.



### ***1.10.7.1. Discos de unión de álabes***

Son los discos en los cuales están fijados los álabes que componen el rodete.

El volumen de los dos discos se determina: [12]

**Ecuación 1.53**

$$V_{ds} = \pi * D_e^2 * t * 2 * 10^{-6}$$

Dónde:

$V_{ds}$ : Volumen de los discos separadores, [m<sup>3</sup>]

$D_e$ : Diámetro exterior del rodete, [mm]

$t$ : Espesor de los discos, mm (3 – 5)

El peso de los discos entonces sería:

**Ecuación 1.54**

$$W_{ds} = V_{ds} * \rho_B$$

El peso total del rodete, será entonces:

**Ecuación 1.55**

$$W_{Trodete} = W_{ds} + W_{Talabe}$$

### ***1.10.7.2. Torque de accionamiento***

Con el fin de realizar un diseño preliminar sobre el diámetro del eje, es necesario encontrar parámetros que están relacionados directamente a su diseño, es decir; cualquier elemento que se apoye sobre éste.

El torque máximo de accionamiento del rodete, se tiene entonces: [8]

**Ecuación 1.56**

$$T = 974 * \frac{P_T}{N}$$

Posteriormente, es necesario conocer la distancia correspondiente desde el rodete hacia las chumaceras (a); el valor puede variar dependiendo de las condiciones y/o seguridad que se desee dar al sistema, sin embargo un valor acertado sería el 80% del ancho del rodete ( $B_r$ ), es decir: [8]

**Ecuación 1.57**

$$a = 0.8 * B_r$$

El diametro minimo del eje se realiza según el calculo mecanico ASME, con la siguiente ecuación. [8]

**Tabla 1.5**

**PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS ALEACIONES USADAS EN TURBINAS  
HIDRÁULICAS**

<b>MATERIAL</b>	<b>ESFUERZO DE FLUENCIA kg/mm<sup>2</sup></b>	<b>ESFUERZO DE TENSIÓN kg/mm<sup>2</sup></b>	<b>MÍNIMA RESISTENCIA DE IMPACTO kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>DUREZA BRINEL kg/mm<sup>2</sup></b>	<b>LÍMITE DE FATIGA kg/mm<sup>2</sup></b>
ACERO AL 13 % Cr.	45	65-75	4	190-30	30
ACERO AL 18% Cr, 8% Ni	15	40-50	18	130-170	13
ACERO AL 2% Ni	35	55-65	6	155-195	22
ACERO AL 1.5% Mn	34	50-60	6	140-180	18
BRONCE AL ALUMINIO	30	60-70	1	190-230	15

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

**Elaborado por:** Postulantes

**Ecuación 1.58**

$$d^3 = \frac{16}{\pi Sd} \sqrt{(k_m M_{max})^2 + (k_t T_{max})^2}$$

**Ecuación 1.59**

$$M_{max} = \sqrt{M_x^2 + M_y^2}$$

Siendo

**Ecuación 1.60**

$$M_x = \frac{Fr * a}{2}$$

**Ecuación 1.61**

$$M_y = W_{Trodete} * \frac{a}{2}$$

Dónde:

Km: Factor de momento flector. (Para carga estable 1,5)

Mmax: Momento flector máximo que se presenta en el eje

Kt: Factor de momento torsor. (Para carga estable 1,0)

Fr: Es la fuerza tangencial del rodete calculada por:

Sd: Es el esfuerzo de diseño, del material utilizado para el eje, que se estima como un 20% del valor del esfuerzo de fluencia cuando se utiliza canal chavetero

**Ecuación 1.62**

$$Fr = \frac{1948 P_T}{N * D_e}$$

El diámetro máximo del eje del rotor debe tener un valor máximo en la cual no obstruya el flujo a través de este. Se puede expresar con la siguiente ecuación. [8]

**Ecuación 1.63**

$$d = 0.328 * D_e$$

***1.10.7.3. Selección de rodamientos***

En toda maquina rotativa es necesario la selección de rodamientos, para esto se deben considerar aspectos relevantes que ayudan a obtener una buena velocidad de giro, considerando perdidas minimas, las cuales se mencionan a continuacion:

- Para velocidades elevadas se consideran normalmente rodamientos de bolas.
- Los calculos de los rodamientos se consideran en funcion a las cargas dinamicas y estaticas.
- La carga se considera dinamica si el giro es constante, mientras que la carga estatica se mantiene en reposo o cuando ejecuta movimientos leves.
- Para acoplar los rodamientos de giro y soporte se instalan con la ayuda de chumaseras en sus dos extremos.

***1.10.7.4. Sistema de transmisión de potencia mecánica***

En las centrales hidroeléctricas se toma en cuenta la altura neta y el caudal existente ya que la velocidad de giro depende de los parámetros mencionados anteriormente, en vista que en las pequeñas centrales la revoluciones por minuto de la turbina no alcanza la velocidad requerida para el generador se ve necesario adaptarla con sistemas de transmisión.

La conversión de energía surge gracias a la potencia hidráulica que ingresa a la turbina, dando como respuesta una potencia mecánica la cual es transmitida mediante

una caja de transmisión acoplada con una polea que es transmitida por medio de una banda trapezoidal hacia el generador produciendo así potencia eléctrica.

El sistema de giro del sistema de transmisión se puede solucionar fácilmente introduciendo un engranaje loco que gire en un eje intermedio. De igual manera la velocidad de entrada (eje conductor) y salida (eje conducido) están inversamente relacionados con el número de dientes de las ruedas en las que están conectadas cumpliéndose que:

**Ecuación 1.64**

$$N1 * Z1 = N2 * Z2$$

Con lo que la velocidad del eje conducido será:

$$N2 = N1 * \frac{Z1}{Z2}$$

Dónde:

N1: Velocidad de giro del eje conductor

N2: Velocidad de giro del eje conducido

Z1: Número de dientes de la rueda

Z2: Número de dientes del piñón

**1.10.7.5. Diámetro de la polea**

El diámetro de la polea se determina en función a la velocidad del generador (RPM), para lo cual se procede a determinar la relación de transmisión con la siguiente ecuación: [5]

**Ecuación 1.65**

$$i = \frac{N_2}{N_1}$$

Dónde:

$i$ : Relación de transmisión.

$N_2$ : Velocidad de giro en el generador

$N_1$ : Velocidad de giro en la turbina

Entonces el diámetro de la polea correspondiente será:

**Ecuación 1.66**

$$D_1 = d_2 * i$$

#### ***1.10.7.6. Potencia corregida***

La potencia transmisible del generador eléctrico está determinada bajo la hipótesis de carga constante, para lo cual la potencia corregida se calcula con la siguiente ecuación: [12]

**Ecuación 1.67**

$$P_c = P * C$$

Dónde:

$P_c$ : Potencia corregida [CV]

$P$ : Potencia a transmitir [CV]

$C$ : Factor de servicio según las condiciones de trabajo

**Tabla 1.6**

VALORES DE (C) SEGÚN LAS CONDICIONES DE TRABAJO Y CARGA

<b>TIPO DE SERVICIO</b>	<b>CONDICIONES DE TRABAJO</b>	<b>GENERADOR ELÉCTRICO</b>
Ligero	Servicio intermitente-funcionamiento $\leq 6$ horas diarias, ninguna punta de carga.	1
Normal	Funcionamiento de 6-16 horas día-punta de carga $\leq 150\%$ del trabajo a plena carga.	1.2
Pesado	Puntas de carga o puesta en marcha $\leq 250\%$ del trabajo a plena carga-servicio continuo 16-24 horas día.	1.4
Muy pesado	Puestas de carga $>250\%$ del trabajo a plena carga funcionamiento continuo.	1.6

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

**Elaborado por:** Postulantes

#### **1.10.7.7. Distancia entre ejes**

Debido a los requerimientos geométricos se debe fijar la distancia entre los ejes la cual se determina mediante la siguiente ecuación. [13]

- Para  $i$  comprendida entre 1 y 3

**Ecuación 1.68**

$$I \geq \frac{(i + 1)d_2}{2} + d_2$$

- Para  $i \geq 3$ :

$$I \geq D_1$$

Dónde:

- $I$  : Distancia entre ejes
- $d_2$  : Diámetro de la polea menor (generador)
- $D_1$  : Diámetro de la polea mayor (turbina)

### 1.10.7.8. Longitud primitiva de la correa trapezoidal

En función al tipo de transmisión entre la turbina y el generador se determina la longitud primitiva de la correa trapezoidal (L), la cual se lo puede calcular aplicando la siguiente ecuación: [13]

**Ecuación 1.69**

$$L = 2 * I + 1.57 (D_1 + d_2) + \frac{(D_1 - d_2)^2}{4 * I}$$

**Tabla 1.7**

**CORREAS TRAPEZOIDALES DE SECCIÓN CONVENCIONAL**

<b>TIPO</b>	<b>DESARROLLO INTERIOR mm</b>	<b>DESARROLLO PRIMITIVO mm</b>
<b>A55</b>	1392	1430
<b>A56</b>	1422	1455
<b>A57</b>	1448	1481
<b>A58</b>	1473	1506
<b>A59</b>	1499	1532
<b>A60</b>	1524	1557
<b>A61</b>	1549	1582
<b>A62</b>	1575	1608
<b>A63</b>	1600	1633
<b>A64</b>	1626	1659
<b>A65</b>	1651	1684
<b>A66</b>	1676	1709
<b>A67</b>	1702	1735
<b>A68</b>	1727	1760
<b>A69</b>	1753	1786
<b>A70</b>	1778	1811
<b>A71</b>	1803	1836
<b>A72</b>	1829	1862

**Fuente:** <http://www.ba-transmisiones.com.ar/pdf/dayco.pdf>

**Elaborado por:** Postulantes

Por consiguiente se incrementara la distancia entre centro de los ejes, la misma que se calcula de siguiente manera: [13]



**Ecuación 1.70**

$$l' = l + \frac{(L' - L)}{2}$$

**1.10.7.9. Arco de contacto**

En función al tipo de transmisión que presenta se debe calcular el arco de contacto para la polea de menor diámetro (generador), la misma que se obtiene aplicando la siguiente ecuación: [13]

**Ecuación 1.71**

$$\Gamma = 180 - 57 \left( \frac{D_1 - d_2}{l'} \right)$$

**1.10.7.10. Potencia transmitida por la correa trapezoidal**

La potencia transmitida por una correa es función de la diferencia entre las tensiones de sus ramas y de su velocidad lineal que presenta. Para lo cual se debe calcular una prestación actual la misma que será representada en CV, la potencia que puede transmitir la correa en condiciones reales se representa con la siguiente ecuación. [13]

**Ecuación 1.72**

$$Pa = (Pb + Pd) * C_{\Gamma} * C_l$$

Dónde:

Pa: Potencia Transmitida por la correa

Pb: Prestación Base (CV).

Pd: Prestación Diferencial (CV).

$C_{\Gamma}$ : Factor de corrección, para arcos de contacto inferiores a  $180^{\circ}$ .

$C_l$ : Factor de corrección en función del tipo de correa.

**Tabla 1.8**

FACTOR DE CORRECCIÓN  $C_T$  PARA ARCOS DE CONTACTO INFERIORES A  $180^\circ$

Arco de contacto. Sobre polea menor.	180°	175°	170°	165°	160°	155°	150°	145°	140°	135°	130°	125°	120°	115°	110°	105°	100°	90°
Transm. Trap/trap	1	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.92	0.90	0.87	0.86	0.84	0.82	0.80	0.78	0.76	0.74	0.69
Trasm. Trap/plana	0.75	0.76	0.77	0.79	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.84	0.82	0.80	0.76	0.76	0.74	0.69

Fuente: [http://www.martinezgambino.com.ar/catalogo\\_correas.pdf](http://www.martinezgambino.com.ar/catalogo_correas.pdf)

Elaborado por: Postulantes

**Tabla 1.9**

FACTOR DE CORRECCIÓN  $C_l$  EN FUNCIÓN AL TIPO DE CORREA

	<b>16</b>	<b>24</b>	<b>28</b>	<b>35</b>	<b>42</b>	<b>48</b>	<b>53</b>	<b>58</b>	<b>75</b>	<b>81</b>	<b>90</b>	<b>105</b>	<b>128</b>	<b>144</b>	<b>180</b>	<b>240</b>	<b>330</b>	<b>420</b>	<b>540</b>	<b>720</b>	
<b>Z</b>	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	1.0														
<b>A</b>			0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1.2						
<b>B</b>				0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2					
<b>C</b>							0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2			
<b>D</b>													0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	
<b>E</b>															0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2
<b>F</b>																0.8	0.9	1.0	1.0	1.1	1.2

Fuente: [http://www.martinezgambino.com.ar/catalogo\\_correas.pdf](http://www.martinezgambino.com.ar/catalogo_correas.pdf)

Elaborado por: Postulantes

#### ***1.10.7.11. Determinación del número de bandas***

El número de bandas se calcula aplicando la siguiente ecuación: [13]

**Ecuación 1.73**

$$N^{\circ} \text{bandas} = \frac{P_c}{P_a}$$

### **1.11. Tablero de Control**

Son gabinetes de acero galvanizado en donde se alojan los elementos de protección, control, medida y cableado siendo estos indispensables para el buen funcionamiento del sistema de generación, siempre y cuando se encuentren protegidos de agentes dañinos como la humedad o el polvo que pueden intervenir en el buen funcionamiento del sistema.

#### ***1.11.1. Instrumentos que conforman el tablero de control***

##### ***1.11.1.1. Voltímetro***

Este instrumento permite medir el nivel de voltaje que entrega el generador a la carga, el cual está contruido por una alta impedancia que va conectado en paralelo a los bornes del generador.

##### ***1.11.1.2. Amperímetro***

Es un instrumento que permite medir la intensidad de corriente que existe cuando entra en funcionamiento los aparatos eléctricos, está contruido por una baja impedancia por lo que va conecta en serie con sus cargas receptoras.

### ***1.11.1.3.Luz Piloto***

Son indicadores de luz que permiten visualizar si hay la presencia (verde) o ausencia (rojo) de energía eléctrica las mismas que están instalados en el tablero siendo conectados después del multímetro.

**Figura 1.14**

LUZ PILOTO



**Fuente:** <http://es.aliexpress.com/w/wholesale-led-pilot-light.html>

### ***1.11.1.4.Puesta a tierra***

Es la conexión de todos los elementos metálicos que mediante cables de sección suficiente entre las partes de una instalación y un conjunto de electrodos enterrados en el suelo, permite la desviación de corrientes de falla o de las descargas de tipo atmosférico.

### ***1.11.1.5.Protección contra sobrecarga***

En los diseños de sistemas eléctricos, se han desarrollado varias técnicas para minimizar los efectos de las anomalías que ocurren en el mismo, de tal forma que se diseñe el sistema para que sea capaz de:

- a) Aislar rápidamente la porción afectada del sistema, de manera que se minimice el efecto y se mantenga el servicio tan normal como sea posible.

- b) Reducir el valor de la corriente de cortocircuito para reducir los daños potenciales del equipo o partes de la instalación.
- c) Proveer al sistema, siempre que sea posible, de medio de cierre automático, para minimizar la duración de fallas de tipo transitorio.

Por ende el cálculo de la protección general de la cabaña se obtiene con la siguiente ecuación 1.74.

**Ecuación 1.74**

$$P = Vf * If * fp$$

Dónde:

- P: Potencia activa del generador
- Vf: Voltaje de fase
- If: Corriente de fase
- fp: Factor de potencia (0.92)

## **1.12. Análisis económico del proyecto**

### ***1.12.1. Costos***

El costo es una parte esencial del proyecto que representa la construcción del Pico Generador Hidroeléctrico para la generación de energía eléctrica, así como también ayuda a tomar decisiones en torno a ejecutarlo o no.

#### ***1.12.1.1. Costos directos***

Son aquellos costos que se asocian directamente con la producción de potencia activa (W) del proyecto, siendo estos los siguientes:

- Mano de obra
- Adquisición de materiales

#### ***1.12.1.2. Costos indirectos***

Son costos que están constituidos por los gastos que no son identificables con la construcción del proyecto, relacionándose con éstos en forma indirecta.

Dentro de los cuales se mencionan los siguientes.

- Transporte
- Alimentación

#### ***1.12.1.3. Valor de la depreciación***

Viene a ser el desgaste físico que sufren los activos periódicamente, dicha depreciación se debe a razones como el desgaste debido al uso y el paso del tiempo. Para determinar el valor a depreciar se utilizó el método de línea recta, la cual se caracteriza porque expresa el valor en función del tiempo y no del uso, lo que viene a decir que cada año, el activo pierde el mismo valor.

En función a las microcentrales hidroeléctricas existentes se determina el tiempo de vida útil de los componentes que conforman el pico generador hidroeléctrico:

- Obra civil
- Equipo electromecánico
- Equipo eléctrico

El valor a depreciar con el método lineal se expresa con la siguiente ecuación:

$$V_d = \frac{V_a - V_s}{V_u}$$

Dónde:

$V_d$  : Valor de la depreciación

$V_a$  : Valor del activo

$V_s$  : Valor de salvamento

$V_u$  : Vida útil

### ***1.12.2. Costo de la energía***

Para determinar el costo de la energía se debe considerar la potencia de cada equipo eléctrico y el número de horas que estarán en funcionamiento por día, por mes y finalmente por año. Como se detalla en la siguiente tabla:

### ***1.12.3. Relación beneficio costo***

La relación costo beneficio toma los ingresos y egresos actualizados, para determinar cuáles son los beneficios por cada dólar que se invierte en el proyecto. Cuando se habla de ingresos actualizados, se hace referencia a los ingresos que efectivamente se recibirán en los años proyectados, mientras que los egresos actualizados son las salidas de efectivo durante los diferentes periodos.

Esta relación es un indicador que mide el grado de desarrollo y bienestar que un proyecto puede generar, la misma que puede presentar situaciones como:

- Si la relación B/C >1 implica que los ingresos son mayores que los egresos, por tal motivo la inversión en un proyecto productivo es aceptable.

- Si la relación B/C =1 implica que los ingresos son iguales que los egresos, de tal manera que la inversión inicial se recuperó favorablemente después de haber sido evaluado a una tasa determinada.
- Si la relación B/C <1 implica que los ingresos son menores que los egresos, por tal motivo la inversión del proyecto no se recupera en el periodo establecido evaluado a una tasa determinada; la misma que no es aceptable.

Para calcular la relación beneficio costo se calcula con la siguiente ecuación: [e]

**Ecuación 1.76**

$$R_{B/C} = \frac{VALOR ACTUAL TOTAL BENEFICIOS}{VALOR ACTUAL TOTAL COSTOS}$$

#### ***1.12.4. Cálculo del valor de inversión***

La inversión es el acto mediante el cual se invierten ciertos bienes con el fin de obtener unos ingresos o rentas a lo largo del tiempo. Esto se puede calcular con la siguiente ecuación. [7]

**Ecuación 1.77**

$$A = \frac{In * ia (1 + ia)^n}{(1 + ia)^n - 1}$$

Dónde:

- In: inversión del proyecto
- ia; interés anual (10%)
- n: vida útil del proyecto



### ***1.12.5. Costo del KWh producido por el PGH***

Para determinar el costo de producción de energía que brinda el Pico Generador Hidroeléctrico, se toma en cuenta el costo de inversión más el costo de operación y mantenimiento en relación a la energía consumida anual. Se representa con la siguiente ecuación: [7]

**Ecuación 1.78**

$$\text{Costo } kWh = \frac{A + COM}{Ep}$$

Dónde:

Ep: Energía producida al año

A: Valor de inversión (anual)

COM: Costo Operación y Mantenimiento

## **CAPÍTULO II**

### **2. PRESENTACIÓN, TABULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

#### **2.1. Recolección de datos**

En el kilómetro 107 de la vía Quito- Cantón Pedro Vicente Maldonado, se encuentra ubicada la finca “Laurita”; donde existe una cabaña que no cuenta con el suministro de energía eléctrica, dicha cabaña se encuentra situada a un kilómetro de la vía principal donde se implementará el Pico Generador Hidroeléctrico, para lo cual se debe tomar en consideración algunos métodos de medición como se mencionan a continuación:

Entre ellos se consideró la medición del caudal, hidrografía del río y el levantamiento topográfico que son datos fundamentales para el diseño de la Pico Generador Hidroeléctrico.

##### ***2.1.1. Medición topográfica***

La medición topográfica se lo realiza con la ayuda de la estación total, trípode y el prisma simple, con el cual en base a la altura máxima se determina la captación (bocatoma) del fluido de agua, hasta llegar al sitio donde se acentuara la turbina (casa de máquinas) donde se determina la altura bruta, coordenadas y cotas necesarias para el diseño de este sistema que se observa a continuación:

**Tabla 2.1**  
MEDICIÓN TOPOGRÁFICA

<b>Estacas</b>	<b>Punto 0</b>	<b>Punto 1</b>	<b>Punto 2</b>	<b>Punto 3</b>
<b>Abscisas</b>	0.000	20.000 - 20.645	40.000	50.409
<b>Cota terreno</b>	741.176	739.925 – 739.866	732.757	730.628
<b>Coordenadas</b>	$\frac{7371.883}{724347.677}$	$\frac{7358.458}{724332.880}$ $\frac{7348.994}{724330.403}$	$\frac{7338.657}{724333.250}$	$\frac{7328.258}{724333.705}$

**Elaborado por:** Postulantes

En la tabla 2.1 se especifican los diferentes puntos de referencia medidos en el sitio, donde se toma como puntos estratégicos la ubicación de los componentes tales como: La captación de agua, el desarenador, el tanque de presión, la tubería de presión y por último la casa de máquinas, anexo F1.

### **2.1.2. Medición del caudal**

La medición del caudal se lo realiza en el río Canchupí la misma que permite conocer el comportamiento del caudal de agua en un tiempo determinado ya sea (semanal, mensual, semestral, anual, etc.), tabla 2.3.

De igual forma se determina los tiempos medidos en la longitud establecida, para luego determinar el tiempo promedio, la cual se presenta en la siguiente tabla:

**Tabla 2.2**

#### TIEMPOS MEDIDOS

<b># DE MEDICIONES</b>	<b>TIEMPOS (s)</b>
<b>T1</b>	16.21
<b>T2</b>	17.84
<b>T3</b>	15.71
<b>T4</b>	15.68
<b>T promedio</b>	16.36

**Elaborado por:** Postulantes

**Tabla 2.3****HIDROLOGÍA DE CAUDALES OBTENIDOS**

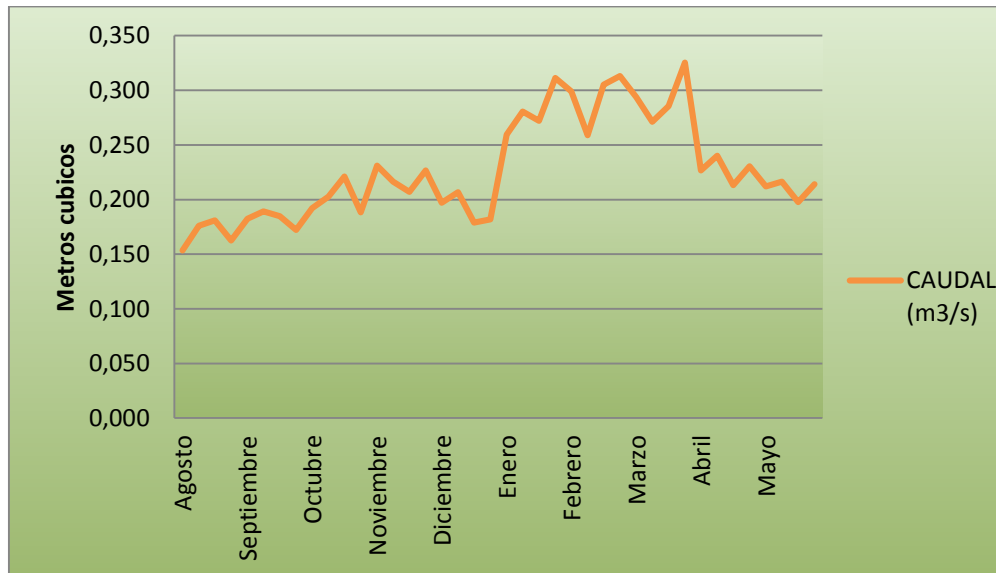
<b>MESES 2013-2014</b>	<b>TIEMPOS (s)</b>	<b>VELOCIDAD (m/s)</b>	<b>CAUDAL (m<sup>3</sup>/s)</b>
Agosto	19,56	0,153	0,153
	17,05	0,176	0,176
	16,57	0,181	0,181
	18,46	0,163	0,163
Septiembre	16,45	0,182	0,182
	15,87	0,189	0,189
	16,23	0,185	0,185
	17,41	0,172	0,172
Octubre	15,62	0,192	0,192
	14,81	0,203	0,203
	13,56	0,221	0,221
	15,93	0,188	0,188
Noviembre	12,99	0,231	0,231
	13,87	0,216	0,216
	14,49	0,207	0,207
	13,23	0,227	0,227
Diciembre	15,23	0,197	0,197
	14,52	0,207	0,207
	16,78	0,179	0,179
	16,49	0,182	0,182
Enero	11,56	0,260	0,260
	10,69	0,281	0,281
	11,03	0,272	0,272
	9,64	0,311	0,311
Febrero	10,03	0,299	0,299
	11,59	0,259	0,259
	9,83	0,305	0,305
	9,58	0,313	0,313
Marzo	10,21	0,294	0,294
	11,06	0,271	0,271
	10,51	0,285	0,285
	9,22	0,325	0,325
Abril	13,23	0,227	0,227
	12,49	0,240	0,240
	14,08	0,213	0,213
	13,02	0,230	0,230
Mayo	14,14	0,212	0,212
	13,86	0,216	0,216
	15,17	0,198	0,198
	14,02	0,214	0,214

Elaborado por: Postulantes

Una vez obtenidos los datos estadísticos se procede a graficar la curva de caudales en el cual podemos ver los picos positivos así como también los picos negativos (gráfico 2.1), llegando a una conclusión donde que el caudal disponible es más que suficiente para generar la potencia requerida; en vista de que el caudal de diseño es de  $0.050 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$ .

**Gráfico 2.1**

**CURVA DE CAUDALES**



**Elaborado por:** Postulantes

## **2.2. Metodología de la investigación**

Para el desarrollo del proyecto es necesario fundamentarnos en algunos tipos de métodos, técnicas e instrumentos que nos permiten la recopilación de información para la implementación del Pico Generador Hidroeléctrico.

### **2.2.1. Métodos de investigación**

Se trabajará en el desarrollo de la investigación por medio de los siguientes métodos:

### ***2.2.1.1. El método científico***

Es un proceso destinado a explicar fenómenos, establecer relaciones entre los hechos y enunciar leyes que expliquen los fenómenos físicos del mundo. Este método influirá en la conversión de energía, estableciendo relaciones entre la potencia generada y la demanda, así como también con la variación del voltaje, corriente y frecuencia que se obtendrá con el diseño e implementación del Pico Generador Hidroeléctrico.

### ***2.2.1.2. El método analítico***

Se deduce de un hecho o fenómeno luego se pasa a la descripción que implica identificación de partes, comprensión y explicación de las mismas. Por tal motivo se empleara estos métodos para el desarrollo de este estudio, ya que nos permitirá llegar a un resultado mediante la descomposición o transformación de este sistema hidroeléctrico, para observar las causas, la naturaleza y los efectos.

## ***2.2.2. Tipos de investigación***

Para la ejecución del proyecto se aplicará la metodología de investigación de tipo:

### ***2.2.2.1. De campo***

Es el proceso que se realiza en el lugar donde se desarrolla o producen los acontecimientos en contacto directo con la realidad social, causas, quien o quienes son los gestores del problema que se investiga; ya que nos permite obtener información de forma clara y directa.

Esto permite obtener conocimientos más a fondo, que puede manejar los datos con más seguridad y analizar los diseños exploratorios, descriptivos y experimentales, creando una situación de control en la cual manipulara una o más variables dependientes (efectos). Cuando el flujo del agua circula a una velocidad y presión determinada, observamos la reacción de este hecho.

#### ***2.2.2.2. Descriptiva***

Describe sistemáticamente las características de una población o un área de interés, llegando a conocer las situaciones y actitudes predominantes a través de la descripción exacta de las actividades, objetos, procesos y personas. Su meta no se limita a la recolección de datos, sino a la predicción e identificación de las relaciones que existen entre dos o más variables.

