



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y
APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

TESIS DE GRADO

TEMA:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PICO GENERADOR
HIDROELÉCTRICO MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE UNA TURBINA
OSSBERGER EN EL SECTOR RUDIAPUNGO, PROVINCIA DE
COTOPAXI”.**

Tesis presentada previo a la obtención del título de: INGENIERÍA EN
ELECTROMECAÁNICA.

Autores:

Aucacama Chuquitarco William Mesías

Quevedo Mejía Andrés Ricardo

DIRECTOR:

Ing. José Efrén Barbosa Galarza.

ASESOR:

Dr. Galo Terán

Latacunga – Ecuador

2015





FORMULARIO DE LA APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

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

- Aucacama Chuquitarco William Mesías.
- Quevedo Mejía Andrés Ricardo.

Con la tesis, cuyo título es: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PICO GENERADOR HIDROELÉCTRICO MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE UNA TURBINA OSSBERGER EN EL SECTOR RUDIAPUNGO, PROVINCIA DE COTOPAXI”**.

Han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúnen los méritos suficientes para ser sometidos al **Acto de Defensa de Tesis** en la fecha y hora señalada.

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

Latacunga, 20 de Febrero del 2015

Para constancia firman:

Msc. Víctor Hugo Armas
PRESIDENTE

Ing. Cristian Gallardo
MIEMBRO

Ing. Segundo Cevallos
OPOSITOR

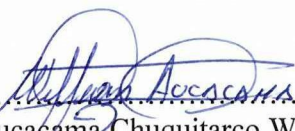
Ing. Efrén Barbosa
TUTOR (DIRECTOR)



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

AUTORÍA

Los criterios emitidos en el presente trabajo de investigación “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PICO GENERADOR HIDROELÉCTRICO MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE UNA TURBINA OSSBERGER EN EL SECTOR RUDIAPUNGO, PROVINCIA DE COTOPAXI**”, es de exclusiva responsabilidad de los autores, por tanto se asume la responsabilidad de la misma.


.....
Aucacama Chuquitarco William Mesías
C.C. No. 0503376253


.....
Quevedo Mejía Andrés Ricardo
C.C. No. 0503498818



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

AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS

En calidad de Director de Tesis bajo el título:

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PICO GENERADOR HIDROELÉCTRICO MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE UNA TURBINA OSSBERGER EN EL SECTOR RUDIAPUNGO, PROVINCIA DE COTOPAXI”, de Aucacama Chuquitarco William Mesías y Quevedo Mejía Andrés Ricardo; postulantes de Ingeniería en Electromecánica, considero que la presente tesis cumple con los requerimientos metodológicos y 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, 20 de Febrero del 2015

El Director

.....
Ing. José Efrén Barbosa Galarza

C. C. No. 0501420723



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

AVAL DEL ASESOR DE TESIS

En calidad de Asesor de Tesis bajo el título:

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PICO GENERADOR HIDROELÉCTRICO MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE UNA TURBINA OSSBERGER EN EL SECTOR RUDIAPUNGO, PROVINCIA DE COTOPAXI”, de Aucacama Chuquitarco William Mesías y Quevedo Mejía Andrés Ricardo; postulantes de Ingeniería en Electromecánica, considero que la presente tesis cumple con los requerimientos metodológicos y 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, 20 de Febrero del 2015

El Asesor

Dr. Galo Terán

C. C. No. 0500676101

AVAL DEL PROPIETARIO

CERTIFICACIÓN

En calidad de Dueño de la Propiedad Agrícola ubicada en la parroquia Aláquez, certifico en debida forma que: los señores Aucacama Chuquitarco William Mesías y Quevedo Mejía Andrés Ricardo, egresados de la Carrera de Ingeniería en Electromecánica, de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, han ejecutado a plena satisfacción el tema: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PICO GENERADOR HIDROELÉCTRICO MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE UNA TURBINA OSSBERGER EN EL SECTOR RUDIAPUNGO, PROVINCIA DE COTOPAXI”**, el cual cumple con los requerimientos establecidos para tal efecto.

Certificación que la realizo en honor a la verdad, pudiendo los interesados, hacer uso de la presente, para los fines legales pertinentes.

Latacunga, 20 de Febrero del 2015



Sr. Segundo Manuel Tobías Cando Pruna

C.C. 050178659-4

PROPIETARIO

AGRADECIMIENTO

Con inmensa gratitud agradecemos a la Universidad Técnica de Cotopaxi, por brindarnos la oportunidad de desarrollar nuestros estudios superiores; al Ing. 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

Con todo el amor del mundo dedico este trabajo de investigación en primer lugar a Dios, quien me guía en cada acción de mi vida; a mis queridos padres Carmen Mercedes Mejía y Edwin Alejandro Quevedo, quienes con su apoyo incondicional y su infinito amor me han motivado a cristalizar mis propósitos y metas.

ANDRÉS

DEDICATORIA

Quiero agradecer desde lo más profundo de mi corazón al ser divino de la creación Dios, quien tiene en su regazo a mi linda madre María Chuquitarco quien desde el cielo me ilumina y bendice en todas las acciones que realizo; a mi Padre Manuel Aucacama, amigo y compañero quien con su ejemplo me ha permitido ser un hombre de bien, a mi Amada esposa Norma, a mi hijo Mateo y mis hermanos Karina, Alex, Richard quienes confiaron en mí y me brindaron el apoyo necesario para poder culminar mi carrera, pues su amor me motiva a seguir siempre adelante.

WILLIAM

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CONTENIDO	Pág.
Portada.....	i
Formulario para la aprobación del tribunal de Grado.....	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.....	xxi
Aval del Docente de Traducción de Ingles.....	xxii
Introducción.....	xxiii

CAPÍTULO I

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1.	Antecedentes investigativos.....	1
1.2.	Fundamentación legal.....	2
1.2.1.	Documentación Legal.....	3
1.3.	Categorías fundamentales.....	3
1.4.	Generación de energía eléctrica.....	4
1.5.	Centrales Hidroeléctricas.....	5
1.5.1.	Tipos de centrales hidroeléctricas.....	6
1.5.1.1.	Centrales al aire libre.....	6
1.5.1.2.	Centrales en caverna.....	7
1.5.1.3.	Centrales de agua fluyente.....	7
1.5.1.4.	Centrales de embalse.....	8
1.5.1.5.	Centrales de alta presión.....	8
1.5.1.6.	Centrales de media presión.....	9
1.5.1.7.	Centrales de baja presión.....	9
1.5.1.8.	Centrales de muy baja presión.....	9
1.6.	Sistema Pico Hidroeléctrico.....	9
1.6.1.	Componentes de un sistema pico hidroeléctrico.....	11
1.6.2.	Estructura de un Sistema Pico Hidroeléctrico.....	14
1.6.3.	Ventajas de un Sistema Pico Hidroeléctrico.....	14
1.6.4.	Importancia de los Sistemas Pico Hidroeléctricos.....	16
1.7.	Turbinas.....	17
1.7.1.	Tipos de turbinas.....	18
1.7.1.1.	De acuerdo al cambio de presión y a al grado de reacción.....	18
1.7.1.2.	De acuerdo al diseño del rodete.....	18
1.8.	Situación actual del sector Rudiapungo.....	21
1.9.	Estimación de la Demanda.....	22
1.10.	Recursos Hidroenergéticos.....	23
1.11.	Diseño y recurso hidrológico.....	24

1.12.	Diseño de tubería.....	25
1.12.1.	Tubería de presión.....	25
1.12.2.	Policloruro de Vinilo (PVC).....	27
1.12.3.	Polietileno de Alta Densidad.....	28
1.12.4.	Tipos de Uniones	28
1.13.	Turbina Ossberger.....	29
1.13.1.	Análisis y Diseño de la Turbina Ossberger.....	33
1.13.2.	Los elementos de una turbina.....	36
1.13.3.	Características de la Turbina.....	37
1.13.4.	Proceso de fabricación de la turbina Ossberger.....	37
1.13.5.	Transmisión de potencia mecánica.....	45
1.14.	Grupo Electrónico.....	55
1.14.1.	Generadores.....	55
1.14.2.	Tipos de Generadores.....	56
1.14.2.1.	Generadores de Corriente Continua (Dinamo).....	56
1.14.2.2.	Generadores de Corriente Alterna (Alternador).....	56
1.14.2.3.	Motor Generador.....	59
1.14.2.4.	Generadores Sincrónicos.....	59

CAPÍTULO II

2. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

2.1.	Introducción.....	62
2.2.	Diseño metodológico.....	63
2.2.1.	Metodología aplicada.....	63
2.2.2.	Tipo de investigación.....	63
2.2.3.	Hipótesis de trabajo.....	64
2.2.4.	Operacionalización de variables.....	64
2.2.5.	Encuestas aplicadas a los habitantes del sector Rudiapungo	67
2.2.6.	Verificación de la Hipótesis de Trabajo.....	75

CAPÍTULO III

3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PICO GENERADOR HIDROELÉCTRICO MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE UNA TURBINA OSSBERGER EN EL SECTOR RUDIAPUNGO, PROVINCIA DE COTOPAXI.

