

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

TESIS DE GRADO

TÍTULO:

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN PICO GENERADOR ELÉCTRICO UTILIZANDO LA ENERGÍA RENOVABLE EN LA FINCA PRADERAS DEL TOACHI DEL CANTÓN SIGCHOS, PROVINCIA DE COTOPAXI DURANTE EL AÑO 2014”

Tesis presentada previa a la obtención del Título de Ingeniería en Electromecánica.

Autores:

Aimacaña Jami Edison David

Almachi Quinatoa Hugo Francisco

Director:

Ing. Efrén Barbosa

Latacunga – Ecuador

2015



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 señores Aimacaña Jami Edison David y Almachi Quinatoa Hugo Francisco, con el título de tesis **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN PICO GENERADOR ELÉCTRICO UTILIZANDO LA ENERGÍA RENOVABLE EN LA FINCA PRADERAS DEL TOACHI CANTÓN SIGCHOS, PROVINCIA DE COTOPAXI, DURANTE EL AÑO 2014”**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometidos al acto de defensa de tesis.

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

Latacunga, 29 de Julio del 2015.

Para constancia firman:

Msc. Victor Hugo Armas

PRESIDENTE

Ing. Edwin Moreano

OPOSITOR

Ing. Alvaro Mullo

MIEMBRO

Ing. Efren Barbosa

DIRECTOR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
Latacunga – Ecuador

AUTORÍA

Los criterios emitidos en el presente trabajo de tesis con el título **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN PICO GENERADOR ELÉCTRICO UTILIZANDO LA ENERGÍA RENOVABLE EN LA FINCA PRADERAS DEL TOACHI CANTÓN SIGCHOS, PROVINCIA DE COTOPAXI, DURANTE EL AÑO 2014”**, es de exclusiva responsabilidad de los autores, por tanto se asume la responsabilidad de la misma.

.....
Aimacaña Jami Edison David

C.C. No. 0502771959

.....
Almachi Quinatoa Hugo Francisco

C.C. No. 0502375991



AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS

En calidad de Director de Tesis bajo el título **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN PICO GENERADOR ELÉCTRICO UTILIZANDO LA ENERGÍA RENOVABLE EN LA FINCA PRADERAS DEL TOACHI CANTÓN SIGCHOS, PROVINCIA DE COTOPAXI, DURANTE EL AÑO 2014”**, con autoría de Aimacaña Jami Edison David y Almachi Quinatoa Hugo Francisco; postulantes de la carrera de Ingeniería en Electromecánica, considero que la presente tesis cumple con los requerimientos metodológicos, aportes científicos y técnicos suficientes 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, 29 de Julio del 2015.

El Director

.....
Ing. José Efrén Barbosa Galarza

C. C. No. 0501420723



AVAL DEL ASESOR DE TESIS

En calidad de Asesor de Tesis bajo el título **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN PICO GENERADOR ELÉCTRICO UTILIZANDO LA ENERGÍA RENOVABLE EN LA FINCA PRADERAS DEL TOACHI CANTÓN SIGCHOS, PROVINCIA DE COTOPAXI, DURANTE EL AÑO 2014”**, con autoría de Aimacaña Jami Edison David y Almachi Quinatoa Hugo Francisco; postulantes de la carrera de Ingeniería en Electromecánica, considero que la presente tesis cumple con los requerimientos metodológicos, aportes científicos y técnicos suficientes 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, 29 de Julio del 2015.

El Asesor

.....

Dr. Bolívar Ricardo Vaca Peñaherrera

C. C. No. 0500867569

AVAL DEL PROPIETARIO

Yo, **Cesar Humberto Ashqui Tocte** portador de cedula de ciudadanía N° **0500741400** en beneficiario del proyecto de grado cuyo tema es **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN PICO GENERADOR ELÉCTRICO UTILIZANDO LA ENERGÍA RENOVABLE EN LA FINCA PRADERAS DEL TOACHI CANTÓN SIGCHOS, PROVINCIA DE COTOPAXI, DURANTE EL AÑO 2014”**, Previos a la obtención de título de ingenieros en la especialidad de electromecánica a petición verbal de los interesados sr. Aimacaña Jami Edison David con C. C. 0502771959 y sr. Almachi Quinatoa Hugo Francisco con C.C. 050237599-1 tengo a bien.

CERTIFICAR

Que recibo el pico generador eléctrico en perfectas condiciones de funcionamiento y a la vez expresar un cordial saludo a todas las autoridades de la Universidad Técnica de Cotopaxi por el gran aporte que brinda a nuestro sector y nos ayuda a mejorar la calidad de vida.

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

Toachi, Julio 2015

Atentamente:

.....

Sr. Cesar Humberto Ashqui Tocte

C.C. 0500741400

BENEFICIARIO DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Con inmensa gratitud agradecemos a todos nuestros docentes ya que ellos nos enseñaron a valorar los estudios y a superarnos cada día; a la Universidad Técnica de Cotopaxi, por brindarnos la oportunidad de desarrollar nuestros estudios superiores; al Ing. Efrén Barbosa Director de tesis, por sus consejos y apoyo incondicional en la guía y enseñanza para la culminación de este trabajo y de manera especial a nuestros queridos padres, familiares y amigos por apoyarnos incondicionalmente en cada momento de nuestra carrera universitaria y vida personal.

LOS AUTORES

DEDICATORIA

Este trabajo de grado lo dedico a mis padres, a la familia Aimacaña Jami por su constante apoyo incondicional y a todas aquellas personas q estuvieron conmigo en las diferentes etapas de mi vida y formación académica..

EDISON DAVID

DEDICATORIA

A Mi Madre

Gloria Esthela Quinatoa Morocho.

A quien con su esfuerzo y sacrificio ha logrado sacarme adelante haciendo realidad mi sueño de cumplir mis metas anheladas, a cual me ha dado un buen ejemplo de lucha y perseverancia en todos los momentos de mi niñez y adolescencia con sus valores de respeto, humildad y honradez.

A Mis Hermanos.

Quienes con sus consejos me brindaron todo su apoyo incondicional en los momentos difíciles de mi vida de tristeza y alegría con sus buenos ejemplos de nunca rendirse aun en los momentos trágicos y apoyarme en hasta el final de este proyecto.

HUGO FRANCISCO

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CONTENIDOS	Pág.
Portada.....	i
Aprobación del tribunal.....	ii
Autoría.....	iii
Aval del Director de Tesis.....	iv
Aval del Asesor de Tesis.....	v
Aval del Propietario.....	vi
Agradecimiento.....	vii
Dedicatoria.....	viii
Índice de contenidos.....	x
Resumen.....	xx
Abstract.....	xxii
Aval del Profesional de Inglés.....	xxiii
Introducción.....	xxiv

CAPÍTULO I

1. Marco Teórico.

1.1	Antecedentes investigativos.....	1
1.2	Fundamentación legal.....	2
1.3	Categorías fundamentales.....	3
		x

1.4.	Fundamentación Teórica.....	4
1.4.1	La energía.....	4
1.4.2	Energía a Partir del Agua.....	4
1.4.3	Energías Renovables.....	6
1.4.3.1	Centrales de Energía Eólica.....	6
1.4.3.2	Centrales Fotovoltaicas.....	7
1.4.3.3	Centrales Geotérmicas.....	8
1.4.3.4	Centrales Eléctricas de Biomasa.....	9
1.4.3.5	Centrales de Generación Hidroeléctrica.....	10
1.4.3.6	Centrales Hidroeléctricas.....	11
1.4.3.6.1	Clasificación de una Central Hidroeléctrica.....	12
1.5	Pico centrales Hidroeléctricas.....	15
1.5.1	Importancia.....	16
1.5.2	Ventajas de un pico Hidroeléctrico.....	16
1.5.3	Componentes.....	17
1.5.4	Evaluación del recurso Hydroenergético.....	19
1.5.4.1	Método de la manguera de nivelación.....	21
1.5.4.2	Método de la manguera y manómetro.....	22
1.5.4.3	Método del nivel de carpintero y reglas.....	23
1.5.4.4	Método del altímetro.....	23
1.5.4.5	Método del eclímetro y wincha.....	24
1.5.4.6	Método del nivel del ingeniero.....	25
1.6	Medición del canal.....	26
1.6.1	Método del recipiente.....	27
1.6.2	Método del área y velocidad (flotador).....	28
1.6.3	Método de la sección de control y regla graduada.....	31
1.7	Obra Civil.....	32
1.7.1	Canal.....	32
1.7.1.1	Tipos de Canales.....	32

1.7.1.2	Sección y ángulo del talud del canal.....	33
1.7.1.3	Velocidad del agua (v).....	34
1.7.1.4	Rugosidad (n).....	35
1.7.1.5	Elementos de un canal.....	36
1.7.2	Diseño de un canal.....	38
1.7.3	Desarenadores.....	39
1.7.4	Tubería de presión.....	40
1.7.4.1	Materiales de Tubería.....	41
1.7.4.1.1	Polietileno.....	41
1.7.4.1.2	Cloruro de polivinilo (PVC).....	42
1.7.4.1.3	Tuberías reforzadas con fibra de vidrio (GRP).....	42
1.7.4.1.4	Tuberías de polietileno de alta densidad (PE).....	42
1.7.5	Diseño hidráulico.....	43
1.8	Equipo Electromecánico.....	46
1.8.1	Turbinas.....	46
1.8.2	Clasificación de las turbinas hidráulicas.....	47
1.8.3	Turbinas de grandes caídas con pequeños caudales.....	48
1.8.3.1	Turbinas Pelton.....	48
1.8.3.2	Turbinas Turgo.....	49
1.8.4	Turbinas para centrales de medianas alturas y medianos caudales	50
1.8.4.1	Turbinas Francis.....	50
1.8.4.2	Turbinas de flujo transversal Michell Banki.....	51
1.8.4.3	Bombas como turbinas.....	52
1.8.5	Centrales de caídas bajas y caudales grandes.....	52
1.8.5.1	Turbinas Kaplan y hélice.....	52
1.8.6	Selección mediante gráficos de altura y caudal.....	53
1.9	Turbina Banki.....	55
1.9.1	Número óptimo de Revoluciones.....	55
1.9.2	Diagrama de Velocidad.....	55

1.9.3	Geometría del Inyector.....	56
1.9.4	Geometría del Rodete.....	56
1.9.5	Radio de Curvatura de los álabes.....	57
1.10	Transmisión de Potencia.....	57
1.10.1	Bandas.....	58
1.10.2	Relación de Transmisiones Banda Conductora y Conducida.....	59
1.10.3	Elección de Poleas.....	60
1.10.4	Longitud de Bandas.....	61
1.11	Generador Eléctrico.....	61
1.11.1	Devanados y campos en el generador.....	62
1.11.2	Generador de Sincronismo.....	63
1.11.3	Velocidad de Sincronismo.....	64
1.12	Líneas de Transmisión en Baja Tensión.....	65
1.12.1	Calentamiento y caída de Tensión.....	67

CAPÍTULO II

2. Análisis e Interpretación de Resultados

2.1	Introducción.....	69
2.1.1	Localización.....	69
2.1.1.1	Ubicación geográfica.....	69
2.1.1.2	Accesibilidad.....	70
2.1.2	Situación Actual.....	71
2.1.3	Estimación de la Demanda Energética.....	73

2.1.4	Información básica.....	74
2.1.5	Características del Generador.....	78
2.2	Metodología aplicada.....	79
2.2.1	Métodos de Investigación.....	79
2.2.2	Tipos de investigación.....	80
2.2.2.1	Investigación Bibliográfica.....	80
2.2.2.2	De Campo.....	80
2.2.2.3	Experimental.....	80
2.2.3	Técnicas de investigación.....	81
2.2.3.1	La encuesta.....	81
2.2.3.2	Observación.....	81
2.2.4	Instrumentos de la investigación.....	82
2.2.4.1	Ficha de observación.....	82
2.2.4.2	Medidor de caudal.....	82
2.2.4.3	GPS.....	82
2.3	Hipótesis de trabajo.....	83
2.4	Operacionalización de variables.....	83
2.4.1	Variable Independiente.....	84
2.4.2	Variable Dependiente.....	85
2.5	Población y Aplicación de Encuestas.....	86
2.5.1	Encuestas aplicadas a los habitantes del sector Sarapullo.....	87
2.6.	Verificación de la Hipótesis.....	95
2.7	Conclusiones.....	95
2.8	Recomendaciones.....	96

CAPÍTULO III

3. Diseño y Aplicación de la Propuesta.

3.1	Introducción.....	97
3.2	Justificación.....	98
3.3	Objetivos.....	99
3.3.1	Objetivo General.....	99
3.3.2	Objetivos Específicos.....	99
3.4	Estructura del Proyecto.....	100
3.4.1	Estimación de la Demanda.....	100
3.4.1.1	Recurso Hidrológico para Generación.....	101
3.4.1.2	Medición de Altura.....	101
3.4.1.3	Caudal Disponible.....	103
3.4.2	Recursos de Obra Civil.....	105
3.4.2.1	Bocatoma.....	106
3.4.2.2	Canal.....	107
3.4.2.3	Desarenador.....	110
3.4.2.4	Tubería de Presión.....	115
3.4.3	Turbinas Hidráulicas.....	123
3.4.3.1	Selección de Turbina.....	124
3.4.3.2	Turbina Michell Banki.....	126
3.4.3.3	Diagrama de Velocidad.....	127
3.4.3.4	Inyector.....	132
3.4.3.5	Rodete.....	134
3.4.3.6	Eje.....	137
3.4.3.7	Resistencia por fatiga del eje de turbina y diámetro mínimo.....	140
3.4.3.8	Álabes.....	143
3.4.3.8.1	Ángulo de curvatura de los álabes.....	144
3.4.3.9	Álabe Regulador.....	146
3.4.4	Diseño de Transmisión de Potencia Mecánica.....	147
3.4.4.1	Diseño Mecánico Poleas en V.....	147
3.4.5	Sistema Electrónico.....	155

3.4.5.1	Generador Síncrono.....	156
3.4.6	Líneas Eléctricas.....	157
3.4.6.1	Tablero de Control.....	159
3.4.7	Recomendaciones de Construcción e Implementación.....	160
3.4.8	Costos.....	165
3.4.9	Beneficiarios.....	166
3.4.9.1	Beneficiarios Directos.....	166
3.4.9.2	Beneficiarios Indirectos.....	167
3.4.10.	Aspectos de Implementación.	167
3.4.10.1.	Tiempo estimado de duración de Proyecto.	167
3.4.10	Conclusiones y Recomendaciones.....	168
3.4.10.1	Conclusiones.....	168
3.4.10.2	Recomendaciones.....	169
3.4.11	Bibliografía.....	170
3.4.11.1	Bibliografía citada.....	170
3.4.11.2	Bibliografía consultada.....	172
3.4.11.3	Bibliografía Web.....	174

ÍNDICE DE GRÁFICOS.

Gráfico N° 1.1	Categorías Fundamentales.....	3
Gráfico N° 1.2	Diagrama De Moody.....	45
Gráfico N° 1.3	Selección de turbinas.....	54
Gráfico N° 1.4	Tipos Comunes De Bandas. Secciones Transversales.....	59
Gráfico N° 2.1	Porcentaje De Servicio Eléctrico.....	85
Gráfico N° 2.2	Requerimiento De Energía Eléctrica.....	86
Gráfico N° 2.3	Generador Eléctrico Renovable.....	87
Gráfico N° 2.4	Aprovechamiento De La Energía Del Agua.....	88

Gráfico N° 2.5	Obra De Captación De Agua.....	89
Gráfico N° 2.6	Generación A Base De Combustión.....	90
Gráfico N° 2.7	Disposición De Una Máquina Hidroeléctrica.....	91
Gráfico N° 2.8	Capacidad De Los Tesistas.....	92

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura N° 1.1	Central Eólica.....	7
Figura N° 1.2	Central Fotovoltaica.....	8
Figura N° 1.3	Central geotérmica.....	8
Figura N° 1.4	Centrales Eléctricas de Biomasa.....	9
Figura N° 1.5	Centrales Hidroeléctricas.....	10
Figura N° 1.6	Esquema General De Un Proyecto Hidroeléctrico.....	12
Figura N° 1.7	Componentes de sistema Pico hidroeléctrico.....	17
Figura N° 1.8	Determinación De La Altura Con Manguera De Nivelación....	21
Figura N° 1.9	Medición De Altura Usando Manguera y Manómetro.....	22
Figura N° 1.10	Determinación De La Altura Con Nivel De Carpintero.....	23
Figura N° 1.11	Uso Del Altimetro Para Medir La Altura.....	24
Figura N° 1.12	Determinación De La Altura Usando Eclímetro Y Wincha....	25
Figura N° 1.13	Cálculo De La Altura Con Nivel De Ingeniero.....	26
Figura N° 1.14	Medida Del Caudal Usando El Método Del Recipiente.....	27
Figura N° 1.15	Sección Transversal De La Corriente.....	28
Figura N° 1.16	Regla Graduada En Una Sección De Control.....	31
Figura N° 1.17	Tipos De Canales.....	33
Figura N° 1.18	Elementos De Un Canal.....	36
Figura N° 1.19	Esquema De Un Desarenador.....	39
Figura N° 1.20	Elementos De La Tubería De Presión.....	40
Figura N° 1.21	Turbina Pelton.....	48
Figura N° 1.22	Turbina Turgo.....	49

Figura N° 1.23	Turbina Francis.....	50
Figura N° 1.24	Turbina Michell Banki.....	51
Figura N° 1.25	Turbina Kaplan.....	53
Figura N° 1.26	Generador Eléctrico.....	62
Figura N° 1.27	El Devanado Del Generador Eléctrico.....	63
Figura N° 1.28	Componentes De Un Cable Eléctrico Aislado.....	66
Figura N° 1.29	Resistividad (ρ), Coeficiente De Temperatura (α), Punto de Fusión ($^{\circ}\text{C}$) Y Densidad (δ) De Diversos Materiales Y Aleaciones.....	67
Figura N° 2.1	Mapa Y Coordenadas De Localización Del Proyecto.....	71
Figura N° 2.2	Localización Del Emplazamiento De Implementación.....	72
Figura N° 2.3	Estimación Del Recurso Hidrico.....	73
Figura N° 3.1.	Medición De Altura.....	102
Figura N° 3.2.	Datos Tomados En Medición Altura.....	102
Figura N° 3.3.	Ubicación Del Bocatoma.....	106
Figura N° 3.4.	Elementos Del Canal.....	107
Figura N° 3.5.	Dimensionamiento Del Canal.....	109
Figura N° 3.6.	Esquema De Un Desarenador Y Partes Fundamentales En Vista Frontal Y Alzada.....	111
Figura N° 3.7.	Resumen De Resultados Para Desarenador.....	114
Figura N° 3.8.	Calculo De Tramo De Tubería De 6".....	119
Figura N° 3.9.	Volumen De Un Cilindro Para Tubería De 6".....	120
Figura N° 3.10.	Cinemática Para Cálculo De Velocidad En Tubería De 6".....	122
Figura N° 3.11.	Diagrama De Velocidad De Una Turbina Michell – Banki.....	127
Figura N° 3.12.	Geometría Del Inyector.....	132
Figura N° 3.13.	Ángulo De Entrada De Agua Al Rodete.....	134
Figura N° 3.14.	Construcción Del Rodete.....	135
Figura N° 3.15.	Geometría De Los Álabes.....	144
Figura N° 3.16.	Ángulo Y Dimensiones De Álabe.....	145

Figura N° 3.17.	Nomenclatura De Sistema De Transmisión.....	151
Figura N° 3.18.	Resumen De Resultados Para Bandas Y Poleas.....	154
Figura N° 3.19.	Forma Física Del Generador.....	155
Figura N° 3.20.	Controlador De Voltaje Interno Del Generador.....	156
Figura N° 3.21.	Tablero De Control Componentes.....	159
Figura N° 3.22.	Construcción Del Inyector.....	161
Figura N° 3.23.	Construcción Del Álabes Director.....	162
Figura N° 3.24.	Construcción Del Rodete.....	162
Figura N° 3.25.	Construcción Del Mecanismo De Regulación.....	163
Figura N° 3.26.	Construcción De La Cimentación De La Máquina.....	164

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1.1.	Comparación De Técnicas De Medición.....	20
Tabla N° 1.2.	Valores De K Según La Relación S/p Y Material Del Riachuelo.....	30
Tabla N° 1.3.	Valores De K Según La Profundidad Y El Material Del Riachuelo.....	30
Tabla N° 1.4.	Talud Recomendado Para Canales De Sección Trapezoidal..	33
Tabla N° 1.5.	Velocidad Máxima Recomendada.....	34
Tabla N° 1.6.	Coefficiente De Rugosidad.....	35
Tabla N° 1.7.	Velocidades Mínimas Recomendadas Para Evitar Sedimentación.....	38
Tabla N° 1.8.	Características De Las Secciones Transversales.....	39
Tabla N° 1.9.	Materiales Utilizados En Tuberías Forzadas.....	43
Tabla N° 1.10.	Altura De Rugosidad (e) Para Diversos Tubos Comerciales..	46
Tabla N° 1.11	Diámetros De Rodetes Y Sus Diámetros Internos.....	57
Tabla N° 1.12	Velocidades Normalizadas De Generadores Síncronos.....	65

Tabla N° 2.1	Consumo Eléctrico De Equipos Domésticos Más Utilizados..	75
Tabla N° 2.2	Demanda Energética.....	75
Tabla N° 2.3	Especificaciones Del Generador.....	78
Tabla N° 2.4.	Operacionalización De Variables, Variable Independiente.....	84
Tabla N° 2.5.	Operacionalización De Variables, Variable Dependiente.....	85
Tabla N° 2.6.	Servicio De Energía Eléctrica.....	87
Tabla N° 2.7.	Requerimiento De Energía Eléctrica.....	88
Tabla N° 2.8.	Generador Eléctrico Renovable.....	89
Tabla N° 2.9.	Aprovechamiento De La Energía Del Agua.....	90
Tabla N° 2.10.	Obra De Captación De Agua.....	91
Tabla N° 2.8.	Generación A Base De Combustión.....	92
Tabla N° 2.9.	Disposición De Una Máquina Hidroeléctrica.....	93
Tabla N° 2.10.	Capacidad De Los Tesistas.....	94
Tabla N° 3.1.	Tiempos De Área Y Velocidad.....	104
Tabla N° 3.2.	Velocidad De Decantación De Partículas De Arena.....	112
Tabla N° 3.3.	Propiedades Físicas Del Agua.....	116
Tabla N° 3.4.	Nq y Ns Para Selección De Turbina.....	124
Tabla N° 3.5.	Dimensión Del Inyector Turbina.....	133
Tabla N° 3.6.	Dimensión Del Inyector.....	135
Tabla N° 3.7.	Características De Material En Eje.....	140
Tabla N° 3.8.	Tubería Convencional Para Construcción De Álabes.....	145
Tabla N° 3.9.	Dimensión Del Álabe Director Forma Constitutiva Y Física..	146
Tabla N° 3.10.	Valores Para Selección De Tipo De Canal Para Banda.....	148
Tabla N° 3.11.	Tipo De Canal Para Banda Tipo V.....	149
Tabla N° 3.12.	Bandas En V, Características De Sección Transversal Tipos A, B, C, D, E.....	150
Tabla N° 3.13.	Longitudes Estandarizadas De Bandas.....	153
Tabla N° 3.14.	Sección Y Calibre Del Conductor.....	158
Tabla N° 3.15.	Costos De Construcción Civil.....	165



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
Latacunga – Ecuador

TEMA: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN PICO GENERADOR ELÉCTRICO UTILIZANDO LA ENERGÍA RENOVABLE EN LA FINCA PRADERAS DEL TOACHI CANTÓN SIGCHOS, PROVINCIA DE COTOPAXI, DURANTE EL AÑO 2014”

Autores:

Aimacaña Jami Edison David

Almachi Quinatoa Hugo Francisco

RESUMEN

El Ecuador es un país con características geográficas favorables, ya que contamos con una diversidad climática y condiciones únicas que le confieren un elevado potencial de energías renovables y limpias. El presente proyecto se enmarca en la generación eléctrica de características autosustentables, utilizando como único elemento el potencial de agua con el objeto de suministrar energía útil para las áreas menos favorecidas, donde no llega la red distribuidora de electricidad. Es así que la Universidad se vincula con la colectividad desarrollando proyectos innovadores que contribuyen al desarrollo de los pueblos; en este caso satisfaciendo su demanda energética, para ello se implementó un pico generador eléctrico, que requiere un caudal de agua y una altura relativamente baja, así como un fácil mantenimiento. La elaboración del sistema eléctrico se lo realizó en un emplazamiento con características topográficas accidentadas lo que requirió de un inmenso sacrificio por parte de los proyectistas y la ayuda de la colectividad, teniendo como resultado una satisfactoria implementación con capacidad de 110V, potencial eléctrico de 4.5KW en beneficio de la Finca “Praderas del Toachi” del Cantón Sigchos Provincia de Cotopaxi.

Descriptor: Pico Generador Hidroeléctrico, Sigchos, Turbina Muchell-Banki.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
Latacunga – Ecuador

TOPIC: “DESIGN, CONSTRUCTION AND IMPLEMENTATION OF A ELECTRIC GENERATOR USING RENEWABLE ENERGY BEAK IN “PRADERAS DEL TOACHI” FARM SIGCHOS CANTON FROM COTOPAXI PROVINCE DURING 2014”

Authors:

Aimacaña Jami Edison David

Almachi Quinatoa Hugo Francisco

ABSTRACT

Ecuador is a country with favorable geographic characteristics, since it has a diverse climate and unique conditions that lend a high potential for renewable and clean energy. This project is part of the electricity generating self-sustaining characteristics, using as unique element the water potential in order to provide useful energy for less favored areas, where there is no electricity distribution network. So that the University is linked with the community to develop innovative projects that contribute to the development of people; in this case satisfying the energy demand, an electric generator for this peak, which requires water flow rate and a relatively low height as well as easy maintenance was implemented. The elaboration of the electrical system performed it at a site with topographic features related accidents which required a huge sacrifice on the part of the designers and the help from he community, as a result in a satisfactory capacity 110V and 4.5kW electric this potential benefit in “Praderas del Toachi Farm” Sigchos Canton from Cotopaxi Province.

Descriptors: Pico Hydroelectric Generator, Sigchos, Muchell-Banki turbine.



AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Centro Cultural de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Certifico, que he realizado la revisión del Abstract, de la tesis elaborada por los postulantes Aimacaña Jami Edison David y Almachi Quinatoa Hugo Francisco con el tema de tesis **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN PICO GENERADOR ELÉCTRICO UTILIZANDO LA ENERGÍA RENOVABLE EN LA FINCA PRADERAS DEL TOACHI CANTÓN SIGCHOS, PROVINCIA DE COTOPAXI, DURANTE EL AÑO 2014”**, el mismo que cumple con requerimientos técnicos gramaticales del idioma Inglés.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad; pudiendo hacer uso de la presente para los fines legales pertinentes.

Latacunga, 29 de Julio el 2015.

.....
Lic. Sonia Jimena Castro Bungacho.
C.C. 050197472-9



INTRODUCCIÓN

A continuación se presentan los conceptos fundamentales e importantes relacionados con el desarrollo de este trabajo de investigación como son: Energía, Energías renovables, Sistema hidroeléctrico, Centrales hidroeléctricas, Pico generador eléctrico, Turbinas, Generador, Tablero de control eléctrico.

La crisis energética de 1973 y 1979, originada por la brusca subida de los precios del petróleo, propició el desarrollo de los recursos renovables autóctonos e inextinguibles, en contraposición a los recursos fósiles, limitados en el espacio y en el tiempo. Más tarde, cuando las predicciones acerca del agotamiento de los recursos fósiles resultaron ser excesivamente pesimistas, la preocupación general por el fenómeno del calentamiento global del planeta, en buena parte debida a las emisiones de CO₂, en los procesos de generación de energía eléctrica con combustibles fósiles, y las incertidumbres planteadas por el futuro de los residuos nucleares, volvieron a poner de relieve las ventajas de generar electricidad con recursos renovables. Por tal motivo su importancia es relevante ya su concepción y recurso hídrico dependerá de un cauce literalmente pequeño que abastecerá una zona eléctricamente aislada, diseñada para que pueda trabajar el mayor tiempo posible a lo largo del año

Para lo cual se propone un sistema de generación alternativa económica y ambiental favorable para promover de energía en este emplazamiento que se encuentra aislado; que no cuenta con energía eléctrica y es de vital importancia tener este servicio para que los habitantes del sector puedan desarrollar sus actividades diarias y así mejorar el desarrollo de la comunidad.

Por esta razón los tenistas hacen uso de un amplio material bibliográfico y estudios elaborados con relación a la micro hidrogenación, además se utiliza técnicas como la Encuesta que es aplicada a la población que será la beneficiada de este proyecto integrador.

Para desarrollar el tema denominado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN PICO GENERADOR ELÉCTRICO UTILIZANDO LA ENERGÍA RENOVABLE EN LA FINCA PRADERAS DEL TOACHI CANTÓN SIGCHOS, PROVINCIA DE COTOPAXI, DURANTE EL AÑO 2014”, se ha organizado en tres capítulos siguiendo una secuencia sistemática.

En el capítulo uno se enmarca el proceso de investigación, se analiza y se expone teorías, enfoques teóricos, estudios y antecedentes en general considerados válidos para respaldar la estructura de la tesis.

En el segundo capítulo se puntualiza el análisis e interpretación de resultados que arroja luego del desarrollo de encuestas dirigidas a la población total de la Finca “Praderas del Toachi”.

En el tercer capítulo se desarrolla la propuesta, los cálculos, la constitución e implementación de la pico Central Hidroeléctrica por turbina Michell Banki, se describe de forma práctica el diseño de sus elementos que la conforman.

Este trabajo es una herramienta que los estudiantes Universitarios pueden utilizar como material de investigación para proyectos futuros, así también en la Institución Universitaria será fuente de consulta para futuras investigaciones.

CAPITULO I

1. Marco Teórico.

1.1 Antecedentes Investigativos.

La Generación energética del país en los últimos años ha dependido en gran parte de la generación termoeléctrica, que constituye una falencia para el sector energético y a la vez un gran impacto ambiental por las grandes emisiones de gases tóxicos por lo que el estado invierte en la construcción de centrales de generación hidráulica, como una de las alternativas para cubrir el déficit energético de nuestro país que se observa con más incidencia en los sectores rurales.

Sin embargo para cubrir con las falencias de energía que se evidencia en los sectores donde no llegan las líneas eléctricas de distribución se ha dotado de proyectos denominados pico hidroeléctricos que sustentan las necesidades energéticas preservando el medio ambiente y sustentando la demanda de los habitantes, para lo cual se analiza y se expone teorías, enfoques teóricos y antecedentes en general que se consideran válidos para respaldar la tesis; así por ejemplo los autores : SISA AMAGUAÑA Edison ,VILLAROEL Wilmer , (2009) concluyen que “Según las pruebas de funcionamiento el sistema instalado, presta valores aceptables de eficiencia para trabajar a cargas parciales, llegando a plena carga con una eficiencia de la turbina en el orden del 85%.” (p. 191).

Lo cual nos enfoca a realizar el sistema de generación de manera óptima, en acoplamiento y en constitución mecánica, obteniendo así una eficiencia aceptable que como resultado minimice las pérdidas al momento del montaje y distribución de la energía eléctrica.

Así mismo los autores ANCHATUÑA Eddy, ALAJO Diego, (2013) dicen que “El impacto ambiental por la instalación de la pico central hidroeléctrica es mínimo, ya que no se ha modificado ninguna de sus cauces naturales y no existe contaminación ambiental, ya que se trata de un equipo que no genera combustión ni gases tóxicos que modifique la capa atmosférica.” (p. 118)

De esta manera, se observa que los antecedentes investigativos nos orientan a la elaboración de este proyecto haciéndolo viable porque no causan ningún tipo de contaminación ambiental y solventarían con las necesidades energéticas de la comunidad de Zarapullo en la provincia de Cotopaxi.

Así que cada concepto es necesario para explicar la importancia en la realización de la investigación con el fin de conocer teóricamente como se realiza un Diseño construcción e implementación de un Pico Hidroeléctrico.

1.2 Fundamentación Legal

Para desarrollar este tipo de proyectos de generación hidroeléctrica se hace factible el conocer las leyes, reglamentos o enunciados que regularicen el uso de agua o de afluentes para generación eléctrica; para lo cual es de conocimiento que la entidad pública encargada de velar por un ambiente sano y el respeto de los derechos de la naturaleza es el Ministerio del Ambiente, cuyo valor es el de

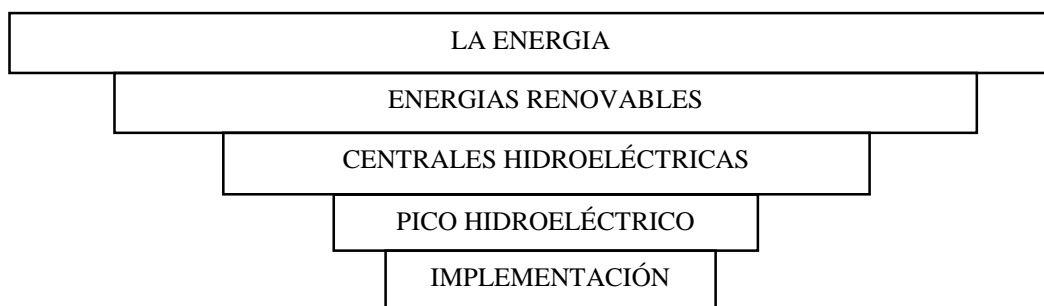
diseñar las políticas ambientales y coordinar las estrategias, los proyectos y programas para el cuidado de los ecosistemas y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales. Propone y define las normas para conseguir la calidad ambiental adecuada, con un desarrollo basado en la conservación y el uso apropiado de la biodiversidad y de los recursos con los que cuenta nuestro país.

El Artículo que nos garantiza las buenas prácticas de concesión en la Republica Ecuatoriana contiene lo siguiente: **Ley de Aguas; Título VII de las Aguas para fines Energéticos, Industriales Y Mineros.** Art. 42.- Se concederán derechos de aprovechamiento de aguas para la generación de energía destinada a actividades industriales y mineras, especialmente a las contempladas en el Plan General de Desarrollo del País.

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

1.3 Categorías Fundamentales.

GRÁFICO N° 1.1 “CATEGORIAS FUNDAMENTALES”



Fuente: Los Autores

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo

1.4 Fundamentación Teórica.

1.4.1 La Energía

La energía es una propiedad asociada a los objetos y sustancias la cual se manifiesta de diferente manera en las transformaciones que ocurren en la naturaleza, la cual es fundamental para un sistema de hidrogenación eléctrica.

Según Antonio, (1999) manifiesta que: “La energía pone en manifiesto es la capacidad que tiene un cuerpo para producir trabajo el principio de la conservación de la energía establece que la energía no se crea ni se destruye, únicamente se transforma de una a otra de sus manifestaciones”. (p. 2).

Los investigadores concluyen que la energía son entidades indestructibles y convertibles que se pueden provocar de un cuerpo a otro o de una sustancia a otra, hipotéticamente la energía es el factor esencial que actúa sobre cada uno de los elementos que conforman un sistema de hidrogenación sufriendo transformaciones y cambios en cada una de sus etapas.

1.4.2 Energía a Partir del Agua.

Como SÁNCHEZ Teodoro & Otros, (1995) mencionan que “Un hidrosistema requiere de un caudal de agua y una diferencia de altura para producir una potencia útil. Se trata de un sistema de conversión de energía, es decir, se toma energía en la forma de caudal y salto y se entrega energía en forma de electricidad o energía mecánica.” (p. 04).

Por tanto un pico central depende directamente del cauce del río conocido también como caudal, que necesariamente y de acuerdo a requerimientos debe estar en caída, o a un desnivel para multiplicar la fuerza con que entra a la tobera del generador hidroeléctrico y así definir cuál será la potencia que se generara el grupo electrógeno.