Esto permitirá recoger datos sobre la base de la hipótesis, exponer y resumir la información y luego analizar cuidadosamente los resultados, a fin de extraer conclusiones significativas que contribuyan al conocimiento. Debe tener un impacto en la vida de las personas que la rodean, por ejemplo las opiniones de los trabajadores al implementar el Pico Generador Hidroeléctrico.

### ***2.2.3. Técnicas de investigación***

Se utiliza la siguiente técnica de investigación:

#### ***2.2.3.1. La observación***

Es un elemento fundamental de todo proceso investigativo, no solamente es la más universal si no la más antigua, porque coloca al investigador frente a la realidad de manera inmediata, como también observa atentamente al fenómeno, hecho o caso, para tomar información y registrarla hacia su posterior análisis.

La observación del sector se la realizó posteriormente para reafirmar de una manera más directa el problema energético del sector, el objetivo principal fue observar directamente el lugar de estudio, combinar técnicas a la vez, que permitan comprobar la veracidad o falsedad de las respuestas al momento de la entrevista.

La observación nos da paso a la visualización del sitio de la implementación, para analizar, repetir y separar los aspectos importantes para el diseño. Acoplando todos

los datos posibles que inciden en el sitio de construcción, estos son lucidos y minuciosos que se consiguen de forma directa mediante mediciones técnicas propias del lugar.

#### ***2.2.3.2. La entrevista***

Es un proceso de comunicación que se realiza normalmente entre dos personas en donde se dan a conocer las ideas y opiniones sobre la implementación del Pico Generador Hidroeléctrico; en este proceso el entrevistador obtiene información del entrevistado de forma directa, para registrar los hechos que se utilizar como testimonio.

Las herramientas utilizadas para el levantamiento de información han sido las entrevistas con preguntas preestablecidas, las entrevistas guiadas con informantes clave, la observación directa y la revisión de las instalaciones, mismas que permitan evaluar una serie de indicadores establecidos previamente y comprender en profundidad las causas y factores que han contribuido a los resultados observados.

La metodología empleada en el diseño de evaluación consiste en el análisis de la entrevista aplicada a los habitantes para identificar los impactos de la intervención. Gracias a esta labor de estudio se han podido obtener varias conclusiones que permiten extraer una serie de lecciones aprendidas, como por ejemplo que una gran parte de los impactos de los proyectos son potenciales.

### **2.3. Población y muestra**

Para este proyecto se utiliza solamente la población, debido a que el trabajo investigativo se va a desarrollar directamente con el administrador de la finca.



## **2.4. Análisis e interpretación de resultados de la entrevista**

### **1. ¿Qué artefactos eléctricos piensa abastecer con la implementación de este proyecto?**

Básicamente la energización de una bomba de 1 HP, así como también brindar energía eléctrica a la cabaña.

### **2. ¿En qué meses del año aumenta y/o disminuye el caudal del río Canchupí?**

El caudal del río aumenta en los meses de enero, febrero y marzo, mientras que en los meses de junio, julio y agosto disminuye su caudal.

### **3. ¿Cuáles han sido los inconvenientes en la cabaña que se encuentra a 1 km de la vía principal al no disponer del suministro de energía eléctrica?**

El no disponer de agua en la parte plana de la montaña, ya que es fundamental para el consumo del ganado.

La falta de energía eléctrica en la cabaña para que el cuidador pueda tener mejores condiciones de vida.

### **4. ¿Piensa usted que los sistemas pico generador hidroeléctricos contribuyen al desarrollo de las zonas rurales aisladas?**

Claro que si contribuyen con la ayuda de estos proyectos podemos mejorar el desarrollo ganadero.

### **5. ¿Con la construcción e implementación de este sistema pico generador hidroeléctrico que ideas tiene a futuro?**

- Aumentar la capacidad de generación.
- Incrementar cabañas turísticas.

- Plan didáctico para que los estudiantes del Colegio Técnico Bachillerato en Electricidad puedan visitar.

**6. ¿En que otro beneficio cree usted, que podemos reutilizar el agua después de pasar por el proceso de generación hidroeléctrica?**

Utilizando una bomba de ariete tipo pulmón voy a llevar el agua a sitios altos, donde necesita el ganado de la finca.

**7. ¿Qué limitaciones piensa usted que existirían al momento de comenzar el proyecto?**

- Transportación de los materiales al sitio inaccesible.
- La obra civil y el clima.

**8. ¿Qué opina usted de la Universidad Técnica de Cotopaxi, sobre la ejecución de estos proyectos?**

- Promueve trabajos de vinculación con la comunidad, motivando su desarrollo.
- Desarrolla el pensamiento crítico y la capacidad de hacer los trabajos con alto grado de responsabilidad en sus estudiantes.
- Promueve y aplica los conocimientos científicos, tecnológicos con las comunidades rurales.
- Desarrolla proyectos ecológicamente sustentables con planes de mitigación.

### ***2.4.1. Conclusión de la entrevista***

La presente investigación es un estudio del impacto que se ha generado desde el punto de vista social, económico y ambiental con la implementación de un Pico Generador Hidroeléctrico en la finca LAURITA que se encuentra aislada del cantón.

Consiste en la realización de obras civiles y la dotación de los equipos necesarios para poner en marcha un pequeña central que suministre electricidad a la cabaña a partir de los recursos hídricos locales. En el marco de los programas de intercambio académico y de la labor en cooperación al desarrollo de la Universidad Técnica de Cotopaxi, se considera que la carencia de energía eléctrica es un freno para el desarrollo de las comunidades rurales, pues conlleva una serie de limitaciones en el ámbito de la salud, de la educación, de lo productivo, etc. La generación eléctrica mediante pequeñas centrales hidroeléctricas suele ser la alternativa más adecuada cuando se dan las condiciones de caudal y caída requerida.

La metodología empleada en el diseño de evaluación consiste en el análisis de la encuesta aplicada a los habitantes de la finca para identificar los impactos de la intervención. Gracias a esta labor de estudio se han podido obtener varias conclusiones que permiten extraer una serie de lecciones aprendidas, como por ejemplo que una gran parte de los impactos de los proyectos son potenciales, pues dependen de factores externos que también son analizados.

Este proyecto dará la acogida a estudiantes del colegio técnico de bachillerato en electricidad para que puedan visitar y tener más nociones de su especialidad, asimismo se construirán más cabañas para poner al servicio y confort de los turistas rodeado de la naturaleza.

En tal virtud se vio la necesidad de implementar el Pico Generador Hidroeléctrico, utilizando el recurso hídrico que posee el sitio.

## **2.5. Hipótesis**

¿El diseño e implementación de un pico generador hidroeléctrico, servirá para cubrir la demanda requerida por el propietario de la finca?

### ***2.5.1. Verificación de la hipótesis***

En el sitio mediante la visualización se pudo deducir la ubicación posible de donde se acentuaría los componentes del pico generador hidroeléctrico, para mediante esto proceder al diseño y construcción; con ello cubrir la demanda requerida.

Se comprobó teóricamente que este diseño e implementación cubre la demanda requerida, ya que los parámetros técnicos utilizados en este estudio, proporcionan la potencia requerida para la demanda según la capacidad del generador. Estos parámetros técnicos son los caudales, las mediciones topográficas, la potencia total del generador y la demanda.

Como también en la práctica se verifico el funcionamiento del sistema en base al caudal, para ello se realizaron diferentes pruebas, llegando a cubrir la demanda requerida en la cabaña.

## **CAPÍTULO III**

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

#### **3.1. Presentación**

El cantón Pedro Vicente Maldonado posee un clima sub tropical en la cual existen diversos recursos hídricos (ríos), las mismas que pueden ser aprovechadas para la producción de energía eléctrica, dentro de esta podemos mencionar el rio Canchupí ubicada en el kilómetro 107 de la vía Quito- cantón Pedro Vicente Maldonado que fue tomada como objeto de estudio para determinar su caudal en varios meses del año.

Con la finalidad de fomentar el desarrollo agrícola así como también el progreso turístico a futuro, se vio la necesidad de implementar un sistema pico generador hidroeléctrico la cual cubrirá la demanda eléctrica en la cabaña de la finca “Laurita” de esta manera brindar mayor comodidad.

El Pico Generador Hidroeléctrico constituye una fuente de energía renovable cohabitando en perfecta armonía con el hombre y el medio ambiente. Esta tecnología son empleados a pequeña escala, presentado una inversión económica baja y un bajo nivel de contaminación ambiental, siendo una de las alternativas más factibles de implementar en zonas vulnerables las cuales se encuentran alejadas del tendido de red de los sistemas de distribución.

## **3.2. Cantón Pedro Vicente Maldonado**

Es una entidad territorial subnacional ecuatoriana ubicada al noroeste de la Provincia de Pichincha. Su cabecera cantonal es la ciudad de Pedro Vicente Maldonado, lugar donde se agrupa gran parte de su población total. Es una zona dedicada a la agricultura, ganadería y turismo ecológico, rodeada de diversos ríos y riachuelos por la cual se convierte en un atractivo para turistas nacionales e internacionales.

### ***3.2.1. Reseña Histórica***

La colonización del Noroccidente de la provincia de Pichincha se inicia en el año 1950, con Teodoro Arrieta acompañado por un grupo de ciudadanos. De esta manera se forma la primera y más grande cooperativa denominada "Jhon F. Kennedy" misma que se logra legalizar en 1963. El 29 de septiembre de 1972 se Parroquializa "San Miguel de los Bancos", lo que significó la independización de la antigua Parroquia "Mindo", y nace jurídicamente el recinto Pedro Vicente Maldonado perteneciente a la Parroquia de San Miguel de los Bancos.

A partir del 9 de Noviembre de 1987, con la dirección del señor Hugo Pérez, primer Presidente del Comité de Cantonización y una vez completados los requisitos y formalidades legales, se daba inicio al estudio del proyecto de cantonización de la Parroquia Pedro Vicente Maldonado. El 14 de enero de 1992, el Plenario de las Comisiones Legislativas tenía previsto discutir en segundo y definitivo debate del proyecto de Ley de Creación del Cantón Pedro Vicente Maldonado de la Provincia de Pichincha, para lo cual, el pueblo, organizado por la Junta Parroquial, apoyados por el padre Josue Izaguirre y dirigido por el Comité de Cantonización decidió movilizarse multitudinariamente al H. Congreso Nacional en la ciudad de Quito.

### ***3.2.2. Límites generales***

El Cantón Pedro Vicente Maldonado tiene como cabecera cantonal la ciudad de Pedro Vicente Maldonado, ubicado en el corazón mismo de la zona noroccidental de

la Provincia de Pichincha, sobre las estribaciones de la Cordillera Occidental de los Andes circundada por las siguientes jurisdicciones políticas:

Norte: Provincia de Imbabura.- Límite interprovincial.- Río Guayllabamba.

Sur: Cantón San Miguel de los Bancos y Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.

Este: Cantón San Miguel de los Bancos y Distrito Metropolitano de Quito

Oeste: Cantón Puerto Quito.

### ***3.2.3. Geografía***

Este espacio biofísico de Pedro Vicente Maldonado es de características propias de la región Sub-Tropical, con un suelo fértil y abundante en recursos naturales y con un paisaje de indescriptible belleza por ser el punto central de la zona noroccidental. Posee una topografía ligeramente ondulada, y sus niveles altimétricos promedian entre 620 metros sobre el nivel del mar.

### ***3.2.4. Hidrografía***

Un importante sistema hidrográfico hace presencia en las comunidades y recintos, permitiendo la provisión de agua para labores agrícolas y humanas. Entre los ríos más importantes están: Guayllabamba, Caoní, San Dimas, Jordán, Pitzarà, Pachijal, Guadalupe, Sábalo. Silanchi, Cristal, Achiote, entre otros.

### ***3.2.5. Clima***

Presenta un clima cálido húmedo, sin registrar mayores cambios de temperatura, con un promedio de 16°C y relativas variaciones en los meses de febrero, marzo, abril y mayo registrando promedios mayores a los 25° C, que coinciden con la época invernal. La humedad varía entre los 84.5% y 87.5% con una nubosidad promedia de 8/8 a cielo completamente cubierto, y sus precipitaciones anuales varían entre 3.300 y 3.800 mm con una evaporación entre 890 y 1.100 mm.

### **3.3. Justificación**

Las tecnologías de energía renovable a pequeña escala presentan una alternativa económica y ambiental factible para la provisión de energía a comunidades rurales remotas, ya sea por medio de sistemas aislados o por proyectos conectados a la red eléctrica. La región cuenta con suficientes recursos para desarrollar sistemas hidráulicos. Adicionalmente, estas tecnologías pueden disminuir la contaminación del medio ambiente causada por las emisiones de gases de los sistemas convencionales, que utilizan combustibles fósiles como el carbón y productos derivados del petróleo.

Con la finalidad de promover el desarrollo socioeconómico de la finca se elaboró este proyecto en donde se ve la importancia y beneficios de la energía hidráulica a pequeña escala. Así como lo barato y sencillo que resulta el diseñar e implementar una pequeña central hidráulica.

El desarrollo del presente proyecto permitirá poner en práctica el nivel académico y al mismo tiempo consolidar los conocimientos en el campo práctico, para de esta forma dar a conocer a la sociedad una alternativa muy importante para su desarrollo, garantizando una inversión relativamente baja, comparándolo con el valor que se tendría que invertir para conectarse al sistema nacional interconectado, en todas sus etapas previas en su funcionamiento en sí. En la etapa de construcción los costos de materiales empleados se cubrirán en un 50 % por el propietario de la finca ya mencionada. Para la ejecución de la obra civil y eléctrica se tiene una accesibilidad de tercer orden hasta la cabaña donde se implementará este sistema pico generador hidroeléctrico.

El principal beneficiario será el propietario de la finca, así como también los trabajadores de la misma; de tal manera que pueda generar empleo a la población aledaña al sitio. El proyecto es aplicable, ya que tiene por objeto optimizar el uso del recurso hídrico, debido a que es posible implementar el pico generador hidroeléctrico con las características que posee el sitio.



## **3.4. Objetivos**

### ***3.4.1. Objetivo General***

- Diseñar e implementar un Pico Generador Hidroeléctrico, mediante el aprovechamiento del recurso hídrico en el río Canchupí, para la generación de energía eléctrica.

### ***3.4.2. Objetivos Específicos***

- Desarrollar los cálculos y parámetros de diseño para la construcción de la turbina Michell Banki, mediante las características que presenta el sitio y la potencia activa del generador, así como también para la instalación de los equipos necesarios para implementar el proyecto.
- Construir la obra civil, el ensamblaje electromecánico y el sistema eléctrico de distribución con sus respectivas protecciones que requiere el pico generador.
- Brindar el suministro de energía eléctrica propia a la cabaña ubicada dentro de la finca a bajo costo.

## **3.5. Desarrollo de la propuesta**

### ***3.5.1. Obras Civiles***

En función al estudio que se empleó en el río Canchupí, para el diseño de este sistema se determinó el caudal promedio cuando el flujo de agua se encontraba en su mínima capacidad, obteniendo 153 l/s de la cual se aprovechó la tercera parte de su capacidad total, equivalente a 51 l/s la misma que es uno de los parámetros fundamental para el diseño del proyecto, como también se debe considerar la altura neta y la potencia del generador.

### **3.5.1.1. Bocatoma**

La bocatoma está ubicada en la parte superior del río Canchupí, luego de haber realizado el levantamiento topográfico, que permite determinar el lugar más apropiado, para ello se selecciona el tramo más recto y estable del río. La misma que tiene las siguientes medidas: 1.50 m de largo por 1.20 m de ancho con una profundidad de 0.60 m.

**Figura 3.1**

BOCATOMA



**Fuente:** Postulantes

### **3.5.1.2. Compuerta de regulación**

Es necesario ubicar una compuerta en la salida de la bocatoma, ya que este dispositivo sirve para controlar, regular o impedir el acceso de agua del río al sistema de conducción, presentando las siguientes medidas: 0.75 m de ancho y 1 m de largo.

### **3.5.1.3. Sistema de conducción**

El sistema de conducción está situada sobre una montaña rocosa; presentando la necesidad de conducir el agua por medio de tuberías PVC de 6 pulgadas de diámetro con una longitud de 28.50 m, las mismas que están aseguradas con apoyos de hormigón y sujetados con alambre de hierro.

**Figura 3.2**  
SISTEMA DE CONDUCCIÓN



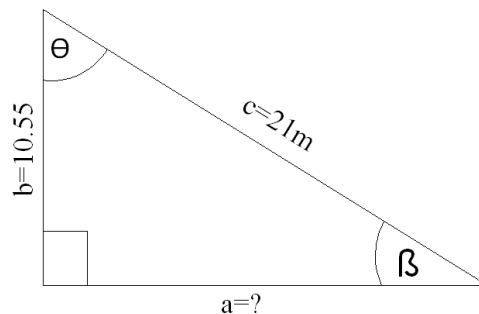
**Fuente:** Postulantes

Desde la bocatoma hasta el desarenador se tiene un ángulo de  $5^\circ$  de captación que está en un rango apropiado, con este ángulo de inclinación el flujo de agua llegara con una velocidad optima, para que el sistema trabaje adecuadamente.

#### **3.5.1.4. Tubería de Presión**

Los diferentes diámetros de tubería están acoplados y empernados mediante bridas en sus extremos, con sus respectivas empaquetaduras de caucho entre cada par de bridas. Aplicando la ecuación 1.1 se encontró el lado **a** del triángulo rectángulo, donde se tiene lo siguiente:

**Figura 3.3**  
TRIÁNGULO DE PITÁGORAS



**Fuente:** Postulantes

$$a^2 = (21m)^2 - (10.55m)^2$$

$$a = \sqrt{329.69} = 18.15m$$

A continuación se calcula el ángulo de inclinación que tendrá la tubería de presión. Aplicando la ecuación 1.2.

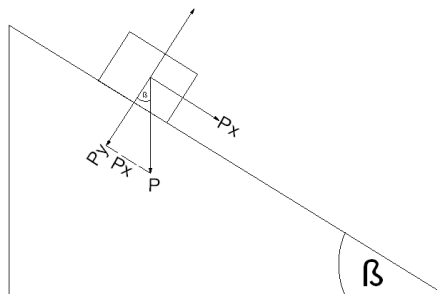
$$\text{Sen } \beta = \frac{10.55}{21}$$

$$\beta = 30.15^\circ$$

Utilizando el método de la caída libre de los cuerpos y empleando la ecuación 1.3 se encontró la aceleración. En donde:

**Figura 3.4**

CAÍDA LIBRE DE UN CUERPO



**Fuente:** Postulantes

$$a = \frac{P \text{sen} \beta}{m}$$

Reemplazando el peso, se calcula la aceleración.

$$a = \frac{m * g * \text{sen} \beta}{m} = 4.92 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

Con la ayuda de la aceleración y conociendo las distancias que se tiene en cada tramo de la tubería de presión, se calcula las diferentes velocidades utilizando la ecuación 1.4.

### **Primer tramo**

$$V1^2 = 0 + 2 * 4.92 * 1$$

$$V1 = \sqrt{9.84} = 3 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

### **Segundo tramo**

$$V2^2 = 3 + 2 * 4.92 * 3$$

$$V2 = \sqrt{32.52} = 5.70 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

### **Tercer tramo**

$$V3^2 = 5.70 + 2 * 4.92 * 21$$

$$V3 = \sqrt{212.34} = 14.57 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

En el anexo C1 se muestra el diámetro de tubería que se debe seleccionar en función del caudal que se tiene en el desarenador conjuntamente con el tanque de presión, siendo  $342 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$  y la velocidad del fluido, se determinan diámetros de 8, 6 y 4 pulgadas para los tres tramos respectivamente.

Una vez habiendo visto los diferentes tipos de materiales se optó por la tubería de acero AS36, ya que contienen aleaciones a base de hierro, níquel, entre otros elementos para permitir que el tubo tenga ciertas propiedades, tales como una alta resistencia a la corrosión y la oxidación, incluso en altas temperaturas, en vista de que el lugar donde se va instalar presenta un clima subtropical.

### **3.5.1.5. Anclajes y apoyos**

Los anclajes, bloques de apoyo y bloques de retención se empleara para contrarrestar el movimiento de la tubería de presión, esta construcción estará compuesta por 4 anclajes la cual se realiza en el suelo original.

### **3.5.1.6. Desarenador**

El flujo de agua captado desde la bocatoma hacia la turbina transporta pequeñas partículas de materia sólida como puede ser piedras o arena, estas pueden ocasionar el rápido desgaste de los alabes de la turbina. Para controlar el porcentaje de los materiales mencionados anteriormente es necesario construir un desarenador, misma en la que la velocidad del agua es reducida con la finalidad de que las partículas sólidas se sumerjan en el fondo, de donde podrán ser expulsadas oportunamente por medio de un desagüe de fondo, así de esta manera el agua puede llegar a la turbina sin partículas sólidas.

#### **3.5.1.6.1. Ancho y longitud**

Remplazando los datos de las ecuaciones 1.5 y 1.6 se obtiene lo siguiente:

$$W = \frac{0.051}{0.2 * 0.3} = 0.85 \text{ [m]}$$

$$L_d = \frac{0.2}{0.03} * 0.3 * 2 = 4 \text{ [m]}$$

En base a la ecuación 1.7 se determina la profundidad mínima  $d_r$ .

$$d_r = 4 * \tan 6 = 0.42 \text{ [m]}$$

Para nuestro caso la profundidad de recolección se considerara de 1 [m], con la finalidad de aumentar la capacidad del tanque de presión.

Con respecto al cálculo de la longitud de entrada  $L_e$  se recomienda diseñar de la mejor manera posible, ya que de esta manera podemos tener un fluido de caudal uniforme, así evitamos que existan turbulencias. Aplicando la ecuación 1.8 se tiene lo siguiente:

$$L_e = \frac{0.85 - 0.1524}{2 * \tan 30} < \frac{4}{3}$$

$$L_e = 0.60 < 1.33$$

### ***3.5.1.7. Tanque de presión***

El tanque de presión está construida con cimentación de hormigón armado, conjuntamente con el tanque de presión y separada por medio de una rejilla de 1 m<sup>2</sup>; se encuentra ubicada a 10.55 m de altura sobre la casa de máquinas.

#### ***3.5.1.7.1. Volumen del tanque de presión***

Para mantener el caudal constante de agua, el volumen del tanque de presión se determina con la ayuda del área de sección transversal del sistema de conducción, donde aplicando la ecuación 1.9 se tiene lo siguiente.

$$A = \frac{\pi * 0.2032^2}{4} = 0.032 [m^2]$$

Así como también se calcula la velocidad del agua en el sistema de conducción.

$$V_o = \frac{0.051}{0.032} = 1.59 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

Una vez obtenido los datos encontramos el volumen que tiene el tanque de presión con la ecuación 1.10.

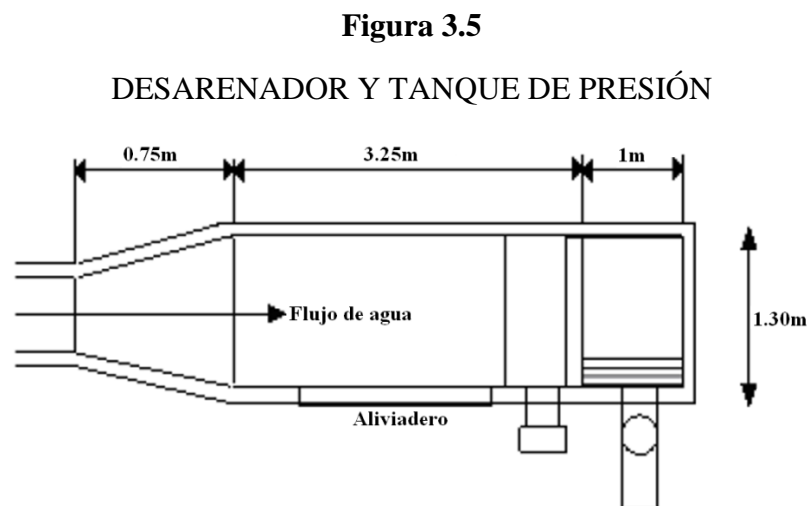
$$V = \frac{0.693 * 0.032 * 1.59^2}{0.01 * 9.81} = 0.57[m^3]$$

### 3.5.1.7.2. *Altura mínima del agua sobre la tubería de presión*

La altura mínima del agua sobre la tubería de presión se calcula con la ecuación 1.12, tomando en cuenta que se tiene una salida lateral del flujo.

$$h = 0.724 * 1.59 * \sqrt{0.2032} = 0.52 [m]$$

A continuación se ilustra las medidas empleadas para el desarenador y el tanque de presión.



**Fuente:** Postulantes

Una vez obtenida la altura del desarenador, siendo 0.94 m, que resulta de la suma entre la profundidad de decantación y la profundidad de recolección; se considerará la misma altura para la construcción del tanque de presión.

En nuestro proyecto se realiza el diseño y construcción del desarenador seguido del tanque de presión, una vez calculado el ancho del tanque y la altura, podemos determinar el largo de la misma despejando de la ecuación 1.13.



$$l_t = \frac{V}{W * h_t}$$

Donde se tiene lo siguiente:

$$l_t = \frac{0.57}{0.85 * 0.94} = 0.71 [m]$$

En vista de que el terreno sobre el cual se va a construir el desarenador seguido del tanque de presión es muy escarpado, entonces puede ser impracticable construir uno ancho, de tal manera que se considerara la longitud del tanque de 1 m, ya que así podemos conseguir un desarenador más angosto pero más largo, de la misma forma por el hecho de que sea más largo puede permitir que se decanten las partículas más livianas.

Sabiendo que el desarenador y el tanque de presión conforman una sola obra civil, se procedió de la siguiente manera:

- Desvancar parte de la montaña sobre la que se va a construir, considerando las dimensiones y geometría del tanque.
- Preparar una base de piedras de 50 cm en la excavación para asegurar la cimentación del tanque, en vista de que el terreno es escarpado.
- Procedemos a la fundición del piso, la primera capa contiene un espesor de 10 cm, sobre esto se tendió una malla electro-soldada para evitar que se produzcan fisuras en el piso y la segunda capa se vierte otros 10 cm de hormigón.
- Una vez culminado con el piso realizamos la construcción de las paredes del tanque que serán hechas de hormigón armado.
- Por último se hará una división entre el desarenador y el tanque de presión de menor altura, en la cual se ubicará una malla para evitar el ingreso de hojas o cualquier otro cuerpo sólido.

### **3.5.1.8. *Válvula de compuerta***

La válvula se instalara en la parte inferior de la tubería de presión, la misma que se encarga de interrumpir o regular el flujo de un fluido en el conducto, aumentando o disminuyendo la sección de paso mediante una placa que jira sobre un eje. Para su instalación se procede de la siguiente manera:

- Se acopla la válvula con dos uniones de acero las cuales son enroscadas.
- Luego procedemos a conectar la parte superior con el tubo que viene del tanque de presión y la parte inferior con la entrada al inyector.

Esta válvula nos ayuda para las pruebas de funcionamiento.

### **3.5.1.9. *Casa de máquinas***

**Figura 3.6**

**CASA DE MÁQUINAS**



**Fuente:** Postulantes

Tomando en consideración el dimensionamiento de los equipos electricos y electromecanicos, se determino el area de la casa de maquinas; la misma que se puede obserbar en la figura 3.6, teniendo las siguientes medidas: 2.50 m de ancho por 3.50 m de largo, con una altura de 2.20 m.

Para la construcción de la casa de maquinas de procedio de la siguiente manera:

- Se levanta una base de piedra de 20 cm en todo el area de excavación, excepto en el lugar donde se instalara la turbina y el canal de descarga,
- Luego se coloca una malla eletro-soldada, de la misma forma situando la base en la cual se va ubicar la turbina y el generador, por consiguiente se rellena una capa de concreto en el piso, con un espesor de 10 cm.
- Por ultimo se procede a levantar las paredes, para la cual se utilizo bloques masisos de 25 cm.