3.1.	Presentación.....	76
3.2.	Objetivos.....	77
3.2.1.	Objetivos General.....	77
3.2.2.	Objetivos Específicos.....	77
3.3.	Justificación.....	77
3.4.	Desarrollo de la Propuesta.....	79
3.5.	Alcance.....	80
3.6.	Datos Informativos.....	80
3.6.1.	Observación directa del lugar.....	81
3.7.	Datos técnicos.....	82
3.7.1.	Estimación de la demanda energética.....	82
3.8.	Diseño hidrológico.....	86
3.9.	Descripción de la obra civil.....	90
3.9.1.	Obra captación del agua.....	91
3.9.2.	Bocatomas.....	93
3.9.3.	Ubicación.....	93
3.10.	Condiciones Geométricas de la turbina.....	98
3.10.1.	Diagrama de velocidad.....	98
3.10.2.	Cálculos de velocidad a la salida del agua.....	100
3.10.3.	Geometría del inyector.....	106
3.10.4.	Geometría del rodete.....	109
3.10.5.	Geometría de los alabes.....	114
3.11.	Parámetros hidráulicos de la turbina.....	118
3.12.	Diseño de tubería.....	120
3.12.1.	Longitud de Tubería de Presión.....	124

3.12.2.	Cálculos de las pérdidas de fricción en tuberías.....	125
3.13.	Válvulas para tuberías de Presión.....	129
3.13.1.	Válvulas de Compuerta.....	129
3.14.	Diseño y cálculos mecánicos.....	130
3.14.1.	Diseño y cálculos del inyector.....	130
3.14.2.	Calculo y diseño del eje principal.....	134
3.14.3.	Selección de Chaveta.....	139
3.14.4.	Selección de Rodamiento.....	142
3.14.5.	Cálculos de carga dinámica.....	143
3.15.	Diseño de carcasa.....	144
3.16.	Diseño de transmisión de Potencia mecánica	144
3.17.	Sistema eléctrico.....	155
3.17.1.	Tablero para el control.....	155
3.17.2.	Instrumentos de medición.....	156
3.17.3.	Instrumentos de protección.....	160
3.18.	Instalación.....	163
3.18.1.	Recomendaciones de Construcción.....	163
3.18.2.	Instalación del grupo Generador.....	164
3.18.3.	Instalación de red eléctrica.....	166
3.18.4.	Pruebas y Resultados Hipotéticos.....	167
3.19.	Costos del Proyecto.....	169
3.19.1.	Costo de la Obra civil.....	169
3.19.2.	Costo de la instalación eléctrica.....	170
3.19.3.	Costo de la Energía.....	171
3.19.4.	Cálculo del costo del kW.....	171
3.20.	Beneficiarios.....	172
3.20.1.	Beneficiarios Directos.....	173
3.20.2.	Beneficiarios Indirectos.....	173
3.21.	Conclusiones y Recomendaciones.....	174
3.21.1.	Conclusiones.....	174
3.21.2.	Recomendaciones.....	175
3.22.	Bibliografía.....	176

3.22.1.	Bibliografía Citada.....	176
3.22.2.	Bibliografía consultada.....	177
3.22.3.	Bibliografía Web.....	179

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N° 3.1.	Valores de rugosidad absoluta (K).....	126
Cuadro N° 3.2.	Amperímetro, simbología, forma física y conexión.....	157
Cuadro N° 3.3	Voltímetro, simbología, forma física y conexión.....	158
Cuadro N° 3.4	Vatímetro, simbología, forma física y conexión.....	159

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1.1	Documento Introductorio	3
Figura N° 1.2	Categorías Fundamentales.....	4
Figura N° 1.3	Central hidroeléctrica.....	6
Figura N° 1.4	Central de agua fluyente.....	7
Figura N° 1.5	Central de embalse.....	8
Figura N° 1.6	Pico hidroeléctrico.....	11
Figura N° 1.7	Componentes de sistema Pico hidroeléctrico.....	13
Figura N° 1.8	Estructura del sistema Pico hidroeléctrico.....	14
Figura N° 1.9	Turbina Kaplan.....	19
Figura N° 1.10	Turbina Pelton.....	19
Figura N° 1.11	Turbina Francis.....	20
Figura N° 1.12	Sector Rudiapungo.....	21
Figura N° 1.13	Salto entre la cámara de carga y la turbina.....	23
Figura N° 1.14	Latitudes y ubicación del sector Rudiapungo.....	24
Figura N° 1.15	Comparación de técnicas.....	25
Figura N° 1.16	Componentes de una tubería de presión.....	26
Figura N° 1.17	Tubería de presión.....	29
Figura N° 1.18	Etapas de trabajo de una turbina Ossberger.....	30
Figura N° 1.19	Diagrama de selección de una Turbina.....	31

Figura N° 1.20	Perfiles de inyectores para turbinas Ossberger.....	32
Figura N° 1.21	Relación de eficiencias con turbina Ossberger y Francis a carga parcial máxima 1/3 y 2/3”.....	33
Figura N° 1.22	Circulación horizontal y vertical del agua.....	36
Figura N° 1.23	Partes de una turbina Ossberger.....	36
Figura N° 1.24	Estructuras y formas de cuñas y pasadores.....	43
Figura N° 1.25	Nomenclatura de un cojinete (rodamiento) de bolas.....	44
Figura N° 1.26	Sistema de transmisión de una etapa.....	47
Figura N° 1.27	Generador.....	55
Figura N° 1.28	Dinamo.....	56
Figura N° 1.29	Alternador.....	57
Figura N° 1.30	Alternador Monofásico.....	58
Figura N° 3.1.	Plano del lugar.....	81
Figura N° 3.2.	Método de manguera de nivelación.....	86
Figura N° 3.3.	Toma de muestras del arroyo.....	88
Figura N° 3.4.	Área de sección transversal.....	89
Figura N° 3.5.	Microcentral Hidráulica de derivación	90
Figura N° 3.6.	Componentes de una microcentral hidráulica.....	91
Figura N° 3.7.	Ubicación de la bocatoma.....	93
Figura N° 3.8.	Tipos de secciones de canal.....	94
Figura N° 3.9.	Aliviadero.....	97
Figura N° 3.10.	Desarenador con tubería de presión.....	98
Figura N° 3.11.	Velocidad del agua a la salida.....	102
Figura N° 3.12.	Etapa intermedia de la turbina.....	103
Figura N° 3.13.	Dimensiones del perfil del inyector.....	109
Figura N° 3.14.	Dimensiones del perfil del rodete.....	112
Figura N° 3.15.	Fuerza actuando sobre el alabe del rodete.....	115
Figura N° 3.16.	Curvatura de los alabes.....	116
Figura N° 3.17.	Especificaciones de dimensión para tubería PVC.....	124
Figura N° 3.18.	Diagrama de MOODY.....	126
Figura N° 3.19.	Componentes de una tubería de presión.....	128
Figura N° 3.20.	Válvula de compuerta.....	129

Figura N° 3.21.	Alabe directriz del inyector.....	130
Figura N° 3.22.	Diámetro del eje del abale directriz	133
Figura N° 3.23.	Diámetro del eje de la turbina.....	134
Figura N° 3.24.	Chavetas en el eje principal.....	141
Figura N° 3.25.	Selección rodamientos.....	142
Figura N° 3.26.	Resumen de resultados.....	152
Figura N° 3.27.	Nomenclatura de poleas.....	153
Figura N° 3.28.	Tablero de control.....	156
Figura N° 3.29.	Partes de un interruptor termomagnético.....	161
Figura N° 3.30.	Puesta a tierra.....	162

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 2.1.	Porcentajes de evaluación.....	67
Gráfico N° 2.2.	Conocimiento de plan de electrificación.....	68
Gráfico N° 2.3.	Implementación de sistema.....	69
Gráfico N° 2.4.	Mecanismos de generación eléctrica.....	70
Gráfico N° 2.5.	Necesidad de energía eléctrica.....	71
Gráfico N° 2.6.	Dotación de energía eléctrica.....	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1.1.	Materiales de tubería de presión.....	27
Tabla N° 1.2.	Rango de aplicación en turbinas hidráulicas.....	34
Tabla N° 1.3.	Campo de aplicación.....	35
Tabla N° 1.4.	Selección de diámetro del rotor.....	39
Tabla N° 1.5.	Selección del número de álabes.....	40
Tabla N° 1.6.	Selección del espesor de álabes.....	41
Tabla N° 1.7.	Ángulo de álabe.....	42
Tabla N° 1.8.	Valores aproximados de factor de servicio.....	52
Tabla N° 1.9.	Grados de irregularidad de las maquinas accionales.....	52

Tabla N° 1.10.	Especificaciones del generador	61
Tabla N° 2.1.	Operacionalización variable independiente.....	65
Tabla N° 2.2.	Operacionalización variable dependiente.....	66
Tabla N° 2.3.	Porcentajes de evaluación.....	67
Tabla N° 2.4.	Conocimiento del plan de electrificación.....	68
Tabla N° 2.5.	Implementación de sistema.....	69
Tabla N° 2.6.	Mecanismos de generación eléctrica.....	70
Tabla N° 2.7.	Necesidad de energía eléctrica.....	71
Tabla N° 2.8.	Dotación de energía eléctrica.....	72
Tabla N° 2.9.	Equipos esenciales.....	73
Tabla N° 2.10.	Electrodomésticos más usados.....	74
Tabla N° 3.1.	Estimación de demanda energética.....	82
Tabla N° 3.2.	Estimación de pérdidas.....	84
Tabla N° 3.3.	Talud recomendado para canales de sección transversal.....	95
Tabla N° 3.4.	Coeficiente de rugosidad "n".....	95
Tabla N° 3.5.	Diseño del canal.....	96
Tabla N° 3.6.	Dimensiones de perfil del inyector.....	108
Tabla N° 3.7.	Dimensiones de perfil del rodete.....	112
Tabla N° 3.8.	Diámetros.....	117
Tabla N° 3.9.	Espesor de chorro.....	119
Tabla N° 3.10.	Caudal con respecto a la tubería forzada.....	120
Tabla N° 3.11.	Especificaciones para tubería PVC y Acero Comercial.....	124
Tabla N° 3.12.	Cálculos de pérdidas de fricción en tuberías.....	127
Tabla N° 3.13.	Perdida de carga por fricción en la tubería.....	127
Tabla N° 3.14.	Calculo de velocidad y presión de agua en tubería forzada....	128
Tabla N° 3.15.	Composición de las aleaciones más usadas corrientemente en turbinas hidráulicas.....	131
Tabla N° 3.16.	Propiedades mecánicas de las aleaciones usadas en turbinas hidráulicas.....	131
Tabla N° 3.17.	Diámetro máximo permitido del eje en el alabe directriz....	133
Tabla N° 3.18.	Diseño del eje principal.....	136
Tabla N° 3.19.	Propiedad física del acero de chaveta.....	140

Tabla N° 3.20.	Resumen de longitudes para chavetas.....	142
Tabla N° 3.21.	Selección rodamiento.....	143
Tabla N° 3.22.	Numero de secciones de correa según la potencia y la velocidad.....	145
Tabla N° 3.23.	Longitudes Normalizadas de correas trapezoidales Norteamericanas, constantes de potencia.....	148
Tabla N° 3.24.	Coefficientes de diámetro pequeño K_d	149
Tabla N° 3.25.	Coefficientes de arco de contacto k_θ	150
Tabla N° 3.26.	Factores de corrección de longitud k_l	151
Tabla N° 3.27.	Resumen de resultados.....	152
Tabla N° 3.28.	Canales.....	153
Tabla N° 3.29.	Selección de BUSHING.....	154
Tabla N° 3.30.	Catálogo de poleas.....	155
Tabla N° 3.31.	Pruebas y Resultados.....	167
Tabla N° 3.32.	Costo obra civil.....	169
Tabla N° 3.33.	Costo instalación eléctrica.....	170



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

TEMA: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PICO GENERADOR HIDROELÉCTRICO MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE UNA TURBINA OSSBERGER EN EL SECTOR RUDIAPUNGO, PROVINCIA DE COTOPAXI”.