Afirma SÁNCHEZ Teodoro & Otros, (1995) en su manual de mini centrales que “Ningún sistema de conversión de energía puede entregar la misma cantidad de energía útil como la que absorbe, pues una parte de energía se pierde en el sistema en forma de fricción calor, ruido, etc.”.(Pág. 01).

Ultimando lo que el autor dicta podemos concluir que ningún sistema con características de concepción mecánica en nuestro caso un pico generador hidroeléctrico va a tener un 100% de eficiencia; ya que este dependerá de pérdidas propias de su constitución y montaje, para lo cual el autor propone términos para determinar las pérdidas y así la definiremos.

Asumiendo la Ecuación:

$$\textit{Potencia de entrada} = \textit{Potencia de Salida} + \textit{Pérdidas.} \quad \textbf{Ecu.1.1}$$

O también:

$$\textit{Potencia de salida} = \textit{Potencia de entrada} \times \textit{eficiencia de conversión.} \quad \textbf{Ecu.1.2}$$

Es decir que antes de diseñar nuestro sistema debemos analizar las pérdidas en los distintos niveles de conversión, tanto en obra civil, pérdidas en tubería forzada, en eficiencia de turbina por su constitución, pérdidas en sistema electrógeno (Generador), y pérdidas en líneas de transmisión, entre otros.

1.4.3 Energías renovables

El Autor PERALES, (2012) señala lo siguiente:

“Aplicar todos los procesos industriales disponibles para obtener energía limpia, la luz solar y los vientos derivados de las diferencias de temperaturas y de recursos fluviales ha dado lugar a un conjunto de tecnologías capaces de proporcionar energía eléctrica y climatización sin el consumo de combustibles de origen fósil. La puesta en marcha de procesos de cogeneración que permite producir electricidad y aprovechar el calor generado con fines climáticos, y la producción de biocombustibles, como el bioetanol con los residuos urbanos y similares”. (p. 08)

Las energías renovables podrán contribuir a resolver problemas medioambientales que producen los combustibles fósiles y nucleares solamente si son capaces de reemplazar de manera significativa la utilización de los combustibles fósiles, en consecuencia existen varios modelos de generación de los cuales daremos conceptos específicos a continuación.

1.4.3.1 Centrales Hidroeléctricas

RESTREPO Luis, (2007) asevera que “Una central hidroeléctrica es aquella que se utiliza para la generación de energía eléctrica mediante el aprovechamiento de la energía hidráulica.” (p. 02)

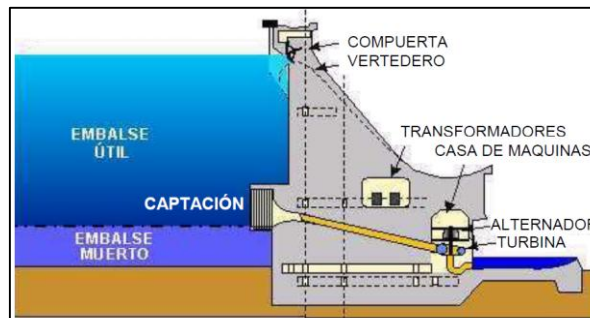
Concentrando grandes cantidades de agua en un embalse se obtiene inicialmente energía potencial. Por la acción de la gravedad, el agua adquiere energía cinética o de movimiento: pasa de un nivel superior a otro muy bajo, a través de las obras de conducción. A la energía desarrollada por el agua al caer se le denomina energía hidráulica. Por su masa y velocidad, el agua produce un empuje que se aplica a las turbinas, las cuales transforman la energía hidráulica en energía mecánica. Esta se propaga a los generadores acoplados a las turbinas obteniendo el número de revoluciones necesarias para alcanzar su excitatriz.

Los generadores mediante procesos electromagnéticos producen energía eléctrica, la cual pasa a la subestación contigua o que se encuentre cerca de la planta. La subestación se encarga de elevar la tensión o voltaje para que la energía llegue a los centros de consumo con la debida calidad. Todo el proceso es conducido desde la Sala de Control de la casa de Máquinas.

Las partes constitutivas del complejo hidroeléctrico son:

- Fuente de abastecimiento
- Obras de conducción
- Casa de Máquinas
- Subestación

FIGURA N°1.1 “ESQUEMA GENERAL DE UN PROYECTO HIDROELÉCTRICO”



Fuente: RESTREPO Luis, 2007 (pág. 2).

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo

1.4.3.1.1 Clasificación de una Central Hidroeléctrica.

Por su Fuente de Abastecimiento.

Es la que permite que la planta se mantenga en funcionamiento al suplir constantemente el agua con un caudal regulado. La fuente está constituida por uno o varios ríos que aportan sus aguas a un embalse, el cual es fundamental para que el suministro de agua no se vea afectado por los frecuentes cambios del caudal. El embalse, pues, regula el caudal aprovechable; puede hallarse en el cauce de un río o en un sitio alejado de éste. Para formar el embalse es necesario estudiar el área determinada de un río con un caudal preestablecido y definir el sitio para construir la presa.

Desde el punto de vista de cómo utilizan el agua para la generación, las centrales hidroeléctricas se pueden clasificar en:

Centrales a filo de agua. También denominadas centrales de agua fluyente o de pasada, utilizan parte del flujo de un río para generar energía eléctrica. Operan en forma continua porque no tienen capacidad para almacenar agua, no disponen de embalse.

Centrales acopladas a uno o más embalses. Es el tipo más frecuente de central hidroeléctrica. Utilizan un embalse para reservar agua e ir graduando el agua que pasa por la turbina.

Es posible generar energía durante todo el año si se dispone de reservas suficientes. Requieren una inversión mayor.

Por su Obra de Conducción. Son las que realizan el traslado del agua desde el embalse hasta las turbinas. Pueden ser canales, túneles o a veces una combinación de ambos y siempre rematan con tubería de presión o tubería forzada.

Canal. Es una obra de conducción de agua expuesta sobre la superficie del suelo. Se encuentra en la parte alta, generalmente entre el río y el embalse. Puede incluir un desarenador, parte más profunda y ancha que el resto del canal.

Túnel. Es un tramo de conducción bajo la superficie del suelo. Si se inicia en una de las paredes del embalse, la entrada estará constituida por la toma de agua, la que contienen en el frente unas rejillas que evitan que objetos voluminosos y restos de plantas o animales penetren al túnel.

Tubería de presión o forzada. Es el tramo final de la conducción. Como su nombre lo especifica, es la que soporta las máximas presiones internas causadas por el agua. Cuentan con válvulas disipadoras de energía y de admisión para regular el flujo hacia las turbinas.

1.5 Pico centrales Hidroeléctricas.

Para comprender de mejor manera a que se llama un pico hidroeléctrico debemos definir las capacidades generativas de electricidad para lo cual utilizamos un criterio para agrupar pequeños proyectos hidroeléctricos.

Pico-Centrales Hidroeléctricas: hasta 5 kW

Micro-Centrales Hidroeléctricas: de 5 a 100 kW

Mini-Centrales Hidroeléctricas: de 100 a 1000 kW.

Grandes Centrales Hidroeléctricas: Su potencia supera los 5000 kW.

El sistema Pico hidroeléctrico se refiere a instalaciones hidroeléctricas con niveles de generación eléctrica menores o iguales a 5 kW. Su constitución es básica y simple lo cual incide en el costo de su fabricación e implementación.

El manual elaborado por SÁNCHEZ Teodoro & Otros, (1995) dice que:

“Los sistemas de microgeneración son una pequeña contribución en el suministro a la red. Los sistemas de microgeneración son pequeños y, por lo general no suministran energía en las redes nacionales. Se usan en áreas apartadas donde no llega la red y, en algunos casos, proveen de electricidad a pequeñas industrias y comunidades rurales. Su rango en potencia varía desde 200 watts, que es suficiente para la provisión de iluminación doméstica o a un grupo de casas mediante un sistema de carga de baterías.” (p. 01)

1.5.1 Importancia.

Es evidente una necesidad creciente de suministros de energía para las áreas rurales, tanto para el abastecimiento de electricidad como para el apoyo a la industria y las entidades que están encargadas de brindar este recurso básico se enfrentan a elevados costos de energía y redes de electrificación, ya sea por instalación o por transporte.

Por tal motivo la microgeneración constituye una alternativa económica pues son independientes y su conexión no depende de redes ni líneas de transmisión. Estos sistemas pueden ser construidos localmente por personal local u organizaciones más pequeñas con el objetivo de suministrar energía a zonas que tengan una baja disponibilidad de absceso donde no llegue una red de distribución; para un posible beneficio socio económico considerando que este no alterara los recursos económicos ni mucho menos afectara a la fauna y flora del sector.

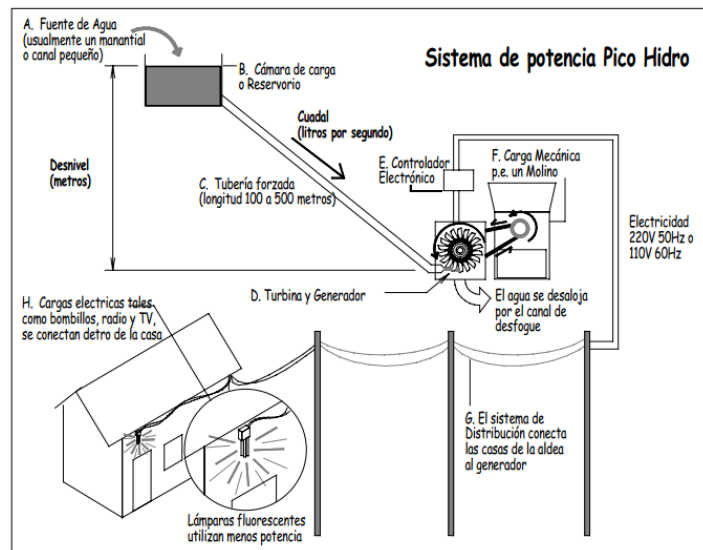
1.5.2 Ventajas de un pico Hidroeléctrico.

Se demandan caudales bajos, por lo tanto existen numerosos afluentes aprovechables de agua, muchas veces un riachuelo o un arroyo pequeño suministran suficiente agua para la instalación de un Pico Generador. La construcción del sistema electromecánico que conforma la maquinaria de hidrogenación se puede elaborar de forma local siguiendo estándares y procedimientos de fabricación ya constituidas en manuales y folletos. Los elementos y componentes que constituyen un Pico Generador son sencillos y compactos lo que facilita el transporte a lugares alejados y de difícil absceso. Su montaje e implementación no provoca daños ni ningún impacto medioambiental, ya que es un sistema renovable de generación.

1.5.3 Componentes

Los autores MAHER Phillip & SMITH Nigel, (2001) demuestran un esquema de un sistema pico hidroeléctrico y detalla cada uno de los elementos con mayor detalle a continuación:

FIGURA N°1.2 “COMPONENTES DE UN SISTEMA PICO HIDROELÉCTRICO”



Fuente: Phillip MAHER y Nigel SMITH, 2001. (pág. 02).

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

Fuente de agua. Es un arroyo, o a veces un canal de irrigación. Pequeños caudales también pueden ser derivados de los caudales grandes de los ríos. Lo importante es que la fuente de agua sea confiable en cuanto al caudal, y que el agua no sea requerida por otras personas para otros propósitos.

Cámara de Carga. El agua fluye desde la Fuente de agua hacia la cámara de carga. Está a veces se dimensiona para formar un pequeño reservorio. Un reservorio puede ser útil para almacenamiento de agua en caso que el caudal sea insuficiente en temporada seca.

Tubería Forzada. El agua fluye desde la Cámara de Carga o reservorio, cuesta abajo por una tubería larga a la cual se le llama la tubería forzada. Al final de la Tubería forzada el agua sale de una tobera, en forma de un chorro a alta presión. El sistema pico hidroeléctrico descrito es apropiado para lugares donde hay terrenos con pendientes. Se recomienda una caída de agua (desnivel) de por lo menos 20 metros.

Turbina. La potencia del chorro de agua, a la cual se le refiere como la “potencia hidráulica”, es transmitida al rodete de la turbina y el rodete transforma la potencia hidráulica en potencia mecánica.

Generador. La turbina es acoplada al generador. El propósito del generador es él de convertir la potencia mecánica giratoria de la turbina en potencia eléctrica. Así es que el agua de un arroyo puede convertirse en electricidad.

1.5.4 Evaluación del recurso Hidroenergético.

El manual escrito por DÁVILA C & Otros, (2010) asumen que:

“La capacidad de generación de energía mediante el empleo de agua está determinada por la altura o caída (energía potencial) que se pueda obtener y del caudal disponible. La altura depende a la topografía del terreno y el caudal de las características del río o arroyo que se va a utilizar.” (p. 33)

Es así que en su manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas nos describen métodos prácticos para la evaluación de la altura y del caudal los cuales serán descritos de manera rápida y se seleccionara a su vez el que convenga más en nuestro proyecto de generación. La utilización de cualquiera de estos dependerá de los materiales y equipos que se pueda llevar o encontrar en el lugar de evaluación, nivel de estudio (perfil, factibilidad), así como el tamaño del proyecto (pico, micro o minicentral hidráulica), también en algunos casos se tomará en cuenta el esquema de financiamiento del proyecto; para poder tener un presupuesto aproximado de lo que demandara su elaboración.

TABLA N°1.1 “COMPARACIÓN DE TÉCNICAS DE MEDICIÓN”

Método	Ventajas y limitaciones	Precisión	Observaciones
Manguera de nivelación	Agotador para caídas altas, rápido para pequeñas caídas	Aproximadamente 5 %	Recomendable hacerlo con dos personas
Manguera y manómetro	Rápido, seguro. Facilita medir la longitud de la tubería de presión a la vez	< 5 %	Calibrar instrumentos
Nivel de carpintero y tablas	No es apropiado para pendientes suaves y largas, lento	Aproximadamente 5 % en pendientes pronunciadas, poca precisión en pendientes suaves (10-20 %)	Usar solo para caídas pequeñas cuando no se dispone de otro método
Altímetro	Usado en caídas altas y medianas (>40 m), rápido	Propenso a grandes errores (30 %)	Calibrar instrumentos, tener destreza. Tomar 2 o 3 medidas
Eclímetro y wincha	Rápido, facilita medir la longitud de la tubería de presión a la vez	Buena, 5 %	Muy útil para terrenos despejados. Usado en todos los lugares, especialmente donde otros métodos son lentos
Nivel de ingeniero	Rápido, costo alto	Muy buena	No es adecuado en lugares donde hay muchos árboles y arbustos
Mapa	Solo para caídas altas, no se necesita viajar al lugar y tiene bajo costo	Aceptable para perfiles y prefactibilidad	Se necesita destreza para leer planos

Fuente: Dávila, C y Otros, 2010. (pág. 34).

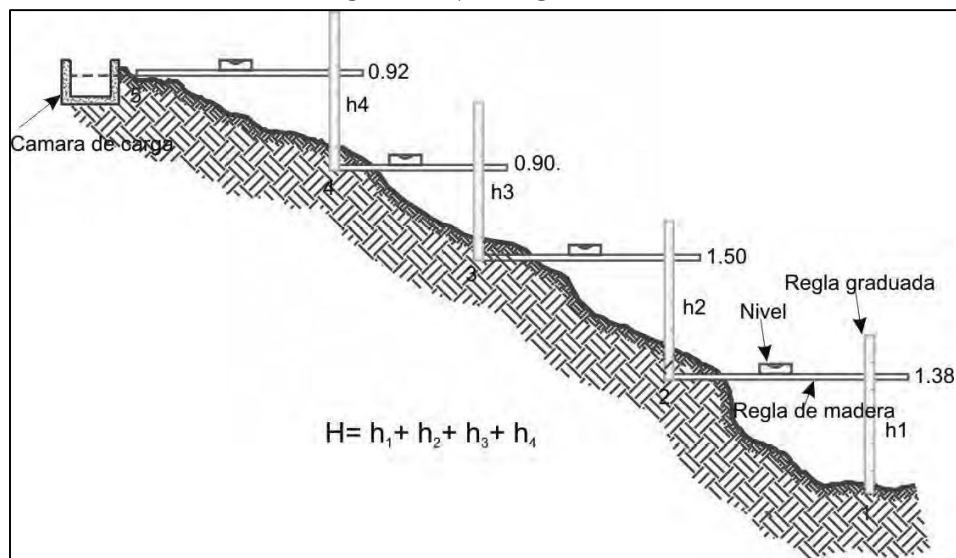
Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

1.5.4.1 Método del nivel de carpintero y reglas

En principio este método es idéntico al de la manguera de nivelación. La diferencia es que la horizontalidad es establecida no por niveles de agua, si no por un nivel de carpintero (o de burbuja), colocado en una tabla de madera recta y fija. En la Figura 1.3 muestra el principio de su funcionamiento.

En pendientes suaves este método es muy lento, pero en pendientes fuertes es apropiado especialmente si se trata de pequeñas caídas.

FIGURA N°1.3 “DETERMINACIÓN DE LA ALTURA CON NIVEL DE CARPINTERO”



Fuente: Dávila, C y Otros, 2010. (pág. 39).

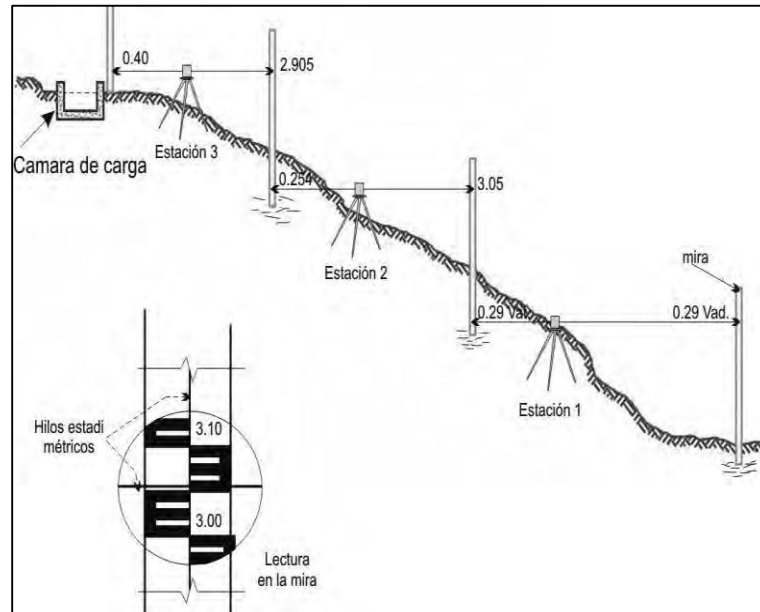
Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

1.5.4.2 Método del nivel de ingeniero

El nivel de ingeniero tiene una precisión de ± 1 mm; pero es caro y pesado y requiere operadores diestros. Por lo general los errores se producen en las largas series de cálculos que hay que efectuar. Debido a que es un método común, los

equipos que emplean se alquilan fácilmente y a precios aceptables. Con él las distancias pueden ser medidas simultáneamente, pero no es apropiado para lugares escarpados o con muchos árboles.

FIGURA N°1.4 “CÁLCULO DE LA ALTURA CON NIVEL DE INGENIERO”



Fuente: Dávila, C y Otros, 2010. (pág. 44).

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

1.6 Medición del caudal

DÁVILA C & Otros, (2010), aseveran que “Es probable que muchas veces no exista la información necesaria para hacer un estudio de hidrología, entonces nos veremos forzados a recolectar nuestros propios datos a partir de mediciones instantáneas del caudal.” (p. 44)

Es así que los autores nos presentan distintos métodos de medición de caudal en razón de que los ríos varía a lo largo del año, realizar una medida del caudal instantáneo resulta un registro aislado cuya utilidad es relativamente pequeña.

Para nuestro caso, hemos tomado en cuenta algunos métodos más prácticos para medir el caudal instantáneo en un determinado río o riachuelo. Lo ideal es hacer mediciones a diario, aunque también se usan mediciones semanales y mensuales. Es importante que estas mediciones se realicen en temporada de sequía (ausencia de lluvias), ya que es el tiempo más crítico e ideal para el diseño de un proyecto.

Los métodos de medición de caudal más utilizados son:

1.6.1 Método del área y velocidad (flotador)

Este método se basa en el principio de continuidad. Para un fluido de densidad constante fluyendo a través del área de una sección conocida, el producto del área de la sección por la velocidad media será constante:

$$\text{Área} \times V_{media} = Q = \text{constante (m}^3/\text{seg)} \quad \text{Ecu.1.3}$$

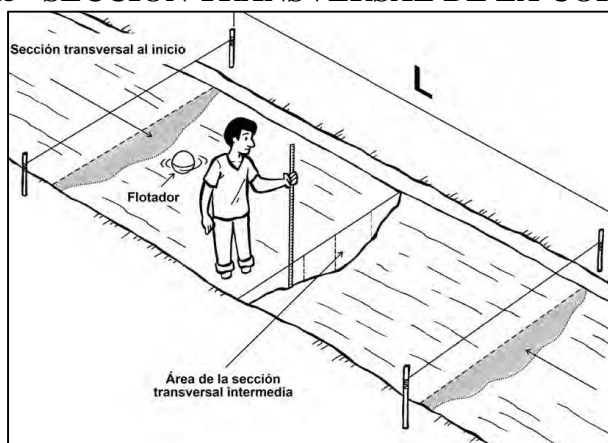
Dónde:

$$V_{media} = \text{Velocidad Promedio del agua en la corriente}$$

Este producto es igual al valor del caudal volumétrico (Q, en m³/seg)

El flotador. Se dibuja el perfil de la sección del lecho del río y se establece una sección promedio para una longitud conocida de corriente. Se utilizan una serie de flotadores (pedazos de madera, corchos, etc.) para medir el tiempo que se demoran en recorrer una longitud preestablecida en el río. Los resultados son promediados y se obtiene la velocidad superficial del flujo de agua.

FIGURA N°1.5 “SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA CORRIENTE”



Fuente: Dávila, C y Otros, 2010. (pág. 53).

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

Esta velocidad deberá ser reducida por un factor de corrección para hallar la velocidad media de la sección.

Este factor depende de la profundidad de la corriente. Multiplicando el área de la sección promedio por la velocidad del caudal promediada y corregida se obtiene el volumen de agua estimado que fluye. Las imprecisiones de este método son obvias. La fórmula para el cálculo es:

$$Q = k \times A \times V \quad \text{Ecu.1.4}$$

Dónde:

$A = \text{área promedio de sección transversal}(m^2)$

$V = \text{velocidad superficial del agua (m/seg)}$

$k = \text{factor de corrección de velocidad según la relación s/p}$

El factor k también se puede obtener de la tabla 1.2, en función a la profundidad y el tipo de material del riachuelo.

A menos que se considere un canal de pendiente suave y regular, obtener un valor preciso del área de la sección de la corriente de agua será muy complejo y tedioso, a menos que se utilicen aplicaciones matemáticas avanzadas.

La velocidad promedio obtenida no es la velocidad media de la corriente, ya que el flotador está en la superficie del agua y el factor de corrección es una aproximación; sin embargo, en circunstancias donde no es posible utilizar otro método o no se cuenta con el equipo suficiente, el método para estimar el caudal es válido.

TABLA N°1.2 “VALORES DE K SEGÚN LA RELACIÓN S/P Y MATERIAL DEL RIACHUELO”

S/p	Madera lisa o cemento	Madera áspera o ladrillo	Pared de pedruscos	Tierra
0.1	0.860	0.840	0.748	0.565
0.2	0.865	0.858	0.792	0.645
0.3	0.870	0.865	0.812	0.685
0.4	0.875	0.868	0.822	0.712
0.5	0.880	0.870	0.830	0.730
0.6	0.885	0.871	0.835	0.745
0.7	0.890	0.872	0.837	0.755
0.8	0.892	0.873	0.839	0.763
0.9	0.895	0.874	0.842	0.771

Fuente: Dávila, C y Otros, 2010. (pág. 54).

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

Dónde:

S = sección transversal (m²).

P = perímetro mojado (m).

TABLA N°1.3 “VALORES DE K SEGÚN LA PROFUNDIDAD Y EL MATERIAL DEL RIACHUELO”

Tipo de canal o río	Profundidad del agua en el centro del lecho	Factor k
Canal revestido con concreto	Mayor de 0.15 m	0.80
Canal de tierra	Mayor de 0.15 m	0.70
Río o riachuelo	Mayor de 0.15 m	0.50
Riachuelos o canales de tierra	Menor de 0.15 m	0.50 a 0.25

Fuente: Dávila, C y Otros, 2010. (pág. 54).

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

1.7 Obra Civil

Es el factor esencial en el proceso de implementación, ya que de este depende la eficiencia y el buen funcionamiento de la turbomáquina así también garantizara su marcha en los momentos de insuficiencia de agua.

El manual de diseño OLADE, (1985) dice que “Se denominan obras de toma u obras de captación a toda estructura hidráulica construida sobre el cauce de un río o canal con el fin de captar parcialmente el agua que acarrea.” (p. 01)

Así mismo guiados en el Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales consideramos los siguientes aspectos de construcción civil a tomar en cuenta.

1.7.1 Canal

El canal es un componente fundamental en obra civil, su función es conducir el agua desde la toma o afluente hasta la cámara de carga, pasando por los desarenadores y otros mecanismos que pueden construirse en el trayecto para evitar el paso de objetos que podrían dañar el sistema.

1.7.1.1 Sección y ángulo del talud del canal

El flujo del agua en un canal hecho de un material suelto, como un suelo arenoso, hará que las paredes se desmoronen hacia dentro, a menos que los lados estén inclinados ligeramente y el ancho del canal esté en relación a su profundidad. La tabla 1.4 describe algunos valores del ángulo del talud recomendado para diferentes materiales.

TABLA N°1.4 “TALUD RECOMENDADO PARA CANALES DE SECCIÓN TRAPEZOIDAL”

Material	Talud ($Z = \cot\Phi$)
Arena	3.00
Arena y greda	2.00
Greda	1.50
Greda y arcilla	1.00
Arcilla	0.58
Concreto	0.58

Fuente: Dávila, C y Otros, 2010. (pág. 62).

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

Aspectos que se deben tomar en cuenta en la selección y dimensionamiento de un canal.

1.7.1.2 Velocidad del agua (v)

Un flujo de agua excesivamente rápido erosionará las paredes de un canal, mientras que velocidades demasiado bajas permitirán el depósito de sedimento y su obstrucción.

La tabla 1.5 proporciona las velocidades recomendadas para canales de diferentes materiales.

TABLA N°1.5 “VELOCIDAD MÁXIMA RECOMENDADA”

Material	Velocidad máxima	
	Menos de 0.3 m de profundidad	Menos de 1.0 m de profundidad
Arena	0.3 m/s	0.5 m/s
Greda arenosa	0.4 m/s	0.7 m/s
Greda	0.5 m/s	0.8 m/s
Greda de arcilla	0.6 m/s	0.9 m/s
Arcilla	0.8 m/s	2.0 m/s
Mampostería	1.5 m/s	2.0 m/s
Concreto	1.5 m/s	2.0 m/s

Fuente: Dávila, C y Otros, 2010. (pág. 62).

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

1.7.1.3 Rugosidad (n)

Cuando el agua pasa por el canal, pierde energía en el proceso de deslizarse por las paredes y el fondo. Mientras más rugoso es el material del canal, hay más

pérdidas por fricción y mayor será pendiente o desnivel que se requerirá entre la entrada y la salida del canal.

TABLA N°1.6 “COEFICIENTE DE RUGOSIDAD”

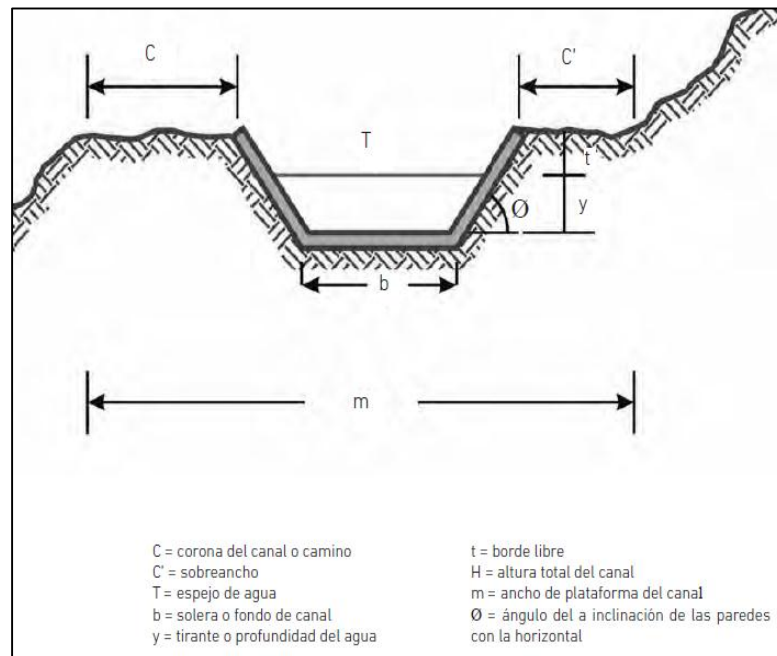
Canales de tierra	n
Arcilla	0.0130
Material sólido, suave	0.0167
Arena con algo de arcilla o roca partida	0.0200
Fondo de arena y grava, con lados empedrados	0.0213
Revestido con piedras	0.0370
Arena, grada. Grava y hierbas	0.0455
Canales en roca	n
Roca medianamente irregular	0.0370
Roca irregular	0.0455
Roca muy irregular con muchos salientes	0.0588
Mampostería de piedra con cemento	0.0200
Paredes de mampostería con base de arena y grava	0.0213
Canales de concreto	n
Buen acabado con cemento (enlucido)	0.0100
Acabado con yeso o concreto suave con alto contenido de cemento	0.0118
Concreto no enlucido	0.0149
Superficies de concreto irregular	0.0200

Fuente: Dávila, C y Otros, 2010. (pág. 64).

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

1.7.1.4 Elementos de un canal.

FIGURA N°1.6 “ELEMENTOS DE UN CANAL”



Fuente: Dávila, C y Otros, 2010. (pág. 65).

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

Los términos utilizados son:

Camino o corona del canal (C): lugar por donde se desplaza la gente para efectuar las faenas de limpieza del canal. Se recomienda 0.60m.

Sobre ancho (C’): constituido por el espacio cercano al talud del canal es decir la cornisa de la ladera, cumple la función de evitar que rocas y deslizamientos caigan directamente al canal.

Espejo de agua (T): esta es la longitud superficial del agua, llamado también base mayor del canal.

Solera del canal (b): llamada también fondo o base del canal, es uno de los elementos importantes en el diseño de las dimensiones

Tirante de agua (y): altura del canal desde el fondo (b) hasta el espejo de agua (T). Al igual que la base o fondo, se constituye en otro elemento importante para el diseño

Borde libre: Su objetivo es evitar que el canal rebose cuando ingrese mayor cantidad de agua que la proyectada, ya que ello podría producir daños en la ladera del cerro sobre la que ha sido construido.

Altura del canal (H): está dado por la suma del tirante (y) y el borde libre (t)

Ángulo de inclinación (Φ): es el ángulo que las paredes del canal hacen con la horizontal, se presenta en los canales trapezoidales, es importante señalar que el ángulo de 60° representa para un canal trapezoidal la sección de máxima eficiencia hidráulica.

Perímetro mojado (P): longitud en que la sección transversal moja el fondo y paredes del canal.

$$P = P1 + P2 + P3 [\text{metros}] \quad \text{Ecu.1.5}$$

Radio hidráulico ($R = A/P$): es una cantidad que describe la eficiencia del canal. El perfil más eficiente es un semicírculo. La sección trapezoidal es la mejor aproximación práctica a este.

1.7.2 Diseño de un canal.

El diseño del canal consiste en determinar sus dimensiones hidráulicas y geométricas. Para ello nos apoyamos en la fórmula de Maning, donde la velocidad (V) está en función del radio hidráulico (R), pendiente (S) y rugosidad (n) del material de construcción:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} \sqrt{S} \quad \text{Ecu.1.6}$$

$$Q = V \times A \quad \text{Ecu.1.7}$$

Dónde:

V = velocidad (m/s)

N = coeficiente de rugosidad

A = área de la sección transversal

P = perímetro mojado (contacto del agua con el fondo y las paredes)

S = pendiente del fondo del canal

Adicionalmente, es necesario conocer algunas tablas (1.7 y 1.8) que nos facilitarán el cálculo de las dimensiones y otras características del canal.

TABLA N°1.7 “VELOCIDADES MÍNIMAS RECOMENDADAS PARA EVITAR SEDIMENTACIÓN”

Calidad del agua	Velocidad mínima
Con sedimentos finos	0.3 m/s
Con arena	0.5 m/s

Fuente: Dávila, C y Otros, 2010. (pág. 67).

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

TABLA N°1.8 “CARACTERÍSTICAS DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES”

Tipo de sección transversal	Perímetro mojado (P)	Área transversal (A)
Rectangular	$b + 2y$	$b \cdot y$
Trapezoidal	$b + 2y$	$y(b + yz)$
Triangular	$2y$	y^2z

Fuente: Dávila, C y Otros, 2010. (pág. 67).

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

Dónde: $Z = \cot\Phi$.

En el manual de Evaluación de la demanda de Recursos Hídricos el DÁVILA C & Otros, (2010), propone los siguientes parámetros para encontrar las dimensiones del canal que a continuación los enunciaremos:

- Definir la pendiente (S) del canal, para microcentrales hidráulicas recomendamos pendientes no mayores a 2 o 3 por mil, para el caso del tubo-canal, las pendientes más adecuadas son 5 o 6 por mil, este valor también podrá ser visualizado en la Tabla 1.6. en nuestro caso la condiciones geológicas nos dan el dato de 0.0200 Arena con algo de arcilla o roca partida.
- Hallamos el Talud $Z =$ que para concreto su coeficiente es de 0.58.
- Damos valores a b en nuestro caso la misma longitud usada para el cálculo del caudal.
- Con estos primeros valores calculamos la sección (A), el perímetro (P) y el radio hidráulico (R), ayudados de las siguientes fórmulas:

Ecuación de Sección:

$$A = y (b + yz) \quad \text{Ecu.1.8.}$$

Ecuación de Perímetro:

$$P = b + 2y \sqrt{1 + z^2} \quad \text{Ecu.1.9.}$$

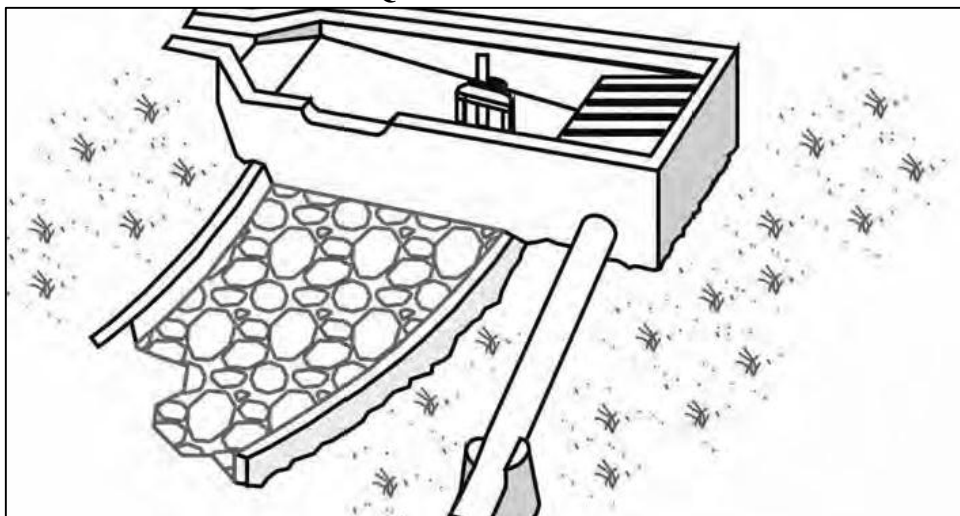
Ecuación del Radio Hidráulico:

$$R = \frac{A}{P} \quad \text{Ecu.1.10.}$$

1.7.3 Desarenadores

El agua captada del río a través de la toma y conducida por el canal transporta pequeñas o grandes partículas de materia sólida en suspensión compuesta de materiales abrasivos (arena, rocas, ramas, sedimentos), que ocasionan el rápido desgaste de los álabes de la turbina y también el material de la tubería de presión por efecto de la fricción. Para eliminar este material se usan los desarenadores. En ellos la velocidad del agua es reducida con el objeto de que las partículas de arena o piedras se asienten en el fondo, de donde podrán ser removidas oportunamente.