#### ***3.5.1.10. Canal de descarga***

**Figura 3.7**

**CANAL DE DESCARGA**



**Fuente:** Postulantes

Consiste en evacuar el agua procedente de la turbina hasta el regreso al rio para luego ser reutilizada en el riego o cualquier otro veneficio. La base sobre la cual se descarga la turbina es contruido de concreto puro para evitar filtraciones y asi proteger la cimentación de la casa de maquinas, contiene las suientes dimensiones: 25 cm de ancho por 40 cm de largo y por 50 cm de alto, finalmente la salida del flujo de agua es por medio de un tubos PVC de 8 pulgadas.

### 3.5.2. *Parámetros de diseño*

#### 3.5.2.1. *Medición del caudal aplicando el método del flotador*

La medición del caudal existente en el río Canchupí se lo realiza utilizando los siguientes datos:

Ancho (a) = 2.5 [m]

Altura promedio (h) = 0.4 [m]

Para lo cual se calcula el área de sección transversal aplicando la ecuación 1.14.

$$A=2.5*0.4= 1 \text{ [m}^2\text{]}$$

Una vez encontrado el tiempo promedio, como se ve en la tabla 2.2 se determina la velocidad del agua con la ecuación 1.15.

$$V = \frac{5}{16.36} = 0.306 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

El agua utilizada para el desarrollo de nuestro proyecto es proveniente de un río, la misma que se debe considerar un factor de corrección.

El factor de corrección para un arroyo o río es el siguiente: C = 0.5.

Con este parámetro procedemos a calcular el caudal existente aplicando la ecuación 1.16.

$$Q=1*0.306*0.5=0.153 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

$$Q=153 \left[ \frac{l}{s} \right]$$

Para este proyecto se empleara la tercera parte del caudal total, en vista de que, en épocas más críticas de lluvia se alcanza a tener un caudal de 153 litros/segundo.

$$Q = \frac{0.153}{3} = 0.051 \left[ \frac{m^3}{s} \right] \Rightarrow 51 \left[ \frac{l}{s} \right]$$

### 3.5.2.2. Cálculo de la longitud de la tubería de presión

Se puede encontrar la longitud de la tubería de presión, remplazando los datos obtenidos mediante el levantamiento topográfico en la ecuación 1.18.

$$L(\text{tub} - \text{presión}) = \sqrt{(7338.657 - 7348.994)^2 + (724333.25 - 724330.403)^2}$$

$$L(\text{tub} - \text{presión}) = 21[m]$$

### 3.5.2.3. Cálculo de las pérdidas primarias en la tubería de presión

Para encontrar estas pérdidas se emplea datos experimentales para la constante k, que se indican en la tabla 3.1.

**Tabla 3.1**

CONSTANTE  $k$  PARA DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES

<b>MATERIAL</b>	<b><math>k</math> (mm)</b>
Tubo de acero (nuevo)	1.15
Tubo de hierro fundido (nuevo)	2.50
Tubo de acero corroído ( en operación)	5.00
Tubo plástico	0.50

**Fuente:** Estandarizacion de Turbinas Tipo Michell-Banki, Quito, Instituto Nacional de Energia

**Elaborado por:** Postulantes

Por consiguiente se aplica la ecuación 1.20, para encontrar el factor de fricción, en la que se obtiene lo siguiente:

$$\lambda = 0.01 \left( \frac{1.15}{0.1016} \right)^{0.134} = 0.013$$

De la misma forma reemplazando los datos obtenidos anteriormente y tomando en cuenta la velocidad inicial en la ecuación 1.19 tenemos la cantidad de pérdidas primarias.

$$\Delta h_l = 0.013 \left( \frac{21}{0.1016} \right) \left( \frac{3^2}{2 * 9.81} \right) = 1.233 [m]$$

#### **3.5.2.4. Cálculo de las pérdidas secundarias en la tubería de presión**

Para encontrar estas pérdidas es necesario conocer el coeficiente de pérdidas en cada uno de los accesorios, las cuales podemos ver en la tabla 1.1.

Del mismo modo reemplazamos los datos obtenidos en la ecuación 1.21, se tiene las siguientes pérdidas:

##### **a) Pérdidas en la rejilla ( $h_r$ )**

$$h_r = 1.8 \left( \frac{3^2}{2 * 9.81} \right) = 0.826 [m]$$

##### **b) Pérdidas en la entrada de la tubería ( $h_e$ )**

$$h_e = 0.2 \left( \frac{3^2}{2 * 9.81} \right) = 0.091 [m]$$

##### **c) Pérdidas en los codos ( $h_k$ )**

$$h_k = 0.165 \left( \frac{3^2}{2 * 9.81} \right) = 0.075 [m]$$

##### **d) Pérdidas en válvulas ( $h_v$ )**

$$h_v = 0.1 \left( \frac{3^2}{2 * 9.81} \right) = 0.045 [m]$$

e) **Perdidas en estrechamiento del tubo ( $h_{estr}$ )**

$$h_{estr} = 0.15 \left( \frac{3^2}{2 * 9.81} \right) = 0.068 [m]$$

Por ultimo determinamos las pérdidas totales en la tubería de presión aplicando la ecuación 1.22.

$$\Delta h_{(1-2)} = 1.233 + 0.826 + 0.091 + 0.075 + 0.045 + 0.068 = 2.338[m]$$

Una vez habiendo encontrado tanto las perdidas primarias como secundarias se procede a calcular la altura neta aplicando la siguiente ecuación 1.17.

Considerando la altura bruta en base a la topografía del terreno y remplazando los parámetros conocidos tenemos.

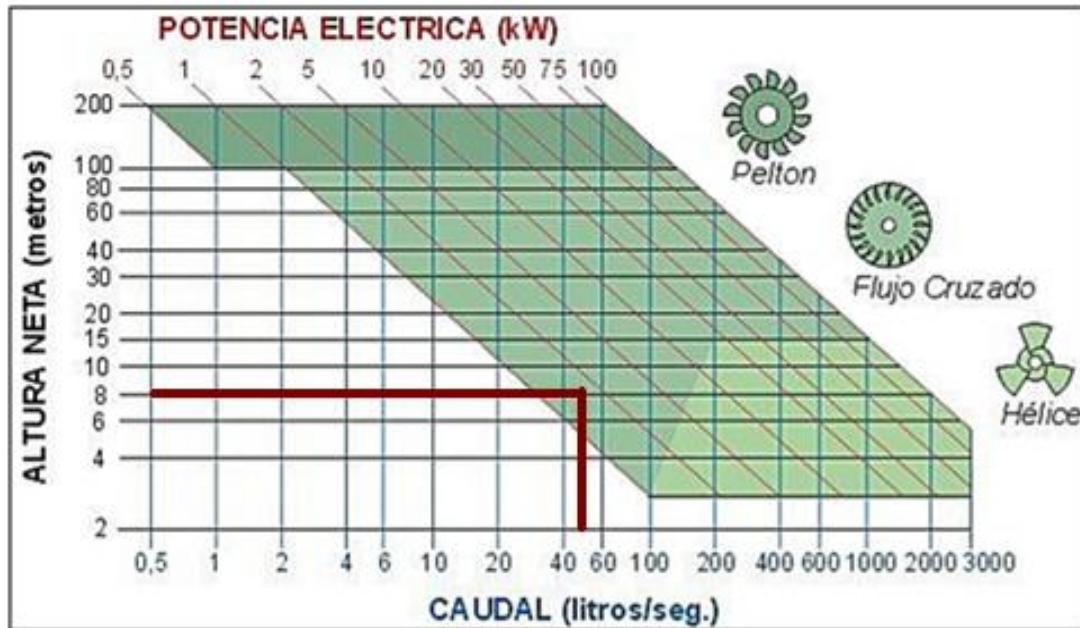
$$Hn = 10.55 - 2.338 = 8.212[m]$$

**3.5.2.5. Parámetros de selección del equipo hidráulico**

La selección adecuada de la turbina se lo puede realizar mediante la determinación de la altura neta y el caudal del agua disponible, permitiendo observar la tipología de la turbina más adecuada y el tamaño en términos de potencia.

**Figura 3.8**

**SELECCIÓN DE TURBINAS HIDROELÉCTRICAS EN FUNCIÓN A LA POTENCIA GENERADA**



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

El caudal y la altura neta definen un punto en el plano que reúne las envolventes operacionales de cada tipo de turbina, los mismos que determinan el tipo, geometría y dimensiones de la misma.

Una vez encontrado los parámetros de caudal y altura neta, se ha determinado aplicar para este proyecto la turbina de tipo Michell-Banki, con la cual se realiza su respectivo diseño.

**3.5.2.6. Potencia hidráulica neta ( $P_h$ )**

Teniendo en cuenta el peso específico del agua y reemplazando los datos ya encontrados anteriormente, se aplica en la siguiente ecuación 1.23.

$$P_h = 1000 * 0.051 * 8.212 = 418.812 \left[ \frac{kgm}{s} \right] \Rightarrow 4.110 \text{ [kW]}$$



A continuación se procede a calcular la potencia al freno de la turbina con la siguiente ecuación 1.24.

$$P_T = \frac{2.5}{0.93 * 0.95} = 2.829[kW] = 3.844[CV]$$

Sustituyendo el valor del salto  $Hn = 8.212$  m; la eficiencia a plena carga de la turbina 70% y conociendo la potencia al freno, se determina el caudal de diseño con la ecuación 1.25.

$$Q = \frac{2.829}{9.807 * 8.212 * 0.70} = 0.050 \left[ \frac{m^3}{s} \right] \Rightarrow 50 \left[ \frac{l}{s} \right]$$

Se puede mencionar que el caudal de diseño obtenido es aproximadamente igual al caudal medido en su tercera parte.

El número óptimo de revoluciones con que debe girar la turbina, se determinó aplicando la ecuación 1.26.

En este caso se asume el diámetro del rodete de 0.2 metros.

$$N = \frac{39.85(8.212)^{1/2}}{0.2} = 571 [rpm]$$

### **3.5.2.7. Potencia transmitida al generador ( $P_{TR}$ )**

Considerando la tabla 1.2 y remplazando los datos obtenidos en la ecuación 1.27 se tiene lo siguiente.

$$P_{TR} = 2.829 * 0.95 = 2.688 [kw]$$

Empleando una eficiencia del 93 % se determina la potencia en los bornes del generador con la ecuación 1.28.

$$P_g = 2.688 * 0.93 = 2.5 [kw]$$

Así mismo se puede determinar el par de polos del generador que viene dado por la ecuación 1.29.

$$N_{pp} = \frac{60 * 60}{3600} = 1$$

### 3.5.2.8. *Velocidad Específica*

Se considera que la turbina diseñada bajo estas condiciones, puede trabajar con saltos inferiores generando otras potencias con otros caudales. Esto se representa por su número específico de revoluciones expresados en caudal ( $N_q$ ) o potencia ( $N_s$ ). Según la ecuación 1.30 se tiene:

$$N_q = 571 \frac{0.050^{1/2}}{8.212^{3/4}} = 26.319 \quad N_s = 571 \frac{3.844^{1/2}}{8.812^{5/4}} = 80.53$$

Resultado  $N_q=26$  y  $N_s=81$  valores que está comprendidos dentro del rango de aplicación de la turbina Michell Banki, como se puede apreciar en la tabla 1.3.

### 3.5.3. *Diseño hidráulico*

Una vez inspeccionado el sitio se obtuvo los siguientes datos iniciales y fundamentales:

- Potencia a generar  $P=2.5\text{Kw}$
- Caudal máximo de diseño  $Q=0.050 \left[ \frac{m^3}{seg} \right]$
- Altura neta aprovechable  $h= 8.212 \text{ m}$

#### 3.5.3.1. *Selección del diametro de la turbina*

Se selecciona el diámetro del rotor se calcula con la ecuación 1.31.

$$Sef = \frac{0.050}{\sqrt{8.212}} = 0.0174$$

El valor calculado esta por debajo del valor previsto por ende el diametro exterior del rodete a emplear para el diseño de la turbina es de 200 mm, como se puede obserbar en la tabla 3.2.

**Tabla 3.2**  
SELECCIÓN DEL DIÁMETRO DEL RODETE

$Q/\sqrt{H_n}$	DIÁMETRO DEL RODETE (mm)
0.02236	200
0.04743	300
0.07906	400
0.07906	500

**Fuente:** Estandarización de turbinas Tipo Michell-Banki, Quito, Instituto Nacional de Energía  
**Elaborado por:** Postulantes

### 3.5.3.2. *Velocidad del agua a la salida del inyector (Velocidad absoluta)*

La velocidad absoluta se calcula con la ecuación 1.33.

$$C_2 = 4.34\sqrt{8.212} = 12.436 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

### 3.5.3.3. *Velocidad Tangencial*

Reemplazando la altura neta en la ecuación 1.34 se tiene lo siguiente:

$$U_2 = 2.09\sqrt{8.212} = 5.989 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

### 3.5.3.4. *Velocidad Relativa*

Con la ecuación 1.35 encontramos la velocidad relativa que tiene el rodete.

$$W_2 = 2.40\sqrt{8.212} = 6.877 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

### 3.5.3.5. *Velocidad Meridiana*

Así mismo se calcula esta velocidad aplicando la ecuación 1.36, donde se tiene lo siguiente:

$$W'_2 = 2.35\sqrt{8.212} = 6.734 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

Para determinar el rendimiento máximo de la turbina se calcula con la ecuación 1.37.

$$\eta_{max} = \left( 0.863 - 0.264 \frac{0.2}{8.212} \right) * 100\% = 85.6\%$$

### 3.5.3.6. *Ancho del inyector*

Se calcula el ancho del inyector aplicando la ecuación 1.38.

$$B = \frac{0.96 * 0.050}{0.2 * \sqrt{8.212}} = 0.083 [m]$$

### 3.5.3.7. *Geometría del rodete*

Se obtiene el diámetro interior del rodete con la ecuación 1.39.

$$D_i = 0.66 * 200mm$$

$$D_i = 132 mm$$

Según la tabla 1.4, y teniendo en cuenta el diámetro del rotor que es de 200 mm, el número de álabes a emplear son 22.

De igual manera se determina el ángulo de admisión con la ecuación 1.40 teniendo lo siguiente:

$$\theta_{ad} = \frac{2 * 1000 * 180 * 0.050}{12.436 * 200 * 0.083 * \text{sen}16 * \pi} = 100.69^\circ$$

De acuerdo al ángulo de admisión obtenido anteriormente se procede a calcular el número de álabes de admisión, misma que se realiza aplicando la ecuación 1.41.

$$Na = \frac{22 * 100.69}{360} = 6.153$$

Por lo tanto el caudal que recibe cada álabe de admisión se calcula con la ecuación 1.42.

$$Qa = \frac{0.050}{6.153} = 0.0081 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

#### **3.5.3.8. Geometría de la carcasa**

El material del que están contruidos la carcasa, la base y el soporte son de acero inoxidable con un espesor de 5mm; en mencionados materiales se considera su rigidez ya que de ello depende el tiempo de vida útil del rodete.

Los puntos de unión para cada pieza (carcasa, base y soporte) se realizó con suelda TIC, una vez culminado con la construcción de las mismas se procedió a eliminar las rebabas y deformaciones por efecto de la soldadura, con la ayuda de la amoladora. Por consiguiente se realizó el proceso de pintado utilizando pintura anticorrosiva. Sus dimensiones son: 0.38 m de ancho por 0.80 m de largo para la base y soporte, mientras que la carcasa tiene 0.20 m de ancho por 0.40 m de largo, cubriendo este a la geometría de la turbina.

### **3.5.4. Diseño mecánico**

#### **3.5.4.1. Ancho del rotor**

Para el cálculo del ancho del rodete se debe considerar el 50 % del ancho del inyector, esto se realiza aplicando la ecuación 1.43.

$$Br = 1.5 * 0.083 = 0.13[m]$$

### 3.5.4.2. Espesor de los álabes del rodete

Para la construcción de los álabes, se utiliza tuberías de acero. Éstas son cortadas formando un arco de circunferencia, como se muestra en el anexo D hoja 1 de 22.

De igual manera la siguiente tabla muestra los diámetros de las tuberías recomendadas para utilizar en base a los diámetros del rodete.

**Tabla 3.3**  
SECCIÓN TRANVERSAL DE UN ÁLABE DEL RODETE

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

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

**Elaborado por:** Potulante

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

En función al peso que se tiene en la tabla 33 se obtuvo el peso de un álabe como se ve a continuación:

$$1m \rightarrow 8.62 \frac{Kgf}{m}$$

$$0.13m \rightarrow x$$

Aplicando la regla de tres simple se tiene que:

$$x = 1.121 \frac{Kgf}{m}$$

Entonces el peso de un álabe (Pa) es:

$$Pa = \frac{1.121}{5} = 0.224 \frac{Kgf}{m}$$

De igual manera podemos encontrar el paso entre álabes aplicando la ecuación 1.44.

$$Pz = \frac{\pi * 0.2}{22} = 0.0285[m] = 28.5 [mm]$$

### 3.5.4.3. Fuerza hidráulica sobre un álabe

Esto se calcula aplicando las ecuaciones 1.45, 1.46 y 1.47 empleando el ángulo  $\Phi$  de la tabla 3.4.

**Tabla 3.4**

#### CARACTERÍSTICAS DEL ÁLABE

DIÁMETRO DEL RODETE (mm)	$\Phi(^{\circ})$	$\theta(^{\circ})$
200	15.5	74.5
300	20.0	70.0
400	17.0	73
500	14.6	75.4

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

**Elaborado por:** Postulantes

$$F_{hx} = 429.38 * 0.0081 \sqrt{8.212} (\cos 16^{\circ} - \sin 15.5) = 6.917 [Kgf]$$

$$F_{hy} = 429.38 * 0.0081 \sqrt{8.212} (\sin 16^{\circ} + \cos 15.5) = 12.351 [Kgf]$$

Donde reemplazando las fuerzas en x e y se tiene lo siguiente:

$$F_{hr} = \sqrt{(6.917)^2 + (12.351)^2} = 14.156 [Kgf]$$

Así también se determina la fuerza centrífuga sobre un álabe con la ecuación 1.48.

$$F_c = 0.895 * \frac{0.224 * 8.212}{0.2} = 8.231[Kgf]$$

A continuación se calcula la fuerza total sobre un álabe utilizando las siguientes ecuaciones 1.49, 1.50 y 1.51 en función del ángulo  $\lambda$  de la tabla 3.5.

**Tabla 3.5**

ÁNGULO ENTRE LA FUERZA HIDRÁULICA

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

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

**Elaborado por:** Postulantes

$$R_x = 14.156 * \cos 29.75 = 12.290[Kgf]$$

$$R_y = 14.156 * \sin 29.75 + 8.231 = 15.255[Kgf]$$

Donde reemplazando los valores de  $R_x$  y  $R_y$  se tiene la siguiente fuerza.

$$R_t = \sqrt{12.290^2 + 15.255^2} = 19.589[Kgf]$$

#### 3.5.4.4. Fuerza aplicada en la plancha del inyector

Esta fuerza se calcula, utilizando la ecuación 1.52.

$$F_{ti} = 390 * 0.2 * 8.212 * 0.13 = 83.26[kgf]$$



#### 3.5.4.5. Disco de unión de álabes

El volumen de los discos del rotor se determina con la ecuación 1.53 obteniendo el siguiente resultado.

$$V_{ds} = \pi * 200^2 * 5 * 2 * 10^{-6} = 1.257 [mm^3]$$

Para determinar el peso de los discos se aplica la ecuación 1.54.

Donde  $\rho_B$  es el peso específico del material que se le designa, para nuestro caso de  $0.00287 \frac{kgf}{m^3}$ . En vista de que el material empleado es el acero.

$$W_{ds} = 1.257 * 0.00287 = 0.0036 [kgf]$$

Del mismo modo se determina el peso total del rodete, aplicando la ecuación 1.55, y considerando el peso de los álabes.

$$W_{Trodete} = 0.0036 + 4.928 = 4.932 [kgf]$$

#### 3.5.4.6. Torque de accionamiento

Este torque máximo de accionamiento del rodete se calcula con la ecuación 1.56.

$$T_{max} = 974 \frac{2.829}{571} = 4.825 \text{ kg} - m$$

Por consiguiente se calcula la distancia correspondiente desde el rodete hacia las chumaceras aplicando la ecuación 1.57.

$$a = 0.8 * 0.13 = 0.104 [m]$$

Según el cálculo mecánico ASME se calcula el diámetro mínimo del eje del rotor. Para esto se necesita encontrar la fuerza tangencial del rodete aplicando la ecuación 1.62.

$$Fr = \frac{1948 * 2.829}{571 * 0.2} = 48.256 \text{ kg}$$

Se determina el momento flector máximo que representa en el eje, teniendo en cuenta los momentos en el eje x e y, con las ecuaciones 1.60 y 1.61.

$$M_x = \frac{48.256 * 0.104}{2} = 2.502$$

$$M_y = 4.932 * \frac{0.104}{2} = 0.256$$

Entonces reemplazando los valores en la ecuación 1.59 se tiene lo siguiente:

$$M_{max} = \sqrt{2.502^2 + 0.256^2} = 2.515 \text{ Kg-m}$$

Por ultimo reemplazando los valores se calcula el diámetro mínimo del eje del rotor, utilizando la ecuación 1.58.

$$d^3 = \frac{16}{\pi * 7} \sqrt{(1.5 * 2.515)^2 + (1 * 4.825)^2} = 4.456 \text{ [cm]}$$

$$d = 1.645 \text{ [cm]}$$

De igual manera se determina el diámetro máximo del eje de la turbina con la ecuación 1.63.

$$d = 0.328 * 0.2 = 0.066[m] = 6.6[cm]$$

Habiendo calculado los diámetros máximo y mínimo, se optó por construir un diámetro de 25mm, para lo cual se lo realizo utilizando el acero AISI 4041.

#### **3.5.4.7. Selección de rodamientos**

La selección de rodamientos se determina en función al diámetro del eje de la turbina, condiciones de funcionamiento, espacio disponible y costo; después de haber considerado estos puntos se llegó a la conclusión que el rodamiento óptimo es el

rodamiento de bolas ya que estos pueden jirar a mayor velocidad, como tambien pueden soportar una determinada carga.

Para el soporte de los rodamiento en este proyecto se utilizo chumaceras de pared, la misma que tiene una longitud de 0.10 m por un ancho de 0.10 m.

#### **3.5.4.8. Caja de transmisión**

Para alcanzar la velocidad necesaria del generador se construyó un juego de piñones de 50 dientes que se acopla a la turbina y 24 dientes que va en el eje de la polea con su respectivo piñón de paso para mantener el sistema de giro, calculando la transmisión de velocidad da como resultado la ecuación 1.64, que se aplica a continuación:

$$N_2 = 517 * \frac{50}{24} = 1077rpm$$

Se debe considerar un 30 % de pérdidas que existe dentro de los engranajes, teniendo lo siguiente:

$$N_2 = 1077 * 0.30 = 754 rpm$$

De tal manera que encontrada la velocidad se puede calcular la relación de transmisión existente entre la turbina y generador con la ecuación 1.65.

$$i = \frac{3600}{754} = 4.77$$

Teniendo en cuenta que el diámetro de la polea menor (generador) es de 2.5 in, se procede a encontrar el diámetro de la polea mayor aplicando la ecuación 1.66.

$$D_1 = 2.5 * 4.77 = 12 [in]$$

Se optó por utilizar una polea de 14 in, ya que se consideró un porcentaje de pérdidas en la banda trapezoidal, la cual se utiliza para unir la turbina con el generador.

#### 3.5.4.9. *Potencia corregida*

Esto se determina en función a la tabla 1.6 donde, para el presente proyecto se escogió  $C=1.2$ , por lo cual reemplazando los datos obtenidos en la ecuación 1.67 se tiene lo siguiente.

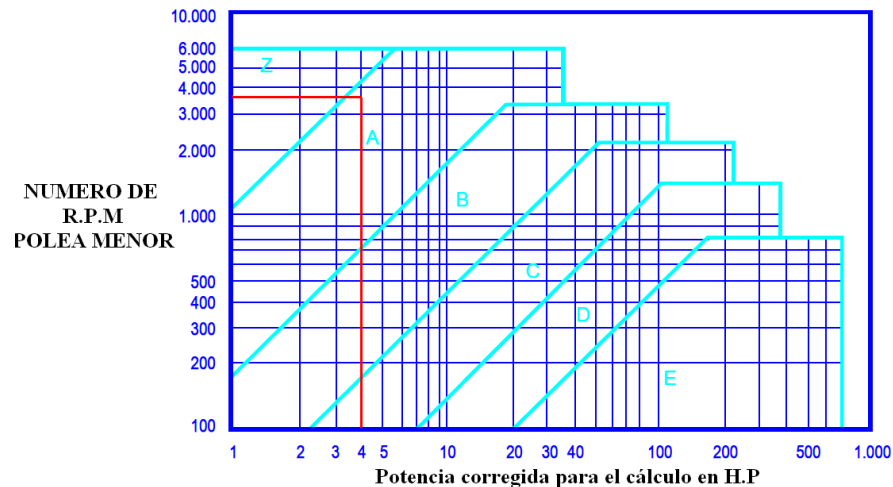
$$P_c = 3.396 * 1.2 = 4.07[CV] = 4 HP$$

#### 3.5.4.10. *Selección de la correa trapezoidal*

En la siguiente figura se puede seleccionar el tipo de banda, en función a la potencia corregida y las revoluciones por minuto de la polea menor (generador), siendo de 3600 RPM.

**Figura 3.9**

**CURVAS PARA LA SELECCIÓN DE CORREAS TRAPEZOIDALES**



**Fuente:**[http://www.iesmarenostrum.com/Departamentos/Tecnologia/mecaneso/mecanica\\_basica/mecanismos/](http://www.iesmarenostrum.com/Departamentos/Tecnologia/mecaneso/mecanica_basica/mecanismos/)

Como se puede observar la sección recomendada para la elección de la banda es de tipo “A”.

De igual manera se calcula la distancia entre los ejes, teniendo en cuenta la relación de transmisión  $i = 4.77$ , entonces se aplica el segundo criterio por lo que se optó la distancia entre ejes de:

$$I = 400[\text{mm}]$$

Reemplazando los valores obtenidos anteriormente se encuentra la longitud de la banda empleando la ecuación 1.69.

$$L = 2 * 400 + 1.57 (355.6 + 63.5) + \frac{(355.6 - 63.5)^2}{4 * 400} = 1511[\text{mm}]$$

Con la ayuda de la tabla 1.7 que contiene valores de longitudes normalizadas de correas trapezoidales y constantes de potencia, podemos encontrar la longitud de la banda más aproximada al valor calculado.

De donde la banda estandarizada más aproximada es: A59  $L' = 1532$

En vista de que se incrementa la distancia primitiva de la banda, se incrementara la distancia entre los ejes; la cual se determina con la ecuación 1.70.

$$I' = 400 + \frac{(1532 - 1511)}{2} = 411 [\text{mm}]$$

#### **3.5.4.11. Arco de contacto**

Reemplazando la ecuación 1.71 se tiene el siguiente arco de contacto.

$$\Gamma = 180 - 57 \left( \frac{355.6 - 63.5}{411} \right) = 140^\circ$$

Teniendo en cuenta que dentro de las consideraciones de diseño el arco de contacto en la polea menor no deber ser menor a  $120^\circ$ , se puede decir que el ángulo encontrado es aceptable ya que se encuentra dentro de estas consideraciones.

La potencia transmitida por la correa se deduce mediante la ecuación 1.72.

Donde en el anexo C3, se ubica los valores de **Pb** en relación a la velocidad de giro del generador (N2) con el diámetro de la polea menor (d2), así como también **Pd** en función de (N2) con la relación de transmisión (i); conociendo la sección de banda que se va a utilizar.