Autores:

Aucacama Chuquitarco William Mesías
Quevedo Mejía Andrés Ricardo

RESUMEN

Este proyecto enmarca el desarrollo de un sistema de generación para las áreas rurales y a las cuales difícilmente alcanza la red distribuidora de electricidad, principalmente por el grado de dificultad de aumentar la cobertura con extensión de redes eléctricas. Un pico hidroeléctrico; hidráulico en su origen, eléctrico en su aplicación; constituye una importante fuente en la generación de energías renovables, gracias a su adaptación en el medio ambiente como energía limpia. El objetivo esencial es haber diseñado un sistema Pico Generador que permitió alimentar de servicio eléctrico a una vivienda rural, pues su confiabilidad, bajo costo y mínimo mantenimiento lo hace eficiente. La turbina Ossberger por otra parte es ideal para proyectos de microgeneración donde se aprovecha un salto y caudal medio. Este sistema fue implementado en el sector rural llamado Rudiapungo de acceso limitado debido a sus condiciones geográficas abrumantes. La implementación se llevó a cabo mediante ardua labor de los estudiantes aplicando los conocimientos adquiridos en las aulas universitarias a favor de la vinculación en beneficio del pueblo; satisfaciendo su demanda energética con capacidad de 110-220V y potencia de 3.5kW renovable para la propiedad agrícola en el sector Rudiapungo Provincia Cotopaxi.

Descriptor: Pico Generador Hidráulico, Rudiapungo, Turbina Ossberger.



COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY
ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES ACADEMIC UNIT
Latacunga – Ecuador

TOPIC: “DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A HYDROELECTRIC GENERATOR BEAK BY UTILIZING OSSBERGER TURBINE IN RUDIAPUNGO SECTOR, COTOPAXI PROVINCE”

Authors:

Aucacama Chuquitarco William Mesías

Quevedo Mejía Andrés Ricardo

ABSTRACT

This project frames the development of a generating system for rural areas and in which the electricity distribution network is reached difficulty, mainly by the degree of trouble of increasing coverage with expending of electrical power supplies. A hydro beak; originally hydraulic, electric in its application; it constitutes an important source in the generation of renewable energy, thanks to its adaptation to the environment as clean energy.

The essential aim is to have designed a Pico Generator system that allowed feeding electricity to rural housing, then its reliability, low cost and maintenance makes efficient. The Ossberger turbine on the other hand is ideal for microgeneration projects where a jump and average flow is used. This system was implemented in the rural sector called Rudiapungo with limited access due to its overwhelming geographical conditions. The implementation was carried out by hard work of students applying knowledge acquired in university classrooms for linking to benefit of the people; satisfying its energetic demand with 110-220V capacity and 3.5kW power renewable for the farm ownership in the sector Rudiapungo Cotopaxi Province.

Descriptors: Pico Hydro Generator, Rudiapungo, Turbine Ossberger.



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

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 alumnos: Aucacama Chuquitarco William Mesías y Quevedo Mejía Andrés Ricardo; con el tema: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PICO GENERADOR HIDROELÉCTRICO MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE UNA TURBINA OSSBERGER EN EL SECTOR RUDIAPUNGO, PROVINCIA DE COTOPAXI”**, 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, 20 de Febrero del 2015

.....
Lcda .Msc. Patricia Mena

C.C. 050157429-7



INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación diseño e implementación de un pico generador mediante una turbina Ossberger, enfoca el avance tecnológico para crear alternativas de generación eléctrica en busca de satisfacer la demanda energética del país. Su aceptación se encuentra por generar energía alternativa limpia a bajo costo, siendo el entorno hídrico el principal recurso para la ejecución de estos sistemas, pues se adaptan adecuadamente a las turbinas Ossberger, las cuales giran por el potencial hídrico, transfiriendo su movimiento rotacional por medio de un eje generando energía eléctrica para el beneficio humano.

Con el objetivo de proporcionar un análisis y esquematizar una turbomáquina denominada Ossberger, se elabora esta tesis, la cual está dirigida al estudio de sistemas de Microgeneración, recursos hídricos y análisis mecánico, que permitan en conjunto satisfacer la demanda energética en la Propiedad Agrícola.

Los Tesistas desarrollaron el trabajo investigativo y práctico respondiendo a la situación actual en la que se encuentra la Propiedad Agrícola, del Señor Tobías Cando en la Parroquia Aláquez en el periodo 2014, utilizando herramientas tales como las encuestas en las que se define la demanda energética de los habitantes.

En el trabajo investigativo y de diseño se utilizó textos tales como el Manual de OLADE para estandarización de turbinas, así también la obra civil, ha sido cimentada con criterios y experiencias del Manual de Micro y Mini Centrales Hidroeléctricas; el diseño mecánico que contiene principios tales como transmisión de potencia, resistencia de materiales y propiedades físicas de los materiales, fue extraído del Libro de Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, publicación en la cual se recopila normas basadas en estándares internacionales

UNS (Sistema unificado de numeración) y AISI (Instituto americano del hierro y el acero), entre otros.

Para desarrollar el tema denominado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PICO GENERADOR HIDROELÉCTRICO MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE UNA TURBINA OSSBERGER EN EL SECTOR RUDIAPUNGO, PROVINCIA DE COTOPAXI”, se organiza en tres capítulos siguiendo una secuencia sistemática.

En el primer capítulo, se muestra fundamentos teóricos necesarios para la ejecución de este trabajo investigativo; abarca temas referentes a la generación de energía eléctrica, centrales hidroeléctricas, centrales pico hidroeléctricas y su importancia; además denota conceptos básicos de los equipos necesarios para la implementación y diseño del sistema hidroeléctrico.

En el segundo capítulo, se contempla la situación actual en la que se encuentra la Propiedad de producción agrícola; constan las preguntas desarrolladas a la población con su respectivo análisis e interpretación de resultados obtenidos.

En el tercer capítulo, se detalla el diseño de la propuesta en el cual se incluyen los objetivos, alcance; además están las fórmulas técnicas para el diseño mecánico del proyecto, desarrollo de la obra civil e instalación eléctrica enlazado al generador, se desarrollan las conclusiones y recomendaciones del proyecto verificando el cumplimiento de los objetivos que se enmarcan en el plan de tesis, en los anexos se destacan los planos que acentúan un ejemplo práctico de construcción e indica características y elementos que forman parte del diseño.

Este trabajo es una herramienta que los tesisistas emiten para nuevas experiencias respecto al diseño de la turbina fomentando a nuevas actividades de investigación, desarrollo y adaptación de tecnología, así también en la Institución Educativa será fuente de consulta para futuras investigaciones.

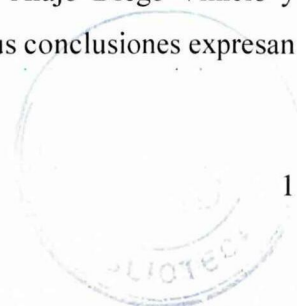
CAPÍTULO I

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1. Antecedentes Investigativos

La Generación energética en el país se ha convertido en un factor estratégico, ocasionando que se desarrollen nuevos proyectos para dotar de flujo eléctrico a gran escala, es decir electricidad para abastecer las necesidades tanto a nivel local como regional.

Sin embargo las tecnologías eléctricas para preservar el medio ambiente y dotar de energía limpia, ha desencadenado que se realicen proyectos investigativos para propiciar la utilización de picos hidroeléctricos y así vincularnos con las comunidades que se encuentran adyacentes a nuestra provincia de Cotopaxi con el objetivo de implementar proyectos donde se demuestran conocimientos adquiridos en las cátedras de nuestra facultad, así por ejemplo, en la Universidad Técnica de Cotopaxi, carrera de Ingeniería Electromecánica, fue presentada la tesis con el tema: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PICO CENTRAL HIDROELÉCTRICA EN LA HOSTERÍA “LOS LLANGANATES” UBICADA EN EL SECTOR LAS CARMELITAS EN EL KILÓMETRO 65 DE LA CARRETERA SALCEDO - TENA PARA GENERAR ENERGÍA ELÉCTRICA LIMPIA.”, de autoría de los señores estudiantes. Alajo Alajo Diego Vinicio y Anchatuña Chuchico Eddy, del año 2013, quienes entre sus conclusiones expresan



que: “Con las pruebas de funcionamiento y generación se puede manifestar que su eficiencia es de un 90% y se consigue generar energía eléctrica de calidad y eficientemente y su rendimiento beneficia directamente a los sectores rurales en comparación con otros sistemas que son más complicados de instalarlos y sus costos son superiores.”; de la misma manera en la ESPE, Carrera de Ingeniería Electromecánica, se encuentra la tesis de tema: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PICO CENTRAL HIDROELÉCTRICA UTILIZANDO UNA TURBINA MICHELL BANKI PARA LA GENERACIÓN ELÉCTRICA EN EL SECTOR DE LAS CARMELITAS DEL CANTÓN TENA”; de autoría de los señores estudiantes: Landa Quimbita Freddy Javier y Llanganate Quinatoa Luis Alberto, del año 2009; manifiestan que: “Las limitaciones técnicas existentes en las zonas rurales, son generalmente un determinante para la elección de la localización de una Pico central hidroeléctrica. Por lo general, el bajo nivel educativo limita el aprendizaje en materia de operación y mantenimiento del sistema. Por ello, es elemental realizar todo un proceso de capacitación integral con las personas que se encargarán de dichas labores.”.

Estos antecedentes investigativos razonan que existe la viabilidad para realizar el análisis, diseño e implementación de una Pico central hidroeléctrica en el sector Rudiapungo, por parte de los tesisistas ponentes del tema.

1.2. Fundamentación Legal

La presente investigación se adapta al sector donde se implementó el proyecto, de tal forma es de conocimiento que el canal de donde se aprovechara el recurso hídrico pertenece a una junta de agua cuyos representantes son el Dr. Santos Molina Presidente del directorio de San Antonio Calapicha Chillos y el Ing. Trajano Molina Presidente del directorio de San Marcos, autoridades a las que se les pone en conocimiento una introducción generalizada del proyecto que se

ejecutó en el canal Quilindaña; por tal razón se adjunta el documento que se muestra en la *Fig. 1.1* que abaliza la parte legal del proyecto.

1.2.1 Documentación Legal.

El presente escrito señala su previa autorización.