FIGURA N°1.7 “ESQUEMA DE UN DESARENADOR”



Fuente: Dávila, C y Otros, 2010. (pág. 79).

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

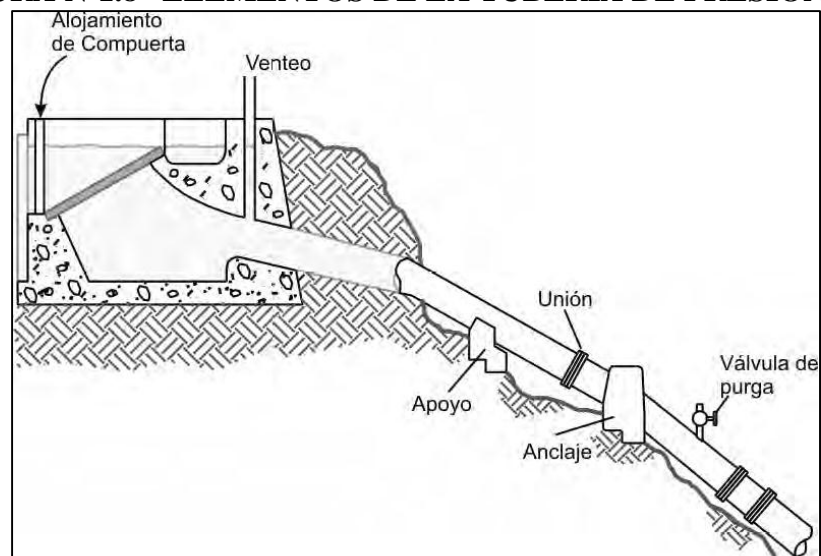
Los desarenadores deben:

- Tener una longitud y un ancho adecuados para que los sedimentos se depositen sin ser demasiados costosos.
- Deben permitir una fácil eliminación de los depósitos.
- La eliminación de sedimentos a través de la compuerta debe hacerse cuidadosamente para evitar la erosión del suelo que rodea y soporta la base de la tubería y del depósito.

1.7.4 Tubería de presión.

Las tuberías de presión son las encargadas de transportar el agua a presión hasta la turbina. 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. Los principales componentes de una tubería de presión se muestran en la figura 1.8.

FIGURA N°1.8 “ELEMENTOS DE LA TUBERÍA DE PRESIÓN”



Fuente: Dávila, C y Otros, 2010. (pág. 102).

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo

Debido a que el costo de esta tubería puede representar gran parte del presupuesto de toda la microcentral, es prioritario optimizar su diseño para reducir no solo los costos de mantenimiento sino también la inversión inicial.

Las tuberías forzadas pueden instalarse sobre o bajo el terreno, según sea la naturaleza de este, el material utilizado para la tubería, la temperatura ambiental y las exigencias medioambientales del entorno.

1.7.4.1 Materiales de Tubería.

1.7.4.1.1 Polietileno

El polietileno de baja y media densidad (HDP y MDPE) se viene utilizando desde hace tiempo en aprovechamientos con baja altura de salto. En los últimos años ha hecho su aparición en el mercado el polietileno de altas prestaciones (HPPE), que puede utilizarse en saltos de hasta 160 m de altura. Las tuberías de polietileno son relativamente pesadas pero muy robustas.

1.7.4.1.2 Cloruro de polivinilo (PVC)

La tubería de PVC es muy competitiva en alturas medias de salto (una tubería de 40 cm de diámetro puede utilizarse en saltos de hasta 200 metros) en las que, con frecuencia, resulta más barata que la de acero, es más fácil de manejar en obra y no requiere ninguna protección contra la corrosión, además puede sumergirse, pero una de sus desventajas es su sensibilidad a los golpes.

En la tabla 1.9 se detallan algunas de las propiedades mecánicas de la tubería.

TABLA N°1.9 “MATERIALES UTILIZADOS EN TUBERÍAS FORZADAS”

Material	Módulo de Young	Coefficiente de expansión	Carga de tracción	n
	(N/m ²)·10 ⁹	(mm/°C)·10 ⁶	(N/m ²)·10 ⁶	
Acero soldado	206	12	400	0.012
Polietileno PE	0.55	140	5	0.009
PVC	2.75	54	13	0.009
Fundición	78.5	10	140	0.014
Hierro dúctil	16.7	11	340	0.015
Metal corrugado	206	-	400	0.024

Fuente: Dávila, C y Otros, 2010. (pág. 107).

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

1.7.5 Diseño hidráulico.

Velocidad promedio (velocidad media). En muchos problemas de flujo de fluidos, en vez de determinar velocidades exactas en posiciones diferentes en el mismo corte transversal de flujo, es suficiente con permitir que una velocidad media represente la velocidad de todo el fluido en ese punto en el tubo. Esto es bastante simple para el flujo turbulento, ya que el perfil de velocidades es plano sobre la mayoría del corte transversal de tubo.

Caudal volumétrico. El caudal volumétrico (Q) de un sistema es una medida del volumen de fluido que pasa un punto del sistema por tiempo de unidad. El caudal volumétrico puede ser calculado como el producto del área transversal (A) al flujo y la velocidad media del flujo (v).

Viscosidad. Propiedad de un fluido que tiende a oponerse a su flujo cuando se le aplica una fuerza. Los fluidos de alta viscosidad presentan una cierta resistencia a fluir; los fluidos de baja viscosidad fluyen con facilidad.

Número de Reynolds. El régimen de flujo (laminar o turbulento) es determinado evaluando el número de Reynolds del flujo. El número de Reynolds, resultado de estudios hechos por Osborn Reynolds, es un número adimensional que combina las características físicas del flujo. La ecuación presentada a continuación se utiliza para calcular el número de Reynolds para un flujo fluido.

$$Re = \frac{\rho \times v \times D}{\mu} = \frac{v \times D}{\nu} \quad \text{Ecu.1.11}$$

Dónde:

Re = número de Reynolds

v = velocidad media (m/s)

D = diámetro de tubo (m)

μ = viscosidad absoluta del fluido (kgf – seg/m²)

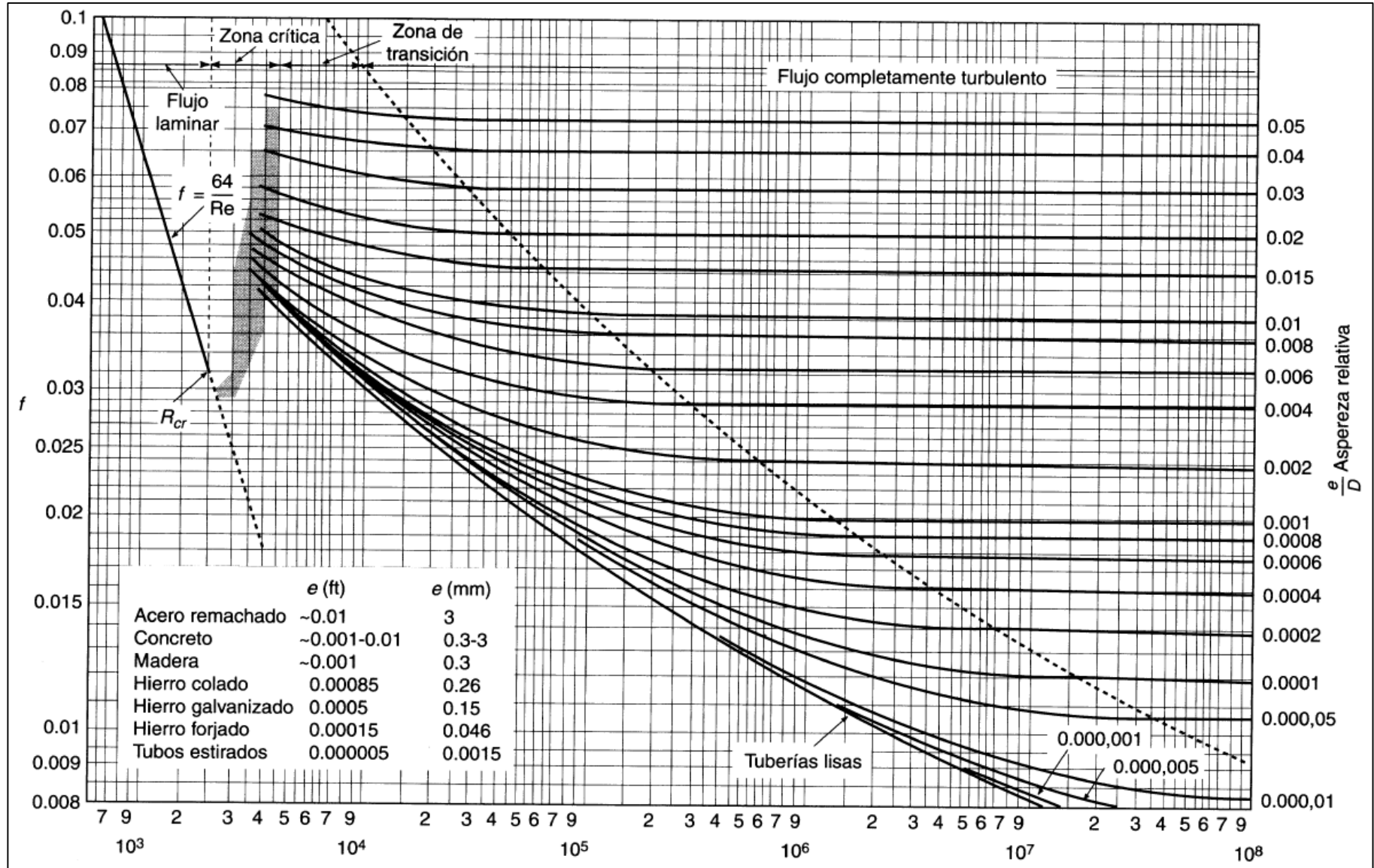
ρ = densidad de masas fluida (kg/m³)

ν = viscosidad cinemática del fluido (m²/s)

Para objetivos prácticos, si el número de Reynolds es menor a 2 000, el flujo es laminar. Si es mayor a 3 500, el flujo es turbulento. Los flujos con número de Reynolds entre 2 000 y 3 500 corresponden a flujos de transición.

Los números de Reynolds se pueden determinar fácilmente usando un diagrama de Moody como como se lo representa a continuación en el gráfico N° 1.2.

GRÁFICO N°1.2 “DIAGRAMA DE MOODY”



Fuente: Dávila, C y Otros, 2010. (pág. 112).

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

A partir de ensayos realizados con tubos comerciales, Moody a través de su diagrama halló algunos de los valores típicos de rugosidad, los cuales se representan a continuación, Tabla N° 1.10.

TABLA N°1.10 “ALTURA DE RUGOSIDAD (E) PARA DIVERSOS TUBOS COMERCIALES”

Clase de tubo	e(mm)
Tubería de polietileno	0.003
Tubería de fibra de vidrio con resina epoxi	0.003
Tubería de acero estirado sin costura	0.025
Tubería de acero soldado	0.6
Tubería de hierro fundido con barniz centrifugado	0.12
Tubería de duelas de madera	0.3
Tubería de hormigón colado in situ/encofrado metálico	0.36
Tubería de hormigón prefabricado	0.3 - 3.0

Fuente: Fuente: Manual OLADE, 1982. (pág. 31).

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo

1.8 Equipo Electromecánico

1.8.1 Turbinas

SÁNCHEZ Teodoro & Otros, (1995) enuncian que las Turbinas:

“Son máquinas rotativas que aprovechan las variaciones de la energía cinética que el fluido experimenta al pasar por la máquina; una turbina hidráulica viene a ser una turbomáquina hidráulica, en la cual el trabajo mecánico proviene de la variación de la cantidad de movimientos del agua al fluir a través de un sistema de álabes rotativos. En este sistema, denominado rodete, puede ocurrir una simple desviación del flujo de agua, en otros casos, una desviación u aceleración de flujo.”
(p. 125)

Simplificadamente los autores definen a una turbina como una maquina encargada de transformar la energía hidráulica apropiada por un fluido en energía mecánica.

1.8.2 Clasificación de las turbinas hidráulicas

DÁVILA C & Otros, (2010) señalan que:

La clasificación más difundida de las turbinas hidráulicas es según el salto y el caudal relativo de trabajo a la que están sometidas estas máquinas: turbinas hidráulicas de grandes caídas y pequeños caudales (en este grupo solo entran las turbinas de acción); turbinas de medianas caídas y medianos caudales (en este grupo hay turbinas de acción pero también de reacción); y turbinas de pequeñas caídas y grandes caudales (en este grupo están las turbinas de reacción).” (p. 143-145)

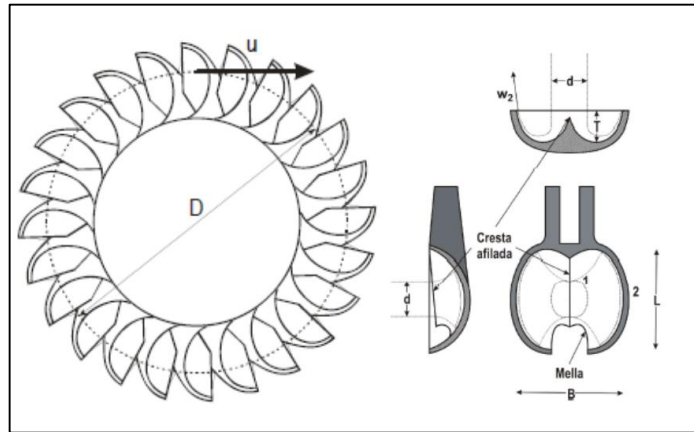
1.8.3 Turbinas de grandes caídas y pequeños caudales

Los dos modelos más conocidos dentro de este grupo de turbinas son la turbina tipo Pelton y la tipo Turgo.

1.8.3.1 Turbinas Pelton

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

FIGURA N°1.9 “TURBINA PELTON”



Fuente: Pilar GONZÁLEZ ,2009. (pág. 04).
Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo

La turbina Pelton es una máquina de diseño y construcción robusta, de alta confiabilidad y permite altas eficiencias. A diferencia de la mayoría de los demás modelos, se caracteriza también por su alta eficiencia cuando trabaja a caudales parciales.

1.8.4 Turbinas para centrales de medianas alturas y medianos caudales.

La turbina más conocida para este campo es la turbina Francis. A diferencia de las turbinas Pelton, su velocidad de giro es enteramente dependiente de la altura neta.

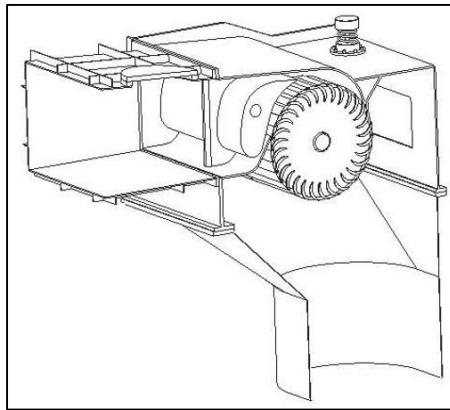
1.8.4.1 Turbinas Francis.

En el caso de la turbina Francis, hay una variedad de diseños que permiten una cierta relatividad en su comportamiento. Es decir, para una altura y caudal determinado se pueden obtener diferentes velocidades de giro de la máquina dependiendo del diseño de los álabes, esto ocurre por tratarse de una máquina a reacción.

1.8.4.2 Turbinas de flujo transversal Michell Banki.

La más conocida es la denominada Michell-Banki, en honor a su inventor (Michell) y un estudioso que mejoró el diseño (Banki), es una máquina de acción que gira por el impacto del chorro de agua sobre sus álabes, a diferencia de las turbinas Pelton y Turgo, esta tiene un inyector del tipo rectangular de mayor área sus álabes están contruidos de modo tal que todo el chorro impacte en el álabe; la rueda o turbina tiene la forma de un tambor formado por un conjunto de álabes soldados en dos discos paralelos. Con esta máquina se pueden obtener velocidades superiores que con una Pelton o Turgo, operando a la misma altura. Por lo general, una turbina Michell-Banki reemplaza a una Francis, con la diferencia de que es mucho más simple en su construcción. Son, sin embargo, máquinas menos eficientes y también de menor duración.

FIGURA N°1.10 “TURBINA MICHELL BANKI”



Fuente: Lloyd WENSLEY, 2014 Equipos Hidroeléctrica
Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo

La turbina consta de dos elementos principales: un inyector y un rotor. El rotor está compuesto por dos discos paralelos a los que van unidos los álabes curvados. El inyector posee una sección transversal rectangular que va unida a la tubería por una transición rectangular-circular. El inyector dirige el agua hacia el rotor a través de una sección que toma una determinada cantidad de álabes y que guía el

agua para que entre al rotor con un ángulo determinado, obteniendo el mayor aprovechamiento de la energía. Es importante mencionar que las turbinas de este tipo han sido utilizadas frecuentemente en microcentrales hidroeléctricas, especialmente por los costos y sus facilidades de fabricación.

1.8.5 Centrales de caídas bajas y caudales grandes.

Normalmente este tipo de centrales son utilizadas cuando los gradientes de los ríos son bajos o en aquellas zonas cuyo relieve geográfico es menos accidentado.

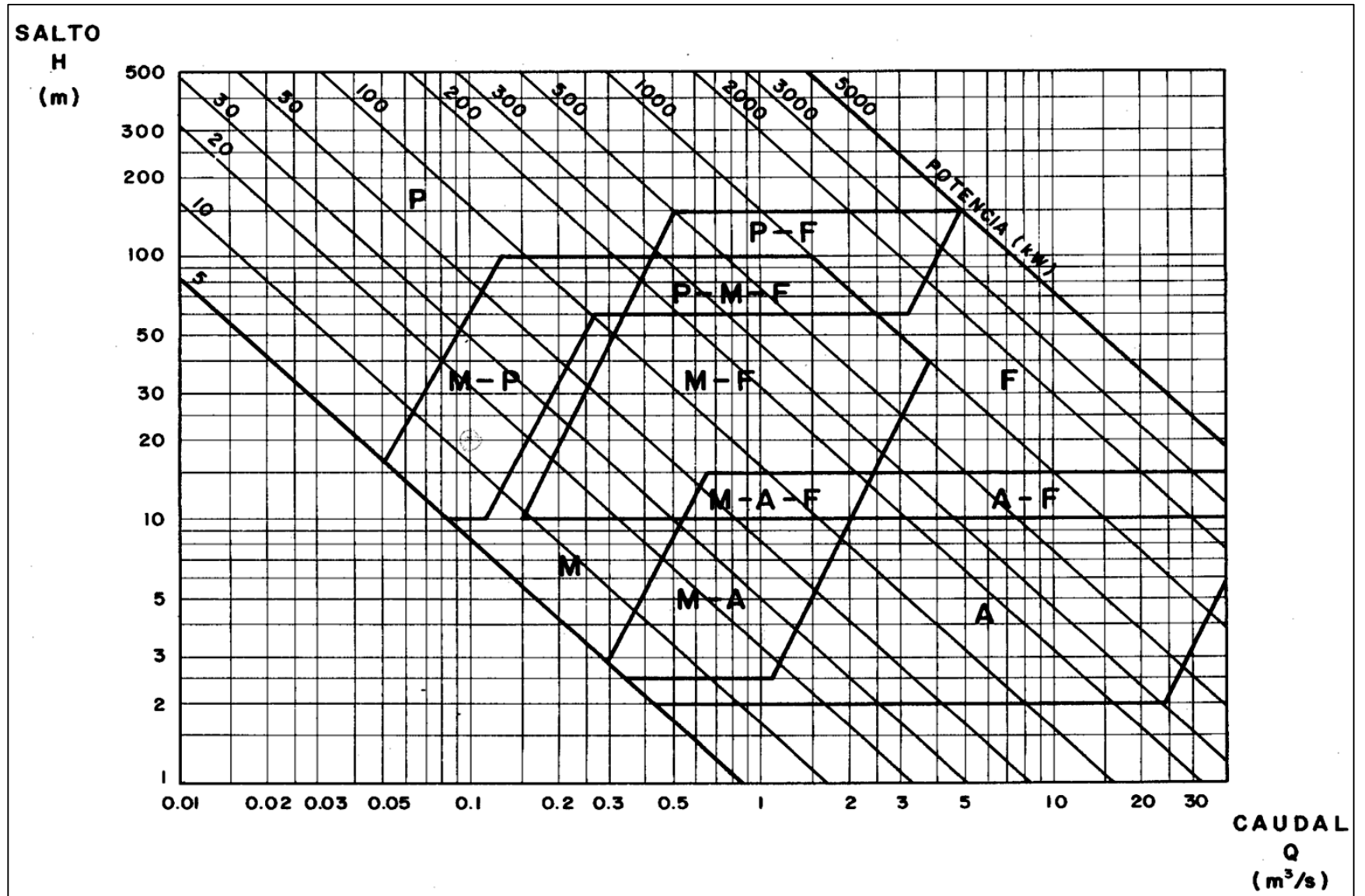
1.8.5.1 Turbinas Kaplan y hélice

Las turbinas del tipo hélice y Kaplan son similares hélices de barco, con la diferencia de que, utilizadas en una turbina, necesitan la fuerza del agua para girar y producir energía, mientras que en los barcos sucede lo contrario. Estas turbinas se diseñan y fabrican utilizando los mismos principios y conceptos, la diferencia entre ambas es que las turbinas Kaplan tienen álabes ajustables o regulables que mientras que la Turbina Hélice no se presta a regulaciones.

1.8.6 Selección mediante gráficos de altura y caudal

Para una selección de manera rápida se utiliza un diagrama, especialmente cuando se trata de mini, micro y pico centrales hidroeléctricas. Como se puede observar, se ha graficado la correspondencia de caudal y altura para los diferentes tipos de turbinas utilizando relaciones logarítmicas de altura y caudal.

GRÁFICO N°1.3 "SECCIÓN DE TURBINAS"



Fuente: OLADE, 1982. (pág. 40).

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo

En el eje de las abscisas se encuentra el caudal en metros cúbicos por segundo y en el de las ordenadas la altura (o salto) en metros. Conocidos estos dos parámetros para una situación cualquiera, se puede seleccionar el tipo de turbina que le corresponde.

Cada tipo de turbina tiene un área de trabajo donde se comportará adecuadamente desde el punto de vista de eficiencia, pero también considerando la versatilidad e ingeniería de costos.

En nuestro caso y bajo parámetros de selección, tomando datos que están establecidos en el Capítulo tres de este tema de tesis tenemos como Dato un caudal medido de aproximadamente $0.1 \text{ m}^3/\text{seg}$, y una caída o accidente geográfica de 12.3 m de altura, para lo cual si nos basamos en el diagrama de sección de turbinas la más óptima para nuestra implementación sería la Turbina Michell Banki ya que guiándonos en el marco teórico se dice que es la más óptima y con mayor prestación en sistemas de Pico Hidrogeneración.

1.9 Turbina Banki.

Según el OLADE, (1982) cita que, “La turbina Michell Banki es una de las turbinas que presta mejores perspectivas de utilización en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, por su simplicidad de diseño y fabricación.” (p. 09).

Así también el Manual nos proporciona de una serie de Fórmulas, teoremas, principios y recomendaciones de construcción y diseño entre los cuales tenemos:

1.9.1 Número óptimo de Revoluciones:

$$N = \frac{39.85 H^{1/2}}{De} \quad \text{Ecu.1.12.}$$

Dónde:

N, número de revoluciones óptimas en rpm

De, es el diámetro exterior del rodete, en m

H, Salto neto aprovechable, en m

1.9.2 Diagrama de Velocidad.

$$\frac{Po}{\gamma} + \frac{Co^2}{2g} + Zo = \frac{Pi}{\gamma} + \frac{Ci^2}{2g} + Zi + \Delta H_t + \Delta H_i \quad \text{Ecu.1.13.}$$

Dónde:

Co y *Ci*, son la velocidad del agua en el reservorio y en la salida del inyector.

Po y *Pi*, son las presiones en reservorio y en la salida del inyector.

Zo y *Zi*, niveles topográficos, en el reservorio y la posición del inyector (salto bruto).

γ y *g*, son el peso específico del agua y la aceleración de la gravedad.

ΔH_t , pérdida de presión por la fricción del agua con la tubería de presión.

ΔH_i , pérdida de presión por fricción del agua con las paredes del inyector.

1.9.3 Geometría del Inyector

$$B = \frac{0.96 Q}{De \sqrt{H}} \quad \text{Ecu.1.14.}$$

Q, caudal máximo que fluirá por la turbina, en m³/seg.

De, diámetro exterior del rodete, expresado en metros.

H, altura bruta en metros.

1.9.4 Geometría del Rodete.

$$\frac{Di}{De} = \sqrt{\frac{(2 Ku \cos^2 \alpha_2 - 1) + (1 - 4 \cos^2 \alpha_2 (1 - Ku) Ku)}{2 Ku^2 \cos^2 \alpha_2}} \quad \text{Ecu.1.15.}$$

De forma práctica el módulo de estandarización nos propone un diámetro nominal de rodete:

TABLA N°1.11 “DIAMETROS DE RODETES Y SUS DIAMETROS INTERNOS”

Diámetro Externo mm	Diámetro Interno mm
300	38
400	50
500	63
600	76

Fuente: Manual OLADE, 1982. (pág. 31).

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo

1.9.5 Radio de Curvatura de los álabes.

$$r = \frac{De}{4 \cos \beta'_2} \left| 1 - \left| \frac{Di}{De} \right|^2 \right| \quad \text{Ecu.1.16.}$$

Guiándonos en teoremas y formulas conocemos que:

$$r = 0.163 x De \quad \text{Ecu.1.17.}$$

1.10 Transmisión de Potencia.

VILLANUEVA Juan, (2011) dice que:

“Se denomina transmisión de potencia mecánica a un mecanismo encargado de transmitir potencia entre dos o más elementos dentro de una máquina. Son parte fundamental de los elementos u órganos de una máquina, muchas veces clasificados como uno de los dos subgrupos fundamentales de estos elementos de transmisión y elementos de sujeción.” (p. 84)

Los elementos de transmisión de potencia son de constitución elástica como bandas, cuerdas, catalinas y otros elementos similares se emplean en los sistemas de transporte y para transmitir potencia a distancias comparativamente largas.

BUDYNAS G. Richard, (2008) señala que “La mayoría de los elementos flexibles no tienen vida infinita; cuando se emplean, es importante establecer un programa de inspección para protegerlos contra desgaste, envejecimiento y pérdida de elasticidad. Los elementos se deben reemplazar a la primera señal de deterioro.” (p. 860)

1.10.1 Bandas

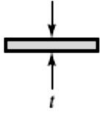

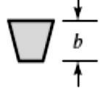
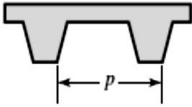
Hay cuatro tipos principales de bandas se muestran, con algunas de sus características, en el gráfico 1.4. Las poleas abombadas se emplean para bandas planas y las poleas ranuradas o acanaladas, para bandas redondas y en V. Las bandas de sincronización requieren ruedas dentadas o catarinas.

En todos los casos, para que su operación resulte adecuada, los ejes de las poleas deben estar separados por una cierta distancia mínima, que depende del tipo y tamaño de la banda. Otras características de las bandas son:

- Se pueden emplear para distancias grandes entre centros.
- Excepto en el caso de las bandas de sincronización, existe un cierto deslizamiento y fluencia; por lo tanto, la relación de la velocidad angular entre los ejes impulsor e impulsado no es constante ni exactamente igual a la relación de los diámetros de las poleas.
- En algunos casos se requiere de una polea guía o tensora para evitar ajustes en la distancia entre centros, que por lo general se necesitan debido al envejecimiento o a la instalación de bandas nuevas.

En el gráfico 1.4 se ilustra la geometría abierta y cruzada de transmisiones de banda plana.

GRÁFICO N°1.4 “TIPOS COMUNES DE BANDAS. SECCIONES TRANSVERSALES.”

Tipo de banda	Figura	Unión	Intervalo de tamaños	Distancia entre centros
Plana		Sí	$t = \begin{cases} 0.03 \text{ a } 0.20 \text{ pulg} \\ 0.75 \text{ a } 5 \text{ mm} \end{cases}$	No hay límite superior
Redonda		Sí	$d = \frac{1}{8} \text{ a } \frac{3}{4} \text{ pulg}$	No hay límite superior
Tipo V		Ninguna	$b = \begin{cases} 0.31 \text{ a } 0.91 \text{ pulg} \\ 8 \text{ a } 19 \text{ mm} \end{cases}$	Limitada
De sincronización		Ninguna	$p = 2 \text{ mm y mayor}$	Limitada

Fuente: Richard G. BUDYNAS, 2008 (pág. 860).

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

1.10.2 Relación de Transmisiones Banda Conductor y Conducida

Es la relación entre las velocidades de la rueda impulsora y la rueda conducida, relación identificada con la letra “n”.

Grupo Electrónico (Generador).

$$n = \frac{\Phi_2}{\Phi_1} \quad \text{Ecu.1.18.}$$

Dónde:

$\Phi_2 =$ Polea Conducida [mm]

$\Phi_1 =$ Polea Conductor [mm]

1.10.3 Elección de Poleas

Para una elección eficiente de poleas se necesita contar con diferentes datos tales como:

- Potencia a transmitir
- Relación de transmisión
- Condiciones de servicio
- Estrictiones en el espacio

Una vez elegido estos parámetros, debemos reemplazar los datos en la siguiente igualdad.

$$\omega_1 \times \Phi_1 = \omega_2 \times \Phi_2 \quad \text{Ecu.1.19.}$$

Dónde:

$\phi_1 \phi_2 =$ *Diametros conocidos de Polea*

$\omega_1 \omega_2 =$ *Velocidad Angular rpm*

Los valores se podrán obtener de datos de turbina tales como la velocidad o diámetros de la polea conducida o conductora y del grupo electrógeno tales como el generador, donde se especificaran el número óptimo de revoluciones como también la capacidad de potencia que puede generar.

1.10.4 Longitud de Bandas

Se la obtiene de la siguiente manera:

$$L = \frac{2C + \pi(D + d)}{2} + \frac{(D - d)^2}{4C} \quad \text{Ecu.1.20.}$$

Dónde:

$C =$ *Distancia entre centros. [mm]*

$D =$ *Diámetro de paso de la polea conductora. [mm]*

$d =$ *Diámetro de paso de la polea conducida. [mm]*

La distancia entre puntos “C” se establece de acuerdo a las restricciones de espacio en la constitución del equipo motriz y conducido, en caso de que no hayan restricciones se puede tomar la expresión:

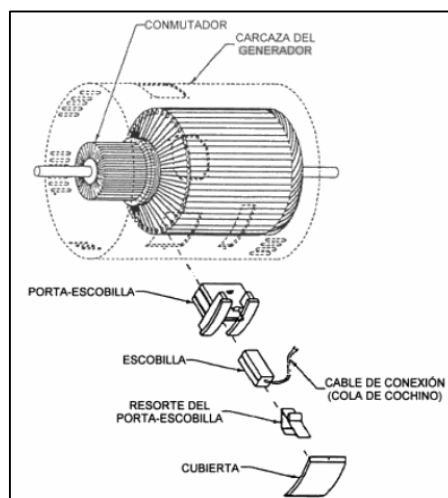
$$C = \frac{(D + 3d)}{2} \text{ y } C, D \quad \text{Ecu.1.21.}$$

1.11 Generador Eléctrico

Asevera ARRILLAGA GARMENDIA, Jesús, (1994) que: “Los generadores cambian la energía mecánica en energía eléctrica en tanto que los motores cambian la energía eléctrica en mecánica, los generadores y motores eléctrico son parecidos ambos dependen de los principios electromagnéticos para su operación”. (p. 01).

El primer principio se llama acción del generador y se conoce y también como inducción, el voltaje también se puede inducir en un conductor que se encuentra dentro de un campo magnético esto sucede cuando el flujo magnético se corta por el conductor este principio toma energía mecánica para producir movimiento, este produce la electricidad por ser generada. El segundo principio se llama la Acción del motor, este es simplemente las fuerzas mecánicas entre imanes. Cuando dos imanes se aproximan uno a otro, uno es atraído o repelido con respecto al otro de cualquier manera, la energía eléctrica creas algunos de los campos magnéticos, entonces, las fuerzas entre dos campos magnéticos producen el movimiento.

FIGURA N°1.11 “GENERADOR ELÉCTRICO”



Fuente: Gilberto ENRÍQUEZ, 2002.

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

1.11.1 Generador de Sincronismo.

ÁLVAREZ, (2009) anuncia que “El generador sincrónico trifásico o alternador es la máquina que se utiliza en las centrales eléctricas (Turboalternador) o bien como sistema autónomo de generación (Grupo electrógeno).” (p. 01)

Es una máquina compuesta por dos partes:

- Una fija o estator, constituido por un paquete de chapas magnéticas conformando un cilindro con una serie de ranuras longitudinales, sobre las cuales están colocados conductores, conectados entre sí, de forma tal de crear un conjunto de bobinas.
- Una parte móvil o rotor, ubicada dentro del estator y que consiste en un electroimán alimentado por corriente continua.

El giro del rotor se produce mediante una máquina impulsora (Motor diésel, turbina de vapor, de gas, hidráulica, eólica), que mantiene una velocidad angular constante.

1.11.2 Velocidad de Sincronismo.

Se la mide en Rpm, Revoluciones por minuto, permanece invariable y origina corriente alterna, existen frecuencias sincrónicas normalizadas las cuales son, 50 y 60Hz (según cual indique su tabla de características); así también son proporcionales al número de polos que tiene el alternador. Para definir la velocidad de una máquina sincrónica tenemos la siguiente fórmula:

$$rpm = \frac{120 \times f}{p}$$

Ecu.1.22.

Dónde:

f = Frecuencia.

p = Número de Polos.

Así también existe una tabla donde los factores ya están dados y normalizados:

TABLA N°1.12 “VELOCIDADES NORMALIZADAS DE GENERADORES SINCRONOS”

Frecuencia	Polos	Velocidad de Sincronismo
50	2	3000
	4	1500
	6	1000
	8	750
	10	600
60	2	3600
	4	1800
	6	1200
	8	900
	10	720

Fuente: Federico, C y Otros. (pág. 197).

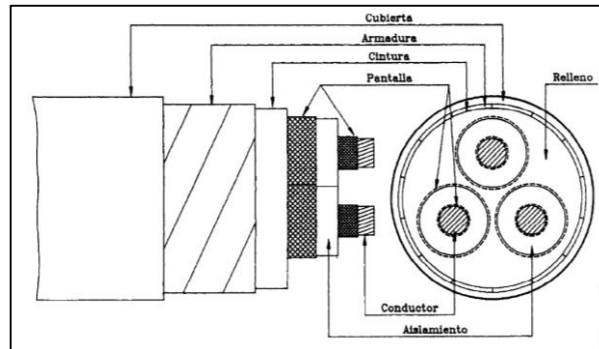
Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

1.12. Líneas de Transmisión en Baja Tensión.

Los Autores CASTEJÓN. O. & SANTAMARÍA. G, (1993), dicen que: “Para transportar energía eléctrica necesitamos un elemento conductor; el elemento conductor más empleado es el cable aislado o desnudo.” (p. 422)

Cada cable tiene diversos componentes, cada uno con una misión específica, un cable no tiene por qué tener todos los componentes indicados en la FIGURA 1.12, aunque el conductor y el aislante que lo recubre son imprescindibles para hablar de un cable eléctrico aislado.

FIGURA N°1.12 “COMPONENTES DE UN CABLE ELÉCTRICO AISLADO”



Fuente: CASTEJÓN. O. & SANTAMARÍA. G, 1993. (p.443)

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

Enunciaremos algunos de los elementos según el libro de Tecnología eléctrica proporcionada por los Autores, CASTEJÓN. O. & SANTAMARÍA. G, (1993), en su Capítulo 26, denominado Cables Eléctricos. Calculo de secciones de conductores. (p.422).