Obteniendo los siguientes valores del catalogo de banda Pirreli que son:

$$Pb = 2.28$$

$$Pd = 0.61$$

Con la ayuda de las tablas 1.8 y 1.9 se obtiene los siguientes valores:

$$C_T = 0.9$$

$$C_l = 1.03$$

Una vez encontrado todos los valores y reemplazando se determina lo siguiente potencia transmitida.

$$Pa = (2.28 + 0.61) * 0.9 * 1.03 = 2.68 [CV]$$

#### ***3.5.4.12. Determinación del número de bandas***

Reemplazando los valores en la ecuación 1.73 se calcula el número de bandas que se va a utilizar.

$$N^o \text{ bandas} = \frac{4.07}{2.68} = 1.51$$

### ***3.5.5. Equipo eléctrico***

#### ***3.5.5.1. Selección del generador***

Una vez habiendo visto y analizado las características, ventajas y desventajas del tipo de generador se procedió a seleccionar un generador que permita cubrir la demanda de energía eléctrica en la cabaña. La misma que presenta las siguientes características:

**Tabla 3.6**

**CARACTERISTICAS DEL GENERADOR**

<b>CARACTERISTICAS DEL GENERADOR</b>	
<b>Marca</b>	HONDA
<b>Voltaje</b>	115 V AC.
<b>Potencia</b>	OUTPUT 2,5 kW
<b>Revoluciones</b>	3600 R.P.M.
<b>Frecuencia</b>	60 Hz
<b># Polos</b>	2

**Fuente:** Postulantes

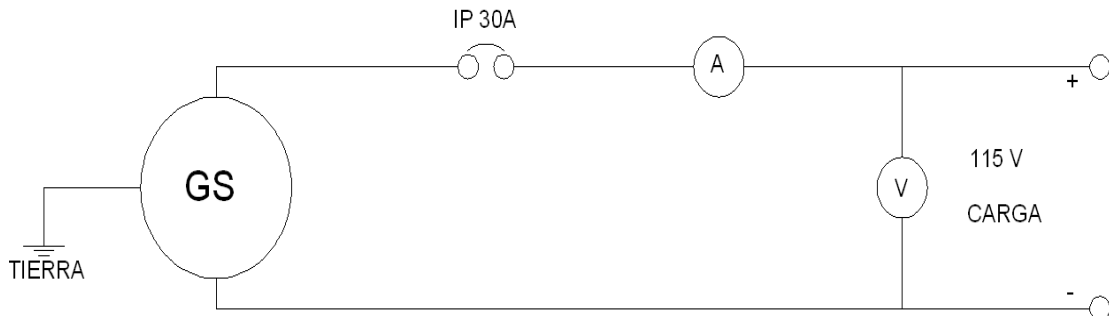
Se opto por este generador con la finalidad de brindar el suministro de energia elctrica, en funcion a la demanda que tiene la cabaña actualmente, teniendo en cuenta que todos los elementos electricos no van a estar en funcionamiento al mismo tiempo.

Los generadores monofasicos son utilizados en aplicaciones de potencia relativamente pequeñas, así como tambien soportan corrientes de carga instantanea.

El tablero de control tiene la finalidad de garantizar la proteccion del operario y las instalaciones interiores en la cabaña, para lo cual se presenta el siguiente esquema:

**Gráfico 3.1**

**ESQUEMA DEL TABLERO DE CONTROL**



**Fuente:**Postulantes

La finalidad principal de una puesta a tierra es brindar la seguridad al usuario, por tal motivo se obtuvo por esta medida de protección; teniendo en cuenta que el cuerpo humano puede llegar a soportar una corriente de 0.025 A.

En el presente proyecto se realiza la conexión a tierra en el tablero de control, turbina y generador que se encuentran ubicados en la casa de máquinas, con la ayuda del 5 metros de cable N° 8 AWG de cobre y la barrilla copperweld.

De igual manera se determina la protección general de la cabaña, despejando la corriente de la ecuación 1.74.

$$I_f = \frac{P}{V_f * f_p} = \frac{2500}{120 * 0.92} = 22.65 [A]$$

A esta corriente se le multiplica un 25% de sobrecarga teniendo lo siguiente:

$$I_f = 22.65 * 1.25 = 28.31[A]$$

Entonces el interruptor termomagnético que protege la cabaña según la normalización local será de 30 [A].



### 3.5.6. Verificación del Proyecto Implementado

Una vez culminada con la construcción e implementación del Pico Generador Hidroeléctrico se procedió a realizar las pruebas de funcionamiento donde se obtuvo los siguientes datos:

**Tabla 3.7 RESULTADOS MEDIDOS EN EL FUNCIONAMIENTO DEL PICO GENERADOR HIDROELÉCTRICO**

Valvula de compuerta	Nº vueltas	Presión (Psi)	Caudal (Q)	N Turbina (RPM)	N Generador (RPM)	Voltaje (voltios)	Corriente (amperios)	Potencia (watts)	Frecuencia (Hz)	Rendimiento (%)
100%	16	12	41	900	4080	140	16,37	2108,456	68,0	90%
86,67%	13	12	33,31	780	3588	120	17,83	1968,432	59,8	88%
77,78%	10	13	25,63	700	3220	85	18,38	1437,316	53,7	84%
69%	8	13	20,50	625	2875	70	19,03	1225,532	47,9	79%
60,00%	7	13	17,94	540	2484	60	19,64	1084,128	41,4	70%
43%	6	14	15,38	390	1794	53	20,12	981,0512	29,9	62%
25,00%	5	15	12,81	225	1035	40	20,72	762,496	17,3	55%

Fuente: Postulantes

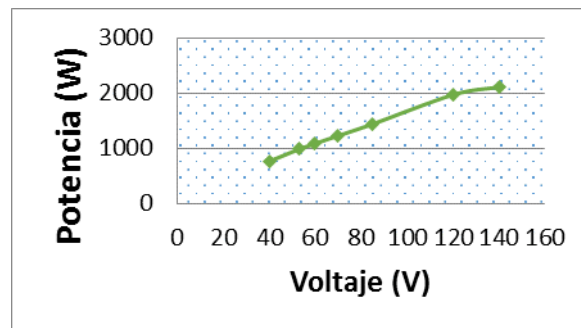
### 3.5.7. Análisis de resultados

En las curvas que se muestran a continuación podemos apreciar el comportamiento del Pico Generador Hidroeléctrico, en función al caudal de diseño.

#### 3.5.7.1. Curva de la Potencia a generar vs. Voltaje

**Gráfico 3.2**

POTENCIA VS. VOLTAJE



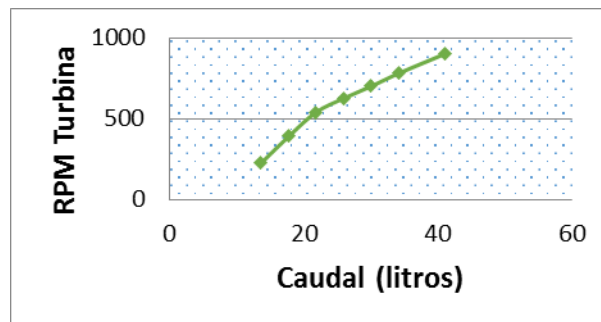
Fuente: Postulantes

En el gráfico 3.2 se puede visualizar que la potencia generada es directamente proporcional al voltaje, alcanzando estos dos parámetros sus puntos máximos.

#### 3.5.7.2. Curva de la Velocidad de la turbina vs. el caudal

**Gráfico 3.3**

RPM TURBINA VS. CAUDAL



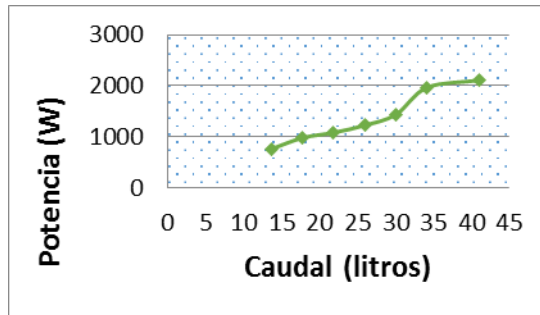
Fuente: Postulantes

Se puede observar que las revoluciones (RPM) de la turbina, depende básicamente del caudal que ingresa. Sabiendo que al momento de trabajar con carga disminuye su velocidad, se vio la necesidad de incrementar una masa como peso para mantener constante la velocidad de giro cuando esté operando con carga.

### 3.5.7.3. Curva de la Potencia a generar vs. el caudal

**Gráfico 3.4**

POTENCIA VS. CAUDAL



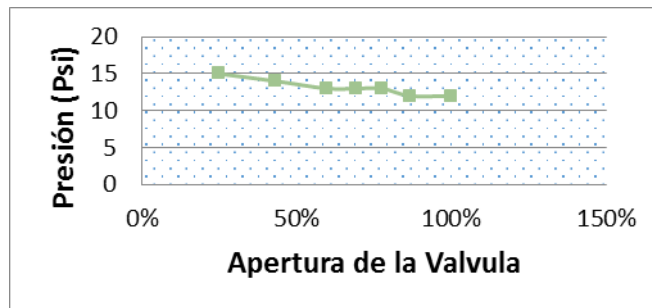
Fuente: Postulantes

Se concluye que mientras se mantenga el nivel de caudal constante con 41 (l/s), la potencia generada va a estar disponible en su máxima capacidad para ser utilizada.

### 3.5.7.4. Curva de la Presión vs. apertura de la válvula de compuerta

**Gráfico 3.5**

PRESIÓN VS. APERTURA DE LA VÁLVULA



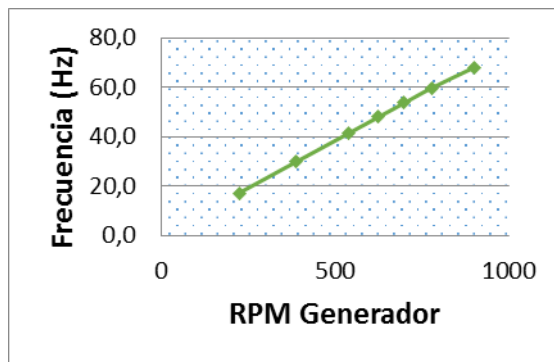
Fuente: Postulantes

En el gráfico 3.5 se observa que la válvula de compuerta regula la presión en todo el sistema, teniendo en cuenta que se genera en óptimas condiciones alcanzando la presión de 13 Psi.

### 3.5.7.5. Curva de la frecuencia vs. la velocidad del generador

**Gráfico 3.6**

FRECUENCIA VS. RPM GENERADOR



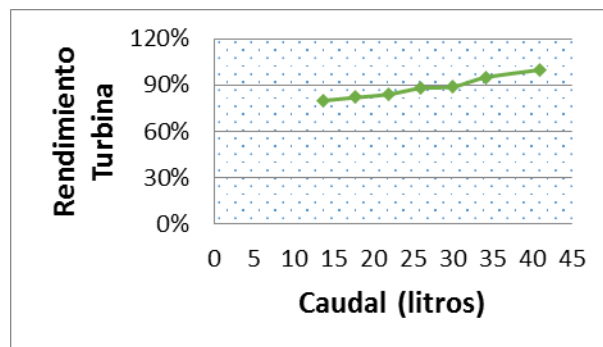
Fuente: Postulantes

La velocidad de giro del generador es directamente proporcional a la frecuencia, para lo cual se debe mantener constante dentro del rango establecido (60 Hz).

### 3.5.7.6. Curva del rendimiento de la turbina vs. el caudal

**Gráfico 3.7**

RENDIMIENTO DE LA TURBINA VS. CAUDAL



Fuente: Postulantes

Conforme se incrementa el caudal por medio del inyector, mejoramos el rendimiento del sistema hasta llegar a su punto óptimo de generación, manteniendo el nivel de voltaje en 110 V.

### 3.6. Análisis económico del proyecto

Tomando de referencia los anexos E1, E2, E3 y E4. En la siguiente tabla se detalla los costos directos utilizados para la instalación del sistema.

**Tabla 3.8**

#### COSTOS DIRECTOS

<b>DESCRIPCION</b>	<b>Subtotal USD</b>
Costo de materiales para la obra civil	684.30
Costo de materiales para el ensamblaje hidráulico	2064.15
Costo de materiales para la instalación eléctrica	812.59
Costo por mano de obra	915.00
<b>Total</b>	<b>4476.04</b>

**Fuente:** Postulantes

De igual manera tomando en cuenta el anexo E6. Se detallan los costos indirectos en la siguiente tabla.

**Tabla 3.9**

#### COSTOS INDIRECTOS

<b>DESCRIPCION</b>	<b>TOTAL USD</b>
Costo del transporte de los materiales	400.00
Alimentación	350.00
Otros	100.00
<b>Total</b>	<b>850.00</b>

**Fuente:** Postulantes

De igual manera, una vez calculado los costos directos e indirectos se procede a determinar los costos totales que se empleó para la construcción e implementación del Pico Generador Hidroeléctrico. Los mismos que se especifican a continuación:

**Tabla 3.10 COSTO TOTAL DEL PROYECTO**

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>Total</b>
Costo directo	4476.04
Costo indirecto	850.00
Total	5326.04

**Fuente:** Postulantes

### ***3.6.1. Beneficios***

Dentro de los beneficios que representa la implementación del pico generador hidroeléctrico podemos mencionar que la utilización de fuentes renovables de energía, proporciona una mayor eficiencia con una potencial disponible, presentando ventajas económicas, ambientales y mejorando la calidad de vida de los trabajadores; pues al disponer de energía propia dentro de la finca y a bajo costo los propietarios mejoraran la producción ganadera, e incrementar el turismo dentro de la zona.

Se debe considerar el valor de la depreciación para cada componente que conforma el sistema, los mismos que remplazando los valores en la ecuación 1.75 se tiene lo siguiente:

Para la obra civil

$$V_d = \frac{1029.30 - 0}{20} = 52.464 \left[ \frac{USD}{año} \right]$$

Para el sistema hidráulico

$$V_d = \frac{2634.15 - 0}{15} = 175.61 \left[ \frac{USD}{año} \right]$$

Para el sistema eléctrico

$$V_d = \frac{812.59 - 0}{15} = 54.17 \left[ \frac{USD}{año} \right]$$

### 3.6.2. Cálculo del costo de la energía

En la tabla 3.11 se describe el consumo de energía de los diferentes aparatos eléctricos que se utiliza en la cabaña, considerando que cada uno de ellos entra en funcionamiento en horarios distintos.

**Tabla 3.11**

#### CONSUMO DE LA ENERGÍA DIARIA

Equipo eléctrico	Potencia activa (KW)	Horas en funcionamiento	Energía diaria (KWh)
12 focos	1.2	8	9.6
1 licuadora	0.350	1	0.350
1 equipo de sonido	0.250	10	2.5
1 televisor	0.200	8	1.6
1 DVD	0.050	2	0.1
1 bomba de agua 2HP	1.492	3	4.476
1 ventilador	0.150	6	0.9
1 refrigerador	0.575	9	5.175
1 batidora	0.25	0.5	0.125
1 tostadora	0.5	0.5	0.25
1 cafetera	0.9	1	0.9
1 microondas	1.2	1	1.2
Total			27.75

**Fuente:** <http://tesalvamos.blogspot.com/2011/12/consumo-electrico-de-los.html>

**Elaborado por:** Postulantes

Una vez hallado el consumo de energía diaria, por consiguiente se calcula el consumo de energía mensualmente y anualmente.

$$\text{Consumo mensual} = 27.75 \text{ kWh} * 30 = 832.5 \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{mes}} \right]$$

$$\text{Consumo anual} = 832.5 \text{ kWh} * 11 = 9157.5 \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \right]$$

Según el Consejo Nacional de la Electricidad (CONELEC) determino que para los consumidores residenciales el precio del kWh es de 0.0933 dólares.

A continuación se calcula el costo que debería pagar por el consumo mensual de energía, si se comprara esto a la empresa eléctrica.

$$\text{Costo mensual} = 832.5 \text{ kWh} * \$ 0.0933 = \$ 77.67$$

$$\text{Costo anual} = 9157.5 \text{ kWh} * \$ 0.0933 = \$ 854.39$$



**Tabla 3.12**  
BENEFICIOS Y COSTOS TOTALES

AÑOS	BENEFICIOS			COSTOS			
	BENEFICIOS	FACTOR DE ACTUAIZACIÓN	BENEFICIOS ACTUALIZADOS	COSTOS	FACTOR DE ACTUALIZACIÓN	COSTOS ACTUALIZADOS	
<b>1</b>	0	0,909	0	5326,040	0,909	4841,855	
<b>2</b>	854,39	0,826	706,107	106,520	0,826	88,033	
<b>3</b>	854,39	0,751	641,916	107,585	0,751	80,830	
<b>4</b>	854,39	0,683	583,560	108,661	0,683	74,217	
<b>5</b>	854,39	0,621	530,509	109,748	0,621	68,145	
<b>6</b>	854,39	0,564	482,281	110,845	0,564	62,569	
<b>7</b>	854,39	0,513	438,437	111,954	0,513	57,450	
<b>8</b>	854,39	0,467	398,579	113,073	0,467	52,749	
<b>9</b>	854,39	0,424	362,345	114,204	0,424	48,434	
<b>10</b>	854,39	0,386	329,404	115,346	0,386	44,471	
<b>11</b>	854,39	0,350	299,458	116,499	0,350	40,832	
<b>12</b>	854,39	0,319	272,235	117,664	0,319	37,491	
<b>13</b>	854,39	0,290	247,486	118,841	0,290	34,424	
<b>14</b>	854,39	0,263	224,988	120,029	0,263	31,607	
<b>15</b>	854,39	0,239	204,534	121,230	0,239	29,021	
<b>TOTAL</b>			5721,840088	<b>TOTAL</b>			5592,129

**Fuente:** LELAND T BLANK, Ingeniería Económica.

**Elaborado por:** Postulantes

En la tabla 3.12 se determinan los beneficios y costos totales estimados durante la vida útil del Pico Generador Hidroeléctrico, para una tasa de descuento del 10%. La relación beneficio costo se calcula aplicando la ecuación 1.76.

$$R_{B/C} = \frac{5721.84}{5592.129} = 1.023$$

Una vez encontrado la relación beneficio costo se llegó a concluir que el proyecto es rentable, ya que la B/C > 1.

### ***3.6.3. Cálculo del valor de inversión***

En función a la tasa de descuento tomado de referencia por el Banco Central y la vida útil del proyecto se calcula el valor de inversión con la ecuación 1.77.

$$A = \frac{5326.04 * 0.10 (1 + 0.10)^{15}}{(1 + 0.10)^{15} - 1} = 700.23 \$$$

Por último se calcula el costo del kWh al que genera el proyecto, reemplazando los valores encontrados en la ecuación 1.78.

$$Costo KWh = \frac{700.23 + 106.52}{9157.5} = 0.088 USD$$

El costo calculado del kWh que se genera en el proyecto es de 8.8 centavos de dólar que comparado con el valor actual de 9.33 centavos regulado por el CONELEC es considerablemente rentable.

## **3.7. Conclusiones y recomendaciones**

### ***3.7.1. Conclusiones***

- La información recolectada durante la estructuración del marco teórico es indispensable para conocer y saber el funcionamiento de lo que en sí es un pico generador hidroeléctrico, partiendo desde la forma de energía renovable hasta llegar a la generación requerida.
- En el presente proyecto de tesis se logró implementar el sistema Pico Generador Hidroeléctrico con una potencia de 2.5 kW, aprovechando el caudal y la altura existente en la zona las cuales sirvieron como base principal para el cálculo respectivo; dándonos como resultado el diseño y construcción de la turbina Michell Banki.
- La implementación de este tipo de proyectos a pequeña escala tienen buena aceptación en zonas rurales y especialmente en sectores alejados de la ciudad, donde no cuentan con vías de acceso, por lo cual es difícil el ingreso del sistema nacional interconectado. Las mismas que se encuentran en armonía con el medio ambiente.
- El sistema implementado cuenta con elementos de uso sencillo, por lo que no se presentan dificultades al momento de realizar la operación y mantenimiento, siendo esta tecnología una alternativa para que habitantes de este sector gocen de un servicio básico, como es la energía eléctrica.
- En función al consumo de energía proyectada se determinó que el costo del kW-h generado es de 0.088 USD, el mismo que en comparación

con el valor comercial del kW-h suministrado por la Empresa Eléctrica de Quito es menor, por ende representa un ahorro considerable.

- Los objetivos planteados al inicio del presente proyecto de tesis se cumplen a cabalidad, ya que los resultados prácticos demuestran el buen funcionamiento del sistema de generación eléctrica.

### **3.7.2. Recomendaciones**

- Para la construcción de proyectos a pequeña escala es recomendable realizar un análisis minucioso a fin de determinar las condiciones topográficas del terreno donde será puesto el desarenador, tanque de presión y la casa de máquinas, esto permitirá reducir considerablemente los tiempos de construcción de la obra civil.
- Es necesario conservar el nivel del agua en la bocatoma, con la finalidad de mantener el chorro de agua constante en el inyector, así de esta manera evitar el paro inesperado del sistema.
- La turbina debe estar completamente balanceada para que no existan vibraciones en el rodete, provocando daños en las chumaceras y resistencia al momento de su funcionamiento.
- La entrada del inyector debe estar direccionado a la parte superior del rodete directamente hacia los alabes y no al centro, para evitar pérdidas de potencia, por ende tener un óptimo rendimiento del sistema.
- Es conveniente realizar la limpieza del desarenador, así como también del tanque de presión semanalmente con el propósito de que no se acumulen desechos sólidos, ya que estos pueden ocasionar daños en la turbina o impedir el paso del agua.
- Es recomendable tener un plan de mantenimiento preventivo del Pico Generador Hidroeléctrico, para de esta manera estar alertas a cualquier anomalía que se presente durante el funcionamiento del sistema; así evitar daños en los equipos.

- Revisar la carcasa de la turbina periódicamente con la finalidad de evitar corrosiones en la misma, si el caso lo amerita dar un tratamiento anticorrosivo, de esta manera evitaremos que se produzcan oxidaciones que dañan al equipo.
  
- Por ultimo recomendamos a las Autoridades de esta prestigiosa Institución seguir impulsando este tipo de proyectos, pues brinda a los sectores menos favorecidos del país opciones aptas para mantener su desarrollo socioeconómico y de esta manera mejorar la calidad de vida de los habitantes de estos sectores.

## 3.8. Referencias Bibliográficas

### 3.8.1. Bibliografía Citada

- [a] COLOMA Pilar. Manual de Mini y Microcentrales Hidráulicas: Obras Civiles, Lima ITDG, 1995. Pág. 53-63.
- [b] DE JUANA José Ma. Energías Renovables para el Desarrollo: Formas de Energía, Primera edición. Madrid España: Thomson Editores, 2009. Pag. 5-9. ISBN: 978-84-283-2864-7
- [c] ENRÍQUEZ HARPER Gilberto. Protección de Instalaciones Eléctricas Industriales y Comerciales: Dispositivos y Requerimientos para la Protección de Sistemas, Segunda edición. México: Limusa, S.A. de C.V. Editorial, 2011. Pág. 116. ISBN: 978-968-18-6152-0
- [d] ENRÍQUEZ HARPER Gilberto. Manual de Instalaciones Eléctricas Residenciales e Industriales: Protección Primaria y Secundaria, Segunda edición. México: Limusa, S.A. de C.V. Editorial, 2012. Pág. 416. ISBN: 978-968-18-5195-8
- [e] FERNANDEZ MARTINEZ Juan, Estudios Técnicos Tnc, Análisis de Costo Beneficio, San Juan, febrero 2014, pdf.
- [f] GARCÍA TRASANCOS José. Electrotecnia: Máquinas Síncronas, Décima edición. Madrid España: ÁREA Técnico-Vocacional Editorial, 2009. Pág. 210. ISBN: 978-84-283-3194-4
- [g] NOVILLO BARRENO Marcelo. Manual de Diseño de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas: Diseño de Obras Civiles y Tubería de Presión, Volumen III. Bucaramanga Colombia, octubre 1985, Pág. 16-31
- [h] ORTIZ FLÒREZ Ramiro. Hidráulico Generación de Energía: Ecuación de las pérdidas primarias, Primera edición. Bogotá Colombia, mayo 2011. Pág. 84-87. ISBN: 978-958-8675-89-3

### **3.8.2. Bibliografía Consultada**

- [1] BRISEÑO Eduardo. Manual de la Capacitación en la operación y mantenimiento de pequeñas centrales hidráulicas, Primera edición. Forma e Imagen de Billy. Perú, 2008
- [2] FEDERIK M. Manual de Ingeniería Civil, Cuarta edición. México, McGraw-Hill, 2008
- [3] Ficha Técnica Turbina Michell-Banki 2. ITDG, Vol. 2, Soluciones Prácticas. Lima Perú. Tecnologías resolviendo la Pobreza, 2012
- [4] ITDG. Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de micro centrales hidroeléctricas. Perú, 2010
- [5] Manual de Mini y Micro centrales hidráulicas. ITDG-LA. pdf
- [6] MALLITÁSIG PANCHI Oscar. Modelación y Diseño Digital para micro-centrales de generación Hidroeléctricas, Tesis, Quito, 2008
- [7] NAVARRO HUDIEL Sergio. Capitulo III Generación Eléctrica, costo de potencia y costo de mantenimiento, febrero 2008, pdf.
- [8] OLADE. Manual de diseño, estandarización y fabricación de equipos para pequeñas centrales hidroeléctricas. Vol 1
- [9] PAZ PÉREZ Edgar, R. CARROCCI Luiz, MAGALHÁES FILHO Paulo y ROMERO LUNA Carlos. Metodología de Diseño Hidráulico y Mecánico de una Turbina Michell Banki, Lima, octubre 2007, pdf
- [10] PENCHE Celso. Manual de Pequeña Hidráulico: Estructuras Hidráulicas. Obra Civil, Brúcelas Bélgica, noviembre 1998, pdf
- [11] Pico Hidro Potencia para Aldeas, Un manual práctico para instalaciones de hasta 5 Kw en terrenos de pendientes fuertes pdf.
- [12] SISA AMAGUAYO Edison y VILLAROEL HERRERA Wilmer, “Diseño e instalación de una Pico Central Hidroeléctrica en la Hacienda ISABELA”, Tesis, Riobamba, 2009
- [13] TORRES CAMPOS Abelardo. Correas Industriales DAYCO: Catalogo de Correas Industriales. Bolivia, diciembre 2009, pdf.



### 3.8.3. Bibliografía Virtual

- CASA. TP 1-04 Práctico N°4 – Rodamientos. Mecánica Mecanismos. Junio 2012 [ref. de 26 de marzo de 2014]. Disponible en Web: <file:///C:/Documents%20and%20Settings/MAQUINA%207/Mis%20documentos/Downloads/TP\_1-04\_Practico\_No4\_-\_Rodamientos.pdf>
- Usuario. 3-TB2 Hidrodinámica. Septiembre 2004. Disponible en Web: <http://www.fodonto.uncu.edu.ar/upload/hidrodinamica.pdf>
- PIEROBON Mario. Generador Eléctrico-Inducción Electromagnética. Septiembre 2009 [ref. de 04 de septiembre de 2009]. Disponible en Web:<file:///C:/Documents%20and%20Settings/MAQUINA%206/Mis%20documentos/Downloads/Generador%20el%C3%A9ctrico-inducci%C3%B3n%20electromagn%C3%A9tica.pdf >
- AGUILAR RÍOS Edgar A. Generadores Síncronos. 2010. Disponible en Web: <http://www.monografias.com/trabajos82/generadores síncronos /generadores-sincronos.shtml#ixzz314AJ1hwA>
- KOSTENKO M. Máquinas Asíncronas. Agosto 2010 [ref. de 23 de octubre de 2010]. Disponible en Web: <http://www.monografias.com /trabajos94/sobre-maquinas-asincronicas/sobre-maquinas-asincronicas2.shtml#ixzz3195J8A1r>
- GINALI Natasha. Tipos de Generadores de energía hidroeléctrica. 2008. Disponible en Web: <http://www.ehowenespanol.com/tipos-generadores-energia-hidroelectrica lista\_317214>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Pedro Vicente Maldonado. Ubicación Geográfica. 2013. Disponible en Web:<http://www.pedrovicentemaldonado.gob.ec/index.php/micanton/geografia>
- LENNTECH BV. FAQ de la Energía del Agua. España, México. 2013. Disponible en Web:<http://www.lenntech.com/espanol/FAQ-energia-agua.htm>

- VILLAVICENCIO P. Abelardo. Métodos de aforos de caudal. Agosto 2011[ref. de 10 de julio de 2012]. Disponible en Web: < [http://platina.inia.cl/ururi/informativos/Informativo\\_INIA\\_Ururi\\_50.pdf](http://platina.inia.cl/ururi/informativos/Informativo_INIA_Ururi_50.pdf)>
- JAVASCRIPT APPENDED. Fundamentos de la Topografía. 2009. Disponible en Web:<<http://web.archive.org/web/20070113200522/www.espanol.geocities.com/pablojavierbarrera/top2.html>>
- DUNLOP ARGENTINA S.A. Correas de Trasmisión Industrial. Buenos Aires-Argentina. Mayo 2012.Disponible en Web:< [http://www.dunlop.com.ar/catálogos/Catalogo\\_Correas\\_industriales.pdf](http://www.dunlop.com.ar/catálogos/Catalogo_Correas_industriales.pdf)>
- Lámpara de señal Indicador de accidente. Alemania. 2010. Disponible en Web:< <http://es.aliexpress.com/w/wholesale-led-pilot-light.html>>
- MARISON RODRIGUEZ Alexandra. Empresa Eléctrica Quito: Pliego Tarifario. Quito. Abril 2014. Disponible en Web:< <http://www.eeq.com.ec:8080/documents/10180/143788/PLIEGO+TARIFARIO+ABRIL+2014/ab9d4d64-11a5-400c-ad4c-6dcc27b6de96>>

**ANEXO A**  
**ENTREVISTA**

**UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI**  
**UNIDAD ACADEMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS**  
**CARRERA INGENIERIA ELECTRICA**

**ENTREVISTA**

**DATOS INFORMATIVOS:**

**NOMBRE:**.....

**DIRECCION:**.....

**Objetivo:** Recopilar información requerida y necesaria para la implementación de un sistema pico generador hidroeléctrico en la finca “Laurita” ubicada en el kilómetro 107, de la vía Quito – cantón Pedro Vicente Maldonado.