FIGURA N° 1.1 “DOCUMENTO INTRODUCTORIO”

Latacunga, 08 de Octubre del 2014

Dr. Santos Molina.
Presidente del Directorio de San Antonio
Calapicha Chillos


Presente -

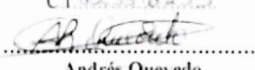
De nuestras consideraciones.

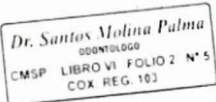
Nosotros, **William Aucacama** y **Andrés Quevedo** estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi ponemos a conocimiento que se va elaborar un proyecto de micro generación hidroeléctrica por medio del paso de agua del canal Quilindaña que transita por la propiedad del Señor **Tobias Cando** sin alterar ni su cauce ni su caudal ni su volumen de agua ya que el proyecto no altera de ninguna forma el afluente, al contrario es un proyecto que conserva y garantiza la preservación de la flora y fauna del sector, por lo cual solicitamos muy cordialmente se nos conceda la autorización para realizar dicho proyecto con fines investigativos y de ninguna forma lucrativos, para entender de mejor manera se adjuntara un anexo al final para graficar el sistema.

Por la atención y trámite reciba nuestro agradecimiento

Atentamente,


William Aucacama
C.I. 0963516453


Andrés Quevedo
C.I. 0963498515

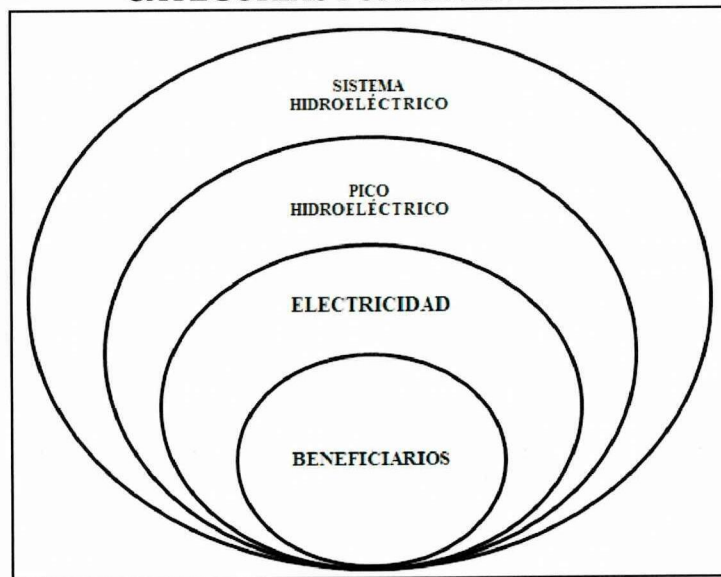


Fuente: Personal
Elaborado por: Los autores

1.3. Categorías Fundamentales

A continuación están las categorías fundamentales que se tomarán en cuenta para la ejecución de este proyecto investigativo.

FIGURA N° 1.2
“CATEGORIAS FUNDAMENTALES”



Fuente: Personal
Elaborado por: Los autores

1.4. Generación de energía eléctrica

La generación de energía eléctrica para uso doméstico e industrial se produce mayormente en centrales por medio de un generador eléctrico accionados de diferentes formas, por medio de turbinas térmicas o hidráulicas; para lo cual las turbomáquinas hídricas son principalmente empleadas para generación por recurso ácuco que por medio de textos y experiencias empíricas se manifiestan diferentes principios y conceptos con respecto a la concepción de energía que a continuación se conceptualizan.

El autor BERMUDES Vicente, (2000) señala que:

“La generación de energía eléctrica se consigue gracias al fenómeno de inducción electromagnética, descubierto por Faraday en 1830. Es decir, que es posible generar un flujo de electrones a través de un conductor cuando este se mueve con respecto a un campo magnético. De esta manera, se dice que el flujo de electrones ha sido producido por una fuerza electromotriz. Así mismo Lenz demostró que cuando en una bobina se induce una fuerza electromotriz, la corriente tiende a circular en un sentido tal que se opone al movimiento o cambio de flujo que inducen la fuerza electromotriz.” (p.119)

El concepto comprende que la generación eléctrica es producida por el movimiento mecánico de un generador que internamente cumple con leyes de electromagnetismo y da como resultado el fenómeno de la electricidad.

1.5. Centrales Hidroeléctricas

Las centrales hidroeléctricas son un pilar fundamental para la generación de electricidad para lo cual debemos conocer sus conceptos y funcionamiento.

Menciona MATAIX Claudio, (1975) asume que:

“Mediante presas, se embalsa el agua de la lluvia, se hace llegar desde cierta altura a unas turbinas hidráulicas que accionan los alternadores para producir corriente eléctrica. En el fondo de la presa se abren unas tuberías que canalizan el agua a presión empuja las palas de la turbina moviendo el eje del alternador. El corazón de toda central es la sala de máquinas, donde uno o más turboalternadores generan la fuerza Electromotriz cerca de la sala hay una estación transformadora para elevar la tensión de la corriente que se suministra a la red.” (p.273)

Una central hidroeléctrica es aquella que utiliza el potencial del agua y descender por un canal; al llegar a la sala de máquinas el agua actúa sobre los álabes de la turbina hidráulica, transformando su energía cinética en energía mecánica de rotación; finalmente el eje de la turbina está unido al del generador eléctrico, que al girar convierte la energía rotatoria en corriente alterna.

FIGURA N° 1.3
“CENTRAL HIDROELÉCTRICA”



Fuente: <http://www.google.com>, 11/11/2013
Elaborado por: Los autores

1.5.1. Tipos de centrales hidroeléctricas

Según VILLALBA HERVÁS, (2010), indica que las centrales hidroeléctricas se pueden clasificar de acuerdo a su concepción arquitectónica en:

1.5.1.1. Centrales al aire libre

Éstas centrales están construidas al pie de la presa, o alejadas de la misma; están conectadas por medio de una tubería en presión.

1.5.1.2. Centrales en caverna

Éstas centrales habitualmente están conectadas al embalse por medio de túneles, tuberías en presión, o por la combinación de ambas.

FIGURA N°1.4
“CENTRAL DE AGUA FLUYENTE”



Fuente:<http://www.google.com.ec/imgres?sa=X&biw=1280&bih=603&tbn=isch>
Elaborado por: Los autores

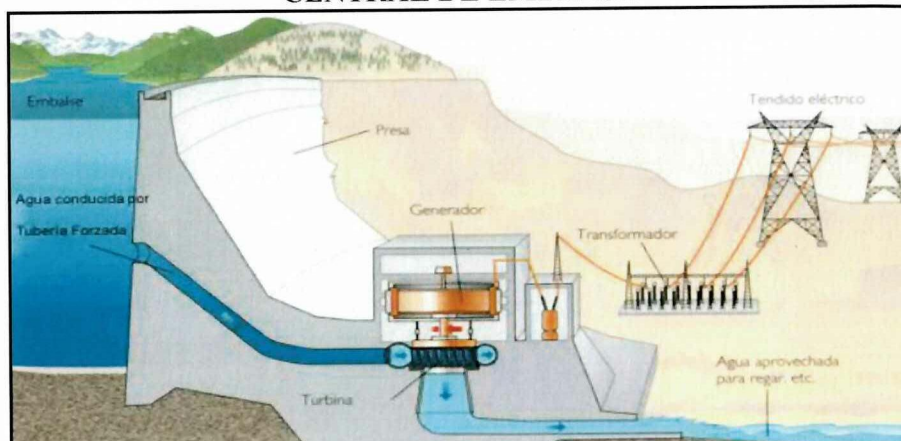
1.5.1.3. Centrales de agua fluyente

Son denominadas centrales de filo de agua o de pasada, éstas utilizan una porción del flujo de agua de un río para generar energía eléctrica. Su operación se efectúa en forma continua ya que no disponen de embalse, utilizan el flujo continuo del río. Utilizan turbinas para la generación de energía eléctrica, las turbinas pueden ser de eje vertical, cuando el río tiene una pendiente fuerte o de eje horizontal cuando la pendiente del río es baja.

1.5.1.4. Centrales de embalse

Este tipo de central es la más usual de las centrales hidroeléctricas. Un embalse es utilizado para reservar el agua e ir regulando la misma que pasa por la turbina. Es posible generar energía durante todo el año si se dispone de reservas suficientes. Se requieren una inversión considerable para su ejecución.

FIGURA N°1.5
“CENTRAL DE EMBALSE”



Fuente: <http://www.google.com.ec/imgres?sa>
Elaborado por: Los autores

Según la altura de caída del agua, éstas centrales dependen de la caída del agua, y éstas pueden ser:

1.5.1.5. Centrales de alta presión

Son aquellas que corresponden a centrales de más de 200m de caída del agua; por lo cual utilizan turbinas tipo Pelton.

1.5.1.6. Centrales de media presión

Centrales con caída del agua de 20 a 200m, en este tipo de centrales utilizan turbinas Francis y Kaplan.

1.5.1.7. Centrales de baja presión

Corresponden a centrales con desniveles de agua en torno a 20m, utilizan las turbinas Kaplan y Bulbo.

1.5.1.8. Centrales de muy baja presión

Son centrales correspondientes con nuevas tecnologías; suelen utilizar niveles de caída de agua por debajo de los 4m.

1.6. Sistema Pico Hidroeléctrico

Según el Manual De Mini y Microcentrales Hidroeléctricas en su Guía de Desarrollo de Proyectos, (1995), demanda que “Un sistema pico hidroeléctrico se refiere a aquellos niveles de generación de electricidad menores a 5 kw. Estos sistemas hidroeléctricos tienen una gran ventaja ya que por ser sistemas pequeños se los puede efectuar con un mínimo presupuesto, comparado con sistemas de mayor capacidad.”(p.9).

Se beneficiarán aquellas comunidades alejadas las cuales no cuentan con fluido eléctrico; por medio de este sistema se puede generar corriente alterna, la cual podrá ser utilizada para el funcionamiento de algunos aparatos como pueden ser radios, televisores, refrigeradoras, entre otros.

Para la ejecución de este tipo de sistemas se debe tomar en consideración aspectos tales como:

- El cauce con el que funcionará este sistema es pequeño, por lo que se puede utilizar con gran facilidad un arroyo, un manantial, un río pequeño, los mismos que se puede encontrar y aprovechar con habilidad.
- Los materiales usados en un sistema pico son pequeños, los cuales son de fácil transportación y ubicación en lugares estratégicos buscando siempre el bien comunitario.
- La producción de un sistema pico hidroeléctrico es eficiente y efectiva, ya que se cuenta con la debida capacitación; además que los procesos para la realización del mismo es muy sencillo.
- Un sistema pico hidroeléctrico resulta mucho más barato en su fabricación, comparado con los sistemas que utilizan combustibles, o aquellos que poseen componentes más complejos.
- El impacto en el medio ambiente es mínimo, ya que no emite gases dañinos como los que emanan los motores de combustión interna que perjudican el ecosistema en el que se efectúe el proyecto.