Conductor: Es un elemento metálico que cumple la función de conducir la corriente. Normalmente es de cobre recocido o aluminio. Puede ser de un hilo, o un conjunto de hilos que si son suficientemente finos, dan lugar a un conductor flexible. La resistividad de los diversos materiales conductores que se emplean en la industria se indica en la FIGURA 1.13, respectivamente:

Aislamiento: Es una envuelta aislante aplicada sobre el conductor. Se fabrican con materiales plásticos o con derivados del caucho.

Cable: Es el conjunto formado por una o varias almas reunidas junto con el material de relleno, la cintura y la cubierta. Los cables con alma son unipolares, bipolares, tripolares, etc

FIGURA N°1.13 “RESISTIVIDAD (ρ), COEFICIENTE DE TEMPERATURA (α)”, PUNTO DE FUSIÓN (°C) Y DENSIDAD (δ) DE DIVERSOS MATERIALES Y ALEACIONES”

	Material	Composición	Resistividad ρ a 20 °C (2 mm ² /m)	Coefficiente de temp. α	Punto de fusión aprox. (°C)	Densidad (kg/dm ³)
Metales	Plata recocida		0,0146	0,0038	960	10,5
	Plata martillada		0,0159	0,0038	960	10,5
	Cobre electrolítico		0,01754	0,00393	1,083	8,97
	Cobre recocido patrón		0,0195	0,00393	1,083	8,97
	Cobre recocido industrial		0,0207	0,00393	1,083	8,97
	Oro recocido		0,0233	0,0034	1,063	19,3
	Oro martillado		0,0236	0,0034	1,063	19,3
	Aluminio puro		0,0261	0,00446	660	2,7
	Aluminio recocido		0,028	0,00446	660	2,7
	Molibdeno		0,0557	0,0033	2,625	10,2
	Cinc		0,057	0,0007	419,4	7,15
	Tungsteno		0,06	0,0045	3,410 ± 20	19,3
	Hierro fundido		0,098	0,0050	1,535	7,86
	Hierro puro		0,13	0,0050	1,535	7,86
	Hierro galvanizado duro		0,196	0,0050	1,535	7,86
	Hierro galvanizado extraduro		0,205	0,0050	1,535	7,86
	Niquel		0,11	0,0048	1,455	8,9
	Platino		0,12	0,0037	1,769	21,45
	Estano		0,13	0,0037	232	7,29
	Plomo		0,205	0,0039	327,4	11,342
	Antimonio		0,36	0,0039	630,5	6,618
	Mercurio		0,95	0,0007	-38,87	13,6

Fuente: CASTEJÓN. O. & SANTAMARÍA. G, 1993. (p.529)

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

1.12.1 Calentamiento y caída de Tensión.

CASTEJÓN. O. & SANTAMARÍA. G, (1993), señalan que: “La sección de conductor necesario para una línea eléctrica viene determinada por las limitaciones de calentamiento y caída de tensión que se pueden dar en dicho conductor.” (p.425)

Por tanto si queremos limitar la potencia perdida (cuando limitamos la potencia perdida, lo que realmente tratamos de evitar es un calentamiento excesivo del conductor) y la caída de tensión en un conductor, tendremos que disminuir su resistencia, puesto que el otro factor que aparece en las dos expresiones obtenidas, que es la intensidad, depende del receptor y, por lo tanto, una vez fijado no se puede cambiar. Para disminuir la resistencia la única posibilidad que tenemos es aumentar la sección S del conductor puesto que la longitud l depende de la distancia entre el receptor y la fuente de energía eléctrica, y la resistividad

específica será la del cobre o la del aluminio, que son los metales más empleados como conductores en el mercado para instalaciones eléctricas.

Por todos estos motivos, el cálculo de la sección de un conductor es necesario para limitar el calentamiento y la caída de tensión en el mismo, el texto fórmula una serie de ecuaciones dentro de la cual emplearemos la siguiente:

$$S = \frac{200 \times \rho \times l \times P}{u\% \times U^2} \quad \text{Ecu.1.23.}$$

Dónde:

S = Sección del Cable (en mm^2)

ρ = Resistividad del conductor empleado ($\Omega \times \text{mm}^2/\text{m}$)

l = Longitud en (m)

P = Potencia del Receptor.

u = Caída de tensión máxima permitida (%)

U =Tensión del Receptor.

1.12 Implementación.

1.12.1 Localización del proyecto.

El sistema pico generador eléctrico, será instalada en el sector de Sarapullo en la Finca “Praderas del Toachi”, del Cantón Sigchos de la Provincia de Cotopaxi. El bosque pertenece a la zona de vida Bosque húmedo Montañoso. El sistema hídrico más representativo se constituye por los ríos Toachi y Pilaton que nacen en los costados de la cordillera occidental. Estos ríos presentan una gran riqueza

pesquera; además el ecosistema mantiene recursos forestales, silvestres, faunísticos y escénicos únicos en el país, que le otorga un enorme potencial ecológico y de variedad de hábitat, rico en biodiversidad, y que debe ser cuidado. Este bosque húmedo primario es uno de los pocos que quedan sobre nuestras cordilleras.

FIGURA N°1.14 “MAPA Y COORDENADAS DE LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO”



Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

El sector de Sarpullo se encuentra ubicado a unas distancias desde Latacunga a Aloag 60 km, de Aloag a la Unión 72km y desde la Unión hasta Sarpullo es de 15 km esta última distancia la vía de acceso es de tercer orden pudiendo llegar en un tiempo estimado de una hora en vehículo.

Límites de la finca praderas del Toachi:

Norte: Quebrada del Rio Toachi

Sur: Escuela Arsenio Hidalgo Cepeda

Este: Hacienda Chorros

Oeste: Hacienda Sarapullo.

1.12.2 Situación Actual

En este bosque existen especies arbóreas como el olivo, cedro, eucalipto, canelo, sangre de drago, tangaré, guarumo, arrayán, yagual, colca, balsa, pambil. En los troncos de los árboles encontramos una diversidad de orquídeas y epifitas que complementan la riqueza del bosque. Su Fauna es el hogar de ardillas, serpientes tipo X, Loros piquirrojos, guantas, gallo de la peña y además los ríos; Toachi y Pilaton tiene gran riqueza pesquera. Además en este bosque albergan 450 especies de aves, entre las que constan varias especies amenazadas. La extensión del Bosque al que pertenece el emplazamiento donde se realizara el proyecto generador se denomina Toachi-Pilaton es de 14.900 hectáreas; la Finca “Praderas del Toachi” tiene una extensión aproximada de 5 hectáreas.

FIGURA N°1.15 “LOCALIZACIÓN DEL EMPLAZAMIENTO DE IMPLEMENTACIÓN”



Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

El estrato arbóreo llega a una altura de 20 metros; su clima es templado, su temperatura oscila entre los 12 a 20 grados centígrados; los habitantes que serán beneficiarios se dedican a la agricultura, ganadería y pesca teniendo entre su medio de producción la panela y la crianza de ganado vacuno.

Los habitantes no cuentan con servicio de energía eléctrica ya que su geografía y su absceso es limitado, la falta de proyectos de electrificación y el alto costo de abastecer líneas de transmisión han hecho imposible tener este recurso; lo cual no permite el desarrollo de los habitantes que aquí residen; para lo cual aprovecharemos el cauce de un arroyo que cuenta con un caudal de 100 lts/seg que nos da un valor de $0.1\text{m}^3/\text{seg}$ con una caída aprovechable de 12.3 metros y de acuerdo a la tabla de selección de turbina que nos proporciona el manual de OLADE, estimamos una potencia de generación de 4kW respectivamente.

1.12.3 Estimación de la Demanda Energética.

DÁVILA C & Otros, (2010) afirman que:

“El análisis de la demanda es un aspecto importante para el diseño o estudio de una micro o minicentral hidroeléctrica. Sus resultados deben aportar el consumo actual de la población a la que se desea suministrar energía, y con estos, proyectar la demanda durante un periodo de tiempo según necesidad.” (p. 19)

Por ser un análisis en zonas rurales de difícil absceso, donde las poblaciones se encuentran alejadas de los grandes servicios interconectados y muchas veces aún sin servicio eléctrico (como es nuestro caso), se debe hacer un análisis personalizado buscando los mejores métodos y herramientas ya que tienen sus propias características de densidad, crecimiento poblacional, infraestructura,

servicios existentes, recursos naturales y potenciales de producción. El trabajo se realiza en dos etapas. La primera etapa, en el gabinete, incluye la preparación de materiales y herramientas para el estudio de campo. La segunda etapa es de trabajo de campo.

FIGURA N°1.16 “ESTIMACIÓN DEL RECURSO HIDRÍCO”



Fuente: Los Autores
Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

1.12.4 Información básica.

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

- Población
- Tasa de crecimiento
- Número de viviendas o usuarios
- Capacidad instalada.

Población. Con este dato estimaremos una potencia requerida, la Finca “Praderas del Toachi” cuentan con alrededor de 10 habitantes habituales y al menos 8 habitantes ocasionales.

Tasa de Crecimiento. El crecimiento por habitante se estima que será de uno cada 5 años así que tenemos una tasa de crecimiento del 0.9% cada 5 años.

Número de viviendas o Usuarios. El número de viviendas son tres que van a tomar la red de un solo punto que al mismo tiempo abastecerá a todos los habitantes de la zona, así que se podría decir que el número de usuarios sería de 10 personas respectivamente.

Capacidad Instalada. Para este punto haremos un cuadro de estimación de energía, asumiendo que no todas las demandas se producen simultáneamente y es claro que de acuerdo al grado de pobreza o desarrollo, el consumo domiciliario variará durante la noche.

TABLA N°1.13 “CONSUMO ELÉCTRICO DE EQUIPOS DOMÉSTICOS MÁS UTILIZADOS”

Tipo Residencial	Potencia (W)
Refrigerador	375
Televisor	180
Radiograbadora	60
Equipo de sonido	100
Licuadaora	200
Ventilador	100
Máquina de coser	100
Plancha	1 000-1 500
Radio, teléfono	100
Cocina eléctrica (por boquilla)	1 000-1 500

Fuente: DÁVILA C & Otros, (2010). (pág. 23).

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

Conociendo estos datos ahora estimaremos el periodo de uso y la frecuencia con que las personas accionan estos elementos para lo cual efectuaremos la siguiente tabla:

TABLA N°1.14 “DEMANDA ENERGÉTICA”

Demanda										
Utilidad Residencial	Potencia (W)	N°	Horario de uso en Horas							
			0-5	5-7	7-11	11-13	13-17	17-19	19-21	21-24
Iluminación	20	7	- 700W							
Conservación de Alimentos	250	1		- 1750						
Recreación y Comodidades	40	2	- 400							
Otros Usos	100	2		- 1400						
Total Potencia por Horas.	410W	12	1100W	3150W						
Total requerido por Día.	4250W redondeando 4300W, 4.3kW									

Fuente: DÁVILA C & Otros, (2010). (pág. 27).
 Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

$$Potencia\ Por\ horas = P \times N^{\circ}\ de\ componentes \times N^{\circ}\ de\ horas\ usadas [W] \quad Ecu.1.24.$$

$$P_{horas} = 20 \times 7 \times 5 = 700W$$

$$Potencia\ Por\ Día = \sum\ de\ Potencias\ en\ horas [W] \quad Ecu.1.25.$$

$$P_{Diaria} 1100 + 3150 = 4250W; 4.3kW$$

A partir de este cuadro y este cálculo se ha percibido la demanda requerida por los habitantes, ahora se procederá a proyectar las características del generador que se necesitara.

Características del proyecto. Conociendo los datos que se han tomado en las visitas técnicas realizadas tenemos que la altura bruta utilizable es de 12.3 metros y el caudal tiene 1000 lts/seg, dados que nos adelantamos al sistema tenemos un

generador cuya eficiencia es del 80% la transmisión de potencia será con poleas la cual por textos se dice que tiene una eficiencia máxima del 95% de igual forma se conoce que la línea será rendida alrededor de unos 80 metros con una eficiencia del 85% así mismo la obra civil se estima que tendrá un 80% de eficiencia.

Para lo cual el Autor HARVEY Adam, (1995) expone que:

Un hidrosistema requiere de un caudal de agua y una diferencia de altura (conocida como salto) para producir potencia útil. Se trata de un sistema de conversión de energía en la forma de caudal y salto y se entrega energía en forma de electricidad o energía mecánica en el eje. Ningún sistema de conversión puede entregar la misma cantidad de energía útil como la que absorbe.” (p. 04).

Para lo cual el autor expone las siguientes ecuaciones:

$$P_{disp} = \rho \times Q \times g \times h_{disp} \quad \text{Ecu.1.26.}$$

Tenemos como datos:

$$\rho = 999,97 \text{ kg/m}^3 \text{ Factor de densidad del Agua}$$

$$Q = 0.1 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$g = 9.8 \text{ m/seg}^2. \text{ Aceleración de la Gravedad}$$

$$h_{neta.} = 12.3\text{m.}$$

Desarrollando la fórmula del autor tenemos que la Potencia que disponemos es:

$$P_w = 999.97 \text{ kg/m}^3 \times 0.1 \text{ m}^3/\text{seg} \times 9.8 \text{ m/seg}^2 \times 12.3\text{m}$$

$$P_w = 12,053\text{W}; 12\text{kW}$$

Dado que el autor dice que nuestra potencia disponible se somete a pérdidas nos extiende otra ecuación que desarrollando tenemos

$$P_{necesaria} = E_{obra\ civil} \times E_{transmisión\ de\ potencia} \times E_{turbina} \times E_{generador} \times E_{línea} \times P.$$

$$P_{necesaria} = E_{Eficiencias} \times P \quad \text{Ecu.1.27.}$$

Desarrollamos la ecuación teniendo como resultado:

$$P_{necesaria} = 0.80 \times 0.95 \times 0.85 \times 0.80 \times 0.80 \times P$$

$$P_{necesaria} = 0.41 \times P \quad (12kW)$$

$$P_{util} = 5 \text{ kW}$$

Tenemos como resultado con pérdidas y con los datos obtenidos una capacidad de generación de 5kW, aproximadamente para lo que será necesario buscar un generador que preste estas condiciones o uno similar, ya que en el estudio de demanda se requiere para satisfacer las necesidades de los usuarios 4.3kW, y por lo menos este valor se debería sobredimensionar al 25% para evitar cualquier eventualidad defectuosa o imperfecto en el sistema.

1.12.5 Características del Generador.

TABLA N°1.15 “ESPECIFICACIONES DEL GENERADOR”

Revoluciones (Rpm)	Potencia (kW)	Marca	Eficiencia	Número de Polos	Número de Fases
3600	4.5	Honda	80%	2	única

Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

CAPITULO II

2. Análisis e Interpretación de Resultados.

2.1 Introducción.

El análisis e interpretación de resultados se orientó en el proceso de las encuestas dirigidas a la población total de Finca “Praderas del Toachi”, se utilizó preguntas cerradas de forma clara y entendible, las respuestas obtenidas de la indagación se tabularon para obtener un análisis con su respectivo comentario.

Los resultados obtenidos producto de las encuestas fueron la fuente sobre la cual se fomentó las necesidades energéticas y su estimación. Una vez ejecutada la recolección de datos se procedió a realizar el tratamiento correspondiente para el análisis e interpretación de los resultados, ya que la información que se obtuvo fue la encargada de indicar las conclusiones y recomendaciones.

Así también se muestra la hipótesis general, la cual se valida por las encuestas realizadas a 10 personas que son nativas de este sector, dando al término la aceptación de la hipótesis de trabajo.

2.2 Metodología Aplicada.

La metodología básica aplicada es primordialmente la observación, bibliográfica, documental y experimental.

Los niveles de investigación son el método inductivo basado en la metodología Hipotética, Deductiva.

El concepto Metodológico permitió esclarecer cómo se procedió para alcanzar los objetivos planteados para el Diseño y Construcción de un Pico Generador Hidroeléctrico, el cual a continuación se detalla tanto la metodología como las técnicas empleadas para el proceso de la investigación:

En nuestro trabajo de tesis hemos visto eficaz emplear el Método Inductivo ya que en este caso se intenta alcanzar el conocimiento a partir de la generalización de los datos particulares obtenidos en material bibliográfico y en conjunto de experiencias empíricas.

Es decir que a partir de conocimientos particulares puedo inducir conocimientos particulares, que podrán ser aplicados a una población mayor.

Examinando las condiciones en las que habitan los moradores de la Finca se identificó la aplicación del estudio exploratorio, cuya investigación determinó la aplicación de la falta de un suministro energético, describiendo las actividades que

no se pueden llevar a cabo y como esto afecta en el desarrollo social de las personas que residen en este sector rural.

Esto nos encamina a realizar un plan donde podamos solventar las necesidades de las personas brindándoles energía renovable autosustentable, y así vinculándonos de manera directa con la sociedad y el pueblo.

2.3 Método de Investigación

Los instrumentos que se utilizaron fue la encuesta; figuran de un cuestionario con preguntas cerradas, básicas y entendibles ya que nos dirigimos a personas que no han forjado su nivel académico y los investigadores es recursivo usar preguntas idóneas para conseguir la información precisa y obtener el resultado deseado, este cuestionario va dirigido al personal como son los habitantes habituales de la Finca, que como indica el Capítulo I están constituido por 10 personas los cuales forman el universo de la investigación ya que estos serán los beneficiarios directos del proyecto Generador.

2.4 Población y Aplicación de Encuestas.

Dado que la encuesta es un procedimiento Investigativo, que se encuentra dentro de los diseños de investigación descriptivos en el que los tesisas busca recopilar datos por medio de un cuestionario previamente diseñado, sin modificar el entorno ni el fenómeno donde se recoge la información.

El análisis y los resultados se obtendrán realizando un conjunto de preguntas dirigidas a una muestra representativa o grupo de los habitantes en este caso los beneficiarios directos del proyecto que estimamos que son 10 personas los cuales conforman todo nuestro objeto investigativo, a los cuales se les dará un cuestionario y así sacaremos una estadística de estudio, con el fin de conocer su opinión, las características del problema y necesidades a las que están sometidos.

Los tesisistas debemos seleccionar las preguntas más convenientes, tomando en cuenta que la población mucha de las veces tiene un alto índice de analfabetismo y no pueden entender un vocabulario complejo, más bien sencillo y directo.

Las respuestas serán de manera cerrada, estas pretenden que los encuestados deben elegir para responder una de las opciones que se presentan en un listado que formularon los investigadores con dos posibilidades (SI) y (NO). Esta manera de encuestar da como resultado respuestas más fáciles de cuantificar y de carácter uniforme.

A continuación se ha formulado una serie de preguntas cerradas y directas que van dirigidas a los beneficiarios directos que en este caso son 10 habitantes tal como lo señala el CAPITULO I.

1. ¿Usted cuenta con Energía Eléctrica?

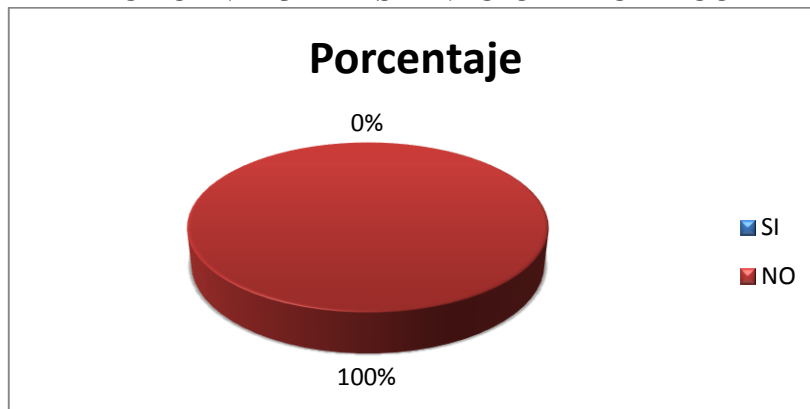
TABLA N°2.1
“SERVICIO DE ENERGÍA ELECTRICA”

PREGUNTA	FRECUENCIA	PORCENTAJE %
SI	0	0
NO	10	100
TOTAL	10	100

Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

GRÁFICO N°2.1
“PORCENTAJE DE SERVICIO ELÉCTRICO”



Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

Análisis e Interpretación de Resultados.

El 100% de los habitantes de la Finca, afirman que no cuentan con un suministro de energía eléctrica. Este resultado indica que los moradores del sector no tienen ningún acceso al servicio básico de electricidad, lo cual perjudica al desarrollo socioeconómico de los habitantes.

2. ¿Las actividades que usted las realiza a diario en la Finca requiere del servicio eléctrico?

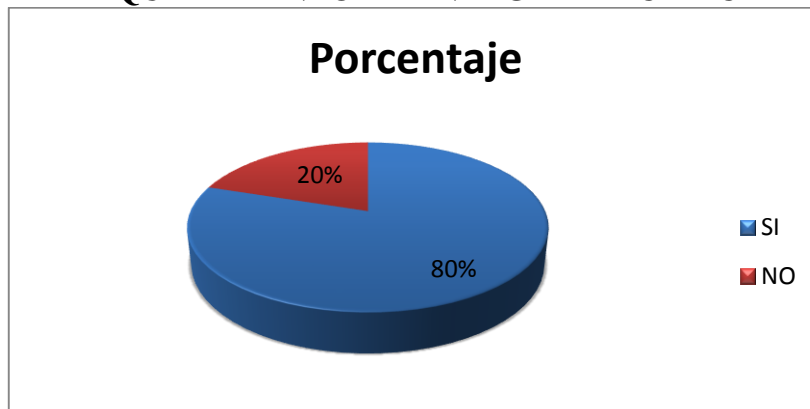
TABLA N°2.2
“REQUERIMIENTO DE ENERGÍA ELECTRICA”

PREGUNTA	FRECUENCIA	PORCENTAJE %
SI	8	80
NO	2	20
TOTAL	10	100

Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

GRÁFICO N°2.2
“REQUERIMIENTO DE ENERGÍA ELECTRICA”



Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

Análisis e Interpretación de Resultados.

Del 100% de los habitantes, el 80% dice que la energía eléctrica es necesaria para realizar las actividades cotidianas y encaminar su desarrollo, mientras que un 20% dicen que no es necesario el contar con este servicio básico. El mayor porcentaje afirma que si es necesario contar con un suministro eléctrico, mientras que la minoría tiene una opinión negativa de este servicio.

3. ¿La Finca cuenta con algún tipo de generador eléctrico renovable?

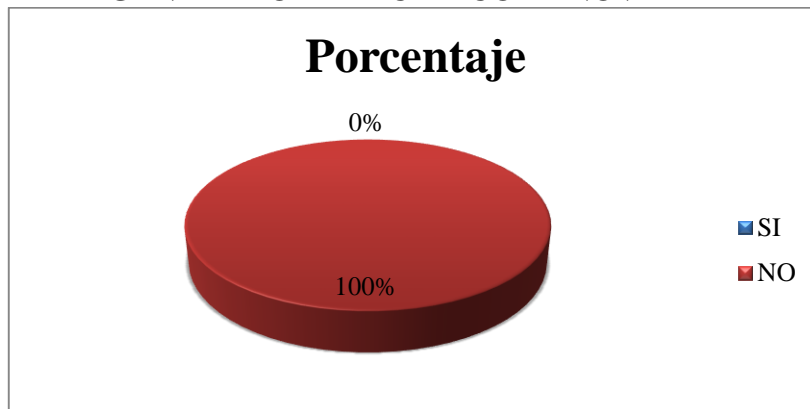
TABLA N°2.3
“GENERADOR ELÉCTRICO RENOVABLE”

PREGUNTA	FRECUENCIA	PORCENTAJE %
SI	0	0
NO	10	100
TOTAL	10	100

Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

GRÁFICO N°2.3
“GENERADOR ELÉCTRICO RENOVABLE”



Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

Análisis e Interpretación de Resultados.

El 100% de los Habitantes aducen que no cuentan con un sistema eléctrico renovable, algunos de ellos; la mayoría asumen el no saber que es un sistema autosustentable de generación, aunque mencionan estar de acuerdo que este sea implementado ya que no se afectara su medio ambiente ni contaminara su entorno natural.

4. ¿Usted considera factible el aprovechar la energía del agua para generar electricidad?

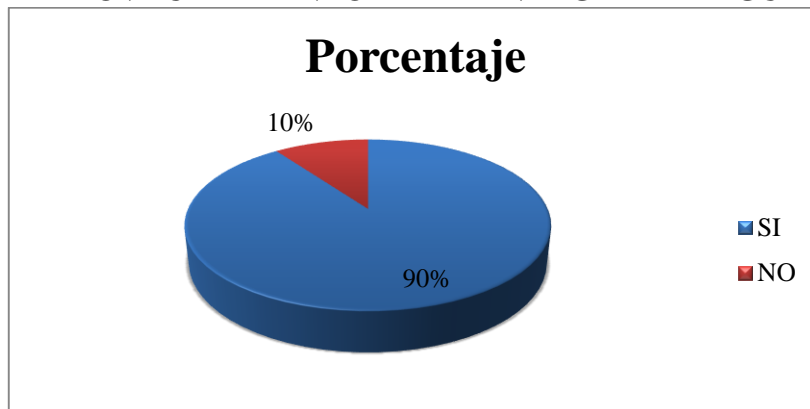
TABLA N°2.4
“APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA DEL AGUA”

PREGUNTA	FRECUENCIA	PORCENTAJE %
SI	9	90
NO	1	10
TOTAL	10	100

Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

GRÁFICO N°2.4
“APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA DEL AGUA”



Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

Análisis e Interpretación de Resultados.

Del 100% de los Habitantes, el 90% afirma que la idea de extraer electricidad por medio del paso de agua es novedoso y viable, ya que así se aprovecharía el paso del río y se generaría energía sin necesidad de usar ningún combustible, aunque el 10% lo desaprueba ya que dice desconocer o afirma que no es posible realizarlo.

5. ¿Está de acuerdo en hacer una obra de captación de agua que minimice al máximo el impacto ambiental para poder aprovechar el cauce del río?

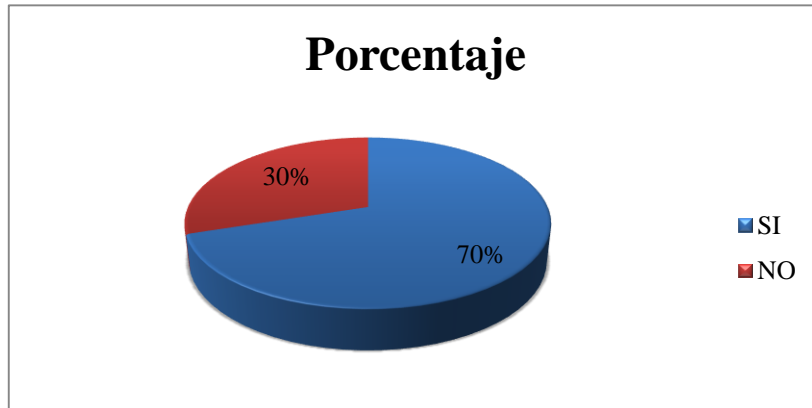
TABLA N°2.5
“OBRA DE CAPTACIÓN DE AGUA”

PREGUNTA	FRECUENCIA	PORCENTAJE %
SI	7	70
NO	3	30
TOTAL	10	100

Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

GRÁFICO N°2.5
“OBRA DE CAPTACIÓN DE AGUA”



Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

Análisis e Interpretación de Resultados.

Del 100% de los Habitantes encuestados, el 70% está de acuerdo con que la captación de agua provocara un impacto mínimo ambiental, es decir que su entorno no se verá afectado de manera significativa por el proyecto, al contrario el 30% de los residentes alega que la obra de captación de agua podría provocar algún impacto desfavorable para su entorno natural.

6. ¿Está de acuerdo con implementar un sistema de generación eléctrica a base de combustión?

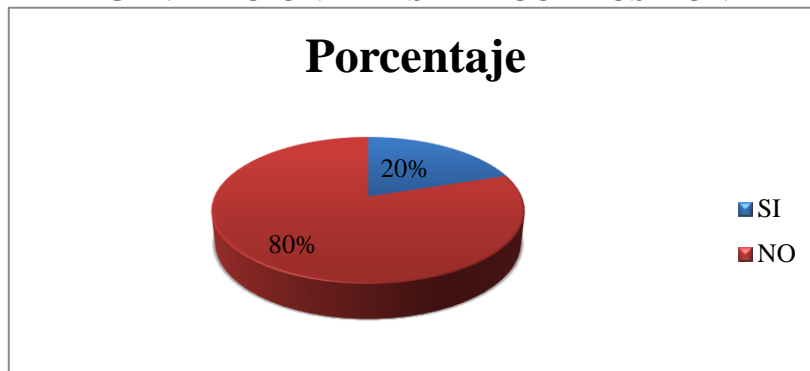
TABLA N°2.6
“GENERACIÓN A BASE DE COMBUSTIÓN”

PREGUNTA	FRECUENCIA	PORCENTAJE %
SI	2	20
NO	8	80
TOTAL	10	100

Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

GRÁFICO N°2.6
“GENERACIÓN A BASE DE COMBUSTIÓN”



Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

Análisis e Interpretación de Resultados.

Del 100% de los Habitantes encuestados, el 20% está de acuerdo con que el sistema de combustión mediante la quema de combustibles fósiles podría solventar su déficit energético y se encuentran de acuerdo de implementarlo en su emplazamiento, mientras el 80% de los encuestados afirman el estar en desacuerdo de colocar este sistema ya que les parece perjudicial para el entorno y se convierte en un gasto constante de combustible.

7. ¿Estaría de acuerdo con disponer de una máquina hidroeléctrica que solo necesite el agua para generar electricidad de alta eficiencia?

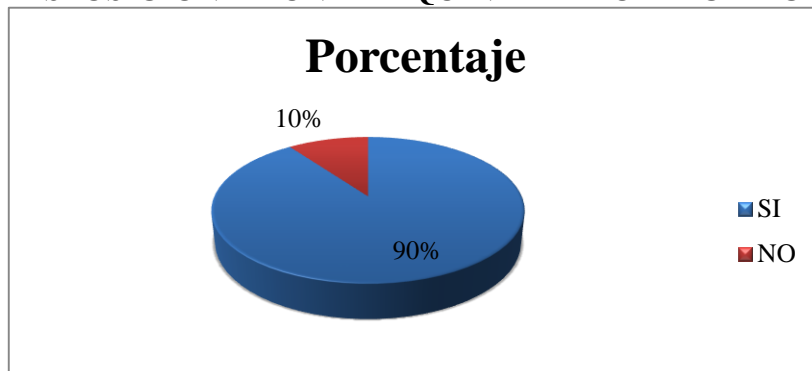
TABLA N°2.7
“DISPOSICIÓN DE UNA MÁQUINA HIDROELÉCTRICA”

PREGUNTA	FRECUENCIA	PORCENTAJE %
SI	9	90
NO	1	10
TOTAL	10	100

Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

GRÁFICO N°2.7
“DISPOSICIÓN DE UNA MÁQUINA HIDROELÉCTRICA”



Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

Análisis e Interpretación de Resultados.

El 100% de los Habitantes encuestados afirman los siguientes datos; el 10% está en desacuerdo de tener una maquina hidroeléctrica ya que asumen que su costo de mantenimiento será alto y su durabilidad será baja así como su operacionalidad; mientras que el 90% dice que el tener una máquina de estas características sería muy factible y beneficiaria en gran manera a la población al tener por medio de esta energía de gran calidad así como eficiencia suficiente para satisfacer sus necesidades.

8. ¿Usted cree que los estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi pueden llevar a cabo este tipo de proyectos de manera eficaz?

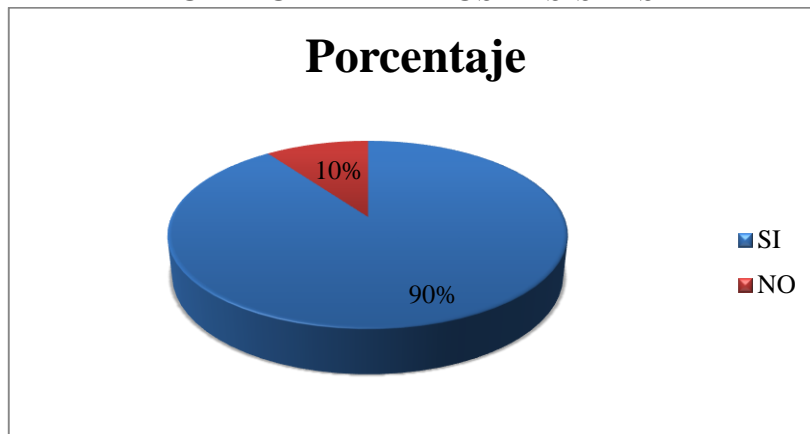
TABLA N°2.8
“CAPACIDAD DE LOS TESISISTAS”

PREGUNTA	FRECUENCIA	PORCENTAJE %
SI	9	90
NO	1	10
TOTAL	10	100

Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

GRÁFICO N°2.8
“CAPACIDAD DE LOS TESISISTAS”



Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

Análisis e Interpretación de Resultados.

Del 100% de los encuestados, el 10% dice que los estudiantes no cuentan con las aptitudes y conocimientos necesarios para hacer este tipo de proyectos, mientras que el 90% asumen que los tesisistas se encuentran en plena aptitud y sus conocimientos son válidos y necesarios como para poder llevar a cabo este proyecto generador que integre a toda la comunidad y la vincule con un bien común, el tener energía eléctrica.

2.5 Conclusiones.

Luego de haber analizado e interpretado los resultados, se ha expuesto las siguientes conclusiones:

- La Finca “Praderas del Toachi” ubicada en la ciudad de Sigchos, carece de un Sistema de Eléctrico, que pueda solventar y satisfacer con las necesidades de los habitantes.
- La Finca carece de un sistema renovable de generación que solvante los requerimientos energéticos de los pobladores para poder emprender actividades que ayuden a su desarrollo económico.
- La Finca aprueba el tener un sistema generador a base de agua que sea autosustentable al no contaminar ni destruir el entorno en el que se encuentra minimizando el impacto medio ambiental.

2.6 Recomendaciones

Las siguientes recomendaciones apoyan al trabajo investigado para conocer las necesidades prioritarias de la Empresa y sus posibles soluciones.

- Diseñar un Sistema de Generación Renovable en la Finca “Praderas del Toachi” como medida de protección, uso y conservación de los recursos naturales y medio ambientales.

- Proyectar una estructura de obra civil que minimice la desfragmentación del río haciendo un planeamiento óptimo para tener un caudal constante a lo largo del año.
- Elaborar la construcción mecánica de forma que soporte cargas considerables de agua y así mismo efectos tales como la cavitación y la corrosión, para que el equipo cumpla con su tiempo estimado de funcionamiento.

CAPÍTULO III

3. Diseño y Aplicación de la Propuesta.

3.1 Introducción.

En este capítulo se desarrolla el Diseño Construcción e Implementación de un pico Generador Eléctrico en la Finca “Praderas del Toachi”, el proyecto investigativo realizado a la finca refleja la necesidad de un sistema que garantice la satisfacción energética de las personas que habitan en dicha Finca.

El presente capítulo tiene como propósito principal presentar una metodología de selección y cálculo para el diseño hidráulico, mecánico y eléctrico de las partes principales de un pico sistema generador por turbina Michell Banki, así como también de los diversos elementos que componen esta máquina. Para lo cual se parte de los principios fundamentales de las turbinas hidráulicas, estudios anteriormente realizados específicamente sobre turbinas Banki, investigación proporcionada por fabricantes o diseñadores de estas máquinas, así como también, de conocimientos de resistencia de materiales, diseño de elementos de máquinas, materiales de construcción mecánica, construcción de obra civil selección de elementos electrógenos, instalación de redes eléctricas, entre otros.

3.2 Justificación.

Su factibilidad se enmarca en que el proyecto es en beneficio de la electrificación rural con aspectos como: la lejanía y poca accesibilidad de sus localidades, el consumo unitario reducido, poblaciones y viviendas dispersas, bajo poder adquisitivo de los habitantes por todo ello el implementar el pico generador se hace indispensable y factible a su vez.