**Instrucción:** Por favor responda las siguientes preguntas.

**1. ¿Qué artefactos eléctricos piensa abastecer con la implementación de este proyecto?**

.....  
.....

**2. ¿En qué meses del año aumenta y/o disminuye el caudal del río Canchupí?**

.....  
.....

**3. ¿Cuáles han sido los inconvenientes en la cabaña que se encuentra a 1 km de la vía principal al no disponer del suministro de energía eléctrica?**

.....  
.....

**4. ¿Piensa usted que los sistemas pico generador hidroeléctricos contribuyen al desarrollo de las zonas rurales aisladas?**

.....  
.....

**5. ¿Con la construcción e implementación de este sistema pico generador hidroeléctrico que ideas tiene a futuro?**

.....  
.....

**6. ¿En que otro beneficio cree usted, que podemos reutilizar el agua después de pasar por el proceso de generación hidroeléctrica?**

.....  
.....

**7. ¿Qué limitaciones piensa usted que existirían al momento de comenzar el proyecto?**

.....  
.....

**8. ¿Qué opina usted de la Universidad Técnica de Cotopaxi, sobre la ejecución de estos proyectos?**

.....  
.....

**ANEXOS B**  
**GLOSARIO DE**  
**TERMINOS**

**Aguas arriba.-** En electricidad se refiere a todos los componentes o equipos eléctricos que se encuentran hacia adelante desde un punto de referencia establecido.

**Aguas Abajo.-** En electricidad se refiere a todos los componentes o equipos eléctricos que se encuentran hacia atrás desde un punto de referencia establecido.

**Alabe.-** Un álabe es la paleta curva de una turbo máquina o máquina de fluido fotodinámica. Forma parte del rodete y, en su caso, también del difusor o del distribuidor.

**Conductores.-** Son elementos que transmiten o llevan el fluido eléctrico y forman parte de las líneas de transmisión o subtransmisión.

**Confiabilidad.-** Probabilidad de que un ítem lleve a cabo una misión asignada satisfactoriamente por el período establecido y bajo las condiciones especificadas.

**Cortes de carga.-** Acción relacionada con la desconexión de carga en un punto del sistema, debido a: fallas, falta de capacidad de transmisión, bajos perfiles de voltaje, etc.

**Electrógenos.-** Un grupo electrógeno es una máquina que mueve un generador eléctrico a través de un motor de combustión interna.

**Equipo de interrupción.-** Dispositivos (interruptores, seccionadores, etc.) que sirven para abrir o cerrar determinados elementos eléctricos.

**Gravitatoria.-** El campo gravitatorio o campo gravitacional es un campo de fuerzas que representa la gravedad.

**Hidráulico.-** La hidráulica es una rama de la mecánica de fluidos y ampliamente presente en la ingeniería que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas de

los líquidos. Todo esto depende de las fuerzas que se interponen con la masa y a las condiciones a que esté sometido el fluido.

**Inyector.-** Un inyector es un dispositivo utilizado para bombear fluidos utilizando el efecto Venturi. Utiliza un fluido a alta presión que sale por una boquilla a alta velocidad y baja presión convirtiendo su energía potencial en energía cinética.

**Maniobrabilidad.-** Posibilidad de agrupar circuitos en función de requerimientos de operación (factibilidad de operación). La estructura del diagrama y su cantidad de equipo determina el número de pasos de maniobra que tiene que darse a cada una de sus operaciones. Mientras más simple es un esquema más sencilla será su operación.

**Potencia hidráulica.-** Es muy habitual en el transporte de fluidos utilizar elementos mecánicos que aportan energía y presión al mismo para favorecer o incluso posibilitar su movimiento y transporte.

**Potencia mecánica.-** La potencia mecánica se define como la rapidez con que se realiza un trabajo. Se mide en watts (W).

**Protección eléctrica.-** Conjunto de relés y aparatos asociados que abren los interruptores para separar un elemento del sistema de transmisión en falla, con la finalidad de evitar daños en estos elementos.

**Rodete.-** El rodete es un tipo de rotor situado dentro de una tubería o un conducto y es el encargado de impulsar un fluido.

**Sistema de protecciones.-** Conjunto de dispositivos que permiten la detección de situaciones anómalas en el sistema eléctrico y que permiten la eliminación de fallas, evitando daños en las instalaciones.



**Tobera.-** Una tobera es un dispositivo que convierte la energía térmica y de presión de un fluido en energía cinética. Como tal, es utilizado en turbo máquinas.

**Tubería Forzada.-** Una tubería forzada es la tubería que lleva el agua a presión desde el canal o el embalse hasta la entrada de la turbina.

**Turbina flujo transversal.-** La turbina de flujo transversal es una máquina de gran importancia en pequeños aprovechamientos hidroeléctricos. Es por esto que un buen diseño proporcionará un aumento de la eficiencia que se sumará a la sencilla construcción de esta.

# **ANEXO C**

## **CATALOGOS**

## DIAMETRO DE LA TUBERIA SEGUN LA VELOCIDAD Y EL CAUDAL (C1)

CAUDAL DE CIRCULACION Q (m <sup>3</sup> /h) p/tuberías ASTM Schedule estándar														
DN	DN	V (m/s)	1	1.25	1.5	1.75	2	3	4	5	10	15	20	25
3/8"	10		0.45	0.56	0.67	0.78	0.89	1.34	1.79	2.24	4.47	6.71	8.95	11.19
1/2"	15		0.71	0.88	1.06	1.24	1.41	2.12	2.82	3.53	7.06	10.59	14.12	17.65
3/4"	20		1.24	1.55	1.86	2.17	2.48	3.72	4.95	6.19	12.39	18.58	24.77	30.97
1"	25		2.01	2.51	3.01	3.51	4.01	6.02	8.03	10.03	20.07	30.10	20.13	50.17
1-1/4"	32		3.47	4.34	5.21	6.08	6.94	10.41	13.89	17.36	34.72	52.07	69.43	86.79
1-1/2"	40		4.73	5.91	7.09	8.28	9.46	14.19	18.92	23.65	47.30	70.95	94.60	118.2
2"	50		7.80	9.75	11.69	13.64	15.59	23.39	31.18	38.98	77.96	116.9	155.9	194.9
2-1/2"	65		11.12	13.90	16.68	19.46	22.24	33.36	44.48	55.60	111.2	166.8	222.4	278.0
3"	80		17.17	21.46	25.75	30.04	34.33	51.50	68.67	85.83	171.7	257.5	343.3	429.2
4"	100		29.57	36.96	44.35	51.74	59.13	88.70	118.3	147.8	295.7	443.5	591.3	739.2
5"	125		46.47	58.09	69.70	81.32	92.94	139.4	185.9	232.3	464.7	697.0	929.4	1161.7
6"	150		67.13	83.91	100.7	117.5	134.3	201.4	268.5	335.6	671.3	1006.9	1342.5	1678.1
8"	200		116.2	145.3	174.3	203.4	232.4	348.7	464.9	581.1	1162.2	1743.3	2324.4	2905.4
10"	250		183.1	228.9	274.7	320.5	366.3	549.4	732.6	915.7	1831.5	2747.2	3666.0	4578.7
12"	300		262.7	328.4	394.1	459.8	525.5	788.2	1051.0	1313.7	2627.5	3941.2	5254.9	6568.7
14"	350		320.2	400.3	480.4	560.4	640.5	960.7	1280.9	1601.2	3202.3	4803.5	6404.7	8005.8
16"	400		434.2	530.3	636.3	742.4	848.4	1272.6	1696.8	2121.0	4242.1	6363.1	8484.1	10605.2
18"	450		543.8	676.7	815.6	951.6	1087.5	1631.3	2175.1	2718.8	5437.7	8156.5	10875.3	13594.1
20"	500		675.9	844.9	113.9	1182.9	1351.9	227.8	2703.7	3379.7	6759.3	10139.0	13518.7	16898.4
24"	600		986.0	1232.5	1479.1	1725.6	1972.1	2958.1	3944.1	4930.2	9860.3	14790.5	19720.7	24650.9
26"	650		1163.0	1453.7	1744.5	2035.2	2325.9	3488.9	4651.9	5814.9	11626.7	17444.6	23259.5	29074.4

$$Q(m^3/h) = (\text{coeficiente}) * (v(m/s))$$

FUENTE: Caudal de circulación en tuberías, Catalogo, Valencia 2005, pdf.

Elaborado por: Postulantes

## ACEROS DE CONSTRUCCION MECANICA BÖHLER (C2)

Códigos de colores	Marca Böehler	Composición química (valores promedios)									Norma AISI
		C	SI	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W	Co	
	V320	0.41	0.30	0.70	1.10	0.20	-	-	-	-	~4140
	V155	0.34	0.30	0.50	1.50	0.20	1.50	-	-	-	~4340
	V945	0.45	0.25	0.65	-	-	-	-	-	-	~1045
	E410	0.16	0.25	1.15	0.95	-	-	-	-	-	5115
	Barra Perforada	0.22	0.35	1.60	-	-	-	0.12	-	-	-
	E920 Transmisión	0.18	0.25	0.70	-	-	-	-	-	-	1018

SIGLAS	SIGNIFICADO
C:	Carbono
SI:	Silicio
Mn:	Manganeso
Cr:	Cromo
Mo:	Molibdeno
Ni:	Níquel
V:	Vanadio
W:	Volframio
Co:	Cobalto

**FUENTE:** COTECNIA Resources, Composición Química ACERO, catalogo aceros böehler, Ecuador 2012.

**Elaborado por:** Postulantes

**PRESTACION BASE - PRESTACION DIFERENCIAL (C3)**

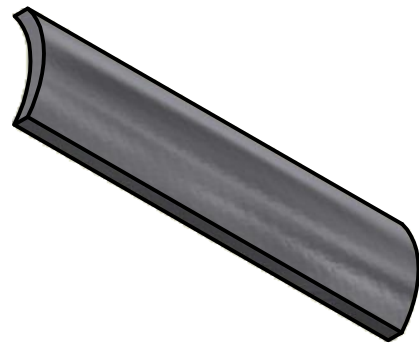
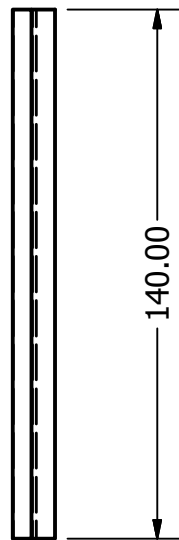
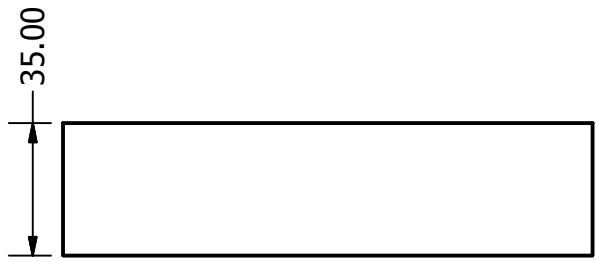
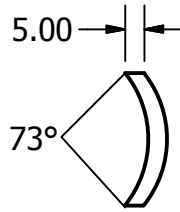
Nº R.P.M De la polea menor	Prestación Base en (HP)										Prestación Adicional por relación de transmisión en (Hp)							
	Diámetro primitivo de la polea menor (mm)										1.00 al 1.01	1.02 al 1.04	1.05 al 1.08	1.09 al 1.12	1.13 al 1.18	1.19 al 1.24	1.25 al 1.34	2.00 y sobre
	46	51	56	66	71	76	81	86	91	96								
1400	0.61	0.78	0.96	1.13	1.30	1.47	1.64	1.81	1.97	2.14	0.00	0.03	0.05	0.08	0.10	0.13	0.16	0.24
1600	0.65	0.85	1.05	1.24	1.43	1.62	1.81	2.00	2.18	2.37	0.00	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	0.18	0.27
1800	0.69	0.91	1.13	1.34	1.56	1.77	1.97	2.18	2.38	2.58	0.00	0.03	0.07	0.10	0.13	0.17	0.20	0.30
2000	0.73	0.97	1.21	1.44	1.67	1.90	2.12	2.35	2.57	2.78	0.00	0.04	0.07	0.11	0.15	0.19	0.22	0.34
2200	0.76	1.02	1.28	1.53	1.78	2.02	2.26	2.50	2.74	2.97	0.00	0.04	0.08	0.12	0.16	0.21	0.25	0.37
2400	0.79	1.07	1.34	1.61	1.88	2.14	2.39	2.65	2.89	3.14	0.00	0.04	0.09	0.13	0.18	0.22	0.27	0.40
2600	0.81	1.11	1.40	1.69	1.97	2.24	2.51	2.78	3.04	3.29	0.00	0.05	0.10	0.15	0.19	0.24	0.29	0.44
2800	0.83	1.14	1.45	1.75	2.05	2.34	2.62	2.90	3.17	3.43	0.00	0.05	0.10	0.16	0.21	0.26	0.31	0.47
3000	0.84	1.17	1.49	1.81	2.12	2.42	2.72	3.00	3.28	3.55	0.00	0.06	0.11	0.17	0.22	0.28	0.34	0.50
3200	0.85	1.19	1.53	1.86	2.18	2.49	2.80	3.09	3.38	3.66	0.00	0.06	0.12	0.18	0.24	0.30	0.36	0.54
3400	0.85	1.21	1.56	1.90	2.24	2.56	2.87	3.17	3.46	3.74	0.00	0.06	0.13	0.19	0.25	0.32	0.38	0.57
3600	0.85	1.22	1.59	1.94	2.28	2.61	2.93	3.23	3.52	3.80	0.00	0.07	0.13	0.20	0.27	0.34	0.40	0.61
3800	0.84	1.23	1.60	1.96	2.31	2.65	2.97	3.28	3.57	3.85	0.00	0.07	0.14	0.21	0.28	0.36	0.43	0.64
4000	0.83	1.22	1.61	1.98	2.33	2.67	3.00	3.31	3.60	3.87	0.00	0.07	0.15	0.22	0.30	0.37	0.45	0.67
4200	0.81	1.22	1.61	1.99	2.35	2.69	3.01	3.32	3.61	3.87	0.00	0.08	0.16	0.24	0.31	0.39	0.47	0.71
4400	0.78	1.20	1.60	1.98	2.35	2.69	3.01	3.31	3.59	3.85	0.00	0.08	0.16	0.25	0.33	0.41	0.47	0.74


**FUENTE:** TORRES CAMPOS Abelardo. Correas Industriales DAYCO: Catalogo de Correas Industriales. Bolivia, diciembre 2009, pdf.

**Elaborado por:** Postulantes

# **ANEXOS D**

## **PLANOS**

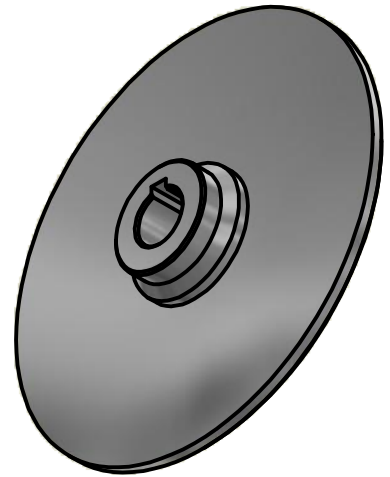
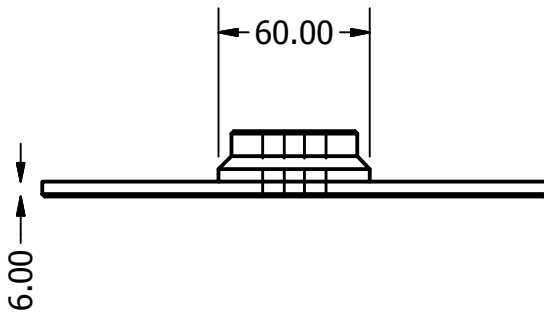
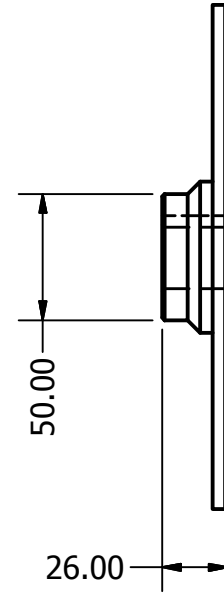
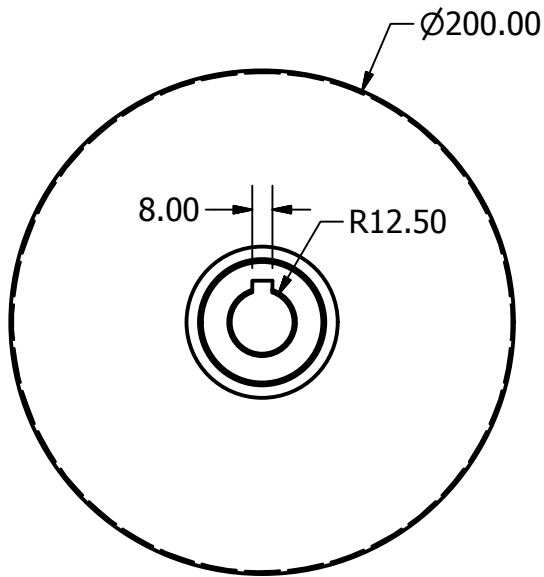


	UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI Latacunga- Ecuador	<b>DIBUJO:</b> ALEX CASA- RICHA R CHICAIZA	<b>PROYECTO N°</b> 01	
	<b>ALABES DE LA TURBINA          MICHELL BANKI</b>	<b>ESCALA:</b> 1----- 100	<b>FECHA:</b> ENERO 2015	
<b>REFERENCIA:</b>		<b>HOJA: 1 DE 21</b>		
<b>PESO:</b> 0.22 KG		<b>TIPO DE MATERIAL</b>	ACERO ASTM- A36	
<b>CARRERA          INGENIERIA ELECTRICA</b>				

**PROYECTO:**  
PICO CENTRAL HIDROELECTRICA

**REVISO:**  
ING. EFREN BARBOSA

**APROBO:**  
ING. EFREN BARBOSA

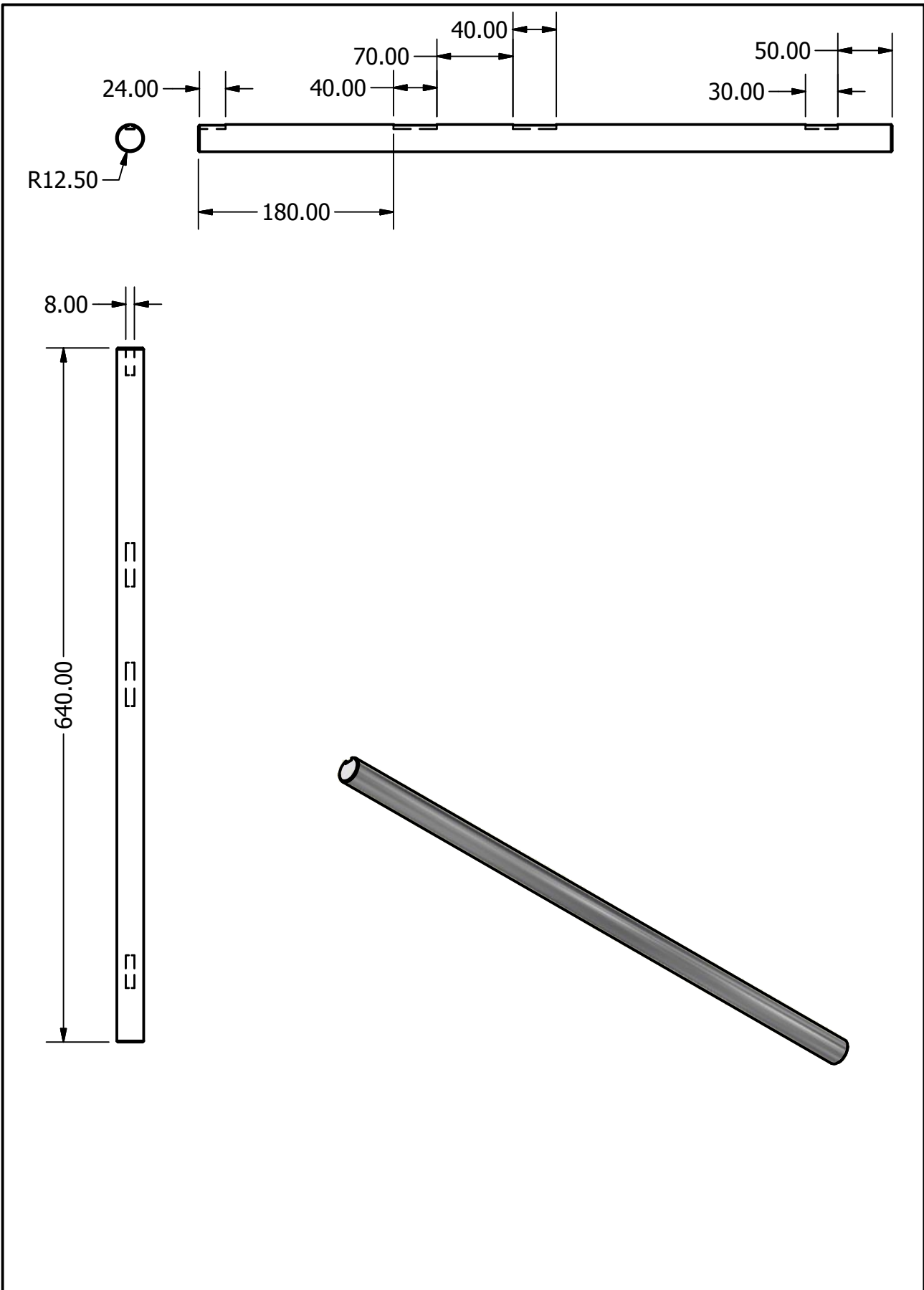



	<b>PROYECTO:</b> PICO CENTRAL HIDROELECTRICA
	<b>REVISO:</b> ING. EFREN BARBOSA
	<b>APROBO:</b> ING. EFREN BARBOSA

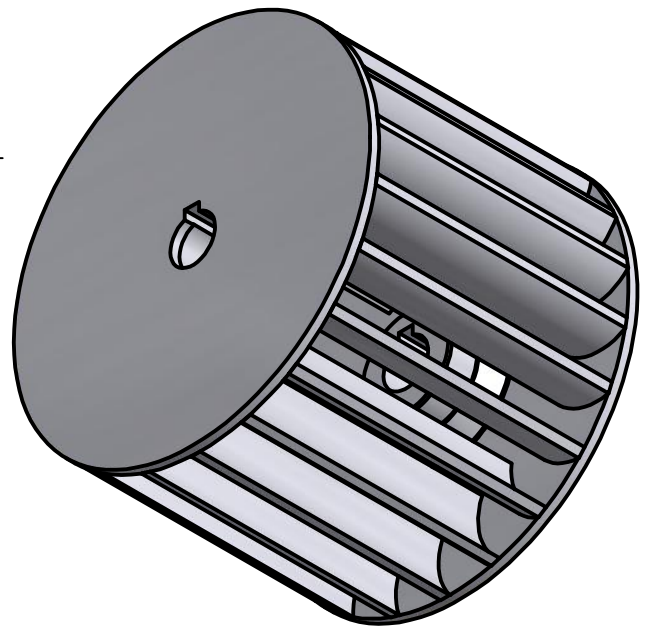
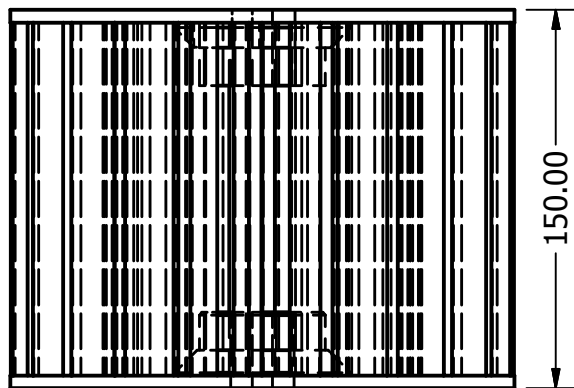
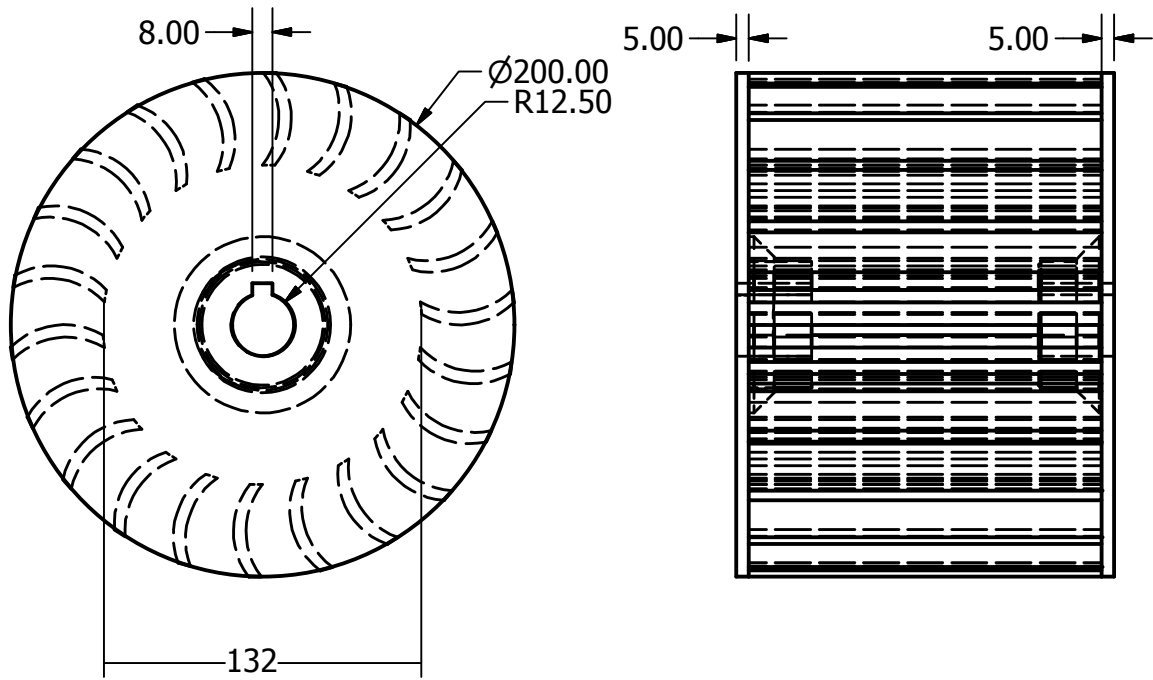
UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI Latacunga- Ecuador
<b>DISCOS DE LA TURBINA          MICHELL BANKI</b>


<b>DIBUJO:</b> ALEX CASA- RICHAIR CHICAIZA	<b>PROYECTO N°</b> 01
<b>ESCALA:</b> 1----- 100	<b>FECHA:</b> ENERO 2015
<b>REFERENCIA:</b>	<b>HOJA:</b> 2 DE 21
<b>PESO:</b> 2 KG	<b>TIPO DE MATERIAL</b> ACERO ASTM- A36
<b>CARRERA          INGENIERIA ELECTRICA</b>	