FIGURA N°1.6
“PICO HIDROELÉCTRICO”



Fuente: ERDMANNSDÖRFER Helmut , Industrias Ossberger Pág. 01
Elaborado por: Los autores

1.6.1. Componentes de un sistema pico hidroeléctrico

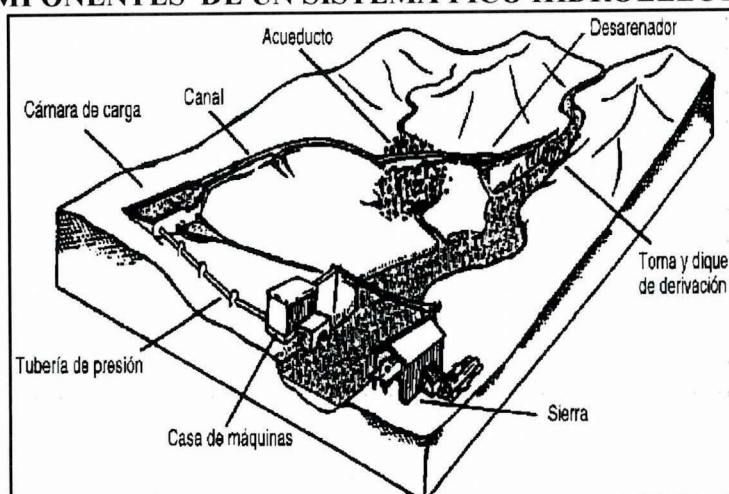
El Manual de Mini y Microcentrales Hidráulicas nos indica algunos de los componentes que conlleva una minicentral hidroeléctrica entre los principales tenemos:

- ***Fuente de agua.***-Constituye un río, arroyo, etc., del cual se va a suministrar el sistema para su óptimo funcionamiento; se debe tener en consideración que la fuente sea confiable y que exista el caudal suficiente para el desarrollo del sistema.
- ***Azud.***-Desvía el caudal de agua a través de una abertura al costado del río hacia un canal abierto.
- ***Desarenador.***-Separa las partículas de arena del agua.

- **Canal.**- Sigue los contornos del cerro con el fin de mantener la elevación del agua derivada.
- **Depósito.**- (Cámara de carga) a continuación del canal el agua ingresa al depósito y luego pasa a una tubería cerrada (Tubería Forzada), la cual está conectada a una máquina hidráulica conocida como turbina.
- **Turbina.**- La turbina es una máquina que transforma la energía cinética y potencial de un fluido para producir un movimiento de rotación que se transfiere a un eje. La turbina está formada por una rueda con paletas que gira dentro de un tambor.
- La turbina está constituida por un conjunto de mecanismos que son: el rodete, la tobera y la carcasa que los protege.
- **Generador.**- Un generador es todo dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrico entre dos de sus puntos (llamados polos, terminales o bornes) transformando la energía mecánica en eléctrica. Esta transformación se consigue por la acción de un campo magnético sobre los conductores eléctricos dispuestos sobre una armadura (denominada también estator).
- El objetivo primordial de un generador es el de convertir la potencia mecánica giratoria de una turbina en corriente o potencia eléctrica.
- **Carga.** Es una magnitud física característica de los fenómenos eléctricos. Se refiere a la maquinaria y artefactos que van a ser abastecidos de energía por el sistema de hidrogenación.

- **Controlador eléctrico.-** Se define como mando, gobierno y regulación de esta forma cuando hablamos de control de motores, equipos o máquinas, nos referimos al gobierno, mando y regulación de las funciones de dichos equipos, cada elemento del sistema utilizado para gobernar una máquina se denomina componentes de control.
- Un controlador eléctrico hace que la potencia eléctrica generada se relacione con las cargas eléctricas que se vinculan al sistema. Este dispositivo es necesario para evitar que el voltaje suba o baje al encender o apagar un dispositivo eléctrico.
- Existen, numerosas variaciones para este tipo de diseño; por ejemplo la carga podría ser accionada directamente por el eje rotativo de la turbina sin necesidad de electricidad.
- Otra posibilidad es eliminar el canal y conectar la tubería directamente a la turbina desde el primer desarenador.
- Variables como las expuestas dependerán de las características del lugar particular, de los requerimientos del usuario y los costos.

FIGURA N°1.7
“COMPONENTES DE UN SISTEMA PICO HIDROELÉCTRICO”

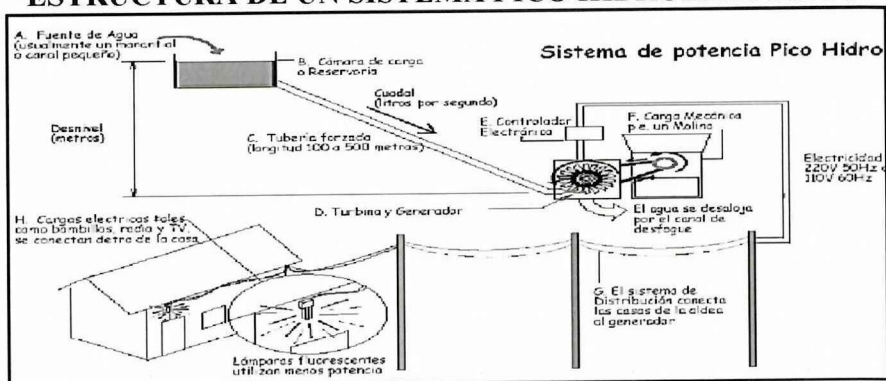


Fuente: Manual De Mini y Micro-centrales Hidroeléctricas, Pág. 05
 Elaborado por: Los autores

1.6.2. Estructura de un Sistema Pico Hidroeléctrico

En el siguiente gráfico se muestra en detalle la estructura con la que se debe contar para la instalación de un sistema Pico Hidroeléctrico, tomando en consideración cada uno de sus componentes.

FIGURA N°1.8
“ESTRUCTURA DE UN SISTEMA PICO HIDROELÉCTRICO”



Fuente: Pico Hidro, Potencia para Aldeas, Phillip Maher, Pág. 21
Elaborado por: Los autores

1.6.3. Ventajas de un Sistema Pico Hidroeléctrico

Entre las principales ventajas de realizar un sistema Pico Hidroeléctrico se pueden distinguir las siguientes:

- Al desarrollar un pico hidroeléctrico la energía que se obtiene es renovable y limpia ya que no contamina el ecosistema.
- Utiliza un recurso inagotable mientras el ciclo del agua perdure y se conserve en la cuenca del río intervenido. En Ecuador, por sus características climatológicas y geográficas, existe una gran disponibilidad de este recurso.

- En cuanto a su operación y mantenimientos los costes son bajos.
- No requiere la utilización de combustible por lo cual, disminuye la utilización de los mismos.
- Los sistemas Pico Hidroeléctricos poseen un tiempo de vida útil más duradera, comparado con los sistemas de generación a combustión interna.
- El sistema Pico Hidroeléctrico es menos agresivo con el medio ambiente, como lo son las grandes centrales que estimulan grandes pérdidas en la biodiversidad del planeta.
- Estas centrales están destinadas al autoconsumo, por lo que es normal diseñarlas o bien fabricarlas de manera artesanal.
- Funciona a temperatura ambiente, por lo que no se requiere emplear sistemas de refrigeración o calderas que consumen energía y en muchos casos contaminan el ambiente.

Así como los sistemas de Microgeneración tienen sus funciones favorables citaremos las condiciones que no los desfavorecen, desventajas de los sistemas hidroeléctricos:

- Cambio del ecosistema en el lugar en donde se ha realizado modificaciones para el desarrollo del sistema en su mayoría alterar el curso del paso del agua.
- El caudal del río se puede transformar radicalmente, si el desvió del agua no se lo hace técnicamente y previa planificación.
- La construcción de embalses puede ocasionar inundaciones en los terrenos aledaños; principalmente en el invierno, perjudicando el cultivo normal del sector.
- El desarrollo de este tipo de tecnología depende de las condiciones geográficas, climatológicas e hidrológicas por lo que no se la puede

desarrollar en cualquier sitio dado que no todos los lugares cumplen con las condiciones necesarias.

- Las centrales Pico no disponen de gran capacidad de almacenamiento de agua, la potencia máxima generada está determinada por el caudal, el que puede variar cuantiosamente de una temporada a otra.

1.6.4. Importancia de los Sistemas Pico Hidroeléctricos

El Manual De Mini y Microcentrales Hidroeléctricas en su Guía de Desarrollo de Proyectos, (1995), enuncia que “Los sistemas de microgeneración se usan en áreas apartadas a 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 hasta 300 kW.”(p.01)

La generación de energía eléctrica mediante la utilización de una turbina OSSBERGER permitirá satisfacer las necesidades energéticas del sector, pues es de vital importancia la explotación de pequeñas centrales hidroeléctricas, como una alternativa de solución para el abastecimiento de energía eléctrica en zonas rurales, considerando que exista el recurso hídrico local suficiente para la ejecución de la pico hidroeléctrica.

El desarrollo de proyectos Pico Hidroeléctricos permitirá que los sectores dispongan de una fuente de energía renovable y controle todas y cada una de las actividades relacionadas al manejo y mantenimiento del pico generador de energía; además será de mucha importancia dar a conocer a sus habitantes de este innovador proyecto de investigación generativo y amigable con el medio ambiente y todos sus entornos.

Con la ejecución de este proyecto, se puede replicar en otros sectores donde no tiene energía eléctrica, de esta manera se podría ir solventando las necesidades de energía eléctrica en localidades remotas.

Es importante destacar que estos proyectos están destinados a dotar de fluido eléctrico las 24 horas del día; pues se cuenta con los recursos renovables suficientes; al tratarse de energía destinada al consumo básicamente doméstico (no se aplica a actividades productivas), es usada pocas horas al día, generando la central el suficiente fluido para abastecer a toda la población local.