Los pico generadores hidroeléctricos instalados para electrificación rural, tienen como propósito principal el concentrar la igualdad de los derechos ciudadanos, en particular el de acceso al servicio básico de electricidad a la vivienda o emplazamiento, resolviendo así las enormes brechas existentes en infraestructura entre las zonas urbanas y las áreas rurales, incorporando a sus beneficiarios al consumo y al desarrollo, logrando así su inclusión social con la finalidad de reducir la pobreza, y brindando una mejor calidad de vida a los habitantes de la finca; así también haciendo énfasis en la vinculación de la universidad con los sectores más desfavorecidos; por todas estas razones se justifica este proyecto de diseño e implementación de un Pico central hidroeléctrico en la Finca “Praderas del Toachi”.

Este diseño construcción e implementación, se hará en base a los requerimientos y actividades desarrolladas en el emplazamiento de producción ganadera y agrícola con una eficiencia del 87%-89% en generador, turbina y línea con potencia instalada de 4500W.

En relación a otras turbinas hidráulicas la turbomáquina denominada Michell-Banki, es simple estructuralmente pero a su vez eficiente comparada con la turbina Francis

en cargas parciales a diferencia que la constitución de una turbina Francis u otras turbinas de acción son demasiado costosas y su mantenimiento es más complejo.

3.3 Objetivos.

3.3.1 Objetivo General.

- Elaborar un Diseño construcción e implementación de un pico generador eléctrico utilizando la energía renovable en la Finca “Praderas del Toachi” del Cantón Sigchos; con el fin de satisfacer la demanda energética que existe en el sector.

3.3.2 Objetivos Específicos.

- Diseñar un plan de construcción civil, a fin de salvaguardar el ecosistema existente en el sector sin modificarlo ni alterarlo.
- Ejecutar el diseño del sistema hidrogenerador y cada uno de sus elementos constitutivos, con el fin de proporcionar energía renovable autosostenible a los habitantes.
- Satisfacer la demanda eléctrica mediante la implementación de un pico generador hidroeléctrico, con el fin de lograr una mejora en la calidad de vida de los habitantes de la Finca.

3.4 Estructura del proyecto.

El presente proyecto está ubicado a 60 km de Aloag. Sus límites: Norte: Quebrada del Rio Toachi; Sur: Escuela Arsenio Hidalgo Cepeda; Este: Hacienda Chorros; Oeste: Hacienda Sarapullo. La construcción de casa de máquinas empezó en el mes de Marzo, tuvo un tiempo de 2 semanas por su difícil absceso y dificultad de transporte de material; en tanto la construcción de la maquina generadora se la inicio en Mayo con una duración de 6 meses donde también se hicieron pruebas de funcionamiento. La implementación que conlleva la obra civil, montaje de tuberías, cimentación, transporte de turbina, operación de cámara de carga y desarenador tuvo un lapso de 6 meses empezando desde el mes Agosto del 2014, actualmente las pruebas de la máquina en el lugar implementado se las realizan desde el mes de enero del 2015. Los recursos económicos han sido relativamente bajos con respecto a otros sistema de generación ya que se contó la colaboración de los moradores con mano de obra y elementos de obra civil, para detallar de mejor manera se recomienda ver el punto 3.4.8 Costos. La población beneficiada son los propietarios de la finca y los ocasionales son los agricultores que pastan sus animales.

3.4.1 Estimación de la Demanda.

Dados los resultados del Capítulo I donde se muestran los equipos y las horas de uso, que se estipularon bajo entrevista de los habitantes y conceptualizado en la TABLA N° 1.14 “Demanda Energética”, tenemos datos de demanda diaria, así también la potencia que disponemos, y la potencia necesaria, estas desarrolladas anteriormente por ecuaciones dadas tales como Ecu.1.21; 1.22; 1.23; 1.24, de las cuales citaremos a continuación las correspondientes respuestas para seguir con nuestro diseño ya que

estos datos antes establecidos serán necesarios para los cálculos de turbina y de caudales. Datos:

$$P_{horas} = 700W$$

$$P_{Diaria} = 4.3kW$$

$$P_{disp} = 12kW$$

$$P_{necesaria} = 5kW$$

3.4.1.1 Recurso Hidrológico para Generación.

En el Capítulo I se habló de diferentes métodos para la obtención de datos de caudal de nuestro afluente a utilizar unos más precisos que otros. La capacidad de generación de energía mediante el agua está determinada por la altura que se pueda obtener y del caudal disponible. La altura depende a la topografía del terreno y el caudal de las características del río o arroyo que se va a utilizar, para lo cual hemos seleccionado varios métodos, para la medición de Altura con el método convencional del Carpintero, y para la medición del Caudal, usamos el método del área y la velocidad. En tanto el afluente y recurso hídrico corresponden a uno de los tantos manantiales formados por el cauce del Río Sarapullo donde su caudal estimado es de 300lts/seg, y el manantial contiene un caudal de 100lts/seg, en verano.

3.4.1.2 Medición de Altura.

Para ello usamos un nivel, 2 regletas de madera de una graduación de 40cm, una libreta para anotar los datos obtenidos, y el personal necesario para obtener medidas óptimas.

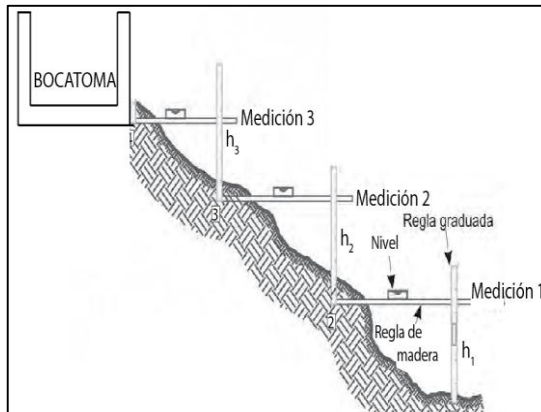
FIGURA N°3.1 “MEDICIÓN DE ALTURA”



Fuente: Los Autores
Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

Desplegamos un esquema básico fundamental que grafique el procedimiento al que nos sometimos y sus respectivos elementos usados:

FIGURA N°3.2 “DATOS TOMADOS EN MEDICIÓN ALTURA”



Fuente: Los Autores
Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

Desarrollando el método del carpintero el texto al que se le atribuye la información del Capítulo I, que habla la evaluación del recurso hidroenergético propone la siguiente fórmula y la desarrollamos:

$$\begin{aligned}
 H_{total} &= h_1 + h_1 + h_1 \text{ metros} && \text{Ecu.3.1} \\
 H_{total} &= 4.1 + 3.9 + 4.3 \\
 H_{total} &= 12.3 \text{ m}
 \end{aligned}$$

3.4.1.3 Caudal Disponible.

Escogimos el método de área velocidad ya que se basa en el principio de continuidad. Para un fluido de densidad constante fluyendo a través del área de una sección conocida, el producto del área de la sección por la velocidad media será constante:

- Elegimos un tramo de sección recta y homogénea del curso del riachuelo.
- Se midió una longitud $L= 4m$.
- Determinamos la sección transversal del riachuelo que es de 0.75 y el espejo de agua que circula por el riachuelo es $h= 0.15m$.

Suplementario a lo que dice el Capítulo I, en la sección de medición de caudal por método de área y velocidad decimos que para obtener el área que utiliza el agua, en su trayecto se calcula con la siguiente ecuación:

$$A = b \times h \quad [m^2] \qquad \text{Ecu.3.2}$$

Dónde:

$$b = \text{Base } [m].$$

$$h = \text{Altura } [m].$$

$$A = 0.75 \times 0.15m$$

$$A = 0.112m^2$$

- Elegimos un corcho como flotador.
- Colocamos unos metros antes de la distancia seleccionada.
- Cronometramos el tiempo en recorrer la longitud $L= 5m$.

Los datos cronometrados los plasmamos en una tabla guiada en la siguiente fórmula para obtener los promedios:

$$T_{promedio} = \sum t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, \dots \dots t_n \quad \text{Ecu.3.3}$$

TABLA N°3.1 “TIEMPOS DE AREA Y VELOCIDAD”

Numero de mediciones	Tiempo (seg)
T1	2.8
T2	2.6
T3	2.9
T4	2.6
T5	2.8
T. promedio	2.7

Fuente: Los Autores

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

Para obtener la velocidad del agua determinamos con la relación entre la longitud y tiempo mediante la siguiente ecuación:

$$V = \frac{l}{t} \quad [m/seg] \quad \text{Ecu.3.4}$$

Reemplazando datos obtenemos:

$$V = \frac{5m}{2.7seg}$$

$$V = 1.85 m/seg$$

Definimos el factor de corrección (K) que se encuentra detallada en el Capítulo I, TABLA N°1.3 “Valores de K según la profundidad y el material del riachuelo” y obtenemos el siguiente dato:

$K = 0.50$ ya que el recurso hídrico proviene de un riachuelo de tierra, así que aplicamos la fórmula ya establecida del caudal en la Ecu.1.4 y la desarrollamos:

$$Q = k \times V \times A \left[\frac{m^3}{seg} \right]$$

$$Q = 0.50 \times \frac{1.85m}{seg} \times 0.112 m^2$$

$$Q = 0.1m^3/seg$$

$$Q = 100 l/seg$$

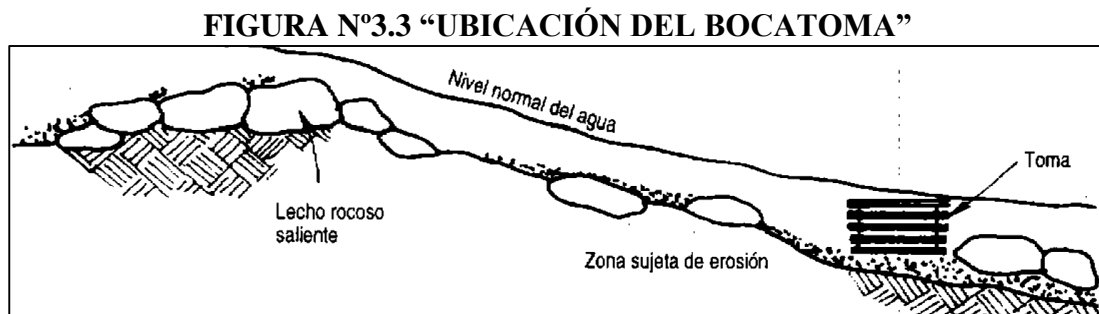
3.4.2 Recursos de Obra Civil.

Se denomina obra de toma u obras de captación a toda estructura hidráulica construida sobre el cruce de un río o canal con el fin de captar parcialmente el agua que lo acarrea. Existen varios tipos de obras captadoras, pero hablaremos fundamentalmente de las dos principales: por derivación directa y con almacenamiento. Para nuestro proyecto de implementación se ve coherente emplear

una obra de captación directa ya que el recurso hídrico es captado sin ningún almacenamiento, por lo tanto no son necesarias obras de regulación; pero para que esto sea posible, el caudal que está circulando por el río tendrá que ser casi constante durante todo el año y mayor que el caudal de captación, así mismo el nivel del agua del río debe permanecer aproximadamente constante. Una de las principales ventajas de este tipo de obra civil es su costo ya que es muy bajo, ver Tabla N°3.15 “Costos del Proyecto”. Los elementos que constituyen a una obra de captación por toma directa tenemos los siguientes:

3.4.2.1 Bocatoma.

En el caso de nuestro terreno y sus condiciones geográficas será factible captar el agua de forma directa, ya que esto nos permitirá conducir el recurso hídrico aprovechando la fuerza de gravedad. Así mismo es necesario ubicarlo en un lugar estratégico con el objetivo de garantizar una captación constante de agua, especialmente en las épocas donde hay sequía, y en las épocas lluviosas evitar la inundación del resto de componentes de la obra civil. Su ubicación más óptima y eficiente es en los tramos rectos, sin fallas geográficas para evitar posibles erosiones; así mismo es recomendable que se ubicaran de la manera que se preserve el medio y el ecosistema del sector.



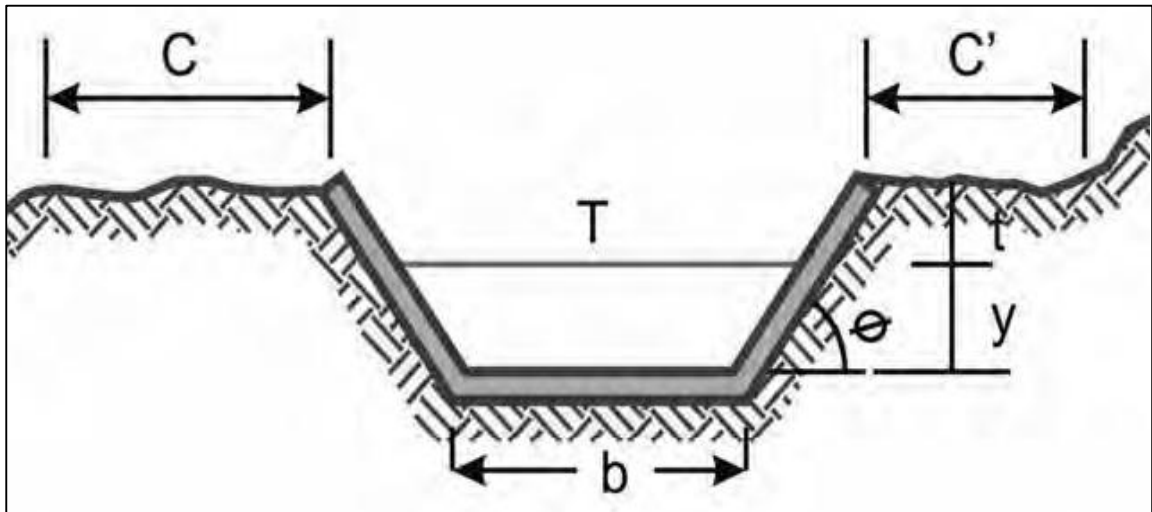
Fuente: Dávila, C y Otros, 2010. (pág. 79).

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

3.4.2.2 Canal.

Para desarrollar las longitudes de un canal se tomara en cuenta la ecuación Ecu.1.6 visualizada en el CAP I, así también la Tabla 1.5, nos sugiere la velocidad máxima recomendada, para nuestro caso como es concreto nuestra máxima velocidad es de 1.5 m/seg para menos de 0.30 m de profundidad.

FIGURA N°3.4 “ELEMENTOS DEL CANAL”



Fuente: Dávila, C y Otros, 2010. (pág. 65).

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

Para concebir las dimensiones más óptimas que nos permitan llevar el recurso hídrico hacia la cámara de carga y desarenador debemos tomar en cuenta el material bibliográfico suscrito de acuerdo a cálculos y experiencias del autor aplicando las ecuaciones citadas en el CAP I, sección de diseño de canales se propone las siguientes formulas: Ecu. 1.8; 1.9; 1.10, que respectivamente desarrollamos a continuación:

$$A = y (b + yz)$$

$$A = 0.15 (0.75 + 0.15(0.58))$$

$$A = \mathbf{0.1255}$$

$$P = b + 2y \sqrt{1 + z^2}$$

$$P = 0.75 + 2 (0.15) \sqrt{1 + (0.58)^2}$$

$$P = 0.75 + 0.3 \times 1.56$$

$$P = \mathbf{0.22}$$

$$R = \frac{A}{P}$$

$$R = \frac{0.1255}{0.22}$$

$$R = \mathbf{0.57}$$

Con estos valores aplicamos Ecu. 1.6.

$$V = \frac{1}{n} x \sqrt[3]{R^2} x \sqrt{S}$$

$$V = \frac{1}{0.020} x \sqrt[3]{(0.57)^2} x \sqrt{0.02}$$

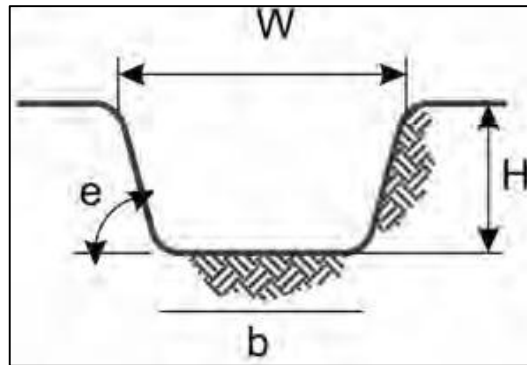
$$V = 50 x 0.686 x 0.04$$

$$V = \frac{\mathbf{1.37m}}{\mathbf{seg}}$$

Teóricamente hemos cumplido con el requisito de canales y mediante cálculo y materiales hemos obtenido una velocidad menos a 1.5 m/seg esto quiere decir que el

manantial no erosionaran las paredes del canal, ahora según estas condiciones diseñaremos un canal óptimo con las que podremos trabajar, y aumentar la eficiencia.

FIGURA N°3.5 “DIMENSIONAMIENTO DEL CANAL”



Fuente: Dávila, C y Otros, 2010. (pág. 65).

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

Para calcular longitudes del canal tenemos las siguientes ecuaciones, adicionales a las que se enmarcan en el CAP I, y las desarrollaremos matemáticamente a continuación para seguir el diseño sistemáticamente:

Ecuación de la Altura del Canal:

$$H = \sqrt{\frac{A}{2\sqrt{(1 + Z^2)} - Z}} [m] \quad \text{Ecu.3.5.}$$

$$H = \sqrt{\frac{0.072}{2\sqrt{(1 + (0.58)^2)} - 0.58}}$$

$$H = \sqrt{\frac{0.072}{1.146}}$$

$$H = \sqrt{0.0628}$$

$$H = 0.25 \text{ m}$$

$$B = H (2 \sqrt{1 + Z^2} - 2Z) \quad \text{Ecu.3.6.}$$

$$B = 0.25 (2 \sqrt{1 + (0.58)^2}) - 2(0.58)$$

$$B = 0.25 (2 \times 1.15) - 1.16$$

$$\mathbf{B = 0.28 m}$$

$$W = B + 2 HZ \quad \text{Ecu.3.7.}$$

$$W = 0.28 + 2 (0.25)(0.58)$$

$$\mathbf{W = 0.57 m}$$

Estos cálculos dan como resultados dimensiones óptimas para el canal, seguidamente vamos hacer el diseño del desarenador para optimar la obra de captación.

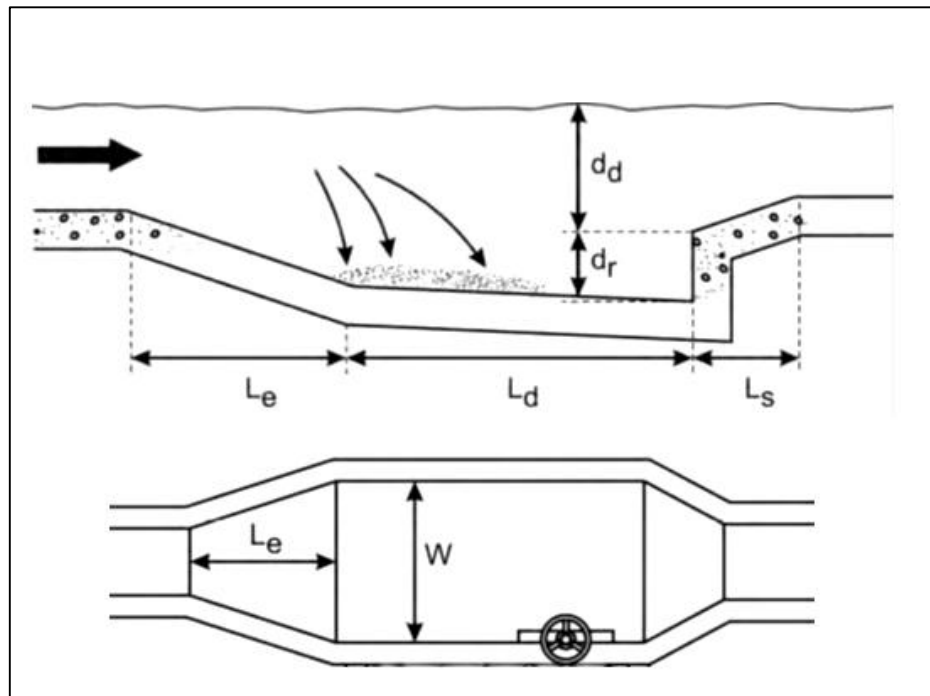
3.4.2.3 Desarenador.

Es necesario que el sedimento se asiente tanto al inicio del canal como en la entrada del agua a la tubería o cámara de carga. En resumen, el desarenador cumple la función de sedimentar las partículas que lleva el agua en suspensión en el canal de conducción, para ello y para su diseño se tomaran los siguientes datos:

- Zona de Recolección (dr).
- Velocidad Horizontal del Agua (V_h).
- Sección Transversal (A).
- Es recomendable para desarenar el considerar una velocidad entre 0.2 m/seg, y 0.5 m/seg como valores máximos en desarenador.
- Valor de profundidad de decantación (d_d).

- Es recomendable no sobrepasar la longitud de 1m para fines de diseño ya que los autores de la guía para la evaluación de la demanda de recursos hídricos de acuerdo a sus experiencias propone por la razón que el drenaje de sedimentación puede ser muy difícil de realizar si este se encuentra muy profundo.
- Así que en lugar de hacerlo profundo se puede buscar una proporcionalidad con su ancho.

FIGURA N°3.6 “ESQUEMA DE UN DESARENADOR Y PARTES FUNDAMENTALES EN VISTA FRONTAL Y ALZADA”



Fuente: Dávila, C y Otros, 2010. (pág. 81).

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

- Ancho y longitud del desarenador.
- L_e = Entrada.
- L_d = Decantación (la parte central es el área de decantación) W .
- L_s = Salida.

- Cabe señalar de acuerdo a experiencias de diseño de obra que el diseño de un desarenador es eficiente si se consigue eliminar partículas que no pasen de los 0.3 mm de diámetro.
- V_d = Velocidad de Decantación. (Vertical).
- f = Factor de seguridad, el texto recomienda de 2 a 3.
- D_d = Profundidad de Decantación.
- W = Ancho del desarenador.
- D_r = Área de sedimentación.

La longitud de decantación (separación) puede ser calculada fácilmente por la fórmula:

$$Ld = \frac{Vh}{Vd} \times d_d \times f \text{ [m]} \quad \text{Ecu.3.8.}$$

Mediante la técnica de la observación el manantial responde a los siguientes datos y ya que el recurso hídrico no presenta una alta incidencia de turbulencia revisamos la tabla 3.2.

TABLA N°3.2 “VELOCIDAD DE DECANTACIÓN DE PARTÍCULAS DE ARENA”

Tamaño de partículas (mm)	Vd (m/s)
0.1	0.01
0.3	0.03
0.5	0.05
1.0	0.10

Fuente: Dávila, C y Otros, 2010. (pág. 84).

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

Calculamos el ancho y la longitud de un desarenador para partículas de 0.3mm de diámetro, teniendo los siguientes datos:

$$Q = 0.1 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$f = 2$$

$$d_d = 0.20 \text{ m (20cm)}$$

$$V_h = 0.3 \text{ m/seg.}$$

$$W = \frac{Q}{V_h \times d_d} [m] \quad \text{Ecu.3.9.}$$

$$W = \frac{0.1}{0.3 \times 0.2}$$

$$W = 1.7 \text{ m}$$

Aplicamos la formula E.3.11.

$$Ld = \frac{0.3}{0.03} \times 0.2 \times 2$$

$$Ld = 4 \text{ m}$$

Con estos datos tomamos a consideración el tanque colector y frecuencia de depósito, mediante evaluaciones periódicas realizadas durante el año se ha tomado un dato aproximado en partículas transportadas por el manantial a razón de 0.0001 kg/m³ a 0.0005 kg/m³.

Entonces esto nos da una estimación de vaciado razonable de T (horas) durante el periodo del año, cuando la cantidad de sedimento transportado (seg) es de 0.0001kg/m³ será de una vez por mes, lo óptimo ya que en un mes el sedimento será aproximadamente:

$$\text{Cubicaje de Sedimento} = Q \times T \times S \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \quad \text{Ecu.3.10.}$$

$$C_S = 0.1 \times 3600 \times 24 \times 28 \times 0.0001$$

$$C_S = 24 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \times \text{mes}$$

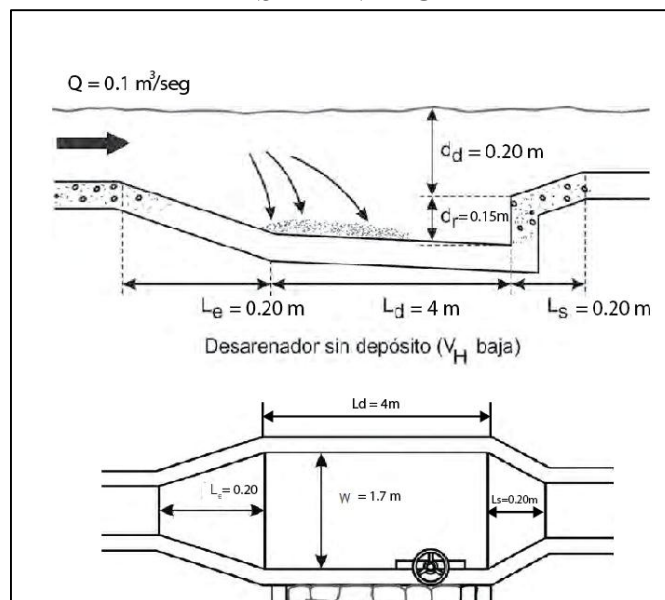
Para la Capacidad del sedimento no sobrepase la capacidad del espejo de agua se propone la una dimensión de 1m^3 es así que asumimos la siguiente formula:

$$d_r = \frac{\text{Capacidad del Tanque}}{W \times L_d} \text{ [m]} \quad \text{Ecu.3.11.}$$

$$d_r = \frac{1}{1.7 \times 4}$$

$$d_r = 0.15 \text{ m} \approx 15 \text{ cm}$$

FIGURA N°3.7 “RESUMEN DE RESULTADOS PARA DESARENADOR”



Fuente: Dávila, C y Otros, 2010. (pág. 84).

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

3.4.2.4 Tubería de Presión.

En el CAP I se hablan de las propiedades de tubería mencionando algunos materiales y constituciones que se deberán elegir de acuerdo a sus condiciones geográficas, sus ventajas y desventajas, de la misma manera se seleccionara la tubería con una dependencia del costo ya que nos debemos regir al presupuesto antes planteado. De esta forma se nos hace necesario el seleccionar una tubería de PVC reforzada de diferentes dimensiones ya que al variar sus diámetros nosotros podremos obtener mayor velocidad a la salida.

Para empezar nuestro cálculo de pérdidas por fricción cabe mencionar los siguientes datos:

Caída bruta = 12.3 m.

Caudal (Q) = 0.1 m³/seg.

Tubería Usada =Policloruro de vinilo (PVC).

Diámetro en Secciones de tuberías = 18m;(6")

18m ; (4")

Según WARD Smith & Otros, (2011), señala que “La viscosidad es la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales, es debida a las fuerzas de cohesión moleculares. Todos los fluidos conocidos presentan algo de viscosidad, siendo el modelo de viscosidad nula una aproximación bastante buena para ciertas aplicaciones. Un fluido que no tiene viscosidad se llama fluido ideal. La viscosidad solo se manifiesta en líquidos en movimiento, se ha definido la viscosidad como la relación existente entre el esfuerzo cortante y el gradiente de velocidad. Esta

viscosidad recibe el nombre de viscosidad absoluta o viscosidad dinámica. Generalmente se representa por la letra griega μ . Se conoce también otra viscosidad, denominada viscosidad cinemática, y se representa por ν .” (p.158)

Para lo cual este dato también se puede llevar a cabo con la siguiente formula, para después obtener los datos requeridos en el diagrama de Moody.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad \text{Ecu.3.12.}$$

Dónde:

μ = Viscosidad dinámica.

ρ = Densidad del Fluido.

TABLA N°3.3 “PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA”

Temperatura (°C)	Densidad (kg/m ³)	Módulo de elasticidad (kN/m ²)	Viscosidad dinámica (N·s/m ²)	Viscosidad cinemática (m ² /s)
0	999,8	1,98 · 10 ⁶	1,781 · 10 ⁻³	1,785 · 10 ⁻⁵
5	1000,0	2,05 · 10 ⁶	1,518 · 10 ⁻³	1,519 · 10 ⁻⁵
10	999,7	2,10 · 10 ⁶	1,307 · 10 ⁻³	1,306 · 10 ⁻⁵
15	999,1	2,15 · 10 ⁶	1,139 · 10 ⁻³	1,139 · 10 ⁻⁵
20	998,2	2,17 · 10 ⁶	1,102 · 10 ⁻³	1,003 · 10 ⁻⁵
25	997,0	2,22 · 10 ⁶	0,890 · 10 ⁻³	0,893 · 10 ⁻⁵

Fuente: METCALF & EDDY, INC. Ingeniería de aguas residuales, (1995)

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

Dado que la viscosidad varía de acuerdo a la temperatura del fluido que tenemos mediante tablas con respecto a la gradiente de temperatura del agua que en este caso es de 10°C que lo reemplazamos en la Ecu.3.12.

$$v = \frac{1.307 \times 10^{-3}}{999.7}$$

$$v = 1.307^{-5}$$

Entonces con este dato desarrollamos Reynolds propiedad y formula que se encuentran en el CAP I, E.1.8, desarrollamos:

$$Re = \frac{\rho \times v \times D}{\mu} = \frac{v \times D}{\nu}$$

$$Re = \frac{18.20m/seg \times 0.15m}{1.307^{-5}}$$

$$Re = 1.95 \times 10^{-4} \text{ [Tubo de 6"]}$$

$$Re = \frac{17m/seg \times 0.101m}{1.307^{-6}}$$

$$Re = 1.31 \times 10^{-4} \text{ [Tubo de 4"]}$$

A partir de ensayos realizados con tubos comerciales, Moody halló los valores típicos de rugosidad (e) CAP I, Tabla 1.10, y tomamos como dato tubería de polietileno cuyo e = 0.003, observamos en el CAP I.

Calculamos para el tramo de tubería de 6" tenemos la distancia de 18m con una rugosidad absoluta de 0.300, calculando tenemos:

$$Rugosidad\ Relativa = \frac{e}{D [pulgadas]} \quad \text{Ecu.3.13.}$$

$$R_r = \frac{0.300}{6''}$$

$$R_r = 0.05$$

En el Gráfico 1.2, CAP I indica un factor de fricción de 0.07 en la recta totalmente en régimen laminar.

Diagrama de Moody factor de Fricción (f) = 0.07 Laminar.

Calculamos para el tramo de tubería de 4" tenemos la distancia de 18m con una rugosidad absoluta de 0.300, calculando tenemos:

$$R_r = \frac{0.300}{4''}$$

$$R_r = 0.075$$

Diagrama de Moody factor de Fricción (f) = 0.08 Laminar.

El análisis de fricción es bastante baja, y ya que los textos dicen que la fricción es alta en paredes irregulares y en longitudes pasadas de los 100m; en nuestro proyecto tan

solo emplearemos 36 m con tubería de cedula lisa lo cual nos da una fricción casi nula, y un flujo laminar que no provocara turbulencias en ningún tramo de tubería de acuerdo a sus diámetros, ahora definiremos la longitud de los tramos y sus velocidades por vectores y caída libre.

Datos:

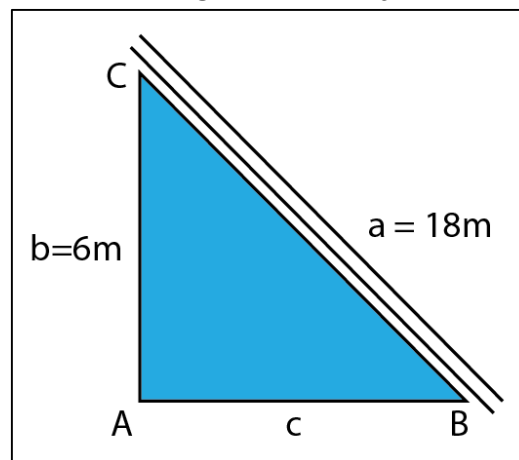
Longitud de Tubería 36m.

6" (152.4), 18m

4" (101.6) 18m

Densidad específica del Agua 999.97 kg/m³

FIGURA N°3.8 “CALCULO DE TRAMO DE TUBERIA DE 6””



Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

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

$$c^2 = a^2 - b^2$$

$$c = \sqrt{(18)^2 - (6)^2}$$

$$c = 16.97$$

Ecu.3.14.

$$\text{Sen } B = \frac{b}{a}$$

$$\text{Sen } B = \frac{6}{18}$$

$$B = \sin^{-1}(0.33)$$

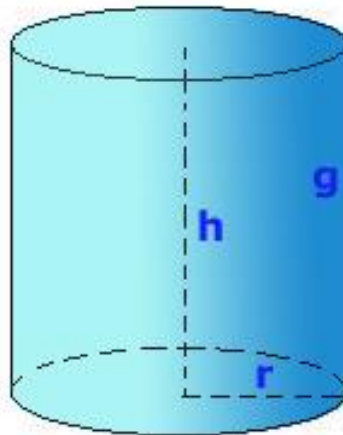
$$B = 19.26^\circ$$

Masa y Volumen del Fluido dentro de la tubería de 6”.

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Ecu.3.15.

FIGURA N°3.9 “VOLUMEN DE UN CILINDRO PARA TUBERÍA DE 6””



Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

$$v = \pi \times r^2(\text{metros}) \times h(\text{metros}) [m^3]$$

Ecu.3.16.

$$v = 3.1416 \times (0.0762)^2 \times 18$$

$$v = 0.238 m^3$$

$$m = \rho \times v$$

$$m = 977.97 \frac{kg}{m^3} \times 0.328 m^3$$

$$m = 328 kg$$

Dado que la fuerza potencial y cinética actúa dentro de nuestro sistema de tubería forzada las desarrollamos:

$$Ep = m \times g \times h \quad \text{Ecu.3.17.}$$

$$Ep = 328 kg \times 9.8 m/seg \times 6m$$

$$Ep = 1928.6 [N.m]$$

$$Ec = \frac{1}{2} m \times v^2 \quad \text{Ecu.3.18.}$$

$$Ec = \frac{m \times v^2}{2}$$

$$v^2 = \frac{Ec \times 2}{m}$$

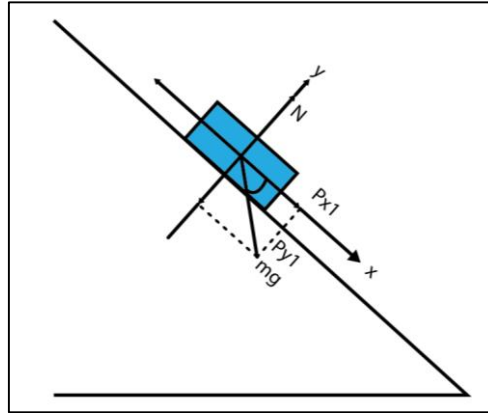
$$v = \sqrt{\frac{2Ec}{m}}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \times 1928.6 [N.m]}{328kg}}$$

$$v = 10.84 m/seg$$

Por caída libre definimos la velocidad con la que el agua se encuentra en cada tramo con respecto al diámetro de la tubería forzada es así que tenemos los siguientes valores:

FIGURA N°3.10 “CINEMÁTICA PARA CÁLCULO DE VELOCIDAD EN TUBERÍA DE 6”



Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

$$\sum f_x = m \times a_1$$

Ecu.3.19.

$$\cos \theta = \frac{P_{x1}}{m \times g}$$

$$P_{x1} = \cos \theta \times m \times g$$

$$P_{x1} = 0.9440 \times m \times g$$

$$P_{x1} = m \times a_1$$

$$a_{x1} = \frac{P_{x1}}{m}$$

$$a_{x1} = \frac{0.9440 \times m \times g}{m}$$

$$a_{x1} = 0.9440 \times 9.8 \text{ m/seg}$$

$$a_{x1} = 9.2 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

$$V_f^2 = V_{O_x}^2 + 2a_{x1} \cdot \Delta x$$

Ecu.3.20.

$$V_f^2 = 2a_{x1} \cdot \Delta x$$

$$V_f^2 = 2(9.2) \cdot 18$$

$$V_f^2 = 18.19 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

Realizamos las mismas Operaciones para la tubería de 4" en las cuales solo pondremos resultados:

$$c = 16.97$$

$$m = 141.25 \text{ kg}$$

$$Ep = 8305.5 \text{ [N.m]}$$

$$v = 10.84 \text{ m/seg}$$

$$a_{x2} = 9.2 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

$$Vf_2^2 = (18.19)^2 + 2a_{x2} \cdot \Delta x$$

$$Vf^2 = 25.7 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

Como se puede visualizar al poner tramos de diferente diámetro subimos la velocidad, mediante términos físicos con estos conceptos procederemos a seleccionar la turbina adecuada.