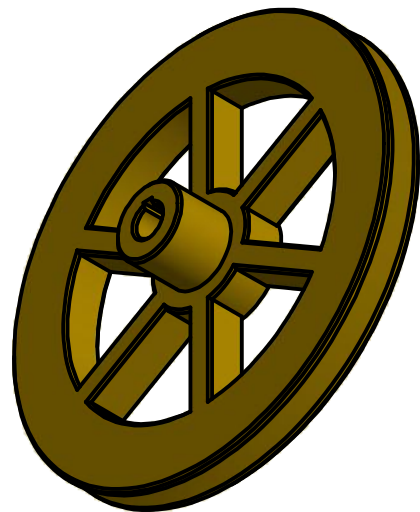
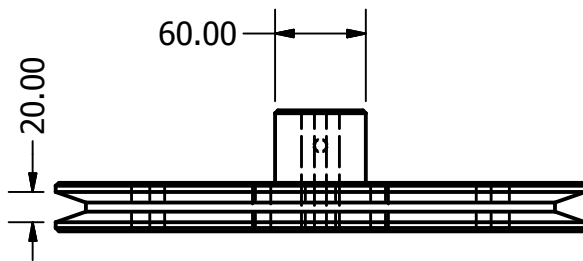
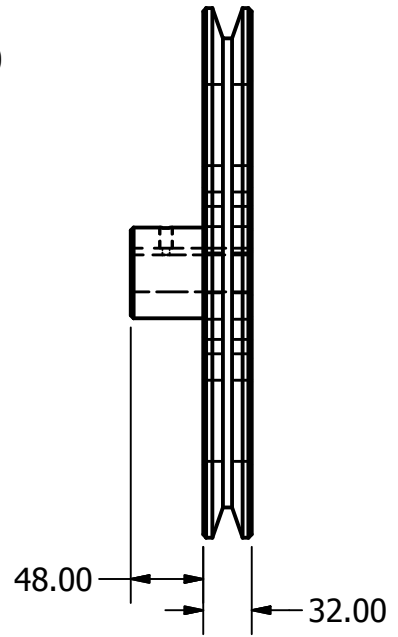
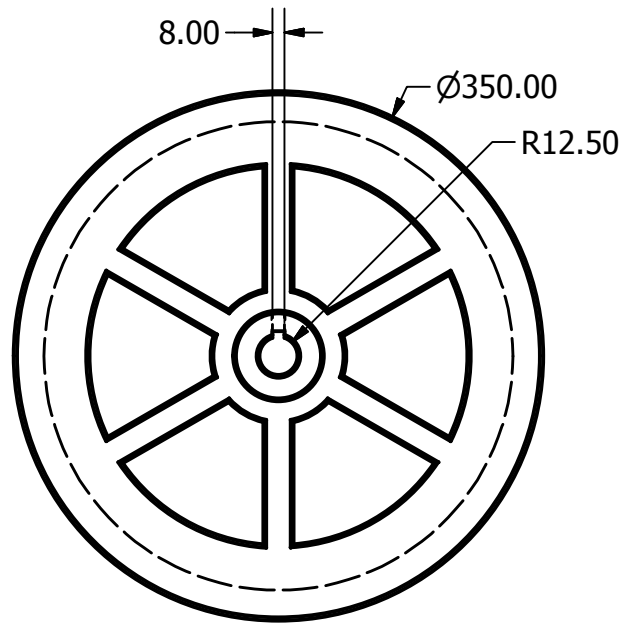





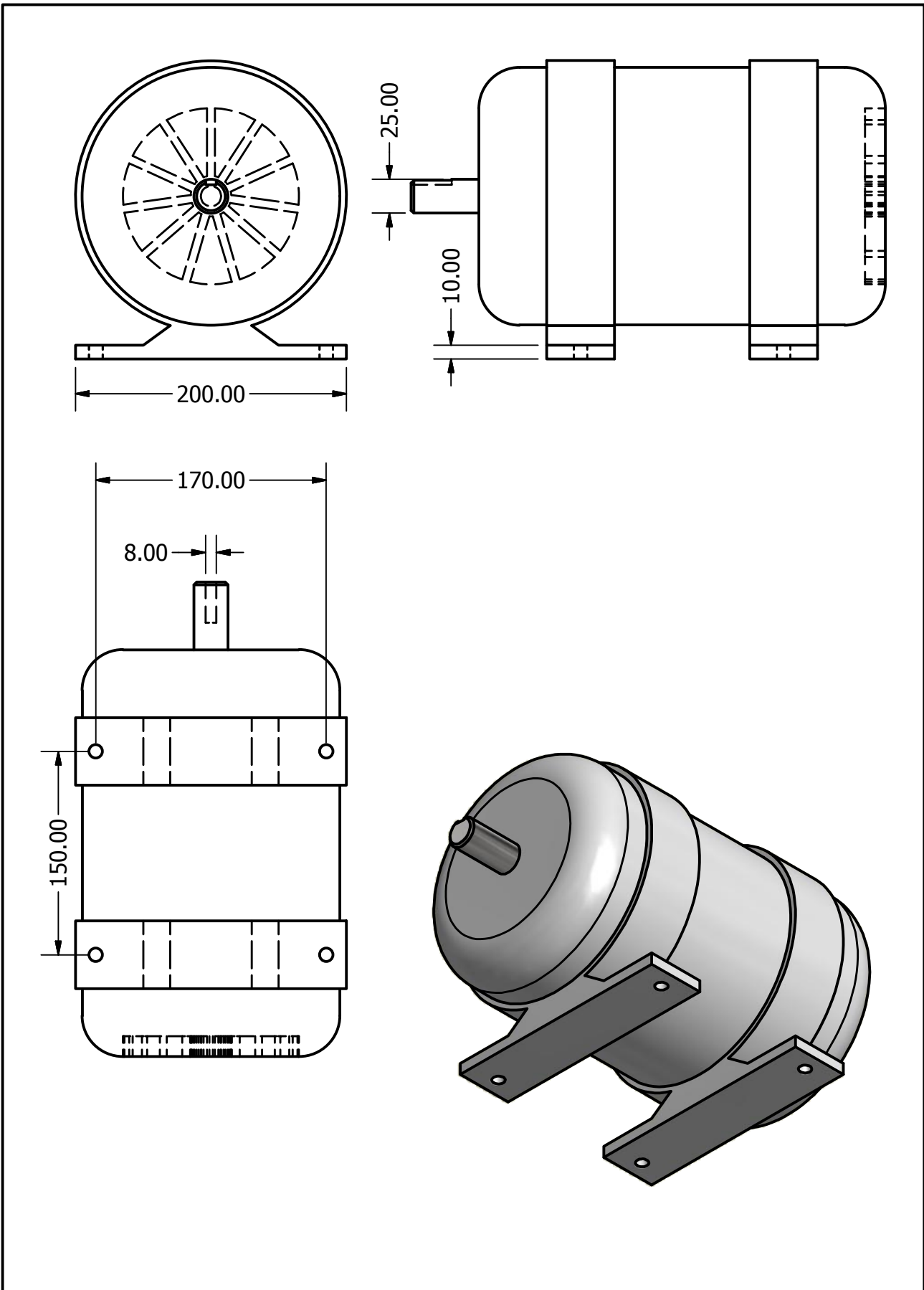
	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b> Latacunga- Ecuador		<b>DIBUJO:</b> ALEX CASA- RICHAH CHICAIZA	<b>PROYECTO N°</b> 01
	<b>EJE DE LA TURBINA</b> <b>MICHELL BANKI</b>		<b>ESCALA:</b> 1----- 100	<b>FECHA:</b> ENERO 2015
<b>REFERENCIA:</b>			<b>HOJA:</b> 3 DE 21	
<b>PESO:</b> 2 KG			<b>TIPO DE MATERIAL</b>	ACERO AISI 4140
<b>PROYECTO:</b> PICO CENTRAL HIDROELECTRICA	<b>CARRERA</b> <b>INGENIERIA ELECTRICA</b>			
<b>REVISO:</b> ING. EFREN BARBOSA				
<b>APROBO:</b> ING. EFREN BARBOSA				




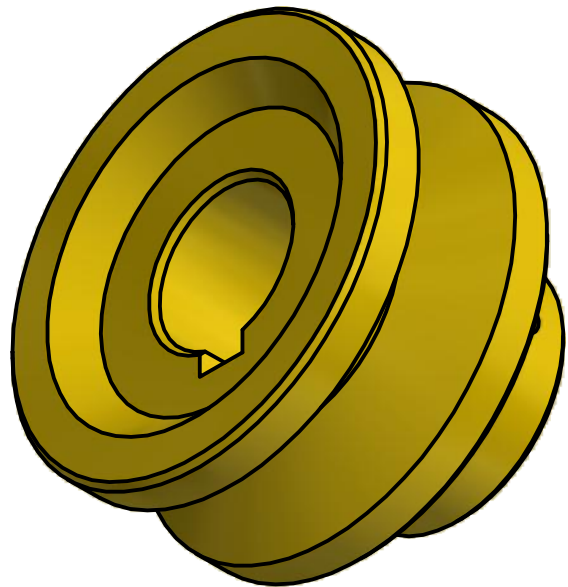
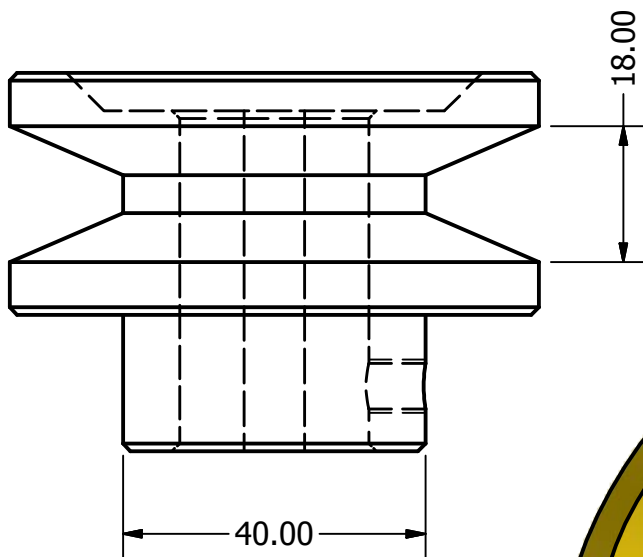
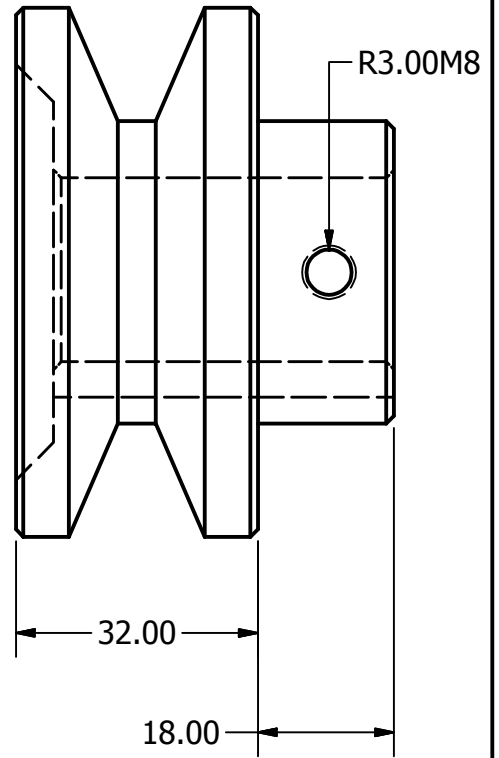
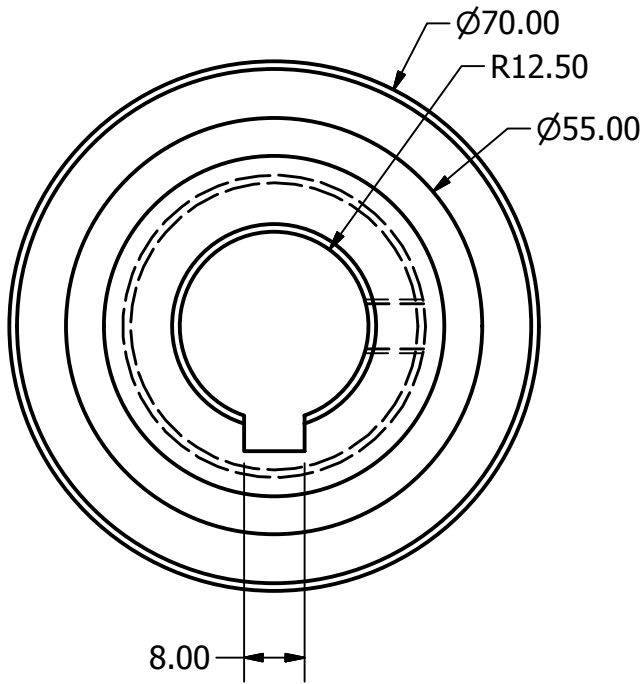
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI Latacunga- Ecuador		DIBUJO: ALEX CASA- RICAR CHICAIZA	PROYECTO N° 01
	<b>TURBINA          MICHELL BANKI</b>		ESCALA: 1----- 100	FECHA: ENERO 2015
REFERENCIA:			HOJA: 4 DE 21	
PESO: 8 KG			TIPO DE MATERIAL ACERO ASTM A36	
PROYECTO: PICO CENTRAL HIDROELECTRICA	<b>CARRERA          INGENIERIA ELECTRICA</b>			
REVISO: ING. EFREN BARBOSA				
APROBO: ING. EFREN BARBOSA				



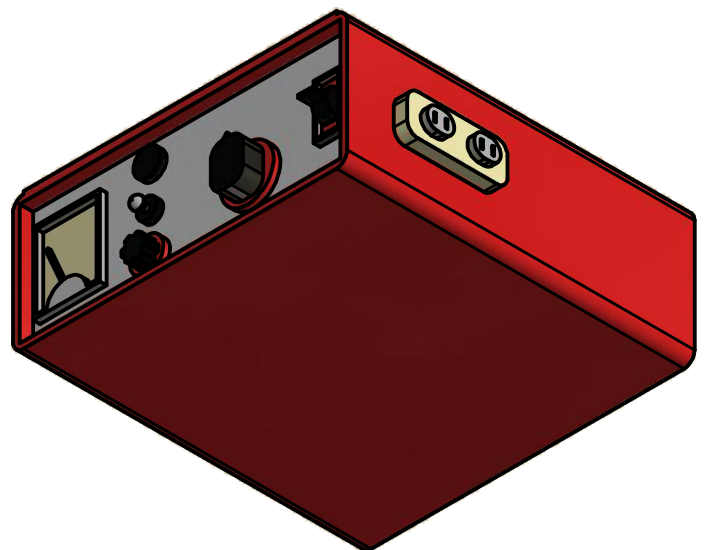
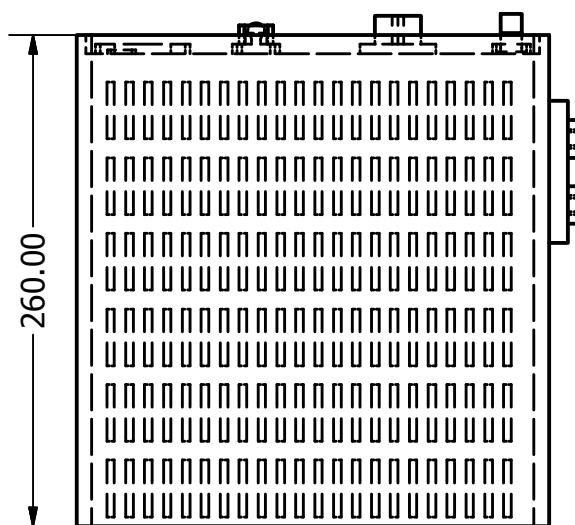
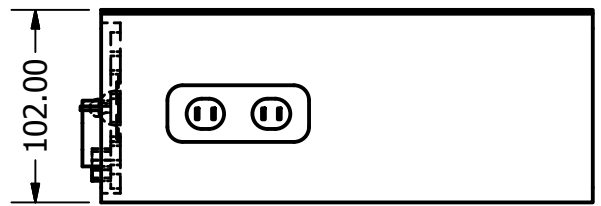
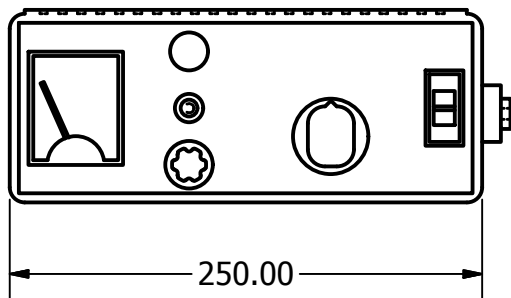
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI Latacunga- Ecuador	DIBUJO: ALEX CASA- RICHAH CHICAIZA	PROYECTO N° 01
	POLEA DE 14"	ESCALA: 1----- 100	FECHA: ENERO 2015
REFERENCIA:		HOJA: 5 DE 21	
PESO: 2 KG		TIPO DE MATERIAL HIERRO FUNDIDO	
<b>CARRERA</b> <b>INGENIERIA ELECTRICA</b>			
PROYECTO: PICO CENTRAL HIDROELECTRICA			
REVISO: ING. EFREN BARBOSA			
APROBO: ING. EFREN BARBOSA			




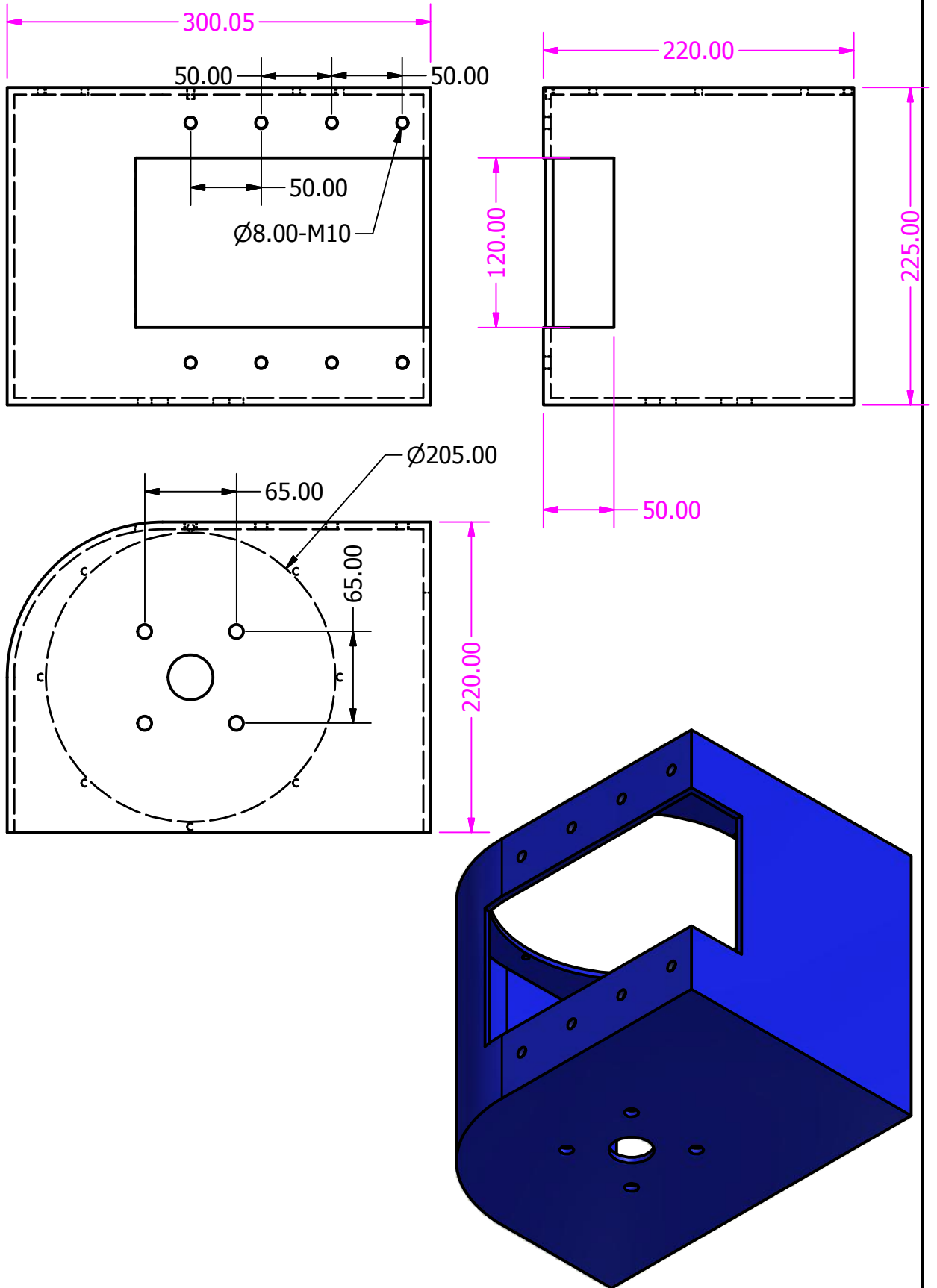
	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b> Latacunga- Ecuador		<b>DIBUJO:</b> ALEX CASA- RICAR CHICAIZA		<b>PROYECTO N°</b> 01		
	<b>GENERADOR SINCRONO</b>		<b>ESCALA:</b> 1----- 100		<b>FECHA:</b> ENERO 2015		
<b>REFERENCIA:</b>			<b>HOJA:</b> 6 DE 21				
<b>PESO:</b>			<b>TIPO DE MATERIAL</b>		10 KG		
<b>REVISO:</b> ING. EFREN BARBOSA			<b>CARRERA</b> <b>INGENIERIA ELECTRICA</b>				
<b>APROBO:</b> ING. EFREN BARBOSA							




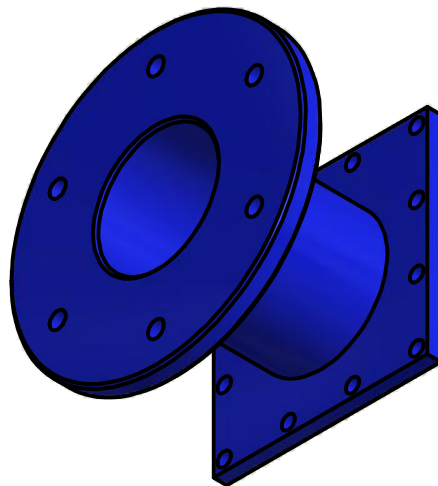
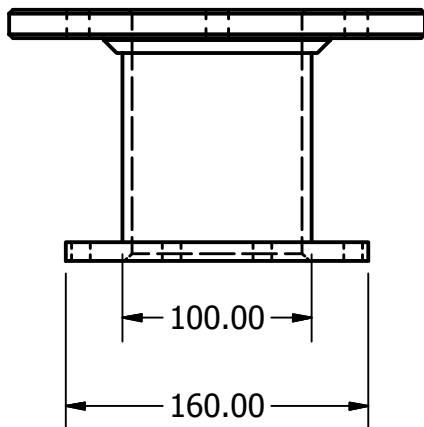
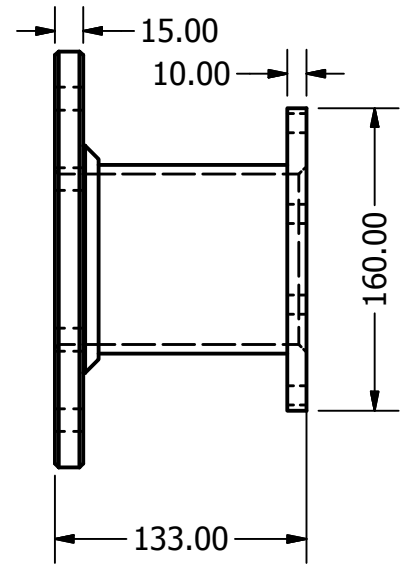
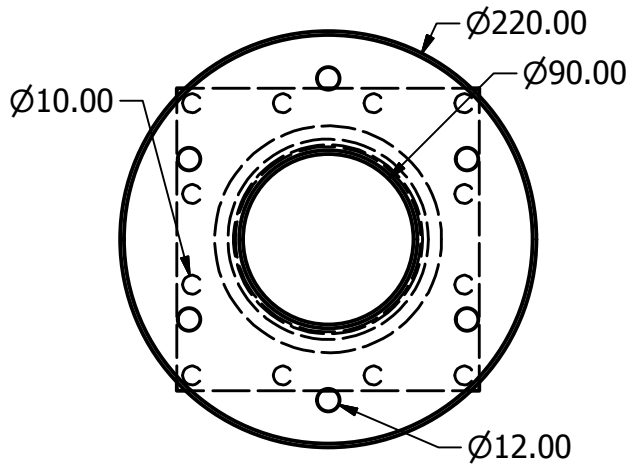
	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b> Latacunga- Ecuador	<b>DIBUJO:</b> ALEX CASA- RICHAH CHICAIZA	<b>PROYECTO N°</b> 01
	<b>POLEA DEL GENERADOR</b>	<b>ESCALA:</b> 1----- 100	<b>FECHA:</b> ENERO 2015
		<b>REFERENCIA:</b>	<b>HOJA:</b> 7 DE 21
		<b>PESO:</b> 0.5 KG	<b>TIPO DE MATERIAL</b>
<b>PROYECTO:</b> PICO CENTRAL HIDROELECTRICA		<b>CARRERA</b> <b>INGENIERIA ELECTRICA</b>	
<b>REVISO:</b> ING. EFREN BARBOSA			
<b>APROBO:</b> ING. EFREN BARBOSA			



	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI Latacunga- Ecuador	DIBUJO: ALEX CASA- RICAR CHICAIZA	PROYECTO N° 01
	<b>EXITATRIZ DEL GENERADOR</b>	ESCALA: 1----- 100	FECHA: ENERO 2015
REFERENCIA:		HOJA: 8 DE 21	
PESO: 3 KG		TIPO DE MATERIAL	
<b>CARRERA          INGENIERIA ELECTRICA</b>			
PROYECTO: PICO CENTRAL HIDROELECTRICA			
REVISO: ING. EFREN BARBOSA			
APROBO: ING. EFREN BARBOSA			

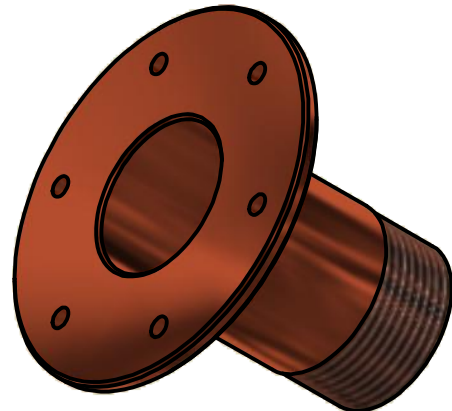
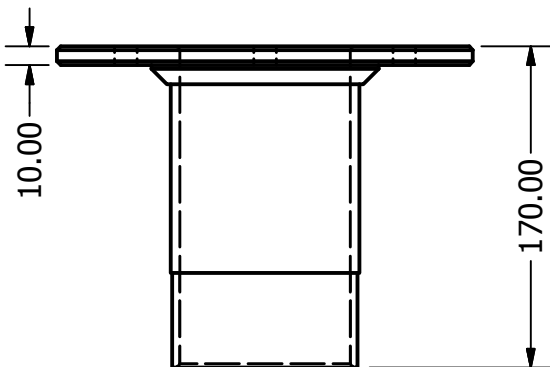
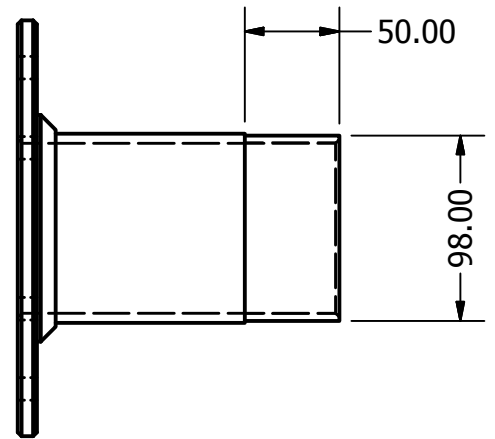
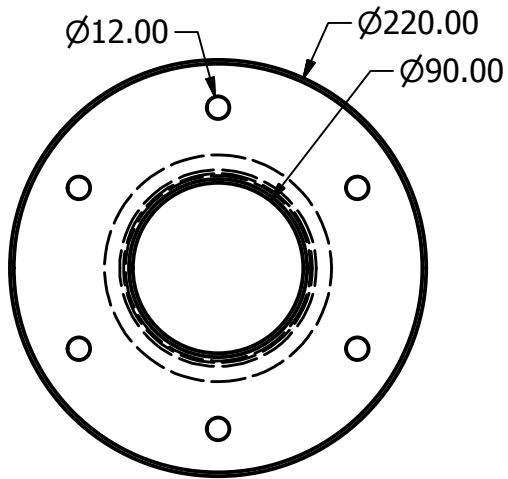