1.7. Turbinas

FÉRNANDEZ DÍEZ Pedro, (2003) indica que “Una máquina Hidráulica es un dispositivo capaz de convertir energía hidráulica en energía mecánica; pueden ser motrices (turbinas), o generatrices (bombas), modificando la energía total de la vena fluida que las atraviesa”. (p.01, 02)

Una turbina hidráulica es aquella turbo-máquina que aprovechando la energía cinética de un fluido que pasa a través de ella produciendo movimientos rotatorios, los cuales se transfieren mediante un eje o elementos mecánicos a un generador eléctrico el cual transforma la energía mecánica en eléctrica, convirtiéndose en los elementos primordiales de un sistema de generación hidroeléctrico, así cabe recalcar que el elemento primordial es la turbina hidráulica ya esta se la deberá dimensionar de acuerdo al entorno en la que se instaló tomando en cuenta las propiedades físicas, geográficas y químicas propias del afluente hídrico que puedan dañar o corroer a cada elemento que constituye el equipo electromecánico.

1.7.1. Tipos de turbina

1.7.1.1. De acuerdo al cambio de presión a al grado de reacción

Turbinas de acción.- Se entiende como tales, las turbinas en las que el sentido de la proyección del chorro de agua y el sentido de giro del rodete coincide, en el punto de empuje o choque de agua sobre los álabes del mismo, tales como Turbinas Michell Banki, Pelton y Turgo.

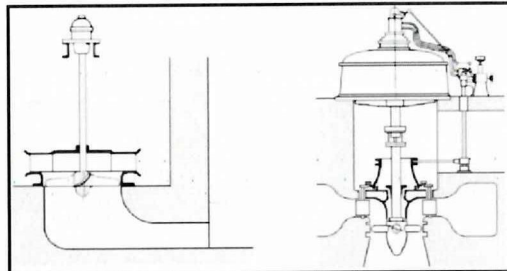
Turbinas de reacción.- Se consideran como turbinas de reacción, aquellas en las que cada una de las láminas de fluido que se forman, después de pasar el agua a través de las palas fijas y directrices, no se proyectan hacia los álabes del rodete de manera frontal, sino que, más bien, se trata de un deslizamiento sobre los mismos, de tal modo que el sentido de giro del rodete no coincide con la dirección de entrada y salida del agua, Kaplan, Francis..

1.7.1.2. De acuerdo al diseño del rodete

Esta clasificación es la más importante, ya que entre las distintas de cada género las diferencias sólo pueden ser de tamaño, ángulo de los álabes, o de otras partes de la turbo-máquina distinta al rodete.

Turbina Kaplan.-Son turbinas axiales, que tienen la particularidad de poder variar el ángulo de sus palas durante su funcionamiento. Están diseñadas para trabajar con saltos de agua pequeños y con grandes caudales.

FIGURA N°1.9
“TURBINA KAPLAN”

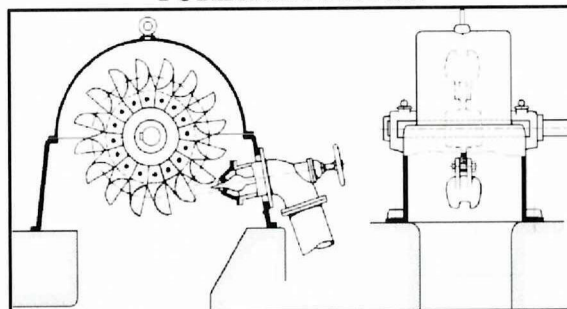


Fuente: Pedro Fernández, Turbinas Hidráulicas, Pág. 05
Elaborado por: Los autores

Turbina Hélice.- Son exactamente iguales a las turbinas Kaplan, pero a diferencia de estas, no son capaces de variar el ángulo de sus palas.

Turbina Pelton.- Son turbinas de flujo transversal, y de admisión parcial. Directamente de la evolución de los antiguos molinos de agua, y en vez de contar con álabes o palas se dice que tiene cucharas. Están diseñadas para trabajar con saltos de agua muy grandes, pero con caudales pequeños. Es una turbina de acción.

FIGURA N° 1.10
“TURBINA PELTON”

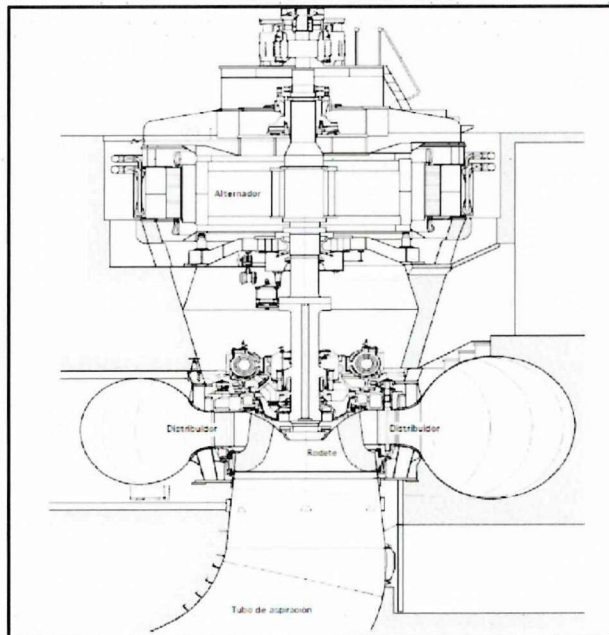


Fuente: Pedro Fernández, Turbinas Hidráulicas, Pág. 05
Elaborado por: Los autores

Turbina Francis.- Son turbinas de flujo mixto y de reacción. Existen algunos diseños complejos que son capaces de variar el ángulo de sus álabes durante su funcionamiento; su constitución es difícil ya que

depende de muchos mecanismos para su regulación y funcionamiento en general. Están diseñadas para trabajar con saltos de agua medios y caudal medios.

FIGURA N° 1.11
“TURBINA FRANCIS”



Fuente: Pedro Fernández, Turbinas Hidráulicas, Pág. 54
Elaborado por: Los autores

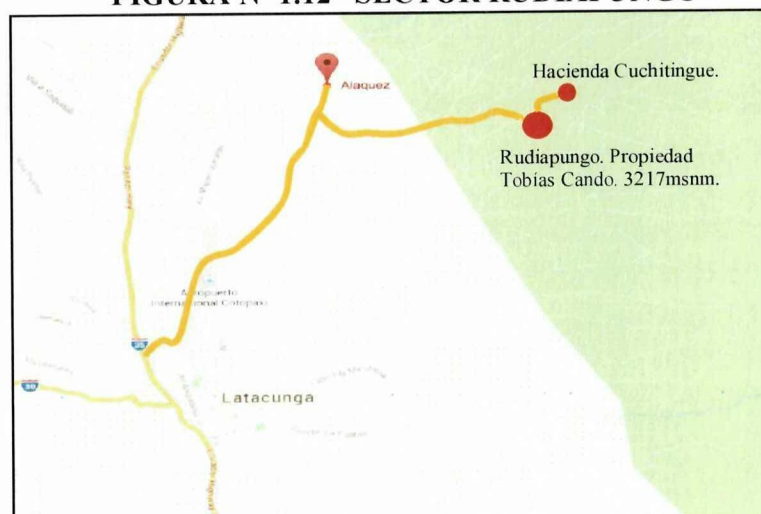
Turbina Ossberger / Banki / Michell, la turbina OSSBERGER.-Es una turbina de libre desviación, de admisión radial y parcial. Debido a su número específico de revoluciones cuenta entre las turbinas de régimen lento. El distribuidor imprime al chorro de agua una sección rectangular, y éste circula por la corona de paletas del rodete en forma de cilindro, primero desde fuera hacia dentro y, a continuación, después de haber pasado por el interior del rodete, desde dentro hacia fuera.

Turbina Turgo.-Es una turbina hidráulica de impulso diseñada para saltos de desnivel medio. El rodete de una Turgo se parece a un rodete Pelton partido por la mitad. Para la misma potencia, el rodete Turgo tiene la mitad del diámetro que el de un rodete Pelton y dobla la velocidad específica.

1.8. Situación actual del sector Rudiapungo

Aproximadamente el 85% de los habitantes del sector Rudiapungo constan de energía eléctrica, la cual tiene sus desfases de eficiencia, ya que en ocasiones hay fallos de interconexión, para lo cual se ha tomado en cuenta un emplazamiento de la Propiedad del Sr. Tobías Cando en la que se implementó el sistema de hidrogenación para potencializar su sistema de riego por aspersión usando una bomba eléctrica, por cuanto en la actualidad es usada una bomba accionada por un motor de ignición, esta se constituye como una maquina altamente contaminante pues su funcionamiento origina la emanación de gases y de ruido que contamina el medio ambiente. La bomba eléctrica será accionada periódicamente en pequeños lapsos semanales; por tanto además de usar el sistema de generación eléctrica para riego también se dotara de 220V en uso doméstico, adelantándonos al cambio de la matriz energética. Así también la propiedad del Sr. Tobías Cando ha sufrido un sinnúmero de deslizamientos, producidos por la deficiente elaboración del canal, que desencadeno un desplazamiento constante de tierra que ha llegado a 27,5 metros de altura aproximadamente. En la implementación del pico hidroeléctrico se tomó una cuarta parte del canal minimizando la erosión porcentualmente.

FIGURA N° 1.12 “SECTOR RUDIAPUNGO”



Fuente: <https://www.google.com/maps/place/Aláquez>.

Elaborado por: Los autores.

La Propiedad ubicada en el sector de Rudiapungo se halla a 27 km al noreste de Latacunga y a 12 km al oeste de Aláquez es de propiedad del Sr. Tobías Cando, adquirida por herencia familiar, tiene aproximadamente 2 hectáreas, destinada para la crianza de animales de la zona y pastoreado por los mismos de forma sostenida; esta labor no constituye ningún peligro de destrucción para su entorno natural, por el contrario es un beneficio en cuanto a la fertilización del suelo para que se mantenga una buena capa vegetal, esto se demuestra porque durante cientos de años se ha realizado esta actividad y los suelos han mantenido su diversidad sin destrucción alguna.

En la actualidad el Sr. Tobías Cando reside en la Propiedad Agrícola adyacente a la hacienda Cuchitingue, el cual es el encargado de salvaguardar tanto el área natural como su infraestructura.

El canal Quilindaña fue construido hace aproximadamente 25 años de manera empírica, con el propósito de otorgar agua de riego a sectores como Rudiapungo, Chuchitingue y otros emplazamientos encontrados a sus alrededores. Este cauce tiene una caudal de $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$, que mediante una toma de agua serán aprovechados $0.05 \text{ m}^3/\text{s}$ para no disminuir su volumen ni alterar su curso; este caudal es suficiente para producir una capacidad de 3.5kW aproximadamente.