3.4.3 Turbinas Hidráulicas.

El autor COZ Federico, (1995), señala que “El diseño y construcción de turbomáquinas y en particular turbinas hidráulicas requiere una solución de una serie de problemas que no siempre pueden afrontarse matemáticamente y que deben resolverse más bien de forma experimental mediante la utilización de modelos.” (p.136)

3.4.3.1 Selección de Turbina.

Una forma de seleccionar el tipo de turbina es mediante los números específicos de revoluciones, con respecto al caudal o también conocido como número de Brauner (Nq) y con respecto a su potencia Camerer (Ns), los cuales enmarcan un rango de aplicación enunciadas en la TABLA N°3.4, y se la resuelve obteniendo las siguientes fórmulas:

TABLA N°3.4 “ Nq y Ns PARA SELECCIÓN DE TURBINA”

TIPO DE TURBINA	Nq	Ns
Turbina Pelton de 1 Tobera	Hasta 9	Hasta 30
Turbina Pelton de 2 Toberas	4-13	14-42
Turbina Pelton de 3 Toberas o mas	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	69-135	225-450
Turbinas Axiales	105-300	350-1000

Fuente: HERNANDEZ Carlos, 1995. (p.9)

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

$$Nq = N \frac{Q^{1/2}}{H^{3/4}} ; Ns = N \frac{P^{1/2}}{H^{5/4}} \quad \text{Ecu.3.21.}$$

P = es la potencia de freno que sufre la turbina en C.V.

Q = es el caudal máximo que fluye por la turbina en m³/seg

H = es el salto neto de la central en metros

N = es la velocidad de giro de la turbina en RPM

Desarrollando las ecuaciones debemos tener un dato adicional, que es N , denominado el número óptimo de revoluciones citado en el CAP I, por la Ecu.1.12:

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

$$N = \frac{39.85 \sqrt{12.3}}{0.300}$$

$$N = 465 \text{ rpm}$$

$$Nq = 465 \text{ rpm} \frac{\sqrt{0.1}}{\sqrt[4]{(12.3)^3}}$$

$$Nq = 465 \text{ rpm} \frac{0.3}{6.6}$$

$$Nq = 21$$

Para calcular la potencia Camerer (N_s) es necesario conocer un dato adicional denominada potencia al freno que se adapta a la siguiente ecuación:

$$P_T = \frac{P_g}{\eta_g \times \eta_{tr}} \quad \text{Ecu.3.22.}$$

P_g = Potencia máxima que del Generador.

η_g = Eficiencia del Generador.

η_{tr} = Eficiencia del sistema de transmisión mecánica, (por bandas según tablas se dice que llega a una eficiencia entre 94% y 96%).

$$P_T = \frac{4.5 \text{ kW}}{0.82\% \times 0.94\%}$$

$$P_T = \frac{4.5 \text{ kW}}{0.77}$$

$$P_T = 5.8 \text{ kW} \approx 7.88 \text{ [CV]}$$

$$N_s = 465 \text{ rpm} \frac{\sqrt{7.88}}{\sqrt[4]{(12.3)^5}}$$

$$N_s = 465 \frac{2.8}{22}$$

$$N_s = 59$$

Realizando los cálculos para obtener los rangos de aplicación de turbinas hidráulicas verificamos según la Tabla N° 3.4, que los valores corresponden a una turbina tipo Michell, la cual seleccionaremos para nuestro proyecto, así también y según el GRÁFICO N°1.3, CAP I, de selección por tablas de Caudal vs Altura vemos que la graduación corresponde a la misma turbina ya que esta está diseñada para caudales relativamente bajos con alturas bajas.

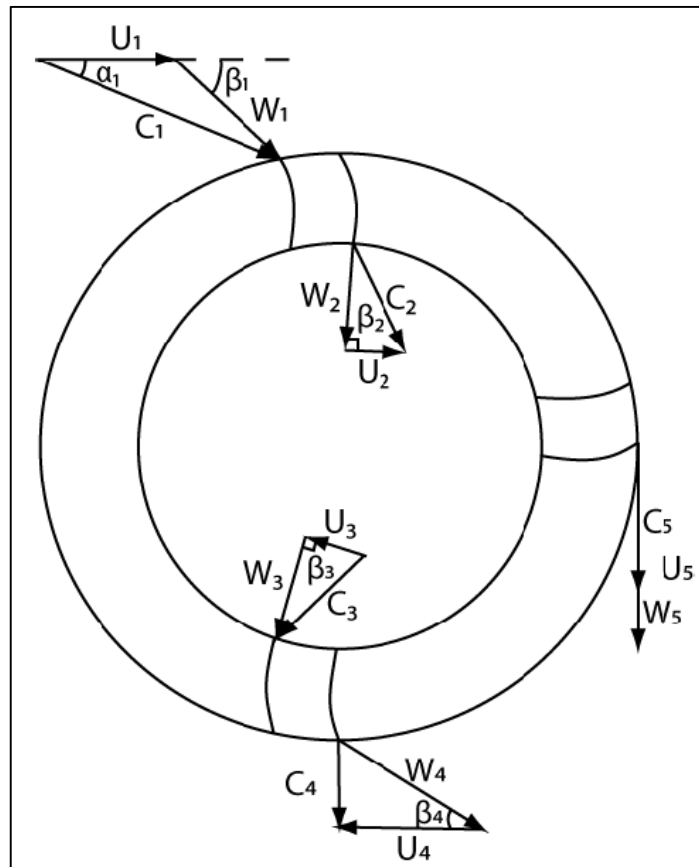
3.4.3.2 Turbina Michell Banki.

Son utilizadas frecuentemente en microcentrales y pico hidroeléctricas, especialmente por los costos, transporte, mínimo mantenimiento y sus facilidades de fabricación ya que consta de pocos elementos constitutivos.

3.4.3.3 Diagrama de Velocidad.

Los perfiles de los álabes del rodete se determinan en base del diagrama de velocidad. Para determinar este diagrama es necesario tener como dato la velocidad de salida del inyector, que se determina por la E. 1.10, antes mencionada en el CAP I.

FIGURA N°3.11 “DIAGRAMA DE VELOCIDAD DE UNA TURBINA MICHELL - BANKI ”



Fuente: WALSETH Eve Cathrin, 2009. (p.5)
Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

La velocidad expresada a la salida del inyector la expresamos con la siguiente ecuación considerando que el factor K_c en forma práctica posee valores comprendidos entre 0.97 y 0.98.

$$C_i = K_c \sqrt{2 g H} \quad \text{Ecu.3.23.}$$

$$C_i = 0.97 \sqrt{2 \times (9.8) \times 12.3}$$

$$C_i = 15.06 \text{ m/seg}$$

La velocidad para el diseño la tomaremos como la calculada anteriormente mediante caída libre de los cuerpos donde tenía una salida en tubería de 4”:

$$C_i = V_f = 25.7 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

La velocidad del agua a la salida del inyector es igual a la velocidad de ingreso del agua al rodete. Esta sección del chorro de agua a su vez orienta hacia el rodete con un ángulo promedio denominado α_1 el cual está en la FIGURA N°3.11, posee valores prácticos que estipulo los cálculos de Banki que se encuentran alrededor de los 15°, por lo que se concreta que la velocidad de la partícula del agua:

$$C_i = C_2$$

Las turbinas denominadas de acción, expresan su velocidad con la siguiente fórmula:

$$U_2 = K_u \times C_2 \times \cos \alpha_1 \quad \text{Ecu.3.24.}$$

Tomando constantes Banki se dice que K_u es un coeficiente y responde a los valores prácticos de 0.5, desarrollamos E.3.27.

$$U_2 = 0.5 \times 27.5 \times \cos 15^\circ$$

$$U_2 = 13.28 \text{ m/seg}$$

Para definir nuestras velocidades relativas expresadas por la letra W_2 en el punto del rodete lo expresamos con la siguiente ecuación:

$$W_2 = C_2 \sqrt{1 - Ku(2 - Ku) \cos^2 \alpha_1} \quad \text{Ecu.3.25.}$$

$$W_2 = 25.7 \sqrt{1 - 0.5(2 - 0.5) \cos^2 \alpha_1}$$

$$W_2 = 25.7 \sqrt{0.69}$$

$$W_2 = \mathbf{21.34 \text{ m/seg}}$$

Y con el ángulo β_2 se concluye la construcción del diagrama de velocidades a la entrada del Rodete, así que como se trata de una turbina de dos etapas y las etapas intermedias serán iguales a la etapa de entrada y salida.

$$U_1 = U_2$$

$$C_1 = C_2$$

$$\alpha_1 = \alpha_2$$

$$\beta_1 = 180 - \beta_2$$

$$\beta_1 = \beta_2 = 90^\circ$$

De tal forma y con las condiciones mencionadas expresamos:

$$U_1 = U_2 = 0.5 \times 27.5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times \cos 15^\circ$$

$$U_2 = \mathbf{13.28 \text{ m/s}}$$

$$\beta_1 = 180 - \beta_2$$

$$\beta_2 = \text{arc Sen} \left[\frac{\text{Sen } \alpha_1}{(1 - Ku (2 - Ku) \text{Cos}^2 \alpha_2)^{1/2}} \right] \quad \text{Ecu.3.26.}$$

$$\beta_2 = \text{arc Sen} \left[\frac{\text{Sen } \alpha_1}{\sqrt{1 - Ku (2 - Ku) \text{Cos}^2 \alpha_2}} \right]$$

$$\beta_2 = \text{arc Sen} \left[\frac{\text{Sen } 15^\circ}{(1 - 0.5 (2 - 0.5) \text{Cos}^2 16)^{1/2}} \right]$$

$$\beta_2 = \text{arc Sen} \left[\frac{0.25}{0.69} \right]$$

$$\beta_2 = 21.22^\circ$$

Según constantes Banki al coeficiente Kf se le atribuye el valor de 0.98 y para obtener la velocidad relativa desarrollamos:

$$W_3 = Kf W_2 \quad \text{Ecu.3.27.}$$

$$W_3 = 0.98 \times 21.34$$

$$W_3 = 21 \frac{m}{seg}$$

La velocidad absoluta del agua a la salida del rodete, es expresada por:

$$C_5 = C_2 \sqrt{Kf^2 (1 - Ku (2 - Ku) \text{Cos}^2 \alpha_2) + Ku^2 \text{Cos}^2 \alpha_2 - 2 Kf \text{Cos}^2 \alpha_2 (1 - Ku) Ku} \quad \text{Ecu.3.28.}$$

$$C_5 = 27.5 \sqrt{(0.98)^2 (1 - 0.5 (2 - 0.5) \text{Cos}^2 15^\circ) + (0.5)^2 \text{Cos}^2 15 - 2 \cdot 0.98 \text{Cos}^2 15^\circ (1 - 0.5) 0.5}$$

$$C_5 = 27.5 \frac{m}{s} \sqrt{0.51}$$

$$C_5 = 19.63 \text{ m/s}$$

El autor HERNANDEZ Carlos, (1989) señala que “Estas velocidades se pueden expresar en forma práctica cuando se definen las constantes. Por ejemplo si asumimos un ángulo promedio α_1 igual a 16° un coeficiente de velocidad Kc 0.97, un coeficiente de velocidad tangencial Ku 0.5 y un coeficiente de velocidad relativa Kf 0.98, obtenemos las siguientes expresiones prácticas”. (p.13).

$$C_2 = 4.34 \sqrt{12.3m}$$

$$C_2 = 15.19 \frac{m}{seg}; Vf = 25.7 \frac{m}{seg}$$

$$U_2 = 2.09 \sqrt{12.3m}$$

$$U_2 = 7.3 \frac{m}{seg}; 13.28 \frac{m}{seg}$$

$$W_2 = 2.40 \sqrt{12.3 m}$$

$$W_2 = 8.4 \frac{m}{seg}; 21.34 \frac{m}{seg}$$

$$W_3 = 2.35 \sqrt{15m}$$

$$W_3 = 8.2 \frac{m}{seg}; 21 \frac{m}{seg}$$

$$C_5 = 1.20 \sqrt{15m}$$

$$C_5 = 4.2 \frac{m}{seg}; 19.63 \frac{m}{seg}$$

$$\beta_2 = 21.22$$

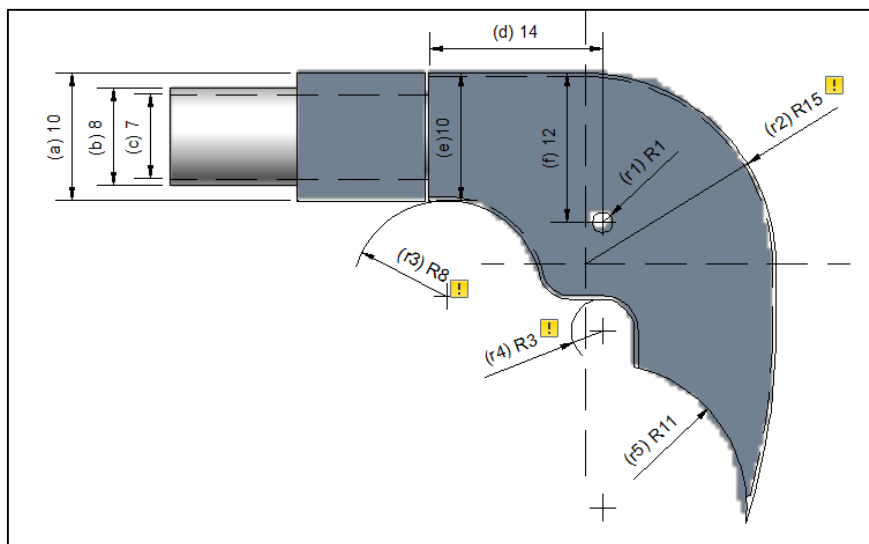
$$\beta_1 = 90$$

Ya que las variables son estándar los valores varían ya que nuestra velocidad no es la misma que nos proporciona el texto, pero esto no afecta en el diseño.

3.4.3.4 Inyector.

HERNÁNDEZ Carlos, (1989), dice que: “Para definir la geometría del inyector es necesario considerar en el diseño una buena conducción y aceleración del flujo de agua, así como también una adecuada orientación y regulación de este flujo hacia los álabes del rodete.” (p.14)

FIGURA N°3.12 “GEOMETRÍA DEL INYECTOR”



Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

En el CAP I, la Ecu.1.14, nos proporciona una fórmula donde podemos obtener un valor de ancho de inyector, aunque nosotros tenemos como dato el ingreso de la tubería que es de 4” aplicamos la fórmula:

$$B = \frac{0.96 Q}{De \sqrt{H}} [m]$$

$$B = \frac{0.96 \times 0.1}{0.300 \sqrt{12.3}}$$

$$B = 0.09 m \approx 90mm$$

En la FIG 3.12, tenemos las dimensiones más relevantes y se las presenta en la TABLA N°3.5, con más detalle estará representado este elemento en los planos de ANEXOS.

TABLA N°3.5 “DIMENSIÓN DEL INYECTOR”

DIMENSIÓN (mm)	DIÁMETRO DE LA TURBINA (mm)
a	100
b	800
c	700
d	140
e	100
f	120
R1	100
R2	150
R3	80
R4	30
R5	110

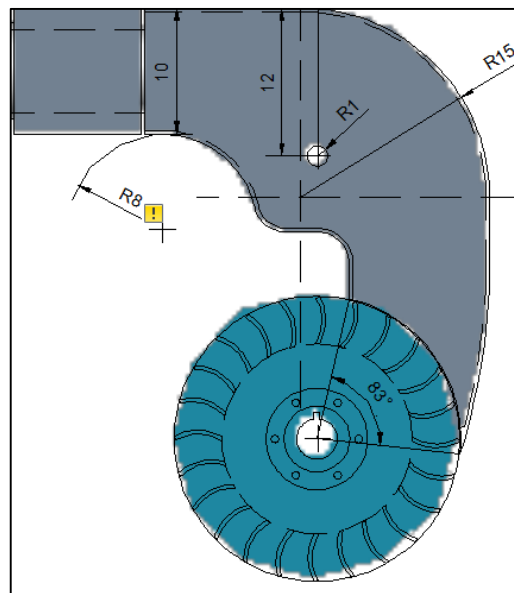
Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

Dado que nuestra tubería es de 101.6 mm el dato es hecho de un ancho promedio de 100mm, además es de vital importancia que el ángulo de entrada del agua tenga un

ángulo de 60° a 120° respectivamente para optimizar la dinámica del rodete, mientras el agua ingrese a mas álabes su inercia disminuirá tomando en cuenta que no supere el ángulo para no hacer una contra fuerza entre álabes, según nuestro diseño cumplimos el parámetro ya que como se muestra en la FIGURA N°3.13, nuestro ángulo corresponde a 83° y se encuentra dentro del rango.

FIGURA N°3.13 “ÁNGULO DE ENTRADA DE AGUA AL RODETE”



Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

3.4.3.5 Rodete.

Considerando la E.1.12, del CAP I, y ya que por estandarización el rodete parte de la dimensión de 300mm y considerando que el ángulo que forma entre álabe y álabe va desde los 15° a 16° y con un K_u igual a 0.5 se dice que el rodete deberá tener 24 álabes según la tabla de estandarización de turbinas Michell- Banki.

FIGURA N°3.14 “CONSTRUCCIÓN DEL RODETE”



Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

$$Di = 0.66 \times 300mm$$

Ecu.3.29.

$$Di = 198 \approx 200$$

El D_i corresponde al diámetro interno en expresión simple data el límite inferior de álabe es decir el valor intermedio entre D_e y R_c ; de igual manera el R_c corresponde a una circunferencia imaginaria donde los álabes hacen centro.

TABLA N°3.6 “DIMENSIÓN DEL INYECTOR”

DIMENSIÓN (mm)	DIÁMETRO DE TURBINA D_e (mm)
D_i	100
R_c	110
r	49

Fuente: HERNANDEZ Carlos, 1995. (p.50)

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

El ancho interno del rodete se lo obtiene después de encontrar el ancho del inyector, así también debe considerarse un espacio para la soldadura de cada álabe a los discos, una manera de estimar su ancho es considerar al rodete como 50% mayor al ancho del inyector, pero así mismo existe una fórmula que nos permite estimar su ancho:

$$B = 98 \frac{Q}{D \sqrt{H}} \frac{1}{\theta^\circ} \quad \text{Ecu.3.30.}$$

Donde θ° = al ángulo de admisión de la Turbina, ya antes calculado 83° .

$$B = 98 \frac{0.1}{0.300 \sqrt{12.3}} \frac{1}{83^\circ}$$

$$B = 98 \times 0.095 \times 0.0120$$

$$\mathbf{B = 0.111 m \approx 11cm \approx 110mm}$$

Y sobredimensionando el ancho del inyector más 50% tendríamos:

$$B = 90 \text{ mm} + 0.50$$

$$\mathbf{B = 135mm}$$

En nuestro caso para que sea proporcional a nuestro álabe y a nuestra cámara de rodete lo diseñaremos a 110 mm como lo señala la fórmula.

3.4.3.6 Eje.

Se lo denomina como elemento cilíndrico de sección circular que transmite un momento de giro y que puede llevar montados distintos elementos mecánicos de transmisión de potencia (engranajes, poleas, volantes, etc. Los ejes están sometidos a varios tipos de cargas, de flexión de tracción y de torsión. Nuestro eje está sometido a una carga de torsión para lo cual procedemos a su estudio estático:

Principalmente debemos estimar el torque producido por el sistema de transmisión en el eje conductor; es decir en eje de turbina para ello tenemos que:

$$P = T \times \omega \quad \text{Ecu.3.31.}$$

$$T = \frac{P}{\omega}$$

$$T = \frac{4500 \text{ W}}{\left\langle 465 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \left| \frac{2\pi \text{rad}}{1 \text{rev}} \right| \frac{1 \text{min}}{60 \text{seg}} \right\rangle}$$

$$T = 92.41 \text{ Nm}$$

Ahora calculemos el torque en el eje que contiene la polea conducida, es decir el eje del Generador mediante la E.3.34.

$$T = \frac{4500 \text{ W}}{\left\langle 3600 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \left| \frac{2\pi \text{rad}}{1 \text{rev}} \right| \frac{1 \text{min}}{60 \text{seg}} \right\rangle}$$

$$T = 11.93 \text{ Nm}$$

Para determinar el diámetro del eje se calcula la fuerza neta impulsora dados por la fórmula:

$$Fn = F1 - F2 \quad \text{Ecu.3.32.}$$

Fórmula del par torsional transmitido:

$$Fn = \frac{T}{\frac{D}{2}} \quad \text{Ecu.3.33.}$$

$$Fn = \frac{92.41}{\left\langle 16'' \left| \frac{25.4mm}{1''} \right| \frac{1m}{1000mm} \right\rangle}$$

$$Fn = \frac{92.41}{0.4064}$$

$$Fn = 227.38N$$

La relación de transmisión por bandas se define por la E.1.5, de la siguiente forma:

$$n = \frac{\phi_2}{\phi_1}$$

$$n = \frac{16''}{2''} ; F2$$

$$n = 8$$

Reemplazando en la E.3.35 tendríamos:

$$227.38 N = 8F2 - F2$$

$$227.38 N = 7F2$$

$$F2 = \frac{227.38 N}{7}$$

$$\mathbf{F2 = 32.48 N}$$

$$F1 = 8F2$$

$$F1 = 8(32.48)$$

$$\mathbf{F1 = 260 N}$$

Para determinar la fuerza flexionante en el eje para transmisión de potencia por bandas sustituimos aplicamos la ecuación:

$$Fb = 1.5 Fn \quad \mathbf{Ecu.3.34.}$$

$$Fb = 1.5 X 227.38$$

$$\mathbf{Fb = 341 N}$$

Para probar que los cálculos son correctos la potencia en la polea conducida debe ser igual a la potencia entregada por el generador, reflejado por la polea motriz para lo cual se utilizó la fórmula:

$$P = (F1 - F2) \left(\frac{D2}{2} \right) \omega \quad \mathbf{Ecu.3.35.}$$

$$P = (260 - 32.48) \left(\frac{\left\langle \frac{16''}{1''} \left| \frac{25.4mm}{1000 mm} \right| \frac{1 m}{1000 mm} \right\rangle}{2} \right) \left\langle 465 \frac{rev}{min} \left| \frac{2\pi rad}{1 rev} \right| \frac{1 min}{60 seg} \right\rangle$$

$$\mathbf{P = 4500 w}$$

Los resultados demuestran que el cálculo ha sido óptimo ya que nos dan la potencia del generador.

3.4.3.7 Resistencia por fatiga del eje de turbina y diámetro mínimo.

Para ello seleccionamos un material para ejes el cual hemos escogido en acero 1030 CD (laminación en frío) más características se las puede observar en la tabla:

TABLA N°3.7 “CARACTERÍSTICAS DE MATERIAL EN EJE”

Numero UNS	Numero AISI	Procesamiento	Resistencia de Fluencia (Mpa,Kpsi)	Resistencia a la Tensión (Mpa,Kpsi)	Elongación en 2 pulg %	Reducción en área %	Dureza Brinell HB
G10300	1030	CD (Laminado en Frío)	440(64)	520(76)	12	35	149

Fuente: BUDYNAS Richard G., 2008 (pág. 1020).
Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

Límite de Fluencia $S_y = 440\text{Mpa}$

Límite de Ruptura $S_u = 520\text{Mpa}$

Factor de confiabilidad = $S_n = 0.5 (S_u)$

$S_n = 260\text{MPpa}$

Usando la fórmula ASME, tenemos:

$$d^3 = \frac{16}{\pi S d} \sqrt{(K_m M_{max})^2 + (K_t T_{max})^2} \quad \text{Ecu.3.36.}$$

$$d^3 = \frac{16}{\pi \times 66} \sqrt{(1.5 \times 6)^2 + (1 \times 12.14)^2}$$

$$d^3 = 0.07716 \times 15.11$$

$$d = 1.17 \text{ cm}$$

Dado que las características del material del eje son bastante endurecidas el diámetro disminuye, pero para granizar sus años de uso y que sus características mecánicas soporten el flujo de agua lo sobre dimensionaremos de su diámetro calculado.

$$d = 3,4 \text{ cm}$$

Mmax = momento flector máximo.

$$M_{max} = \sqrt{(M_x)^2 + (M_y)^2} \quad \text{Ecu.3.37.}$$

$$M_{max} = \sqrt{(6)^2 + (0.37)^2}$$

$$M_{max} = 6 \text{ kg/m}$$

Dónde:

$$M_x = \frac{Fr \cdot a}{2} \quad \text{Ecu.3.38.}$$

$$M_x = \frac{81 \times 0.15}{2}$$

$$M_x = 6 \text{ kg/m}$$

$$My = \frac{Pr \cdot a}{2} \quad \text{Ecu.3.39.}$$

$$My = \frac{5 \times 0.15}{2}$$

$$My = 0.37 \text{ kg}$$

Pr = es el peso del rodete en kg (5kg).

Fr = es la fuerza tangencial del rodete en kg, obtenido es:

$$Fr = \frac{1948 P_T}{N D_e} \quad \text{Ecu.3.40.}$$

$$Fr = \frac{1948 (5.8kW)}{465 (0.300)}$$

$$Fr = 81 \text{ kg}$$

PT = potencia al freno de la turbina en kW.

N = número de revoluciones de giro de la turbina en RPM.

a = distancia que existe en entre el punto medio del eje y el radio del eje.

De = diámetro exterior del rodete, en metros.

Tmax = es el momento torsor máximo que se presenta en el eje, en kg- m y se obtiene con la fórmula:

$$Tmax = \frac{974 P_T}{N} \quad \text{Ecu.3.41.}$$

$$T_{max} = \frac{974 (5.8)}{465}$$

$$\mathbf{T_{max} = 12.14kg/m}$$

Km = factor de momento flector para carga estable estimado con un valor de 1.5.

Kt = factor de momento flector para carga estable estimado con un valor de 1.0.

Sd = es el esfuerzo de diseño, en Mpa, del material utilizado para el eje, que se estima como un 15% del valor de esfuerzo de fluencia cuando se utiliza una chaveta.

$$Sd = 440 \times 20\%$$

$$\mathbf{Sd = 66 Mpa}$$

3.4.3.8 Álabes.

Se lo constituye tomando en cuenta el diámetro del rodete y del ángulo del alabe β_2 , siguiendo la E.1.13:

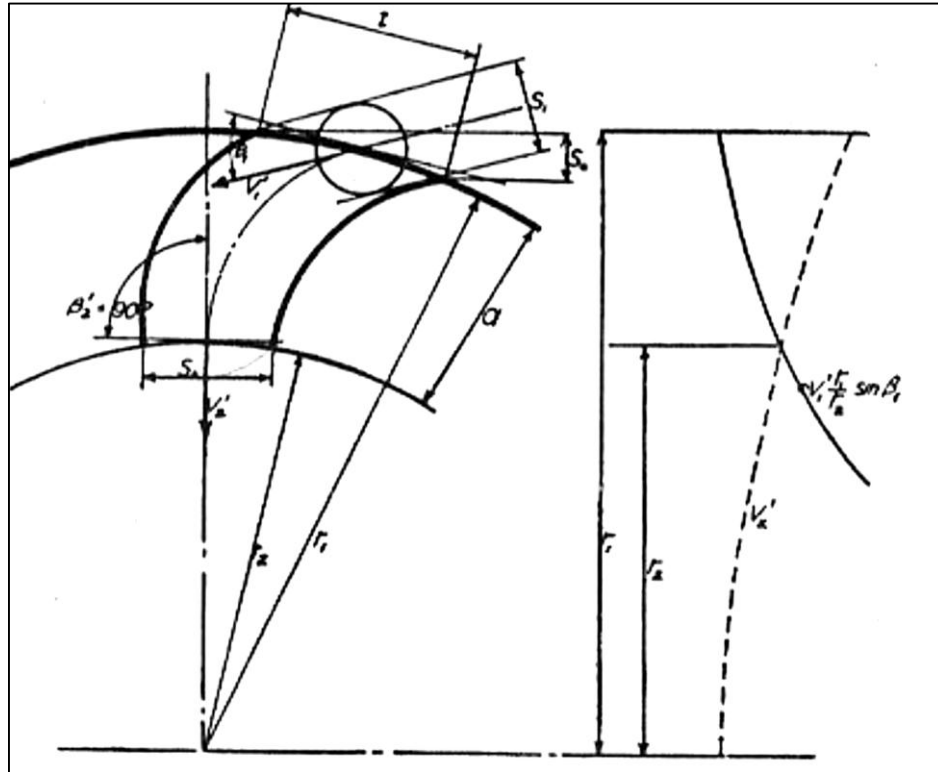
$$r = \frac{0.300}{4 \cos 21.22} \left| 1 - \left| \frac{0.200}{0.300} \right|^2 \right|$$

$$r = 0.08064 | 1 - | 0.6666 |^2 |$$

$$\mathbf{r = 0.045 m \approx 45mm}$$

En la FIG. 3.15, 3.16. Observamos la dimensión y geometría del álabe para lo cual su radio es de 45 mm en la figura representada por las letras A y B, de similar Forma el Punto C, es la intersección del ángulo del álabe δ el cual lo calculamos:

FIGURA N°3.15 “GEOMETRIA DE LOS ÁLABES”



Fuente: MOCKMORE. C.A. , 1949 (pág. 09).
 Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

3.4.3.8.1 Ángulo de curvatura de los álabes

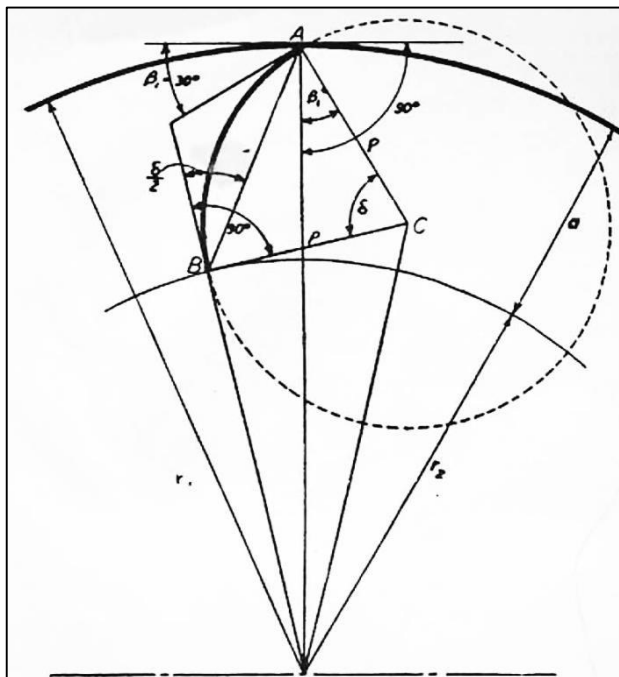
$$\delta = 2 \operatorname{arc} \operatorname{tg} \left| \frac{\operatorname{Cos} \beta_2}{\left| \frac{Di}{De} \right| + \operatorname{Sen} \beta_2} \right| \quad \text{Ecu.3.42.}$$

$$\delta = 2 \operatorname{arc} \operatorname{tg} \left| \frac{\operatorname{Cos} 21.22^\circ}{\left| \frac{0.200\text{mm}}{0.300\text{mm}} \right| + \operatorname{Sen} 21.22^\circ} \right|$$

$$\delta = 2 \operatorname{arc} \operatorname{tg} \left| \frac{0.93335}{1.2002} \right|$$

$$\delta = 75.74^\circ \approx 75^\circ$$

FIGURA N°3.16 “ÁNGULO Y DIMENSIONES DE ÁLABE”



Fuente: MOCKMORE. C.A. , 1949 (pág. 16).
 Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

TABLA N°3.8 “TUBERÍA CONVENCIONAL PARA CONSTRUCCIÓN DE ÁLABES”

DIÁMETRO DEL ROTOR (mm)	TUBERÍA		
	DIÁMETRO (pulg)	ESPESOR (mm)	PESO (kgf/m)
200	2½	5,16	8,62
300	4	6,02	16,07
400	5	6,55	21,78


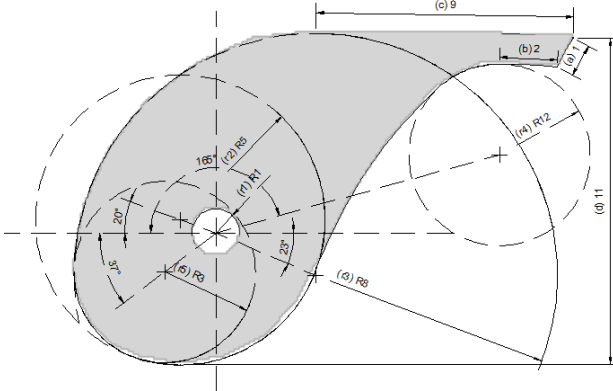
Fuente: PAZ PÉREZ Edgar & Otros, (pág. 03).
 Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

Para fines prácticos se ha detallado una tabla donde figuran los diámetros de tubería con proporcionalidad a la dimensión del rodete que se usaran ya que estos conllevan el ángulo y la dimensión antes calculada, en nuestro caso cada álabe será de 75° con un $r = 45\text{mm}$, respectivamente, se requiere uniformidad en sus cortes ya que de estos dependerá la eficiencia de la turbina.

3.4.3.9 Álabes Regulador.

Responde a un diseño aerodinámico que vaya proporcional a la entrada y al inyector, ya que de este dependerá el cierre y apertura, en nuestra construcción hemos visto necesario hacerlo hueco, y con Hierro negro de 4mm, recubierto con varias capas de Anticorrosivo industrial, con el objeto de disminuir su oxidación las dimensiones y cotas con las que se lo fabrico se las verá a continuación:

TABLA N°3.9 “DIMENSIÓN DEL ÁLABE DIRECTOR FORMA CONSTITUTIVA Y FÍSICA”

DIMENSIÓN (mm)	COTAS, ÁNGULOS Y DIMENSIONES (mm)
	
a	10
b	20
c	90
d	110
R1	10
R2	50
R3	320
R4	120
R5	30

Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

Otro aspecto que vale la pena considerar es el eje el cual será montado con las mismas características de material considerado en el eje principal y calculado mediante la fórmula ASME E.3.39, que detalla un diámetro mínimo para eje que lo pondremos en nuestro mecanismo regulador, de soporte mediante un conjunto regulador cambiara su ángulo para aumentar o disminuir la velocidad de entrada del agua al rodete, con el objeto de aumentar o disminuir su revolución.

$$d = 1.17 \text{ cm} \approx 1 \text{ cm}$$

$$l = 40 \text{ cm}$$

3.4.4 Diseño de Transmisión de Potencia Mecánica.

Ya que nuestra turbina no entrega el número de revoluciones del generador, sabiendo que este tiene una velocidad nominal de 3600 rpm, debemos aplicar un sistema de transmisión de potencia de aumento ya que el número de revoluciones óptimas de turbina son 465 rpm en vacío, para lo cual seleccionamos transmisión por medio de bandas en V ya que son las más convencionales, de fácil mantenimiento, montaje y alineación.

3.4.4.1. Diseño Mecánico Poleas en V.

Datos el diseño:

Potencia del Generador = 4.5 kW

Número Óptimo de revoluciones de la Turbina (rpm) = 465 rpm/min.