	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b> Latacunga- Ecuador		<b>DIBUJO:</b> ALEX CASA- RICHAH CHICAIZA		<b>PROYECTO N°</b> 01°	
	<b>CARCASA DE LA TURBINA</b> <b>MICHELL BANKI</b>		<b>ESCALA:</b> 1----- 100		<b>FECHA:</b> ENERO 2015	
			<b>REFERENCIA:</b>		<b>HOJA:</b> 9 DE 21	
			<b>PESO:</b> 5.2 KG		<b>TIPO DE MATERIAL</b> ACERO AINSI	
<b>PROYECTO:</b> PICO CENTRAL HIDROELECTRICA				<b>CARRERA</b> <b>INGENIERIA ELECTRICA</b>		
<b>REVISO:</b> ING. EFREN BARBOSA						
<b>APROBO:</b> ING. EFREN BARBOSA						



	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b> Latacunga- Ecuador	<b>DIBUJO:</b> ALEX CASA- RICHAH CHICAIZA	<b>PROYECTO N°</b> 01°
	<b>BRIDA DE ACOPLÉ AL INYECTOR</b>	<b>ESCALA:</b> 1----- 100	<b>FECHA:</b> ENERO 2015
		<b>REFERENCIA:</b>	<b>HOJA:</b> 10 DE 21
		<b>PESO:</b> 336 KG	<b>TIPO DE MATERIAL</b> ACERO ASTM
<b>PROYECTO:</b> PICO CENTRAL HIDROELECTRICA		<b>CARRERA</b> <b>INGENIERIA ELECTRICA</b>	
<b>REVISO:</b> ING. EFREN BARBOSA			
<b>APROBO:</b> ING. EFREN BARBOSA			



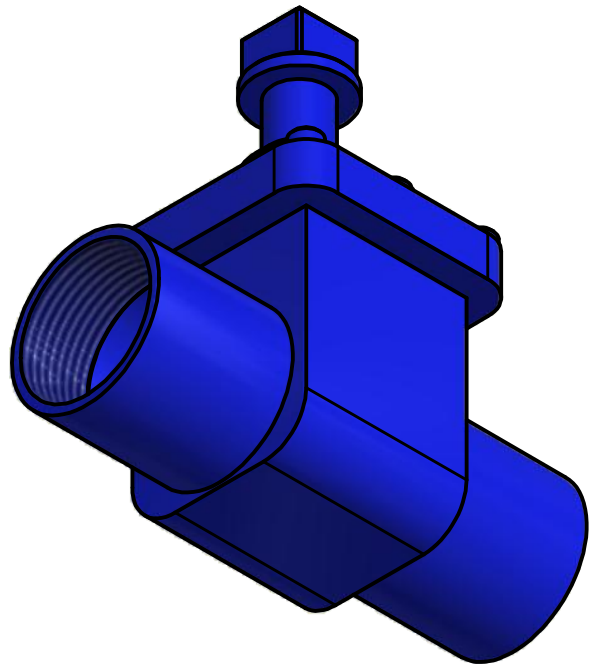
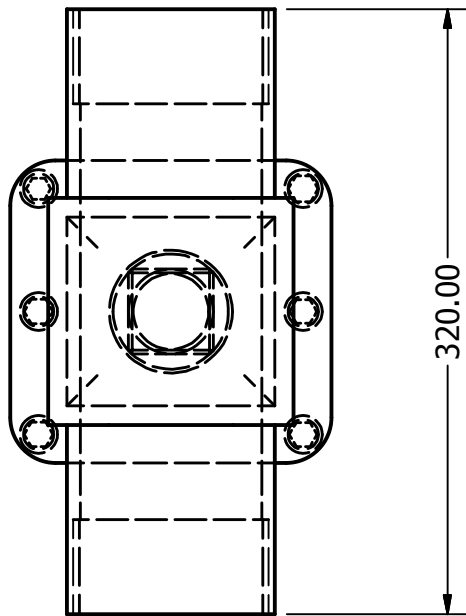
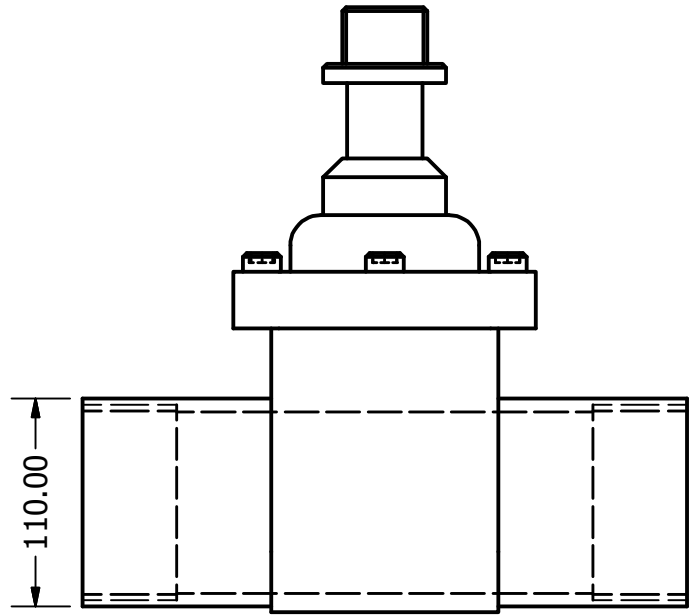
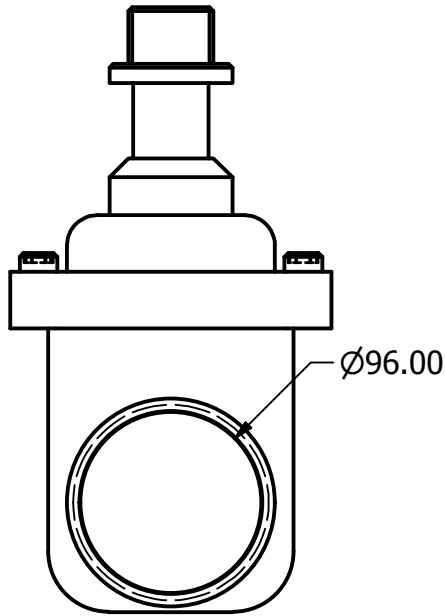


	UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI Latacunga- Ecuador	DIBUJO: ALEX CASA- RICHAH CHICAIZA	PROYECTO N° 01
	BRIDAS DE ACOPLE PARA LA VALVULA DE COMPUERTA	ESCALA: 1----- 100	FECHA: ENERO 2015
REFERENCIA:		HOJA: 11 DE 21	
PESO: 5 KG		TIPO DE MATERIAL ACERO AINSI	
<b>CARRERA</b> <b>INGENIERIA ELECTRICA</b>			

PROYECTO:  
PICO CENTRAL HIDROELECTRICA

REVISO:  
ING. EFREN BARBOSA

APROBO:  
ING. EFREN BARBOSA




UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
LATACUNGA - ECUADOR

PROYECTO:  
PICO CENTRAL HIDROELECTRICA

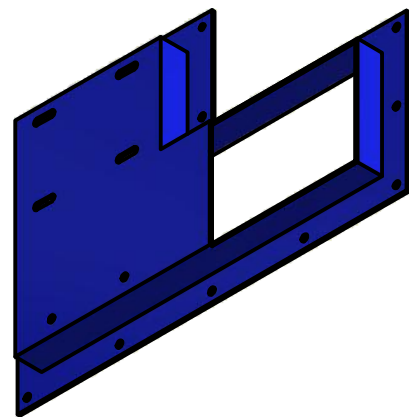
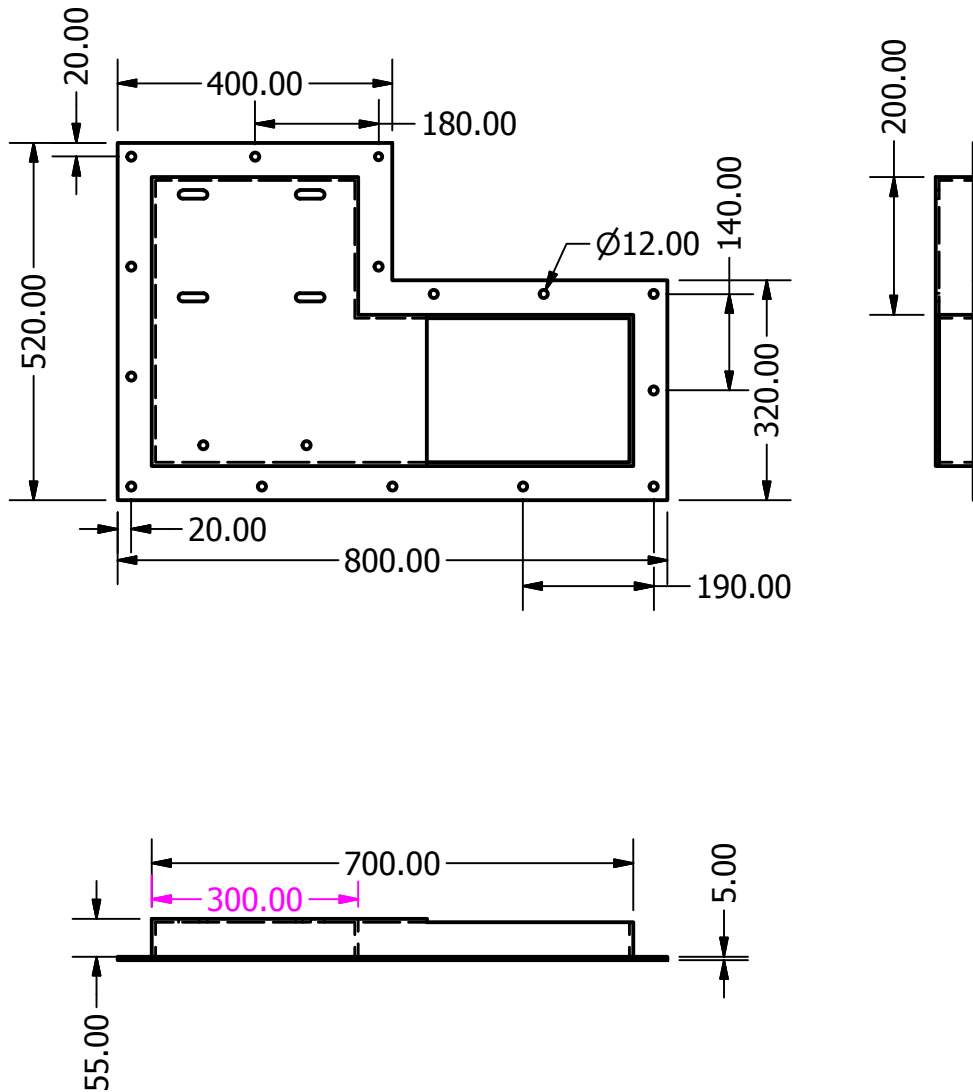
REVISO:  
ING. EFREN BARBOSA


APROBO:  
ING. EFREN BARBOSA

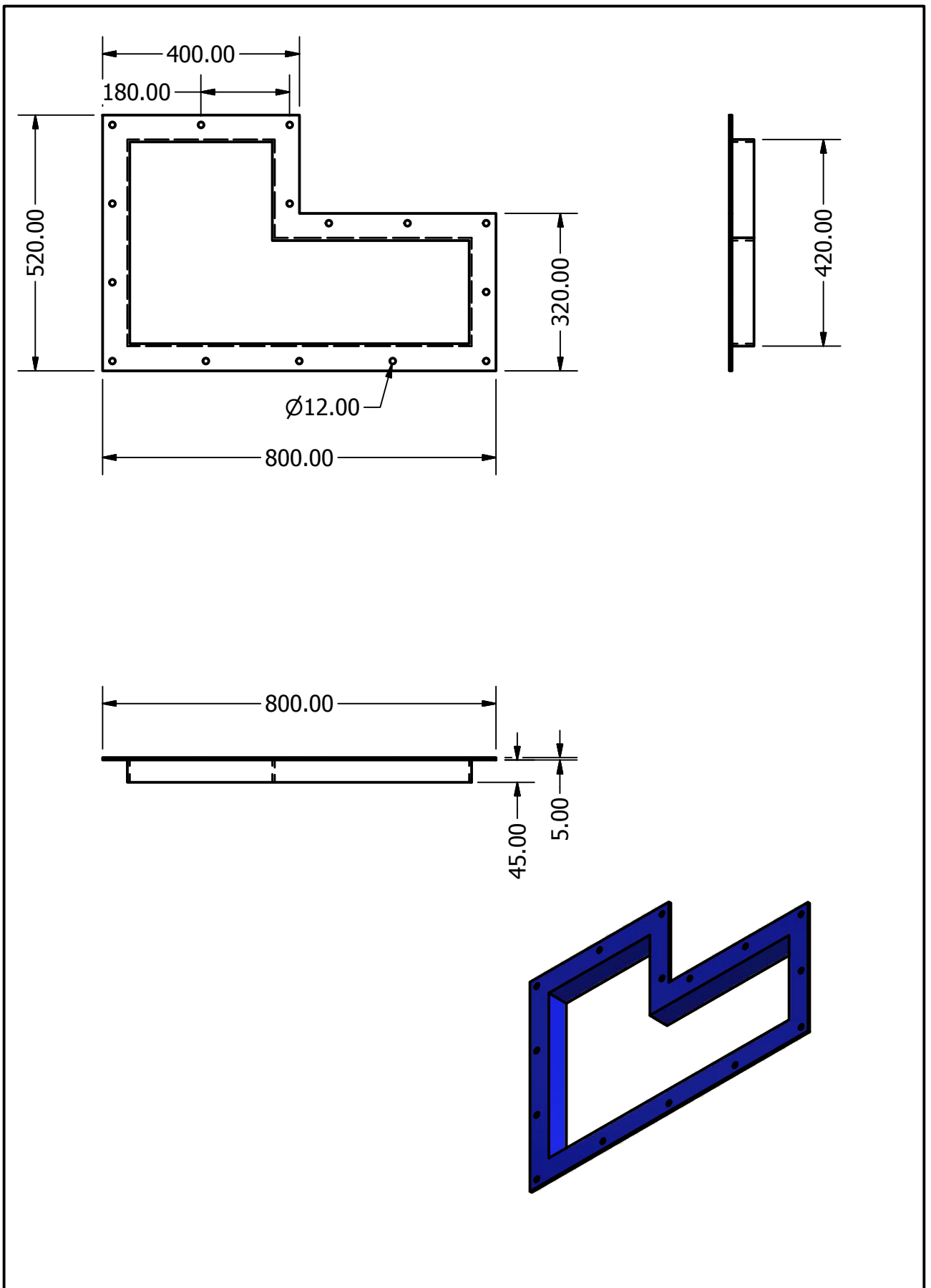
UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI  
Latacunga- Ecuador


VALVULA DE COMPUERTA

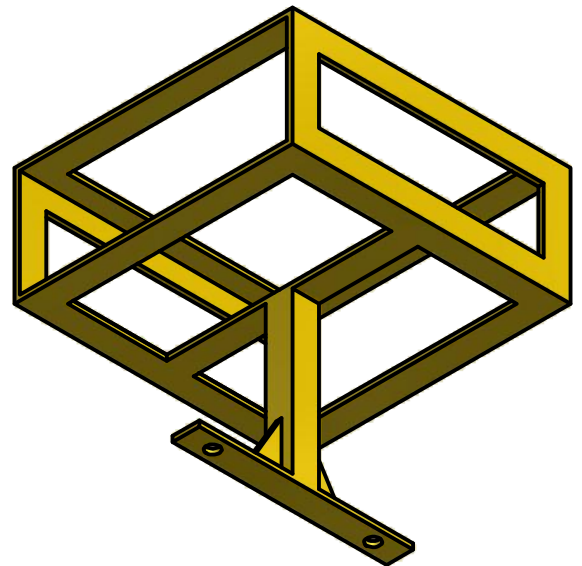
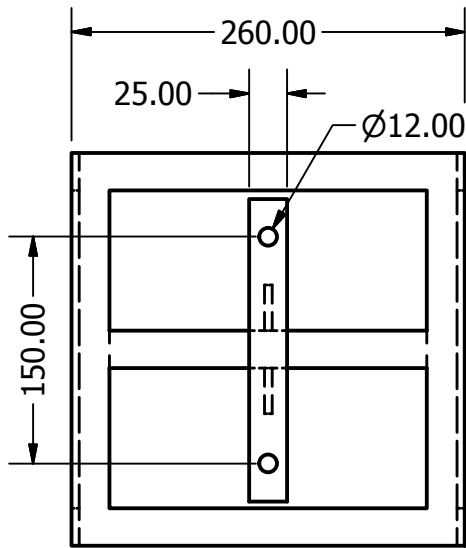
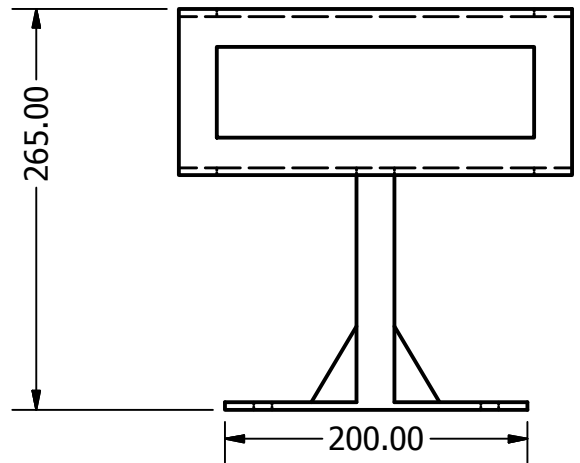
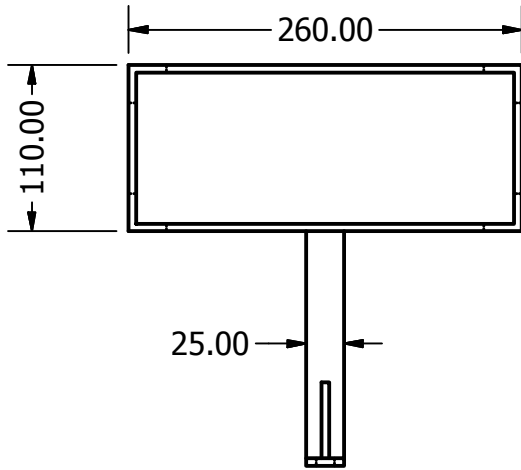
DIBUJO: ALEX CASA- RICHAR CHICAIZA		PROYECTO N° 01
ESCALA: 1----- 100		FECHA: ENERO 2015
REFERENCIA:		HOJA: 12 DE 21
PESO 3,2 KG	TIPO DE MATERIAL	ACERO AINSI
<b>CARRERA INGENIERIA ELECTRICA</b>		



	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI Latacunga- Ecuador	DIBUJO: ALEX CASA- RICHAR CHICAIZA	PROYECTO N° 01
	<b>BASE DE LA TURBINA          MICHELL BANKI - GENERADOR</b>	ESCALA: 1----- 100	FECHA: ENERO 2015
REFERENCIA:		HOJA: 13 DE 21	
PESO: 3.2 KG		TIPO DE MATERIAL ACERO AINSI	
PROYECTO: PICO CENTRAL HIDROELECTRICA		<b>CARRERA          INGENIERIA ELECTRICA</b>	
REVISO: ING. EFREN BARBOSA			
APROBO: ING. EFREN BARBOSA			



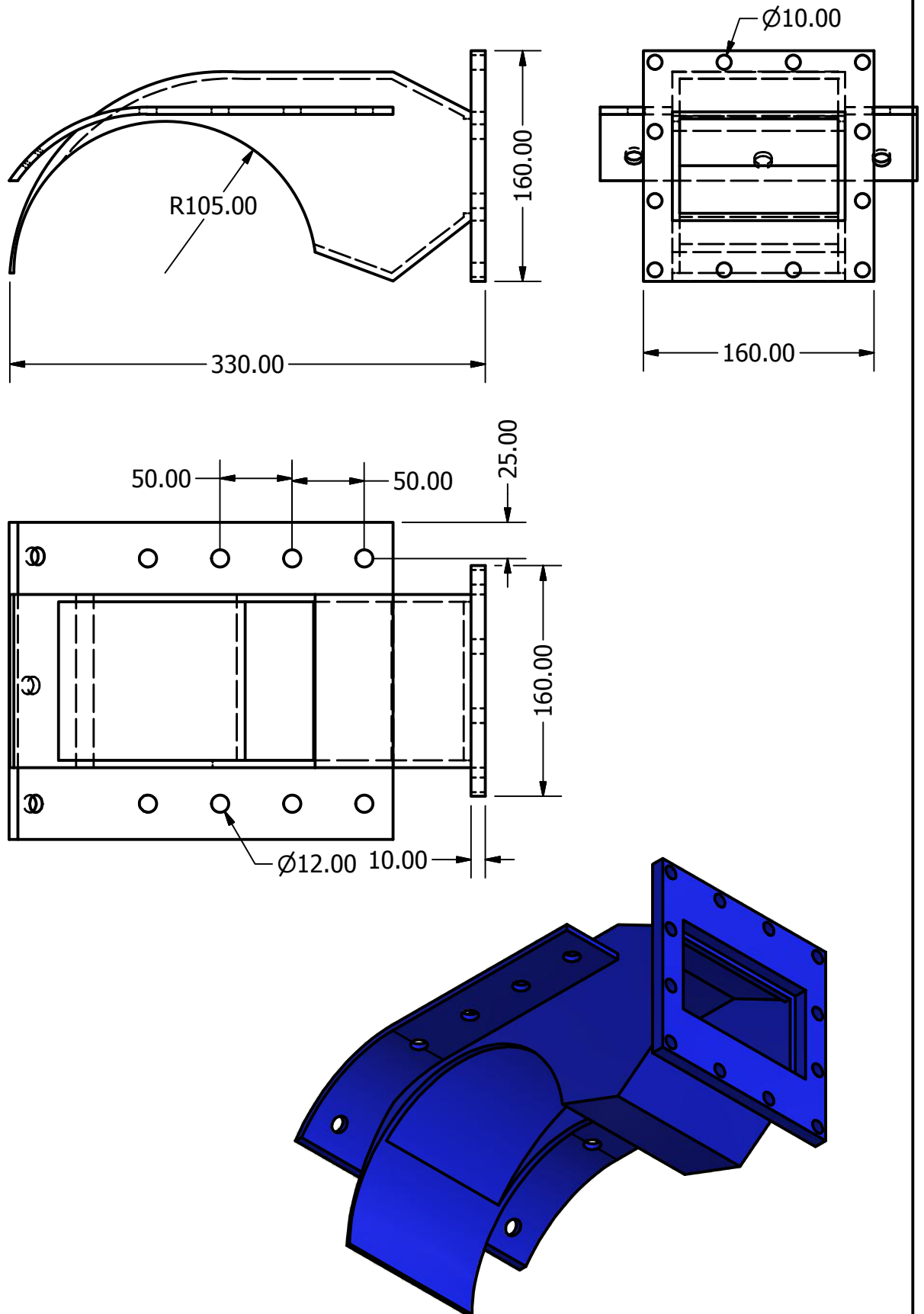
	UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI Latacunga- Ecuador	DIBUJO: ALEX CASA- RICAR CHICAIZA	PROYECTO N° 01	
		ESCALA: 1----- 100	FECHA:	
	REFERENCIA:	HOJA: 14 DE 21	PESO: 5 KG	TIPO DE MATERIAL ACERO ASTM A36
	PROYECTO: PICO CENTRAL HIDROELECTRICA		<b>CARRERA</b> <b>INGENIERIA ELECTRICA</b>	
REVISO: ING. EFREN BARBOSA	<b>SOPORTE DE LA TURBINA</b> <b>MICHELL BANKI- GENERADOR</b>			
APROBO: ING. EFREN BARBOSA				




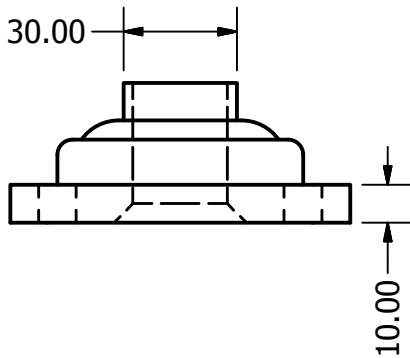
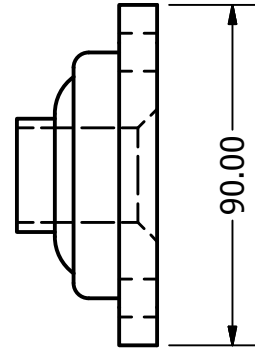
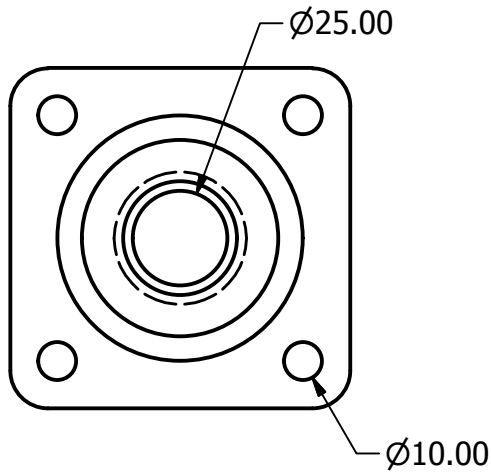