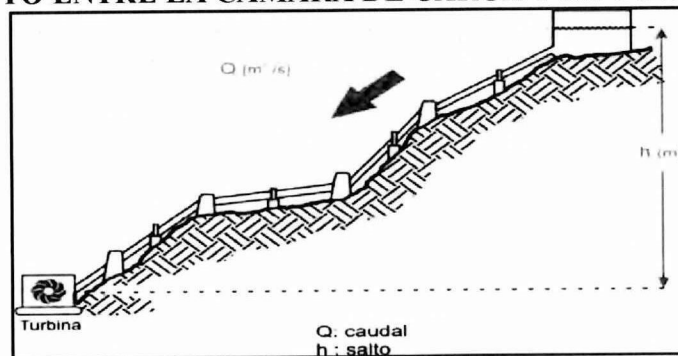
1.9. Estimación de la Demanda Energética

El autor DAVILA C, (2010) expone que “El análisis de la demanda es un aspecto importante para el diseño o estudio de un 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 su necesidad”. (p. 19)

1.10. Recursos Hidroenergéticos

De acuerdo con El Volumen I Manual De Diseño y Estandarización OLADE, (1998) señala que “De acuerdo con las experiencias obtenidas con la Turbina Michell Banki (Ossberger) se deduce que puede operar a saltos máximos comprendidos entre 100 y 200 metros, con eficiencias máximas comprendidas entre 80% y 85% con potencias de 750 y 1000 kW.”(p.09). Para diseñar una turbina Ossberger también se requiere determinar datos tales como el salto neto, y el caudal máximo, la capacidad de generación de energía depende principalmente de la altura o caída que genera energía potencial y a su vez poder obtener el caudal necesario. La altura depende de la topografía del terreno y el caudal de las características del río que se va a usar.

FIGURA N° 1.13
“SALTO ENTRE LA CÁMARA DE CARGA Y LA TURBINA”



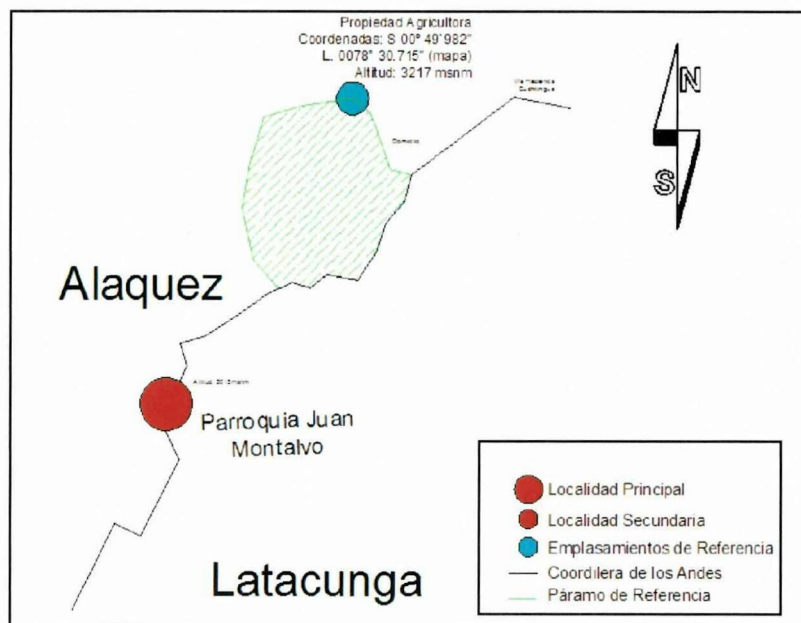
Fuente: Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, (2010), Pág. 40
Elaborado por: Los autores

Salto neto Aprovechable:	H = 15 metros
Caudal de Diseño:	Q = 0.05 m³/ seg
Potencia del Generador:	P = 3.5 kW
Sistema de transmisión de Potencia:	Poleas Trapezoidales
Tuberías:	PVC Reforzado, Manguera.
Tipo de Agua:	Con turbidez pero sin presencia de metales pesados.

1.11. Diseño y recurso hidrológico

La capacidad de generación del sistema depende de cómo se maneje el recurso hídrico (salto, caída) para determinar la energía potencial que se pueda obtener del afluente disponible. En los estudios y análisis del lugar donde realizamos el proyecto es necesario medir con el objetivo de obtener una mayor precisión de datos a usarse.

FIGURA N° 1.14
“LATITUDES Y UBICACIÓN DEL SECTOR RUDIAPUNGO”



Fuente: Los autores
Elaborado por: Los autores.

Generalmente es requerimiento tener medidas y lecturas con una confiabilidad del 3% o más ya que la caída es uno de los aspectos más importantes en el diseño del Pico hidroeléctrico. Existen varios métodos y técnicas de medición para lo cual según El Manual De Mini y Microcentrales Hidroeléctricas en su Guía de Desarrollo de Proyectos, (1995) (p.28).

FIGURA N° 1.15
“COMPARACIÓN DE TÉCNICAS”

Método	Ventajas y limitaciones	Precisión	Observación
Manguera de nivelación	Agotador para caídas altas. Rápido para pequeñas caídas.	Aprox. 5%	Es recomendable hacerlo entre dos personas.
Manguera y manómetro	Rápido, seguro. Da la posibilidad de medir la longitud de la tubería de presión a la vez. Peso: ligero. Costo: bajo.	(< 5%)	Calibrar instrumentos.
Nivel de carpintero y tablas	Inapropiado para pendientes suaves y largas. Lento.	Aprox. 5% en pendientes pronunciadas. Poca precisión en pendientes suaves. (1:10) (10-20%)	Usar sólo para caídas muy pequeñas cuando no se dispone de otro método.
Altimetro	Usado en caídas altas y medianas (> 40 m) rápido.	Probabilidad de grandes errores (30%)	Necesita calibración de instrumentos y destreza. Tomar 3 o más medidas.
Ecímetro	Rápido. Peso: liviano. Costo: moderado	Buena 5%	Recomendable en terrenos despejados. Usado en todos los lugares especialmente donde los otros métodos son muy lentos.
Nivel de ingeniero	Rápido. Costo: alto.	Muy buena.	No es bueno en lugares con demasiados árboles.

Fuente: Manual De Mini y Microcentrales Hidroeléctricas, Pág. 28

Elaborado por: Los autores.

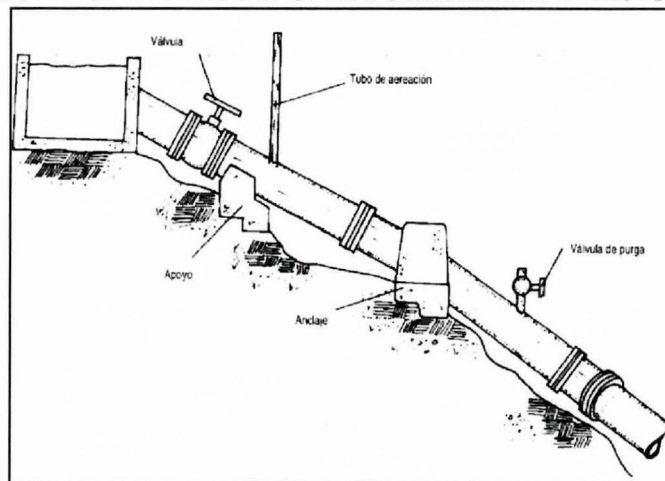
1.12. Diseño de tubería

1.12.1. Tuberías de Presión

Las tuberías de presión son aquellas que transportan y guían el agua bajo presión a la casa de máquinas para posteriormente descargar en la turbina y accionar el grupo electrógeno, existen de diferentes tipos de alta y de

baja presión. Entre los componentes que la constituyen se encuentran: la válvula de cierre o apertura, apoyos, tubo de aireación, anclajes y la válvula de purga que se los pueden observar en la siguiente figura.

FIGURA N° 1.16
“COMPONENTES DE UNA TUBERÍA DE PRESIÓN”



Fuente: Manual De Mini y Microcentrales Hidroeléctricas, Pág. 91
Elaborado por: Los autores.

Pautas de selección para una tubería de presión

Consideramos las diferentes clases de material que existen en el mercado, tipos de uniones, comparamos formas y costos en el mantenimiento. Anotamos también los diámetros de tuberías y los espesores de pared disponibles.

En este caso seleccionamos Policloruro de vinilo (PVC) reforzado, para la etapa de entrada, para la conducción por la condición geográfica del sector y sus pendientes se usara Manguera de alta presión, así mismo para la etapa de entrada al inyector de la turbomáquina escogimos de igual forma manguera para evitar daños por golpe de ariete.

TABLA N° 1.1
“MATERIALES DE TUBERÍA DE PRESIÓN”

Comparación de los diferentes materiales para tuberías de presión					
Material	Pérdida de Fricción	Peso	Corrosión	Costo	Presión de Trabajo
Hierro Dúctil	4	3	2	1	5
Asbesto, Cemento	3	3	4	4	4
PVC	5	5	4	4	4
Acero Comercial	3	3	3	2	5
Polietileno	5	5	5	3	4
Rango	Malo = 1				
	Excelente = 5				

Fuente: Manual De Mini y Microcentrales Hidroeléctricas, Pág. 93
Elaborado por: Los autores.

Válvulas para tuberías de presión

Son aquellas que controlan el paso de agua en la tubería de presión y existen de diversos tipos. Para el caso de Pico centrales Hidroeléctricas nos limitamos a enunciar a las válvulas más usadas que son las válvulas de compuerta y de mariposa, de estas dos la de compuerta es la más usada.

1.12.2. Policloruro de Vinilo (PVC)

El PVC es relativamente económico, y sus propiedades se asemejan a la Manguera de Presión; se producen en diámetros que van hasta cerca de los 400mm, y es adecuada para presiones elevadas (100 a 150 psi). Al variar el espesor de la pared de la tubería se puede obtener diferentes niveles de

presión. Es liviana y fácil de transportar, tiene un factor bajo de pérdidas por fricción y es resistente a la corrosión. No obstante, es relativamente frágil y puede ser dañada por golpes o impactos de elementos contundentes, especialmente a bajas temperaturas, la principal desventaja es que el PVC se deteriora al exponerlo a luz ultravioleta, la cual raja la superficie afectando seriamente la resistencia de la tubería.

1.12.3. Polietileno de alta Densidad

Las tuberías fabricadas con este material son una buena alternativa frente a las PVC. Son particularmente útiles para pequeños sistemas debido a su fácil instalación. Frecuentemente es empleada en condiciones geográficas extremas. Tienen un coeficiente de pérdidas por fricción bajo, son resistentes a la corrosión y no se deterioran cuando están expuestas a la luz solar. Estas tuberías con frecuencia se unen calentando los extremos y fusionándolos a presión utilizando un equipo especial y pegamentos, lo cual genera desventajas ya que pueden existir fugas en uniones a alta presión o si existe una unión deficiente.