Velocidad Nominal del Generador (rpm) = 3600 rpm/min

Horas de Generación Aproximada = 6 h/día

Seleccionamos el tipo del canal de la banda con las siguientes tablas:

TABLA N°3.10 “VALORES PARA SELECCIÓN DE TIPO DE CANAL PARA BANDA”

Máquina accionada		Grado de irregularidad											
Casi sin sacudidas: generador de corriente, faja transportadora, tornillo transportador, máquinas herramientas, ventilador, turbosoplador, compresor rotativo, agitador, mezclador para densidad uniforme.		I											
Sacudidas moderadas: accionamiento principal en máquinas herramientas, mecanismos de giro de grúas, bombas de émbolo de varios cilindros.		II											
Sacudidas violentas: prensas, estampadores, cizallas, centrifugas pesadas, perforadores, molinos.		III											

Transmisión	Grado de irregularidad en máquina conducida	MÁQUINA PROPULSORA											
		Motor eléctrico. Horas de funcionamiento diario				Turbinas, motores multicilíndricos. Horas de funcionamiento diario				Motores monocilíndricos. Horas de funcionamiento diario			
		0.5	3	8	24	0.5	3	8	24	0.5	3	8	24
Engranajes cilíndricos y cónicos, así como ruedas de fricción	I	0.5	0.8	1.0	1.25	0.8	1.0	1.25	1.5	1.0	1.25	1.5	1.75
	II	0.8	1.0	1.25	1.5	1.0	1.25	1.5	1.75	1.25	1.5	1.75	2.0
	III	1.25	1.5	1.75	2.0	1.5	1.75	2.0	2.25	1.75	2.0	2.25	2.5
Transmisión por tornillo sin fin, así como por cadenas	I	0.5	0.75	1.0	1.25	0.7	0.95	1.2	1.45	0.85	1.1	1.35	1.6
	II	0.7	0.95	1.2	1.45	0.85	1.1	1.35	1.6	1.0	1.25	1.50	1.75
	III	1.0	1.25	1.5	1.75	1.2	1.45	1.7	1.95	1.35	1.6	1.85	2.1
Transmisión por fajas	I	0.5	0.75	1.0	1.25	0.65	0.9	1.15	1.4	0.75	1.0	1.25	1.5
	II	0.65	0.9	1.15	1.4	0.75	1.0	1.25	1.5	0.9	1.15	1.4	1.65
	III	0.9	1.15	1.4	1.65	1.0	1.25	1.5	1.75	1.1	1.35	1.6	1.85

Fuente: CASTROMONTE Eusebio, 1995 (p.171)

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

En nuestro caso tenemos una máquina accionada casi sin sacudidas con un grado de irregularidad de I, y ya que nuestra transmisión es por bandas el cuadro que va proporcional al número de horas de funcionamiento como estimamos 6 horas en nuestro recuadro no existe el valor así que tabulamos a 8 horas y nos da un valor de

1.15 respectivamente, lo cual es nuestro primer término para la siguiente ecuación:

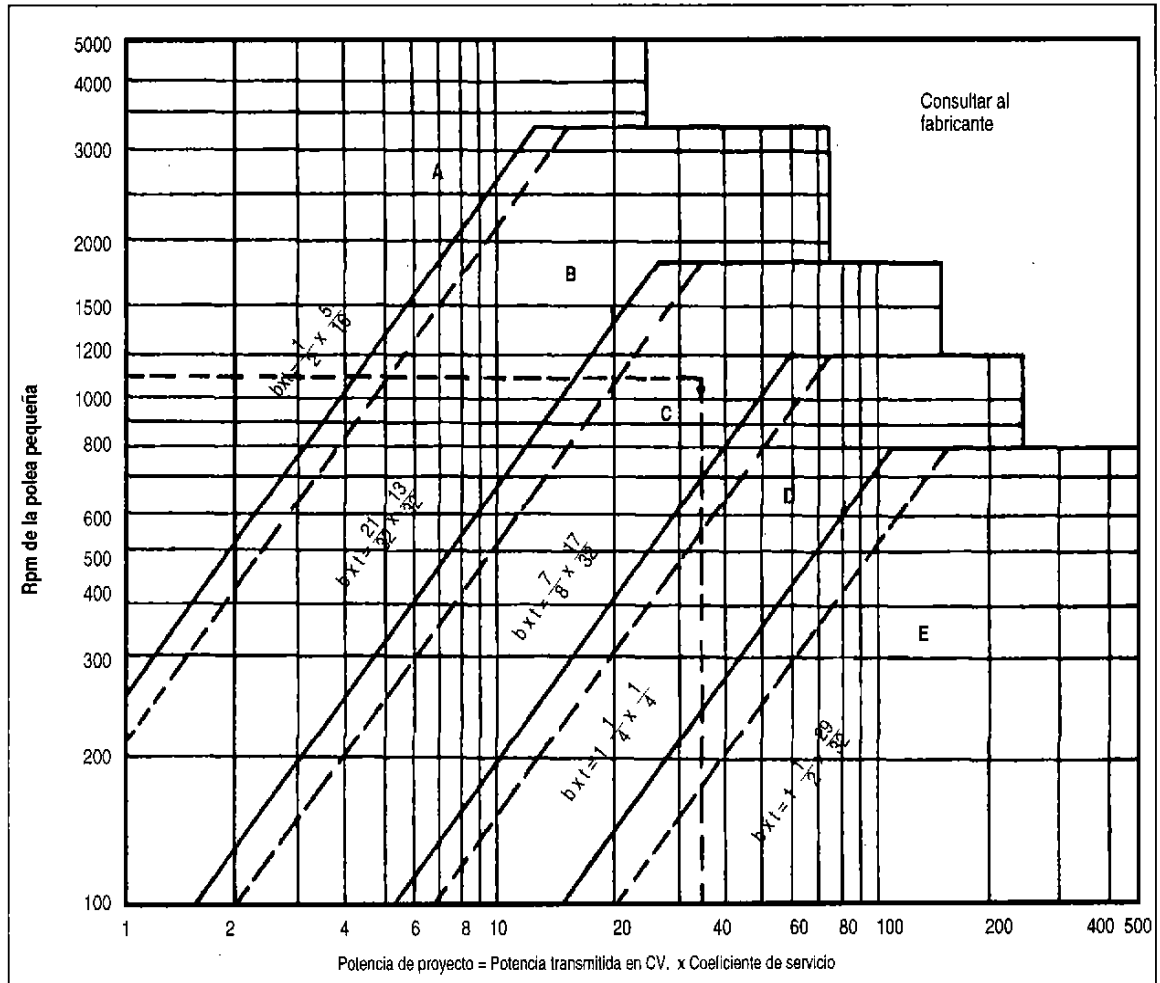
Sección de Polea = Factor (1.15) x Potencia del Generador [C.V] Ecu.3.43.

Sección de Polea = (1.15) x 4500W

Sección de Polea = 5175 W = 7 C.V.

Donde procedemos a seleccionar entre secciones tipo A, B, C, D y E, guiándonos en la tabla:

TABLA N°3.11 “TIPO DE CANAL PARA BANDA TIPO V”



Fuente: CASTROMONTE Eusebio, 1995 (p.172)

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

Ya que el generador girará a una velocidad de 3600rpm y entregara una potencia de 7 C.V, pues tabulamos seleccionando la banda de canal A que de acuerdo a la tabla es la más óptima para el proyecto donde sus dimensiones podremos ver en la TABLA N° 3.12.

TABLA N°3.12 “BANDAS EN V, CARACTERÍSTICAS DE SECCIÓN TRANSVERSAL TIPOS A, B, C, D, E”

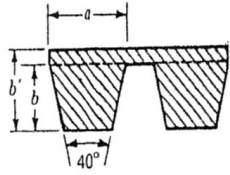


Tabla 17-3 BANDAS V PARA SERVICIO PESADO-CARACTERÍSTICAS DE SECCIÓN TRANSVERSAL

Designación	Anchura, <i>a</i> pulg (mm)	Espesor de una banda, <i>b</i> pulg (mm)	Espesor de varias bandas unidas, <i>b'</i> pulg (mm)	Intervalos de potencial por banda hp (kW)	Tamaños típicos de polea estándar pulg (mm)
Serie - pulg					
A	0.50	0.31	0.41	0.2-5	Desde 2.6 increms. de 0.2
B	0.66	0.41	0.50	0.7-10	Desde 4.6 increms. de 0.2
C	0.88	0.53	0.66	1-21	Desde 7.0 increms. de 0.5
D	1.25	0.75	0.84	2-50	Desde 12.0 increms. de 0.5
E	1.50	0.91	1.03	4-80	Desde 18.0 increms. de 1.0
Serie - SI					
13C	(13)	(8)	(10)	(0.1-3.6)	(Desde 65 increms. de 5)
16C	(16)	(10)	(13)	(0.5-72)	(Desde 115 increms. de 5)
22C	(22)	(13)	(17)	(0.7-15.0)	(Desde 180 increms. de 10)
32C	(32)	(19)	(21)	(1.3-39.0)	(Desde 300 increms. de 20)

Fuente: SHIGLEY Edward.J, 1983 (p.806)

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

Ya que seleccionamos el perfil de la Banda procedemos aplicar la E.1.15 donde:

$$n = \frac{3600}{465} = \phi_2 / \phi_1$$

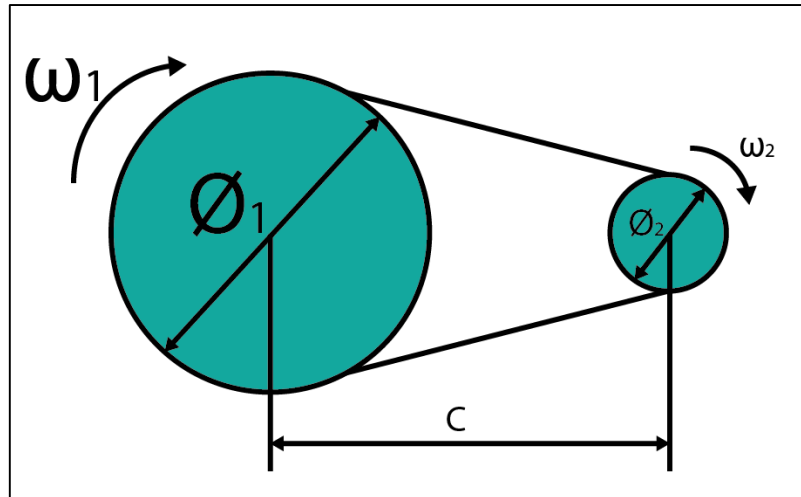
$$n = 7.74 \approx 8$$

$$n = 8$$

Ya teniendo la relación de transmisión en textos se recomienda utilizar un diámetro mínimo para motores y/o generadores de 3” que corresponde a la polea conducida ya que nuestro sistema de transmisión es de aumento; pero dado que nuestro generador es de alta revolución dispondremos de una polea de 2” respectivamente y procedemos aplicar la formula Ecu.1.19. Desarrollamos:

$$\omega_1 \times \phi_1 = \omega_2 \times \phi_2$$

FIGURA N°3.17 “NOMECLATURA DE SISTEMA DE TRANSMICIÓN”



Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

$\phi_1 = ?$ (Polea Conductora, Turbina)

$\omega_1 =$ Velocidad Angular (465 rpm Numero óptimo de Revolución)

$\phi_2 = 2''$ (Polea Conducida, Generador)

$\omega_2 = 3600rpm$ (Velocidad Nóminal)

Entonces Reemplazamos para obtener el ϕ_1 que corresponde a la polea conductora:

$$\phi_1 = \frac{\omega_2 \times \phi_2}{\omega_1}$$

$$\phi_1 = \frac{3600 \times 2''}{465}$$

$$\phi_1 = 15.40''$$

$$\phi_1 = \mathbf{16''}$$

La transmisión debe ser comprobada de la siguiente por la división de sus diámetros que nos dará como resultante el factor de transformación Ecu.1.18.

$$n = \frac{16''}{2''}$$

$$\mathbf{n = 8}$$

Que sustenta nuestro requerimiento tanto la diferencia de diámetro como el factor son los mismos; asimilando los resultados calculamos la distancia entre centros mediante la Ecu.1.21.

$$C = \frac{(\phi_1 + 3\phi_2)}{2}$$

$$C = \frac{(16'' + 3(2''))}{2}$$

$$\mathbf{C = 11''}$$

Procedemos hallar la longitud de banda Ecu.1.20:

$$L = \frac{2C + \pi(D + d)}{2} + \frac{(D - d)^2}{4C}$$

$$L = \frac{2(11") + \pi(16" + 2")}{2} + \frac{(16" - 2")^2}{4(11")}$$

$$L = \frac{22 + 56.54}{2} + 4.45$$

$$L = 43.72$$

TABLA N°3.13 “LONGITUDES ESTANDARIZADAS DE BANDAS”

Longitudes normalizadas de correas trapezoidales norteamericanas. Constantes de potencia							
SECCIÓN A		SECCIÓN B		SECCIÓN C		SECCIÓN D	
D min = 3 pulg (7,62 cm)		D min = 5,4 pulg (13,71 cm)		D min = 9 pulg (22,86 cm)		D min = 13 pulg (33 cm)	
Correa núm.	Longitud primitiva pulg (cm)	Correa núm.	Longitud primitiva pulg (cm)	Correa núm.	Longitud primitiva pulg (cm)	Correa núm.	Longitud primitiva pulg (cm)
A26	27,3 (69,3)	B35	36,8 (93,4)	C51	53,9 (136,9)	D120	123,3 (313,1)
A31	32,3 (82,0)	B38	39,8 (101,1)	C60	62,9 (159)	D128	131,3 (333,5)
A35	36,3 (92,2)	B42	43,8 (111,2)	C68	70,9 (180)	D144	147,3 (374,1)
A38	39,3 (99,8)	B46	47,8 (121,4)	C75	77,9 (197,8)	D158	161,3 (409,7)
A42	43,3 (109,9)	B51	52,8 (134,1)	C81	83,9 (213,1)	D173	176,3 (447,8)
A46	47,3 (120,1)	B55	56,8 (144,2)	C85	87,9 (223,2)	D180	183,3 (465,5)
A51	52,3 (132,8)	B60	61,8 (156,9)	C90	92,9 (235,9)	D195	198,3 (503,6)
A55	56,3 (143,0)	B68	69,8 (177,2)	C96	98,9 (251,2)	D210	213,3 (541,7)
A60	61,3 (155,7)	B75	76,8 (195,0)	C105	107,9 (274,0)	D240	240,8 (611,6)
A68	69,3 (176,0)	B81	82,8 (210,3)	C112	114,9 (291)	D270	270,8 (687,8)
A75	76,3 (193,0)	B85	86,8 (220,4)	C120	122,9 (312,1)	D300	300,8 (764,0)
A80	81,3 (206,5)	B90	91,8 (233,1)	C128	130,9 (332,4)	D330	330,8 (840,2)
A85	86,3 (219,2)	B97	98,8 (250,9)	C144	146,9 (373,1)	D360	360,8 (916,4)
A90	91,3 (231,9)	B105	106,8 (271,2)	C158	160,9 (408,6)	D390	390,8 (992,6)
A96	97,3 (247,1)	B112	113,8 (289,0)	C173	175,9 (446,7)	D420	420,8 (1068,8)
A105	106,3 (270,0)	B120	121,8 (308,3)	C180	182,9 (464,5)	D480	480,8 (1221,2)
A112	113,3 (287,7)	B128	129,8 (329,6)	C195	197,9 (502,6)	D540	540,8 (1373,6)
A120	121,3 (308,1)	B144	145,8 (370,3)	C210	212,9 (540,7)	D600	600,8 (1526,0)
A128	129,3 (328,4)	B158	159,8 (405,8)	C240	240,9 (611,8)	D660	660,8 (1672,4)
		B173	174,8 (444,0)	C270	270,9 (688,0)		

Fuente: CASTROMONTE Eusebio, 1995 (p.173)

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

Dado que la TABLA. 3.13 nos señala numeraciones de bandas según su longitud debemos considerar las secciones tomando en cuenta que al montar un sistema de transmisión se lo hace con elementos de templeaje para lo cual consideramos: A42 y A46 respectivamente; aunque para el diseño escogeremos el inmediato superior la banda A46, lo que sugiere cambiar la dimensión entre centros.

Distancia entre centros corregida:

$$C' = C + \frac{(A46 - L)}{2} \quad \text{Ecu.3.44.}$$

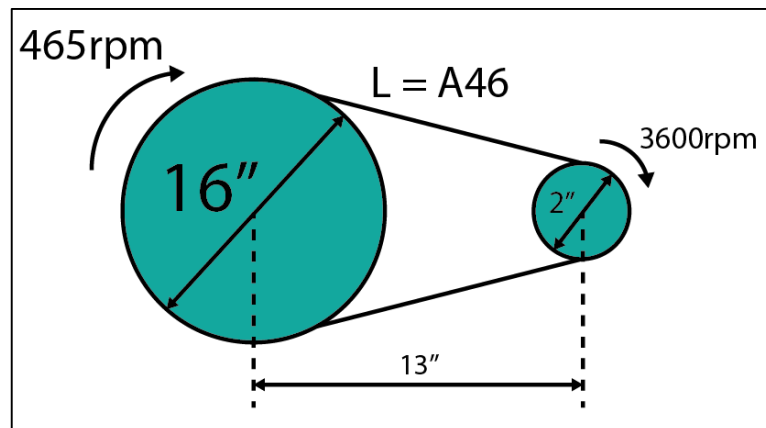
$$C' = 11" + \frac{47.3 - 43.72}{2}$$

$$C' = 11" + 1.79$$

$$C' = 12.79 \approx 13" \text{ Corregida}$$

Resumiendo resultados y longitudes tenemos:

FIGURA N°3.18 “RESUMEN DE RESULTADOS PARA BANDAS Y POLEAS”



Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

Dados que los cálculos se los realizo cuando la turbina opera a plena carga y su número óptimo de revoluciones son de 465, para garantizar el funcionamiento en temporadas de verano donde el agua baja hasta en un 40% pondremos un aditamento mecánico conocido como caja de transmisión multiplicadora $i=10$ que nos proporciona una relación de transmisión de 1 a 10 vueltas que quiere decir que nuestro sistema funcionara hasta cuando nuestra turbina gire a 360rpm.

3.4.5 Sistema Electrónico.

En nuestro caso una máquina eléctrica rotativa denominada alternador con velocidad de sincronismo donde su constitución física consta de un devanado de campo llamado así ya que sus bobinas se encuentran en la carcasa y los polos en el rotor, extraído de una planta de luz con accionamiento a combustible de 4 ciclos, un cilindro con desplazamiento de 170 cc, su denominación es Japonesa marca Honda su sistema de control es mediante regulador automático de voltaje, FIGURA 3.20, con un fusible de protección y terminales que nos entregan 12V, 24 DC con 4.2A, y 120V, con frecuencia de 60Hz respectivamente.

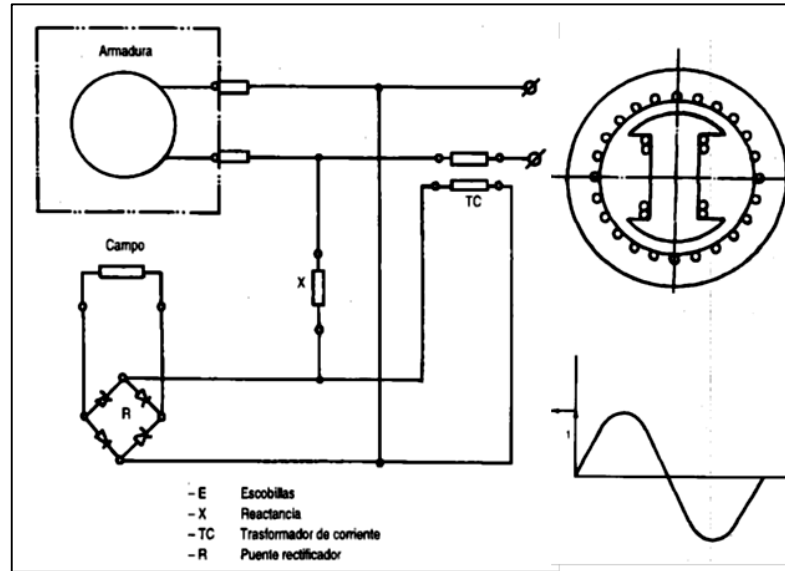
FIGURA N°3.19 “FORMA FÍSICA DEL GENERADOR”



Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

FIGURA Nº3.20 “CONTROLADOR DE VOLTAJE INTERNO DEL GENERADOR”



Fuente: GUERRA. J. & QUIROZ. L, 1995. (p.197-204)

Elaborado por: Aimaña Edison, Almachi Hugo.

3.4.5.1 Generador Síncrono.

De velocidad Sincrónica de polos salientes, configuración B, de alta revolución lo cual responde a la E.1.22.en nuestro caso tenemos:

$$rpm = \frac{120 \times f}{p}$$

$$rpm = \frac{120 \times 60}{2}$$

$$rpm = 3600$$

Su eje está diseñado para transmisión de potencia por poleas ya que este se alimentaba de revoluciones al motor de combustión por una banda tipo B de canal profundo y con polea de 4", en nuestro proyecto solo fue necesario cambiar la polea por una más corta de 2" respectivamente.

3.4.6 Líneas Eléctricas

Para alimentar de 110V a una acometida residencial monofásica, de 800W de potencia como dato máximo por vivienda, que está situada a 500m de la planta generadora, disponemos de un conductor de cobre. Debemos calcular la sección del conductor para que la caída de tensión máxima no llegue a menos de 109V ya que los equipos o aparatos eléctricos pueden averiarse.

Debemos considerar que entre los datos del generador esta entrega 120V una sobredimensión del voltaje que necesitaremos ya que este será sometido a pérdidas por longitud para lo cual consideramos la Ecu.1.23, para determinar la sección que debemos seleccionar en el proyecto:

Datos:

$$(\text{cobre})\rho = 0.0178 \Omega \times \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

$$l = 500 \text{ m}$$

$$P = 800\text{W}$$

$$u = 120 - 109 \text{ V}$$

$$U = 120$$

$$S = \frac{200 \times 0.0178 \times 500 \times 800}{120 \times 0.09 \times 120^2} \text{mm}^2$$

$$S = \frac{200 \times 0.0178 \times 500 \times 800}{9 \times 120^2} \text{mm}^2$$

$$S = \frac{1602000}{129600} \text{mm}^2$$

$$\mathbf{S = 12.36 \text{ mm}^2}$$

Escogemos el calibre del conductor según la TABLA 3.14, la respuesta equivale a la sección real respectivamente:

$$S = 12.36 \text{ mm}^2 \text{ tabulamos a } 13.3$$

$$\text{Sección Real} = 16 \text{ mm}^2$$

$$\text{AWG} = \text{N}^\circ 6$$

TABLA N°3.14 “SECCIÓN Y CALIBRE DEL CONDUCTOR”

AWG	MCM	Sección Real (mm ²)	mm ²
22	-	0.324	0.5
20	-	0.517	0.75
18	-	0.821	1
16	-	1.31	1.5
14	-	2.08	2.5
12	-	3.31	4
10	-	5.26	6
8	-	8.37	10
6	-	13.3	16
4	-	21.2	25
2	-	33.6	35
1	-	42.4	50
1/0	-	53.3	70
2/0	-	67.4	70
3/0	-	85	95
4/0	-	107.2	120

Fuente: necesitoprecios.com/2011/10/

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

Para lo cual hemos implementado un cable Multiplex, Duplex 2x6 respectivamente.

3.4.6.1 Tablero de Control.

Cuando es empleada carga eléctrica, es vitalmente necesario controlar y conocer exactamente los valores de la tensión, corriente y potencia capaces de ser por los generadores y absorbidos por la residencia a la que se implementó, los elementos que se emplearon en nuestro circuito son:

FIGURA N°3.21 “TABLERO DE CONTROL COMPONENTES”



Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

Voltímetro: Nos permite medir la tensión o voltaje, está constituida por una alta impedancia para ser conectado en derivación es decir, directamente a los bornes del aparato cuya tensión se desea medir, en nuestro caso reutilizamos el equipo que se encontraba montado en el módulo de generación el cual tiene una escala analógica de 240V alternos, y se lo conecto en paralelo a la línea.

Amperímetro: Con el que medimos la intensidad de corriente, su impedancia interna es baja, por lo que es conectado en serie con las cargas receptoras y nunca en paralelo para evitar cortocircuitos, de marca CAMSCO, el amperímetro tiene su graduación de

hasta 80A, valor suficiente ya que nuestro generador en 110V entregaría una intensidad de 36A.

De los elementos auxiliares de Control: Tenemos una luz piloto indicadora de que el generador está en funcionamiento de color verde, CAMSCO, DE 220-110V.

Seccionamiento: Conformados por elementos de conexión y desconexión del generador hacia los receptores (consumidores), elementos que desconectarán el sistema por sobrecarga o cortocircuito, para proteger al generador para lo cual hemos empleado un interruptor termomagnético de 15 A respectivamente en la línea, para la desconexión automática a una eventual falla de operación o avería será dada por un fusible de 5 A.

De la Protección a tierra: Dentro de los bornes del generador un cable especificado se lo conecta a la estructura metálica del generador llamada también como (masa) de un color amarillo por lo general; y si es necesario aterrizar el sistema a tierra se lo debe hacer con un cable 4AWG, conectados a una varilla copperweld con una longitud de 3 metros y un diámetro de 16mm.

3.4.7 Recomendaciones de Construcción e Implementación.

Construcción de Turbina, Equipo Electromecánico: Para llevar a cabo la construcción se requiere un taller metalmecánico que conste de máquinas herramientas tales como: torno, fresa, taladro, prensa y elementos como lijas cepillos, así mismo equipo de soldadura para metales inoxidables, como la capacidad de producir elementos en base a procesos de fundición para tener un resultante requerido con las eficiencias antes estipuladas.

Construcción de Inyector: se lo hizo con un material de hierro negro para las paredes ya que por medio de este para el potencial de agua, nosotros utilizamos una plancha con cedula de 4mm, el plano fue impreso a escala 1:1 para que sus ángulos y dimensiones no sean modificadas.

FIGURA N°3.22 “CONSTRUCCIÓN DEL INYECTOR”



Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

Construcción del álabe director: se lo de igual forma de una plancha de hierro negro de 4mm y no por fundición ya que sus características resultaban costosas de igual forma el plano se lo imprimió a una escala de 1:1 con el objeto de que sus ángulos y dimensiones no sean modificadas. El terminado de este mecanismo debe ser totalmente liza para evitar puntos cavitantes, con varias capas de anticorrosivo eliminando en un porcentaje su oxidación esta hecho de manera que dentro del inyector alcanza un alto índice hermético con el objeto de acelerar o desacelerar a la turbina.

**FIGURA N°3.23 “CONSTRUCCIÓN DEL
ÁLABE DIRECTOR”**



Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

Construcción del Rodete: Conformado por discos, cubos y álabes para los dos primeros se usara un material más robusto con una cedula de 5mm para no aumentar la inercia, ya que el rodete se someterá a procesos de soldadura se recomienda fresar en el disco los perfiles de los alabes para luego de ensamblados, efectuar una soldadura exterior y así obtener la eficiencia requerida, los álabes son de acero galvanizado.

FIGURA N°3.24 “CONSTRUCCIÓN DEL RODETE”



Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo.

Construcción del Eje Principal y de Alabe directriz: Se lo construyo con un acero procesado en frío para aumentar su dureza con un alto índice de resistencia de esfuerzo en flexión, ara su maquinado se definió sus escalonamientos y canales para chaveta para el montaje de las chumaceras, otro aspecto que vale la pena mencionar es que se los debe hacer con una respectiva tolerancia para facilitar su montaje, de la misma forma lo ejes deberán estar balanceados simétricamente para eliminar cabeceos y vibraciones que dañen los canales y los rodamientos, así mismo el eje del álabe deberá ser constituido con los mismos parámetros con el afán de obtener una simetría de regulación.

Construcción del Mecanismo Regulador: Se lo realizo con un volante que permite su fácil manipulación y operación, esta accionando un tornillo M12, largo que modifica el ángulo de posicionamiento del álabe directriz el mismo que se desliza por el inyector.

FIGURA N°3.25 “CONSTRUCCIÓN DEL MECANIZMO DE REGULACIÓN”



Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo

Construcción de la Carcasa: Se lo realizo con material no tan robusto con el fin de disminuir al sistema el peso para su fácil transporte pero a su vez este es el encargado de soportar a los elementos ensamblados así mismo de estar en contacto con el

exterior para lo cual se le suministro varias capas de anticorrosivo para mantener su acabado libre de oxidación.

De la Implementación a la Base de Concreto: Se lo realizo utilizando roca, arena y cemento haciendo un solo bloque de hormigón Armado que en sus bordes lleva pernos M8, para ahí hacer el empotramiento de la máquina generadora con el afán de evitar deslizamientos producidos por el agua, así también el desfogue debe ser lo suficientemente amplio para que la cantidad de agua que entre salga sin producir inundaciones que puedan dañar al sistema.

De la casa de máquinas: Esta se lo hizo con el fin de evitar el contacto directo de la maquina con el exterior, de igual forma protegiendo al sistema de la lluvia y de las inclemencias del medio.

FIGURA N°3.26 “CONSTRUCCIÓN DE LA CIMENTACIÓN DE LA MÁQUINA”



Fuente: Los Autores.

Elaborado por: Aimacaña Edison, Almachi Hugo

3.4.8 Costos.

Los costos del proyecto son accesibles a los beneficiarios, debido principalmente a los factores ambientales y a la utilización de material relativamente de bajo precio ya que todos sus componentes han sido construidos de forma local sin necesidad de importación estos entregan estabilidad al momento de generar energía gracias a la tecnología sencilla que usan, económicamente este proyecto es rentable y accesible.

TABLA N°3.15 “COSTOS DE CONSTRUCCIÓN CIVIL”

MATERIALES				
Material	Descripción	Unidades	Precio	Total
Cemento	quintal	25,00	9,00	225,00
Varilla 1/2 Andec	quintal	1,00	70,00	70,00
Hojas de Zing	und	8,00	12,00	96,00
Alambre de amarre	lbs	10,00	5,00	50,00
Tacos o Pingos	und	40,00	6,00	240,00
MATERIAL HIDRÁULICO				
Tubería PVC 6" (3m)	und	6,00	38,00	228,00
Tubería PVC 4" (3m)	und	6,00	8,50	51,00
Reductores 6/4 PVC	und	4,00	6,60	26,40
Uniones PVC	und	6,00	0,90	5,40
Pega para Tubería	und	10,00	21,50	215,00
Válvula 4"	und	1,00	240,00	240,00
MANO DE OBRA				
Descripción de Obra	Personal	Días	Precio Unitario	Precio Total
Construcción de Desarenador y Cuarto de Máquinas	días/albañil	93,00	25,00	2325,00
Instalación de tuberías	días/plomero	10,00	25,00	250,00
Instalación Pingos para líneas eléctricas.	días/eléctrico	25,00	18,00	36,00
TOTAL OBRA CIVIL				4.080,80

COSTO INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y PICO GENERADOR				
Equipo	Unidades	Cantidad	Precio Unitario	Precio total
Turbina Banki	und	1,00	1.400,00	1.400,00
Válvula, Brida	und	1,00	280,00	280,00
Transmisión de potencia (poleas)	und	2,00	40,00	80,00
Generador monofásico 4.5kW	und	1,00	500,00	500,00
Gabinete de control	und	1,00	30,00	30,00
Amperímetro A.C.	und	1,00	12,00	12,00
Cable dúplex de cobre	mts	250,00	2,50	625,00
Cable flexible 12	mts	20,00	1,20	24,00
Breaker 15A	und	1,00	15,80	15,80
Fusible	und	1,00	0,20	0,20
Luz Piloto Verde	und	1,00	3,20	3,20
GASTOS DE MOVILIZACIÓN				
Movilización (4 personas) Sarapullo	Carrera	30,00	80,00	2400,00
Movilización albañiles Sarapullo	Carrera	16,00	40,00	640,00
Transporte (cemento, bloque, varilla)	viajes	4,00	120,00	480,00
TOTAL INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y PICO GENERADOR				6806,50
TOTAL PROYECTO				10887,30

Fuente: Los Autores
Elaborado por: Los autores

3.4.9 Beneficiarios.

3.4.9.1 Beneficiarios Directos

Los beneficiarios directos son los habitantes ocasionales y habitantes permanentes de la Finca “Praderas del Toachi”, pues gracias a la implementación del proyecto, se generó 4.5Kw de energía limpia y renovable son índices de contaminación dando una mejor calidad de vida a las personas de este sector rural.

3.4.9.2 Beneficiarios Indirectos

Los beneficiarios indirectos son las personas que viven los alrededores en las partes aledañas a esta finca que realizan acciones de comercio de pesca de agricultura productos extraídos de la caña tales como la panela o la guayusa, así mismo esta energía será consumida ocasionalmente por las escuelas aledañas a este sector, siendo los más favorecidos los estudiantes niños y adolescentes.

3.4.10 Aspectos de Implementación.

3.4.10.1 Tiempo estimado de duración de Proyecto.

En materiales mecánicos dado sus constituciones son robustas y de materiales que tienen alta durabilidad a la corrosión y deformación, se estima una duración de aproximadamente 20 años. En materiales móviles, tales como los que están montados en transmisión de potencia y rodamientos del generador con un mantenimiento adecuado se estiman que duren de 3 a 5 años, antes de hacer su primer mantenimiento correctivo.

El Generador debe estar aislado a tierra correctamente y sus protecciones deben estar en óptimas condiciones; pero generalmente hay que cambiar anualmente las escobillas (carbones), y limar el colector ara que sus contactos trabajen a potencia nominal. En cuanto a duración de obra civil se estima un tiempo de 12 a 15 años en tubería según como se sedimente y maneje los desperdicios generados en el desarenador y cámara de carga, los cuales tendrán que ser limpiados periódicamente.

3.4.10 Conclusiones y Recomendaciones

3.4.10.1 Conclusiones

- Como resultado de la investigación presentada, es posible concluir se diseñó, construimos e implementamos un pico generador hidroeléctrico con una capacidad máxima aplicable de 4500W en la Finca “Praderas del Toachi” satisfaciendo la demanda energética que requerían los moradores de este sector.
- A través del desarrollo y planeamiento de construcción mecánica de cada uno de los elementos que en conjunto componen el pico generador hidroeléctrico se concluye que esta comprende una eficiencia del 80% al 82% como fue planificada lo que nos da un resultado satisfactorio y una capacidad de generación óptima.
- El sistema es autosustentable ya que su factor imprescindible de funcionamiento es el paso del agua recurso de propiedades naturales y no contaminantes, que al transportarlos con un desnivel relativamente bajo genera un deslizamiento rotacional de la turbina que mediante una transmisión de potencia gira un alternador que finalmente produce energía eléctrica útil para los habitantes.
- Se desarrolló un manual de mantenimiento con el fin de alargar la vida útil de los mecanismos y componentes constitutivos del pico generador hidroeléctrico.

3.4.10.2 Recomendaciones

- Es recomendable dar mantenimiento al sistema, lubricando rodamientos del eje de la turbina, y cojinetes del generador; en cuanto a las bandas s debemos templarlas y alinearlas, con el fin de reducir rozamiento entre las paredes de la polea motriz y conductora.
- El desarenador, cámara de carga y mallas deben estar en constante limpieza con el fin de que no existan objetos propios del lugar, tales como ramas, piedras o elementos sólidos contundentes que puedan obstruir la tubería o dañar de los elementos mecánicos de la turbina.
- Es recomendable mantener la línea de distribución eléctrica suspendida y templada a 3.5m de altura, para evitar el contacto con ramas propias del sector que puedan ceder o romper los conductores.
- Se recomienda realizar empotramientos en la tubería de PVC para evitar deslizamientos, fracturas y esfuerzos que puedan lesionar las características físicas de este componente ya que su constitución es bastante sensible.
- Es importante que el pico generador hidroeléctrico este cubierto de precipitaciones de agua; ya que cuenta con elementos mecánicos que al estar en contacto con la humedad sufren corrosión y daño en sus propiedades físicas.