**PROYECTO:**  
 PICO CENTRAL HIDROELECTRICA  
**REVISO:**  
 ING. EFREN BARBOSA  
**APROBO:**  
 ING. EFREN BARBOSA


**UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI**  
 Latacunga- Ecuador  
  
**SOPORTE DE LA EXCITATRIZ**

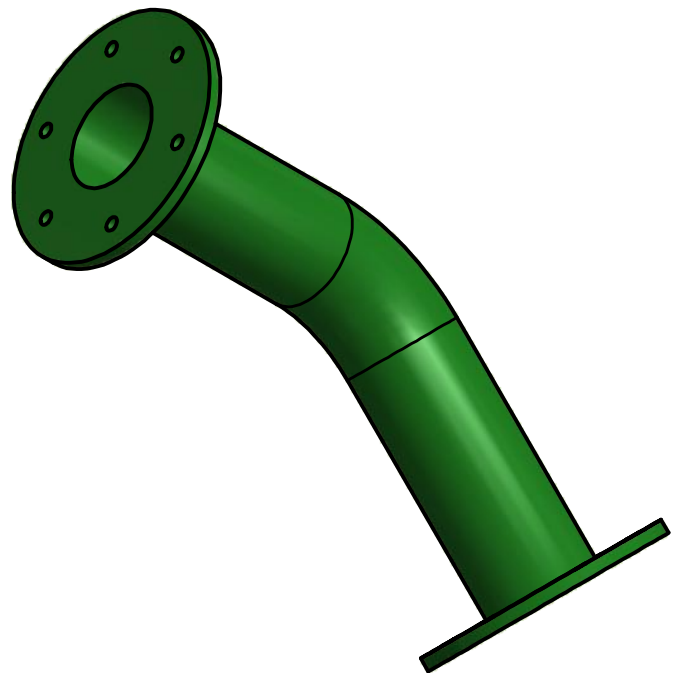
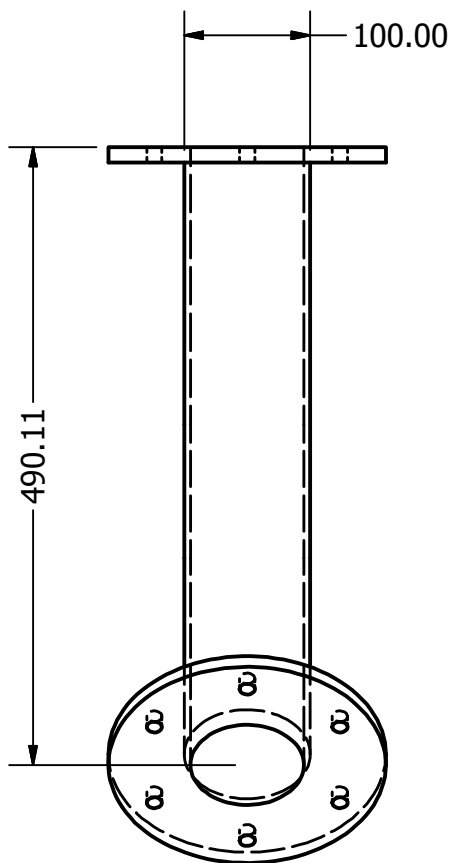
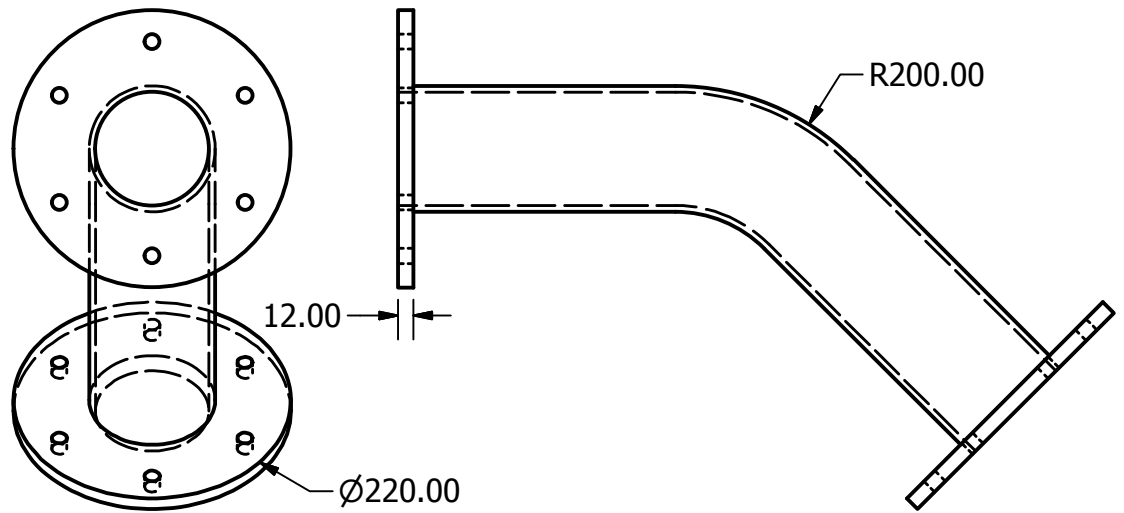
<b>DIBUJO:</b> ALEX CASA- RICHAR CHICALZA		<b>PROYECTO N°</b> 01	
<b>ESCALA:</b> 1----- 100		<b>FECHA:</b> ENERO 2015	
<b>REFERENCIA:</b>		<b>HOJA:</b> 15 DE 21	
<b>PESO:</b> 12 KG	<b>TIPO DE MATERIAL</b>	ACERO ASTM A36	
<b>CARRERA</b> <b>INGENIERIA ELECTRICA</b>			



	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI Latacunga- Ecuador	DIBUJO: ALEX CASA- RICHAR CHICAIZA	PROYECTO N° 01
	<b>INYECTOR DE LA TURBINA          MICHELL BANKI</b>	ESCALA: 1----- 100	FECHA: ENERO 2015
REFERENCIA:		HOJA: 16 DE 21	
PESO: 3.5 KG		TIPO DE MATERIAL ACERO ASTM A36	
PROYECTO: PICO CENTRAL HIDROELECTRICA		<b>CARRERA          INGENIERIA ELECTRICA</b>	
REVISO: ING. EFREN BARBOSA			
APROBO: ING. EFREN BARBOSA			



	UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI Latacunga- Ecuador	DIBUJO: ALEX CASA- RICHAIR CHICAIZA	PROYECTO N° 01
	CHUMACERAS DE LA TURBINA MICHELL BANKI	ESCALA: 1----- 100	FECHA: ENERO 2015
		REFERENCIA:	HOJA: 17 DE 21
		PESO: 0.3 KG	TIPO DE MATERIAL
PROYECTO: PICO CENTRAL HIDROELECTRICA		<b>CARRERA</b> <b>INGENIERIA ELECTRICA</b>	
REVISO: ING. EFREN BARBOSA			
APROBO: ING. EFREN BARBOSA			

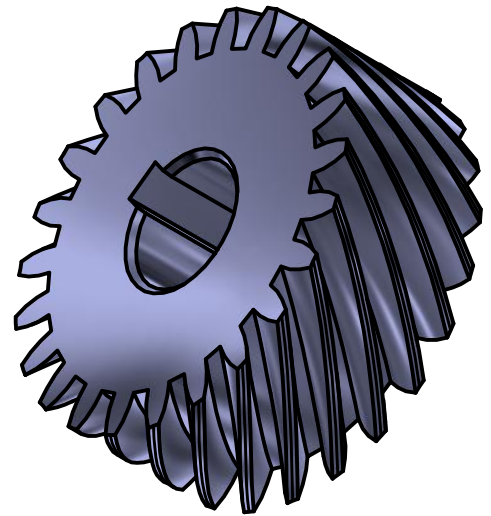
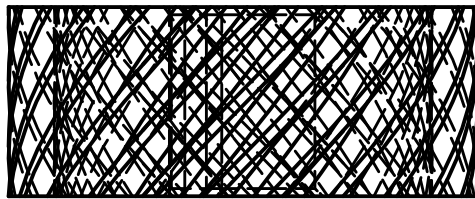
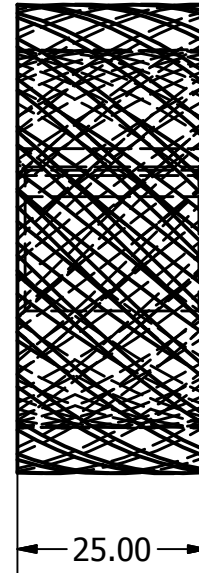
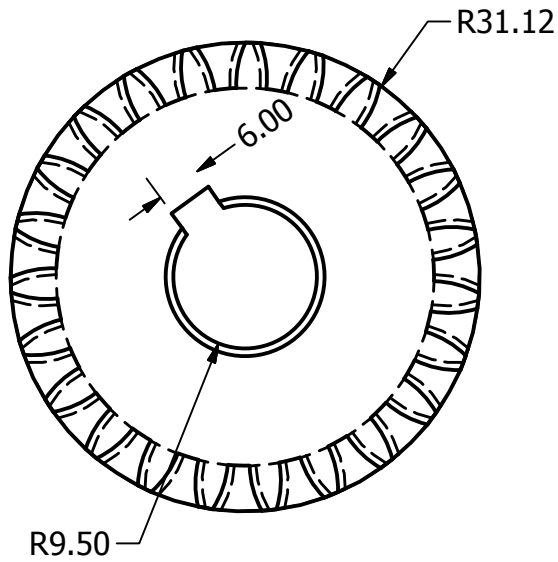



<b>PROYECTO:</b> PICO CENTRAL HIDROELECTRICA
<b>REVISO:</b> ING. EFREN BARBOSA
<b>APROBO:</b> ING. EFREN BARBOSA

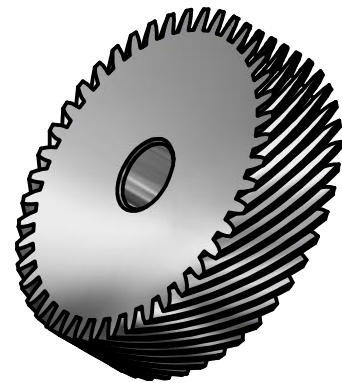
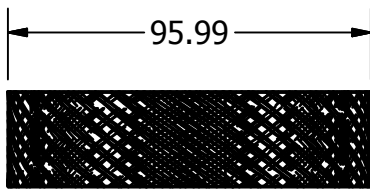
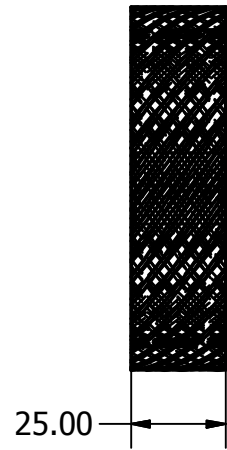
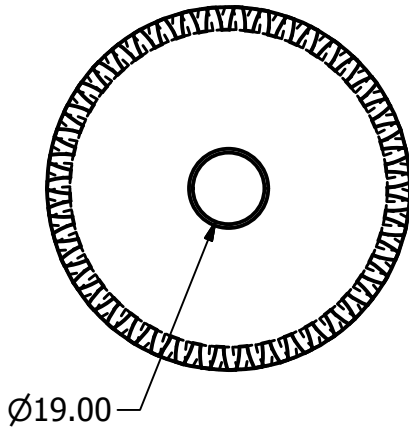
UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI Latacunga- Ecuador
<b>BRIDAS CON CODO DE 30°</b>

<b>DIBUJO:</b> ALEX CASA- RICHAH CHICAIZA	<b>PROYECTO N°</b> 01
<b>ESCALA:</b> 1----- 100	<b>FECHA:</b> ENERO 2015
<b>REFERENCIA:</b>	<b>HOJA:</b> 18 DE 21
<b>PESO:</b> 2.7 KG	<b>TIPO DE MATERIAL</b> ACERO ASTM A36
<b>CARRERA</b> <b>INGENIERIA ELECTRICA</b>	

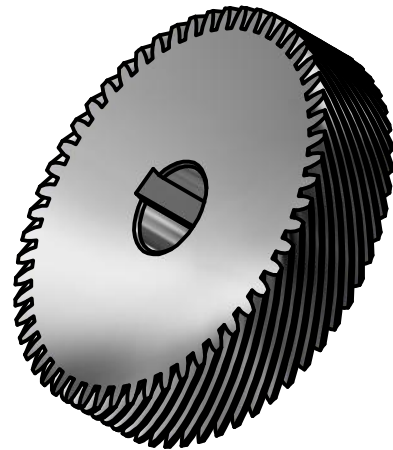
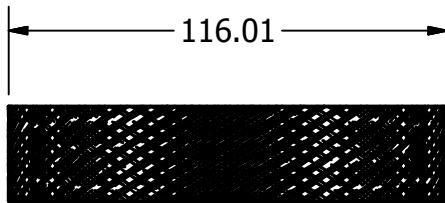
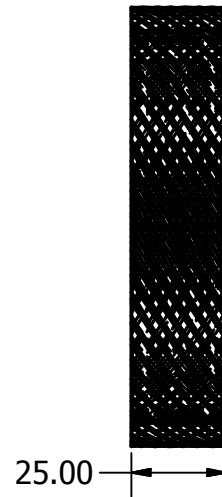
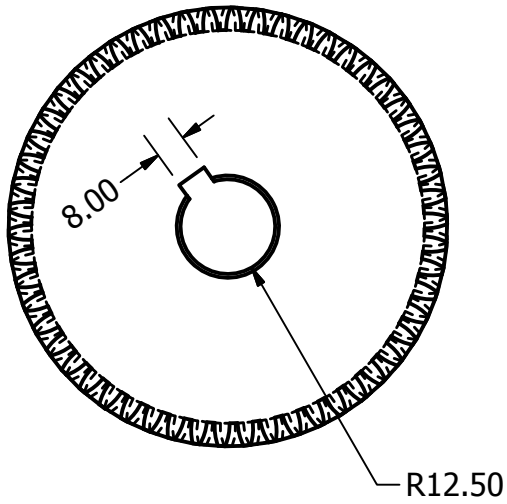




	<b>UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI</b> Latacunga- Ecuador	<b>DIBUJO:</b> ALEX CASA- RICHAH CHICAIZA	<b>PROYECTO N°</b> 01
	<b>PIÑÓN HELICOIDAL</b> <b>Z=23</b>	<b>ESCALA:</b> 1----- 100	<b>FECHA:</b> ENERO 2015
		<b>REFERENCIA:</b>	<b>HOJA:</b> 19 DE 21
		<b>PESO:</b> 0.5 KG	<b>TIPO DE MATERIAL</b> ACERO AISI 4140
<b>PROYECTO:</b> PICO CENTRAL HIDROELECTRICA	<b>CARRERA</b> <b>INGENIERIA ELECTRICA</b>		
<b>REVISO:</b> ING. EFREN BARBOSA			
<b>APROBO:</b> ING. EFREN BARBOSA			



	<b>UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI</b> Latacunga- Ecuador	<b>DIBUJO:</b> ALEX CASA- RICAR CHICAIZA	<b>PROYECTO N°</b> 01
	<b>PIÑÓN HELICOIDAL</b> <b>Z= 43</b>	<b>ESCALA:</b> 1----- 100	<b>FECHA:</b> ENERO 2015
		<b>REFERENCIA:</b>	<b>HOJA:</b> 20 DE 21
		<b>PESO:</b> 1 KG	<b>TIPO DE MATERIAL</b>
<b>PROYECTO:</b> PICO CENTRAL HIDROELECTRICA	<b>CARRERA</b> <b>INGENIERIA ELECTRICA</b>		
<b>REVISO:</b> ING. EFREN BARBOSA			
<b>APROBO:</b> ING. EFREN BARBOSA			



	<b>PROYECTO:</b> PICO CENTRAL HIDROELECTRICA
	<b>REVISO:</b> ING. EFREN BARBOSA
	<b>APROBO:</b> ING. EFREN BARBOSA

UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI Latacunga- Ecuador
<b>PIÑÓN HELICOIDAL</b> <b>Z= 54</b>

<b>DIBUJO:</b> ALEX CASA- RICHAH CHICAIZA	<b>PROYECTO N°</b> 01
<b>ESCALA:</b> 1----- 100	<b>FECHA:</b> ENERO 2015
<b>REFERENCIA:</b>	<b>HOJA:</b> 21 DE 21
<b>PESO:</b> 1.5 KG	<b>TIPO DE MATERIAL</b>
<b>ACERO AISI 4140</b>	
<b>CARRERA</b> <b>INGENIERIA ELECTRICA</b>	

**ANEXOS E  
COSTOS DIRECTOS E  
INDIRECTOS**

## COSTOS DIRECTOS

### COSTO DE MATERIALES PARA LA OBRA CIVIL (E1)

<b>Materiales</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario (USD)</b>	<b>Total (USD)</b>
Bloques 150	Mm	150	0.30	45.00
Bloques 100	Mm	50	0.15	7.50
Cemento	qq	20	8.00	160.00
Carretillas de Arena	m <sup>3</sup>	50	1.50	75.00
Carretillas de ripio	m <sup>3</sup>	90	1.50	135.00
Barrilla # 10	qq	2	49.50	99.00
Barrilla # 8	qq	1	49.50	49.50
Malla electro soldada	m <sup>2</sup>	1	15.00	15.00
Clavos # 2	lbs	2	1.10	2.20
Clavos #2 1/2	lbs	1	1.10	1.10
Tabla para encofrado de 220	mm	35	2.00	70.00
Alambre galvanizado	lbs	10	0.90	9.00
Malla fina	M	1	2.00	2.00
Hoja de Zin (0.80*3m)	M	5	2.80	14.00
Total				684.30

**Fuente:** Postulantes

**COSTO DE MATERIALES PARA EL ENSAMBLAJE HIDRAULICO (E2)**

<b>Materiales</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario (USD)</b>	<b>Total (USD)</b>
Compuerta metálica del bocatoma	m <sup>2</sup>	1	50.00	50.00
Tubos PVC Ø (6in)	M	10	12.00	120.00
Codos PVC Ø (6in)	Pul	2	5.20	10.40
Pega tubo	L	1	5.00	5.00
Tapón enroscado (0.25), Ø (4in)	M	1	15.00	15.00
Malla de acople para el desarenador	m <sup>2</sup>	1	25.00	25.00
Malla metálica	m <sup>2</sup>	1	5.00	5.00
Tubo de alta presión cedula 40 acero ASTM GRB (8in)	M	1	150.00	150.00
Tubo de alta presión cedula 40 acero ASTM GRB (6in)	M	1	250.00	250.00
Tubo de alta presión cedula 40 acero ASTM GRB (4in)	M	2	200.00	400.00
Tubo de alta presión cedula 40 acero ASTM GRB (2in)	M	1	160.00	160.00
Pernos inoxidables con arandelas M12*50	mm	40	1.50	60.00
Empaques	Mm	8	4.00	32.00
Universal (2in)	In	1	75.00	75.00
Válvula de presión (50-100)	Psi	1	37.00	37.00
Llave de compuerta	In	1	170.00	170.00

Turbina Michell Banki acero inoxidable A316	μ	1	180.00	180.00
Carcasa e inyector para la turbina A316	μ	1	130.00	130.00
Chumaceras y rodamientos	Mm	2	22.50	45.00
Caja de transmisión	μ	1	120.00	120.00
Polea (12)	In	1	16.00	16.00
Banda A-50	M	1	5.00	5.00
Grasa grafitada	L	1	3.75	3.75
Total				2064.15

**Fuente:** Postulantes

**COSTO DE MATERIALES PARA LA INSTALACION ELECTRICA (E3)**

<b>Materiales</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario (USD)</b>	<b>Total (USD)</b>
Generador 2500	W	1	600.00	600.00
Cable de aluminio multiplex 2x2	M	20	1.46	29.20
Caja metálica 0.20x0.20	M	1	10	10
Voltímetro 0-300 AC (72x72mm)	Voltios	1	11.93	11.93
Amperímetro 40 AC (72x72mm)	Amperios	1	11.43	11.43
Luz piloto	μ	2	1.71	3.42
Potenciómetro moeller 5 kilohomios	μ	1	35.00	35.00
Centro de carga SQ-D 2 monofásica	μ	1	17.55	17.55
Interruptor termomagnético 10 A	μ	1	5.61	5.61
Interruptor termomagnético 5 A	μ	1	5.35	5.35
Cable gemelo # 12	M	50	1.27	63.50
Cable gemelo # 10	M	10	1.96	19.60
<b>Total</b>				<b>812.59</b>

**Fuente:** Postulantes



**COSTO POR MANO DE OBRA (E4)**

<b>Actividades</b>	<b>Trabajo asignado</b>	<b>Total USD</b>
Derrocamiento y excavación del bocatoma	Tesistas/albañil	30.00
Derrocamiento, Excavación y nivelación del sistema de conducción	Tesistas/albañil	60.00
Desbanque y nivelación del área a construir el tanque de presión	Tesistas/albañil	75.00
Desbanque y nivelación del área a construir la casa de maquina	Tesistas/albañil	60.00
Construcción de la casa de maquinas	Tesistas/albañil	45.00
Construcción del desarenador y el tanque de presión	Tesistas/albañil	75.00
Construcción de la turbina Michell Banki	Tesistas/mecánico	450.00
Acoplamiento y ensamblaje del sistema de conducción	Tesistas/albañil	20.00
Acoplamiento y ensamblaje de la tubería de presión, e instalación de la turbina - generador	Tesistas/mecánico	100.00
<b>Total</b>		<b>915.00</b>

**Fuente:** Postulantes

**TOTAL COSTOS DIRECTOS (E5)**

<b>Descripción</b>	<b>Subtotal USD</b>
Costo de materiales para la obra civil	684.30
Costo de materiales para el ensamblaje hidráulico	2064.15
Costo de materiales para la instalación eléctrica	812.59
Costo por mano de obra	915.00
<b>Total</b>	<b>4476.04</b>

**Fuente:** Postulantes

## COSTOS INDIRECTOS

### COSTO DEL TRANSPORTE DE LOS MATERIALES (E6)

<b>Descripción</b>	<b>Total USD</b>
Arena y ripio	150.00
Cemento y bloques	100.00
Tubería de conducción y presión	60.00
Compuerta del bocatoma	10.00
Hojas de zinc	10.00
Turbina, generador y accesorios eléctricos	50.00
Tablas para encofrado	20.00
<b>Total</b>	<b>400.00</b>

**Fuente:** Postulantes

### COSTOS INDIRECTOS (E7)

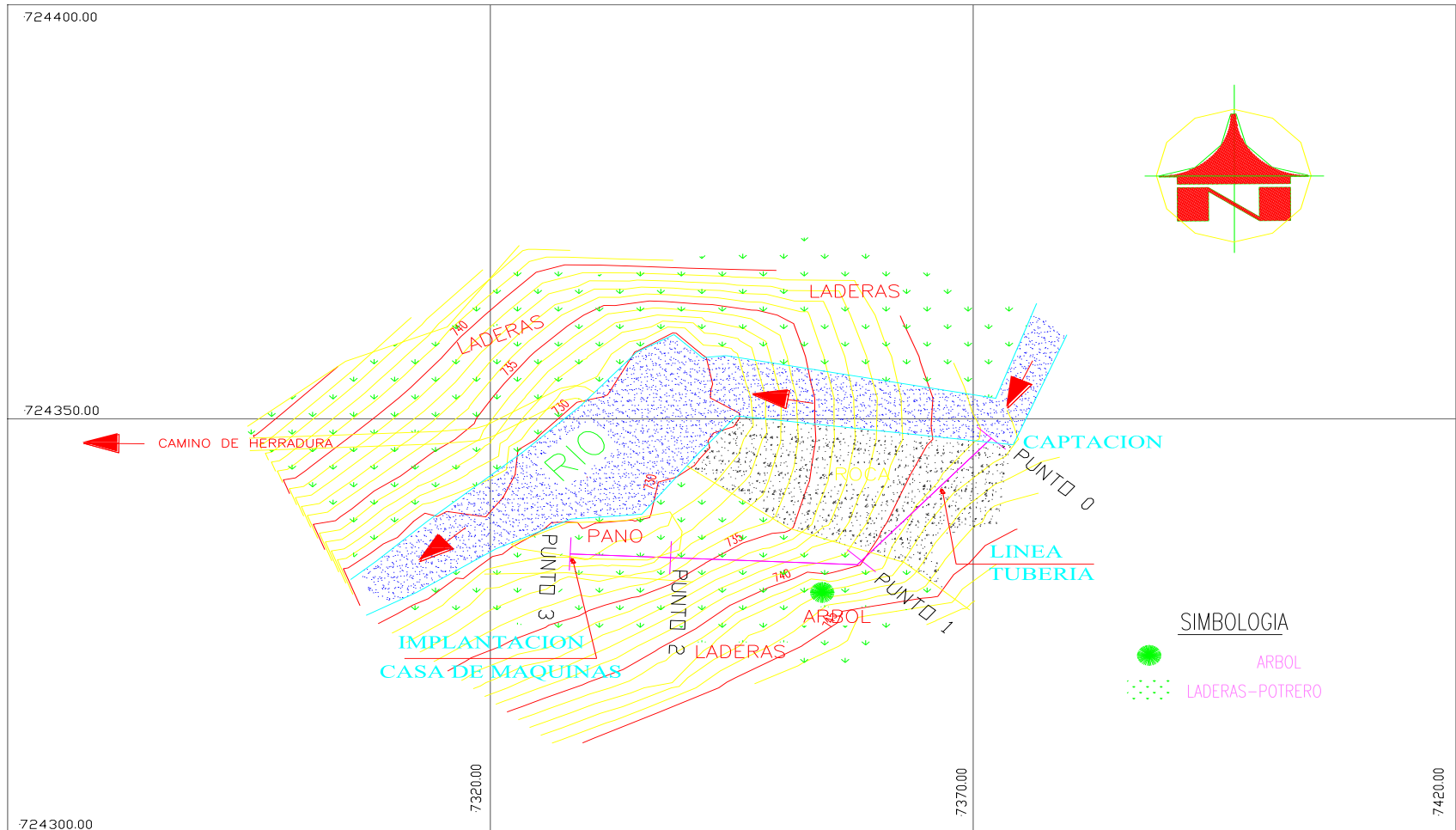
<b>Descripción</b>	<b>Total USD</b>
Costo del transporte de los materiales	400.00
Alimentación	350.00
Otros	100.00
<b>Total</b>	<b>850.00</b>

**Fuente:** Postulantes

**ANEXO F**

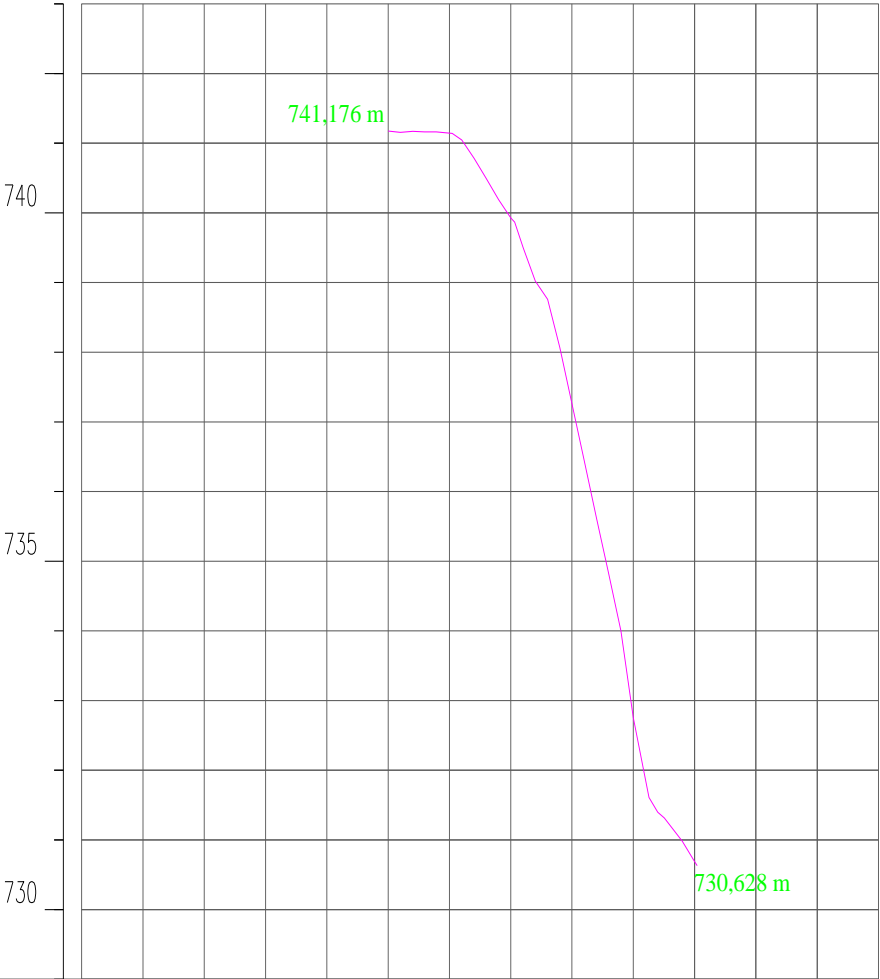
**CONSTRUCCION E  
IMPLEMENTACION  
PICO GENERADORA  
HIDROELECTRICA**

## DATOS GEOGRÁFICOS DE LA ZONA (F1)



Fuente: Postulantes

**PERFIL LONGITUDINAL DE LA TUBERIA (F2)**



ESTACAS		PUNTO 0	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
ABSCISAS		0,000	20,000 20,645	40,000	50,409
COTA TERRENO		741,176	739,925 739,866	732,757	730,628
PIs			1+0,645		
COORDENADAS		$\frac{7371,883}{724347,677}$	$\frac{7358,458}{724332,880}$ $\frac{7348,994}{724330,403}$	$\frac{7338,657}{724333,250}$	$\frac{7328,258}{724333,705}$

**Fuente:** Postulantes

## ELABORACIÓN DEL DISCO DEL ROTOR



## ACOPLE DE LOS ALABES A LOS DISCOS DEL ROTOR



## CONSTRUCCIÓN DE LA CASA DE MAQUINAS



## NIVELACIÓN PARA EL SISTEMA DE CONDUCCIÓN



## NIVELACIÓN PARA EL TANQUE DE PRESIÓN Y EL DESARENADOR



## CONSTRUCCIÓN DEL TANQUE DE PRESIÓN Y DESARENADOR





## FUNCIONAMIENTO Y ACOPLE TOTAL