3.4.11 Bibliografía.

3.4.11.1 Bibliografía Citada.

- CASTEJÓN A; SANTAMARÍA G., *Tecnología eléctrica Electricidad y electrónica*. Interamericana de España, Editorial McGraw – Hill,1993.p.422-425.
- HERNANDES B. Carlos, (Organización Latinoamericana De energía), *Diseño Estandarización y fabricación de Turbinas (Michell – Banki)*. p. 01 – 65.
- SANCHEZ Teodoro & Otros, “Evaluación del Recurso Hidroenergético”. *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*. Lima: Soluciones Prácticas, 1995. p. 01,04.
- PERALES Tomás B. *Guía del instalador de energías renovables: energía fotovoltaica, energía térmica, energía eólica, climatización*. .p.08.
- ROMERO LOZANO Luís,. *Operación y puesta en servicio de instalaciones de energía eólica*, 2013.p.08.
- VALENTÍN LABARTA José Luis, *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*, 2012.p.70.

- SANTOS MARTÍNEZ María Dolores,. *Cuerpo de profesores de enseñanza secundaria, tecnología, programación didáctica*, 2005. p.35.
- CASTELLS Xavier Elías. *Los residuos como combustibles: Tratamiento y valorización energética de residuos*. Ediciones Díaz de Santos, 2012.p.745.
- SANZ OSORIO José Francisco. *Energía hidroeléctrica*. Universidad de Zaragoza, 2008. p.29.
- DAVILA C. & Otros, *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*. Lima: Soluciones Prácticas, 2010. p. 5-170.
- SEGURA Jorge & RODRÍGUEZ Luis, “*Obras Civiles*”. *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*. Lima: Soluciones Prácticas, 1995. p. 53-94.
- COZ Federico, “*Turbinas Hidráulicas*”. *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*. Lima, ITDG, 1995. p. 131 – 152.
- CASTROMONTE Eusebio, “*Sistemas de Transmisión de Potencia Mecánica*”. *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*. Lima,ITDG, 1995. p. 165 – 189.
- GUERRA J. & QUIROZ L, “*Electricidad*” *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*. Lima ITDG, 1995. p. 190-200.

- MIRANDA Homero, “Mantenimiento de Microcentrales”. *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*. Lima ITDG, 1995. p. 247 -250.
- BUDYNAS G. Richard, NISBETT Keith, “Cojinetes de contacto rodante” *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México, D.F., 8va.ed, Editorial McGraw – Hill, 2008. p. 550 - 570.

3.4.11.2 Bibliografía Consultada

- CASTEJÓN A; SANTAMARÍA G, 1993. *Tecnología eléctrica Electricidad y electrónica*. Interamericana de España, Editorial McGraw – Hill. 548p ISBN: 8448100786.
- DÁVILA, C.; VILAR, D.; VILLANUEVA, G.; QUIROZ, L. *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*. Lima: Soluciones Prácticas, 2010. 200p ISBN: 978-9972-47-210-5.
- ROMERO LOZANO Luís, 2013. *Operación y puesta en servicio de instalaciones de energía eólica*. Ediciones Paraninfo, S.A., 2013. 198p ISBN: 8428381445.
- PERALES Tomás Benito, 2005. *Guía del instalador de energías renovables: energía fotovoltaica, energía térmica, energía eólica, climatización*. Creaciones Copyright. 254p ISBN: 8496300145.

- VALENTÍN LABARTA José Luis, 2012. *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*. Editorial Donostiarra Sa, 2012. 140p ISBN: 8470634704.
- SANTOS MARTÍNEZ María Dolores, 2005. *Cuerpo de profesores de enseñanza secundaria. tecnología. programación didáctica*. MAD-Eduforma. 322p ISBN: 8466520163.
- CASTELLS Xavier Elías, 2012. *Los residuos como combustibles: Tratamiento y valorización energética de residuos*. Ediciones Díaz de Santos, 2012. 800p ISBN: 8499691269.
- SANZ OSORIO José Francisco, 2008. *Energía hidroeléctrica*. Universidad de Zaragoza, 2008. 402p ISBN: 8492521201
- METCALF & EDDY, INC, 1995. *Ingeniería de aguas residuales*. 3ra, ed, Editorial Mc Graw Hill.
- HATSCHEK, Emil ,1928. *The Viscosity of Liquids*. New York: Van Nostrand.
- MASSEY, B. S & WARD-SMITH A. J, 2011. *Mechanics of Fluids* (Ninth edition). London; New York: Spon Press ISBN: 9780415602594.
- HERNANDEZ B. Carlos, 1989. *OLADE, Organización Latinoamericana De energía), Diseño Estandarización y fabricación de Turbinas (Michell – Banki)*. VOL.1. Programa Latinoamericano de cooperación energética.114p.
- BUDYNAS & NISBETT, 2009 *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Miguel Ángel Ríos Sánchez.(ed. tec.). México, D.F., 8va.ed, Editorial McGraw – Hill, 2008. 1092 p ISBN: 13: 978-970-10-6404-7.

- COZ F, SANCHEZ, VIANI T, SEGURA J, RODRIGUEZ L, CASTROMONTE E. & Otros, 1995. *Manual de mini y microcentrales Hidráulicas*. Lima, ITDG. 284p ISBN : 1853392782.
- ARRILLAGA GARMENDIA, Jesús; EGUÍLUZ MORÁN Luis Ignacio. *Armónicos en sistemas de potencia*. (ed. tec.). Universidad de Cantabria, 1994. 373p. ISBN: 8481020850.

3.4.11.3 Bibliografía Web.

- LÓPEZ, Alexander. Mayo, 2011 *Energía hidráulica*. [ref.: 10- Nov -2014] [En Línea]. Disponible en Internet: <www.smienergias.wordpress.com/2011/05/22/energia-hidraulica-conclusiones>.
- RUAYELECTRIC, 2011 *Tabla de especificaciones, conductores eléctricos*. [ref.: 15- Dic -2014] [En Línea]. Disponible en Internet: <www.ruayelectric.com/docs/publicaciones/tabla_de_especificaciones_de_conductores_elctricos_30.pdf>.
- HIDALGO Davis Jiménez, 2011 *Equivalencias de calibre AWG / MCM una mm²*. [ref.: 02- Ene -2014] [En Línea]. Disponible en Internet: <www.necesitoprecios.com/2011/10/equivalencias-awgmcm-a-mm2>.
- HATSCHEK, Emil, 1928 & MASSEY, B. S.; A. J. Ward-Smith, 2011. *Viscosidad*. [ref.: 17 jun 2015] [En Línea]. Disponible en Internet: <<https://es.wikipedia.org/wiki/Viscosidad>>.

- COANDA, Henri Marie, 2011. *Efecto Coandă*. [ref.: 20 feb 2015] [En Línea]. Disponible en Internet: <
www.es.wikipedia.org/wiki/Efecto_Coand%C4%83>.

- WIDMAN, International SRL & Otros, 2015 *Tabla de especificaciones, conductores eléctricos*. [ref.: 6 mar 2015] [En Línea]. Disponible en Internet: <
www.es.wikipedia.org/wiki/Unidades_de_viscosidad

ANEXOS

ANEXO A	FOTOGRAFÍAS DE CONSTRUCCIÓN	1-12
<p>Construcción del Rodete.</p>		
<p>Ensamble, Tobera (Inyector) y álabe Directriz.</p>		



Álabe Directriz.





**Construcción de carcasa
de la máquina
Generadora.**



Construcción de Tapa Superior.



Construcción de Sistema Regulación.



Construcción de base para turbina.



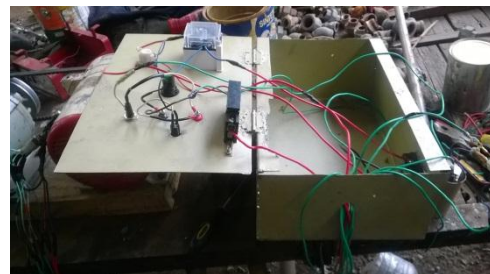
**Ensamble de Máquina
Generadora.**



**Ensamble de Válvula de
½ vuelta.**

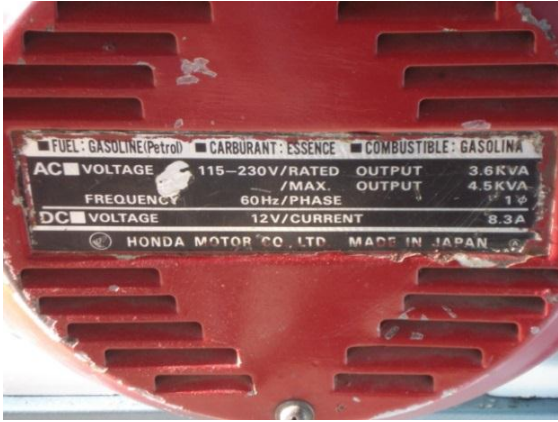


**Construcción de tablero
de control.**





**Generador
Características.**



**Construcción de
Desarenador.**



**Construcción de Cuarto
de máquinas.**



Tubería Forzada 6"; 4".



Transporte de Turbina.



Traslado a cuarto de máquinas.







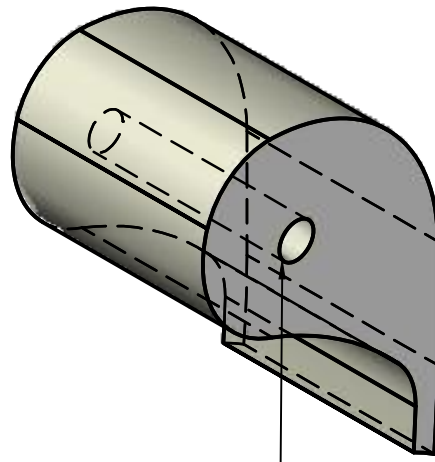
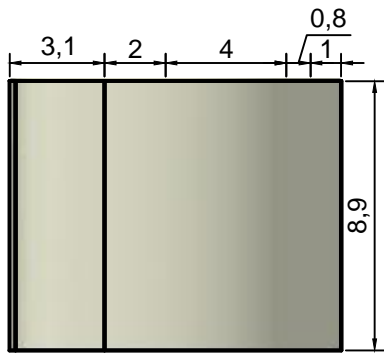
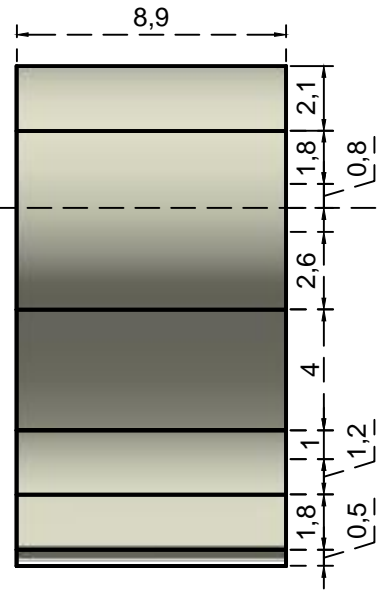
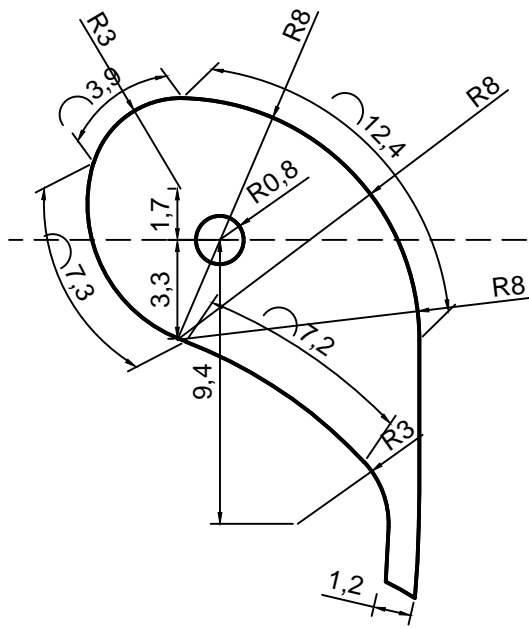
**Montaje de Tubería a la
Cámara de Carga.**



**Vinculación de la
Universidad con la
comunidad.**





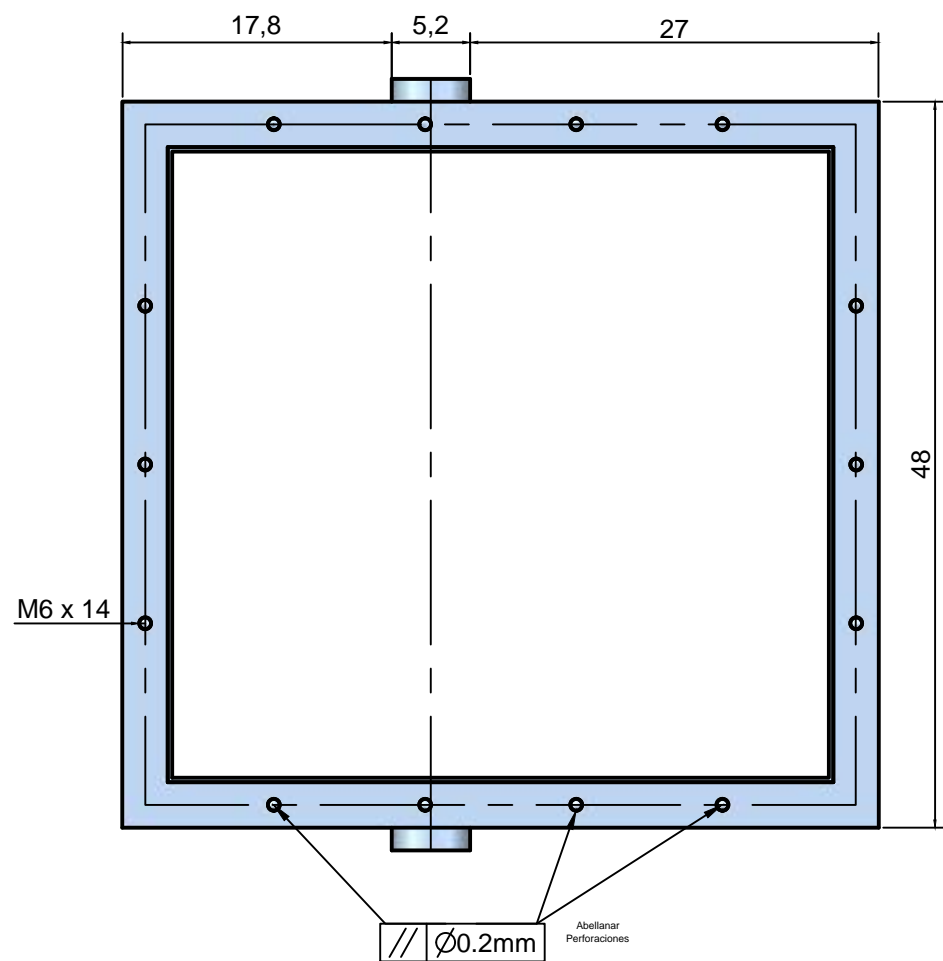


Zona de Montaje de Eje

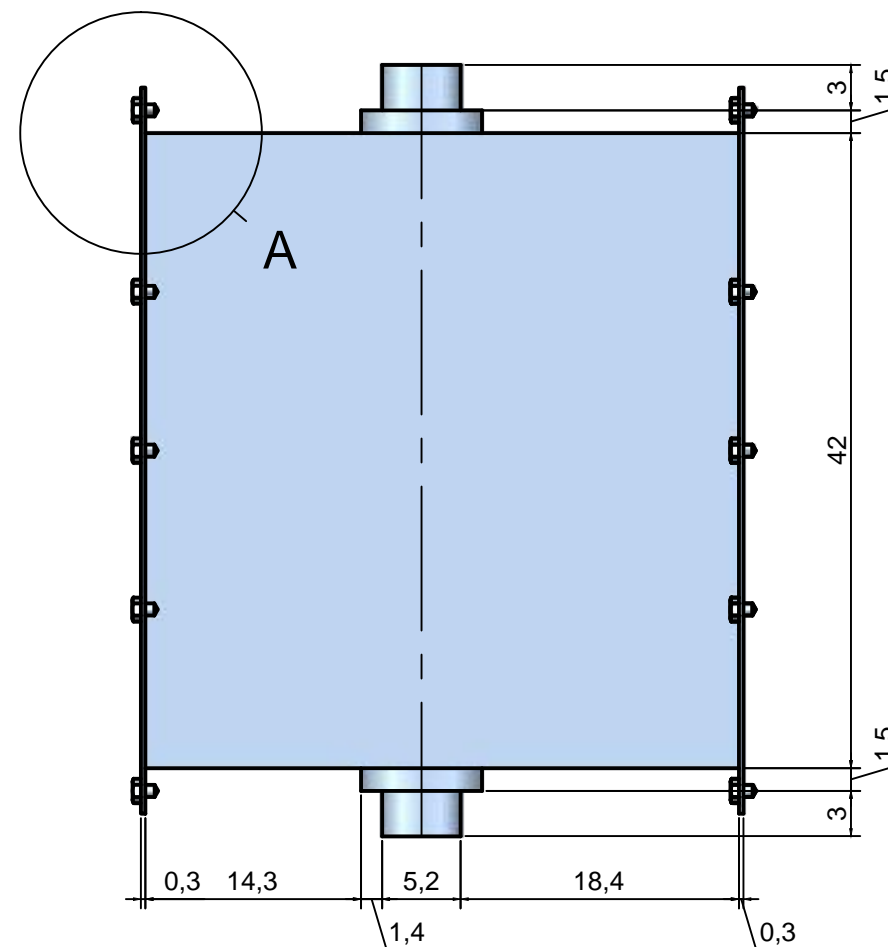
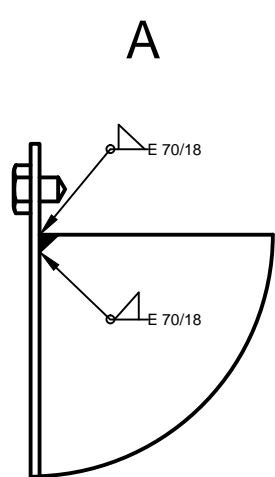
1	Álabe Directriz			-	Hierro	1	-	Cubrir con una o varias capas de Anticorrosivo Industrial.	
No. de Piez.	Denominación.			No. de Norma/Dibujo	Material	No. de Orden	No. del Modelo/semiproducto	Peso Kg/Pieza	Observaciones
				Tolerancia	Peso	UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI			
				Fecha	Nombre				
				Dibu. 04-04-15	Almachi F.	"ÁLABE DIRECTRÍZ"		Escala 1:2	
				Revi. 04-04-15	Ing. Barbosa				
				Apro. 04-04-15	Ing.Barbosa				
				ING. ELECTROMECAÁNICA		000	Marca de registro		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Sustitución					

1 2 3 4 5 6 7 8

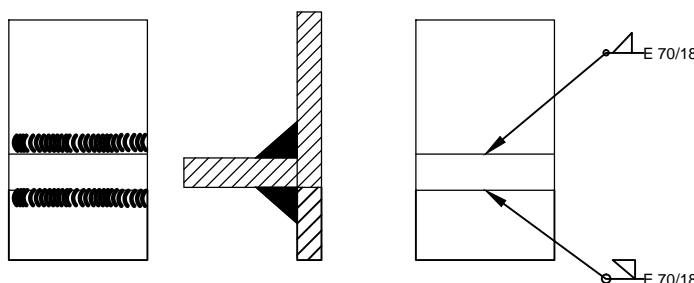
A



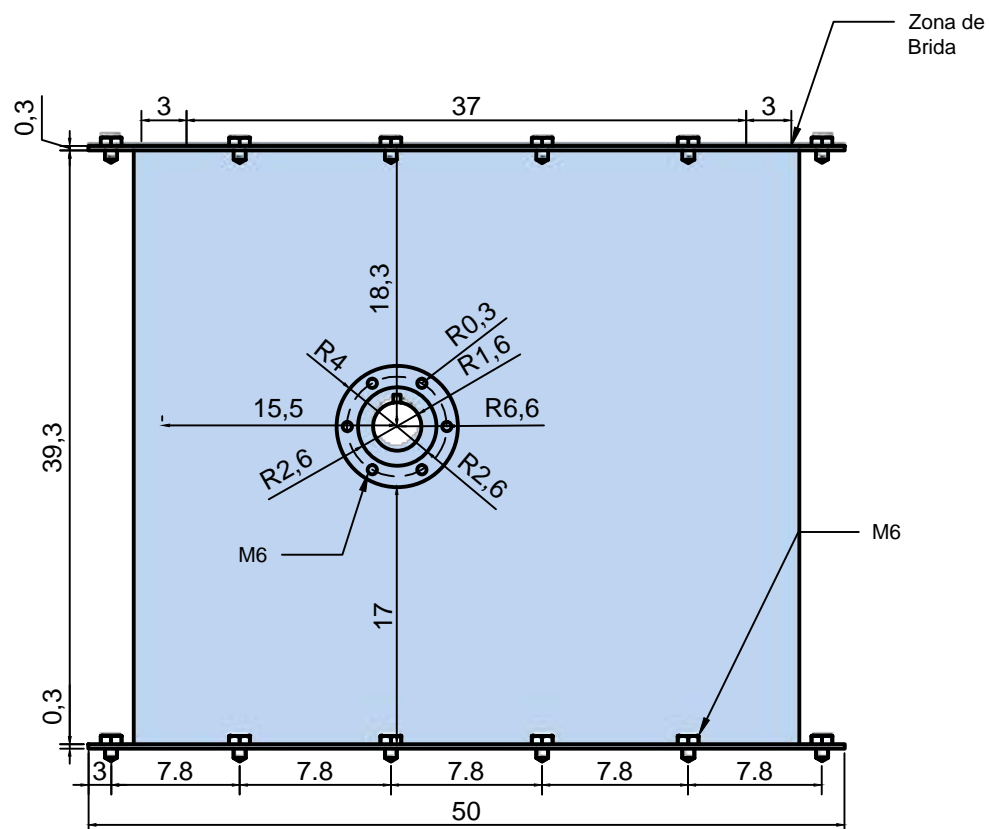
Detalle A



Suelda Para Unión
 Tipo: Electrica
 Numeración de Electrodo: 70/18
 Designación: Soldadura a Angulo (Filete)
 Simbolo:



D



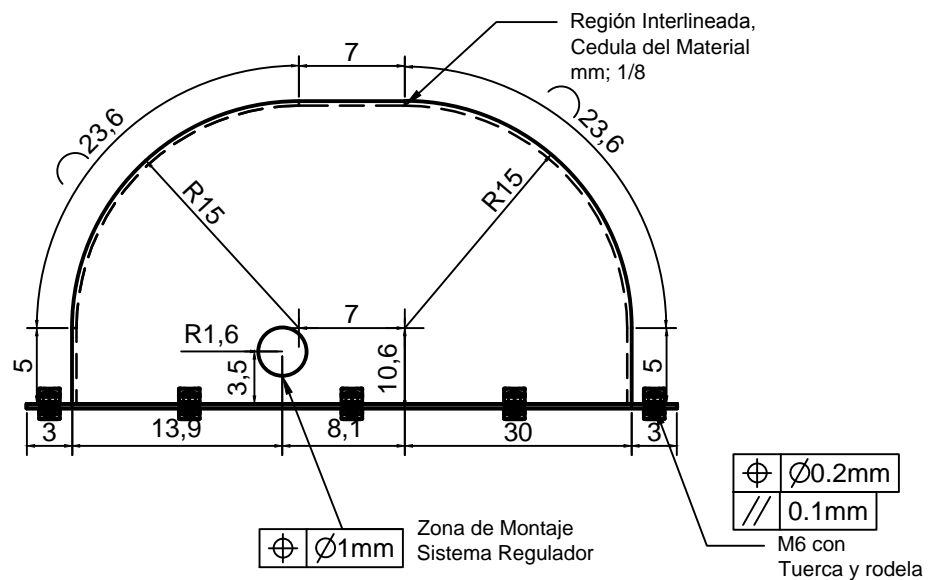
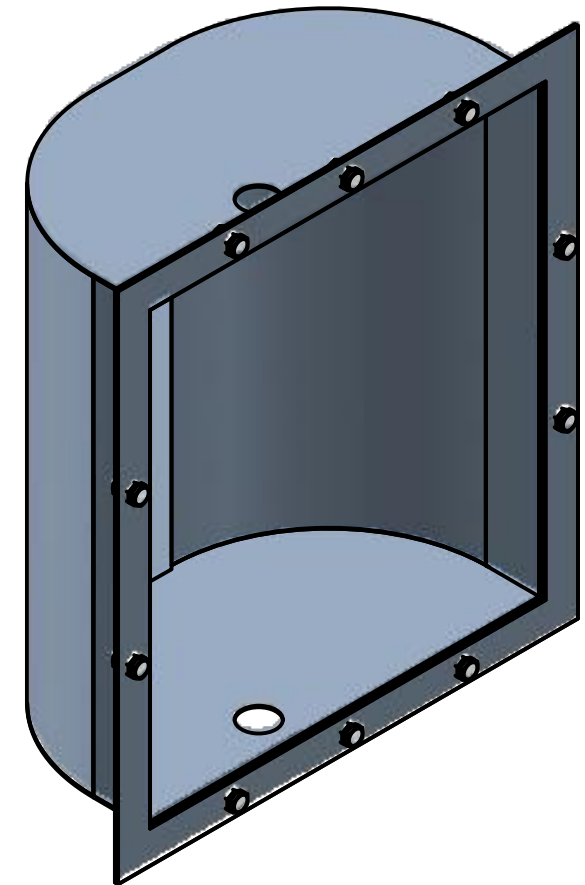
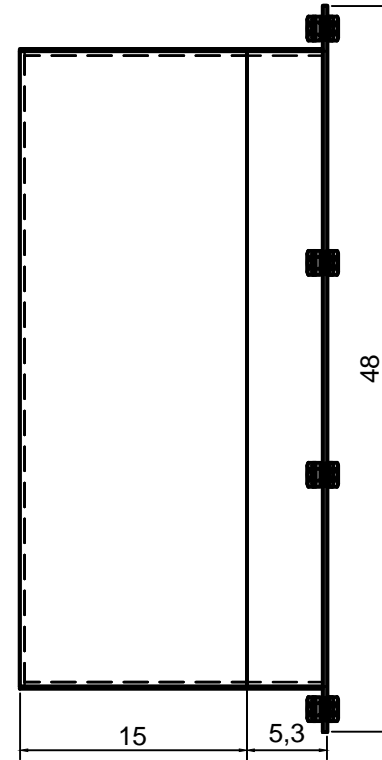
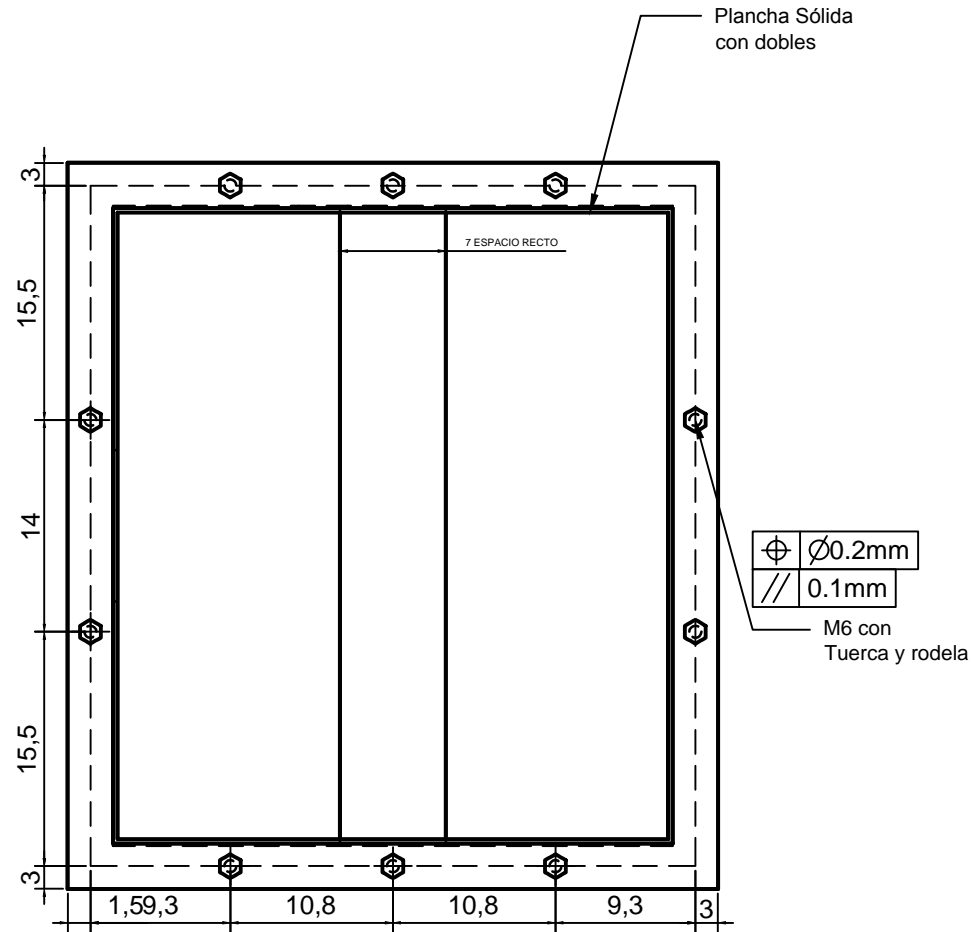
E

F

1 2 3 4

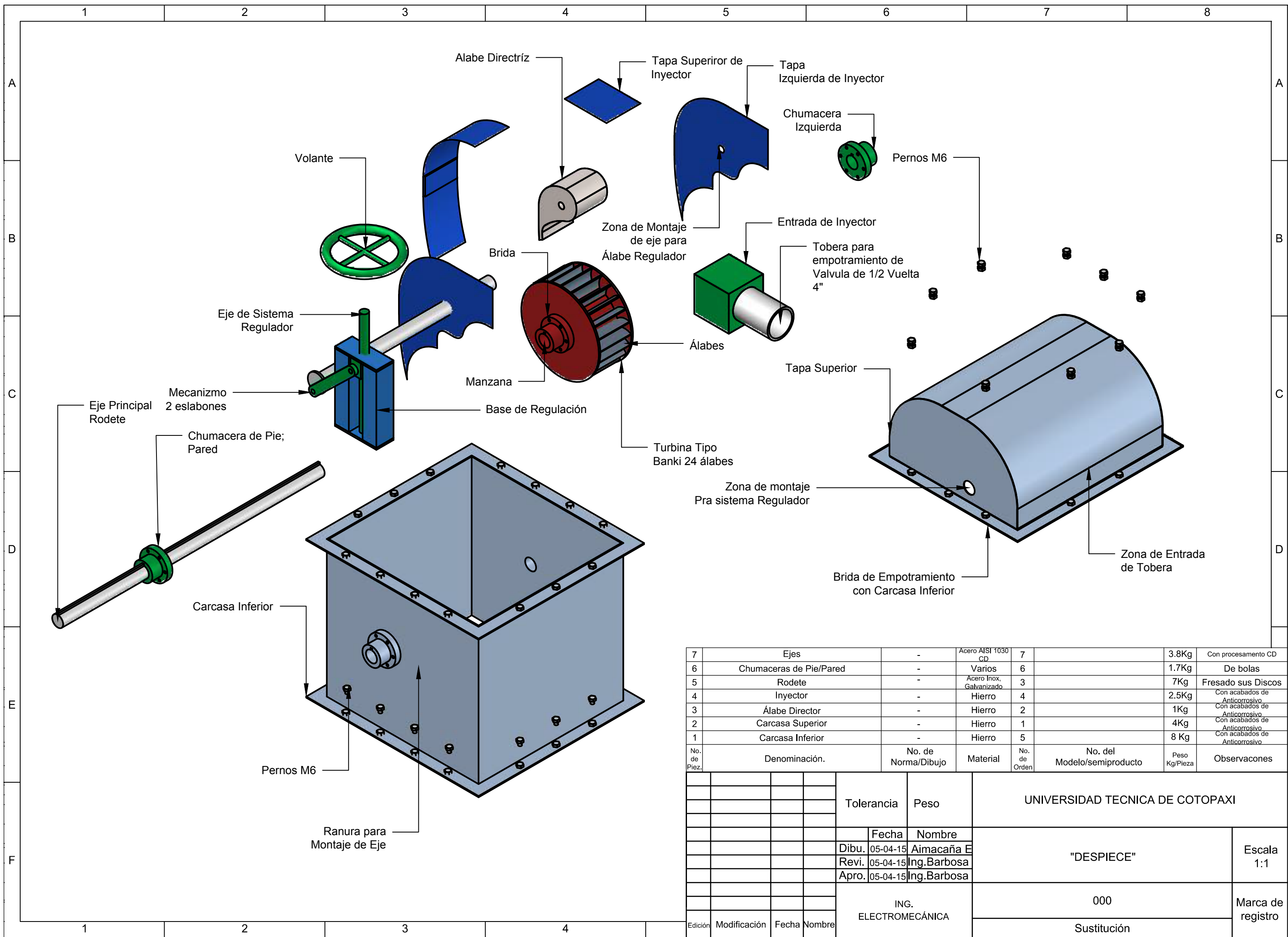
3	Chumaceras de Pie, Pared.	-	Varios	2	-	Rodamiento Esférico
2	Pernos M6	-	Acero Inox	1	-	Con tuercas, Rodelas
1	Carcasa	-	Hierro galvanizado	3	-	Cubrir con una capa o varias de Anticorrosivo Industrial
No. de Piez.	Denominación.	No. de Norma/Dibujo	Material	No. de Orden	No. del Modelo/semiproducto	Peso Kg/Pieza

Tolerancia		Peso		UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI		
Fecha		Nombre		"CARCASA, ELEMENTOS SUPLEMENTARIOS"		Escala 1:1
Dibu.	05-04-15	Aimacaña E.				
Revi.	05-04-15	Ing.Barbosa.				
Apro.	05-04-15	Ing.Barbosa		000		Marca de registro
ING. ELECTROMECAÁNICA		Sustitución				
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			



2	Pernos M6	-	Acero Inox	2	-	-
1	Carcasa Superior	-	Hierro Galvanizado	1	-	Doblar de Acuerdo a los requerimientos.
No. de Piez.	Denominación.	No. de Norma/Dibujo	Material	No. de Orden	No. del Modelo/semiproducto	Peso Kg/Pieza Observaciones
					UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI	
			Tolerancia	Peso		
			Fecha	Nombre		
			Dibu.	18-04-15	Aimacaña E	"TAPA SUPERIOR"
			Revi.	18-04-15	Ing.Barbosa	
			Apro.	18-04-15	Ing.Barbosa	
					000	Marca de registro
					Sustitución	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	ING. ELECTROMECAÁNICA		

Escala 1:1



No. de Piez.	Denominación.	No. de Norma/Dibujo	Material	No. de Orden	No. del Modelo/semiproducto	Peso Kg/Pieza	Observaciones
7	Ejes	-	Acero AISI 1030 CD	7		3.8Kg	Con procesamiento CD
6	Chumaceras de Pie/Pared	-	Varios	6		1.7Kg	De bolas
5	Rodete	-	Acero Inox. Galvanizado	3		7Kg	Fresado sus Discos
4	Inyector	-	Hierro	4		2.5Kg	Con acabados de Anticorrosivo
3	Álabe Director	-	Hierro	2		1Kg	Con acabados de Anticorrosivo
2	Carcasa Superior	-	Hierro	1		4Kg	Con acabados de Anticorrosivo
1	Carcasa Inferior	-	Hierro	5		8 Kg	Con acabados de Anticorrosivo

Tolerancia		Peso		UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI				
		Fecha	Nombre	"DESPIECE"				Escala 1:1
		Dibu.	05-04-15 Aimacaña E					
		Revi.	05-04-15 Ing.Barbosa					
		Apro.	05-04-15 Ing.Barbosa					
		ING. ELECTROMECAÁNICA		000				Marca de registro
Edición		Modificación		Sustitución				