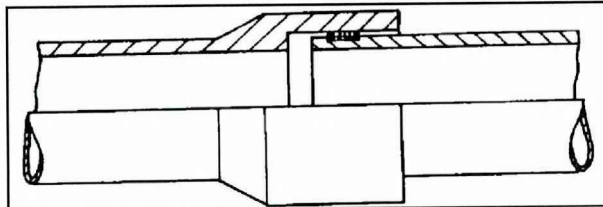
1.12.4. Tipos de Uniones

Las tuberías por lo general, se las encuentra en longitudes estándar y deben ser unidas entre sí, los tipos de uniones pueden clasificarse en 4 categorías:

1. Embridadada
2. Espiga y campana
3. Mecánica
4. Soldada.

Para tubería PVC es necesario usar uniones espiga o campana, ya que vienen preparadas de fábrica, ya que el diámetro interno de la campana es igual al diámetro externo de la tubería lo cual permite embonarla de manera fácil. Se necesita sellar cada sección de tubería empleando sellantes de caucho o pegamento especial, y para las tuberías de acero comercial se hace prudente utilizar uniones bridadas, mecánicas o soldadas igualmente con empaque para evitar fugas de agua.

FIGURA N° 1.17
“TUBERIA DE PRESIÓN”



Fuente: Manual De Mini y Microcentrales Hidroeléctricas, Pág. 94
Elaborado por: Los autores.

1.13. Turbina Ossberger

En el Manual de OLADE , (1989) se menciona que “La turbina Ossberger, (Michell- Banki) es una turbina de acción de flujo transversal y de admisión parcial, que se utiliza generalmente en aquellos proyectos de pequeñas centrales hidroeléctricas donde se aprovecha un salto o un caudal medio para satisfacer la demanda de un sistema eléctrico”. (p. 07)

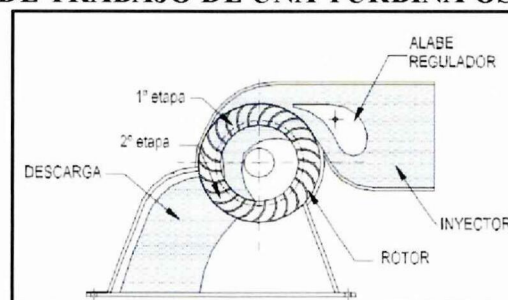
Su origen se remonta a principios del siglo XX cuando el ingeniero A.G. Michell desarrollo, en 1903, la turbina de flujo transversal de doble pasó, la cual fue estudiada en la universidad de Budapest por D. Banki entre los años 1917 y 1919. Posteriormente, en 1933 el ingeniero Fritz Ossberger desarrollo la turbina que denomino Cross- Flow que era una turbina de flujo transversal con un mejor

diseño que la desarrollada por Michell y estudiada por Banki; en 1938 se introdujo en el diseño del inyector de esta turbina, una pala giratoria como dispositivo director.

En los años posteriores hasta la presente fecha se las conocen con diferentes nombres como: Turbina Michell-Banki, Turbina Michell, Turbina Banki, Turbina de Flujo Transversal o Cross Flow y en el caso de la fábrica Alemana Turbina Ossberger.

Estas turbinas son adaptadas individualmente a las condiciones de servicio (caída/caudal) existentes en un determinado salto de agua. El distribuidor imprime al chorro de agua una sección rectangular, y éste circula por la corona de paletas del rodete en forma de cilindro, primero desde fuera hacia dentro y, a continuación, después de haber pasado por el interior del rodete, desde dentro hacia fuera, por lo cual tiene varias etapas de trabajo lo cual se lo representara en el siguiente gráfico.

FIGURA N° 1.18
“ETAPAS DE TRABAJO DE UNA TURBINA OSSBERGER”



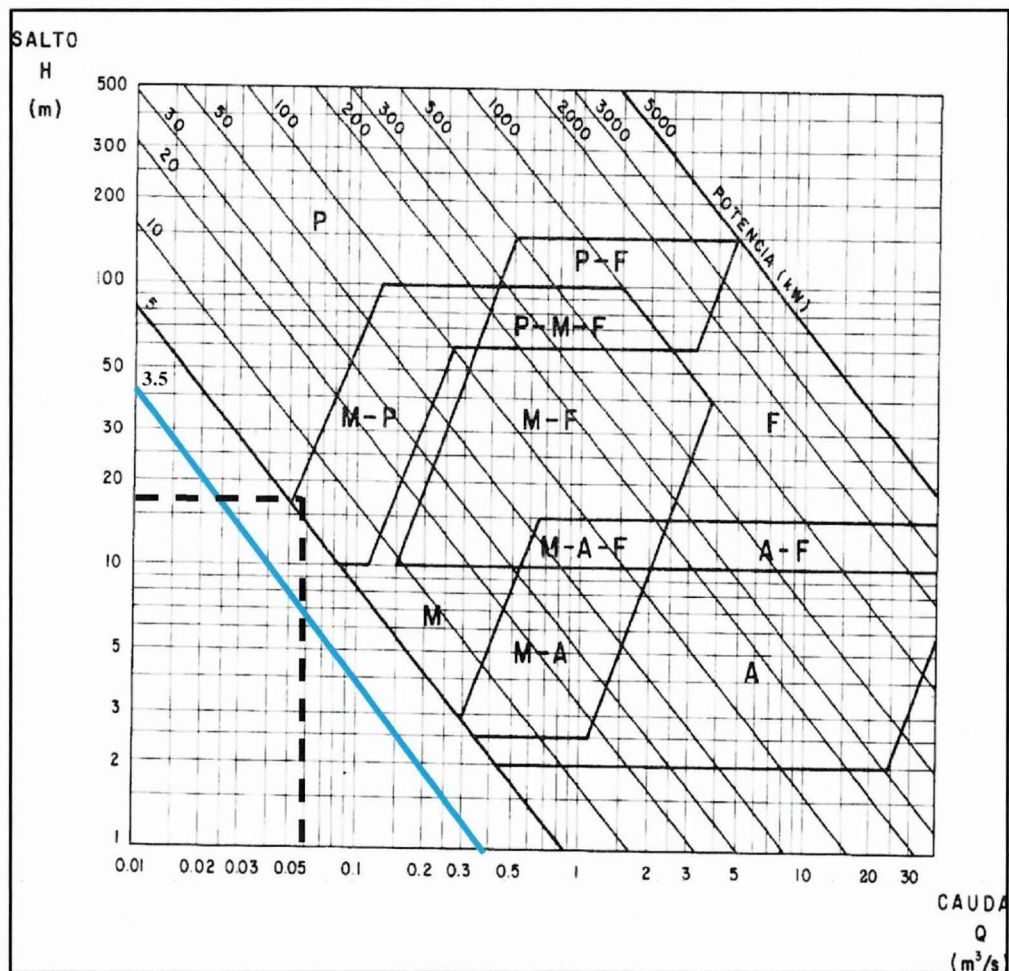
Fuente: Ariel R. Marchegiani & otros, (2009), Pág. 684
Elaborado por: Los autores

Las turbinas OSSBERGER no están expuestas a la cavitación. La turbina será siempre arreglada encima del nivel de aguas abajo. Por consiguiente los ahorros

serán esenciales con respecto a los gastos civiles. Asimismo podrá operarse la máquina por toda la gama de admisión sin restricciones.

Para una selección rápida de la turbina, se procede a ubicar el tipo de turbina, en un gráfico que relaciona la potencia, el salto (m) y el caudal en (m^3/seg).; se analiza los diferentes valores de salto y de caudales los cuales generan una cierta potencia estandarizada así como también la selección exacta de turbina para las especificaciones requeridas .

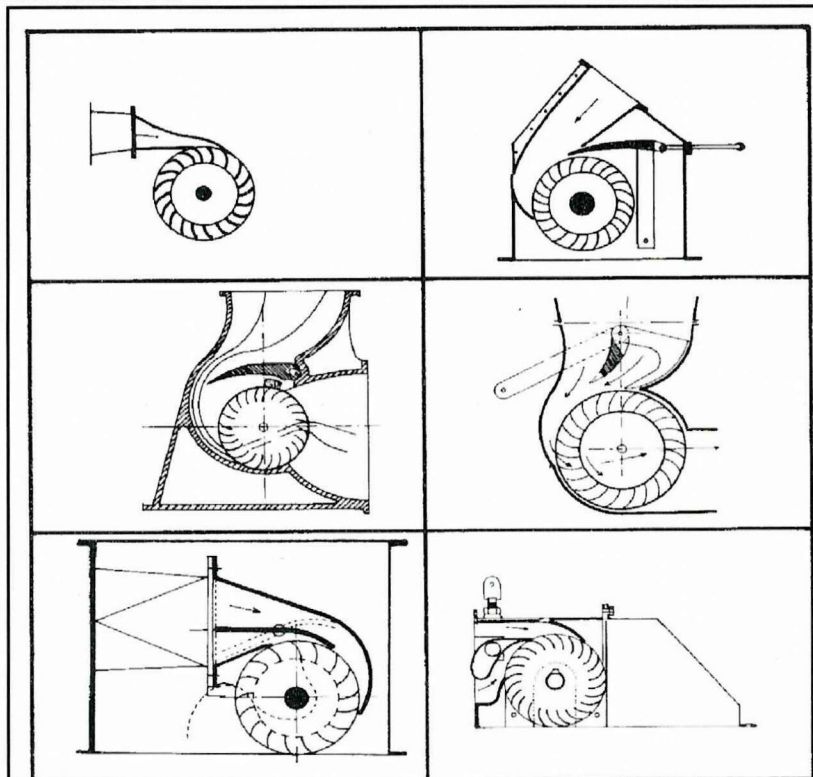
FIGURA N° 1.19
“DIAGRAMA DE SELECCIÓN DE TURBINA”



Fuente: Volumen I Manual De Diseño y Estandarización OLADE, Pág. 40
Elaborado por: Los autores

Existen varios tipos de perfiles en geometría del inyector para turbina Ossberger algunos poseen álabes de compuerta, y otras un álabe directriz con diferentes geometrías y en algunos casos se diseña el inyector sin álabe de regulación. También se diseñan inyectores con uno o dos comportamientos con el objetivo de mejorar la eficiencia de la turbina cuando opera cargas parciales.

FIGURA N° 1.20
“PERFILES DE INYECTORES PARA TURBINAS OSSBERGER”

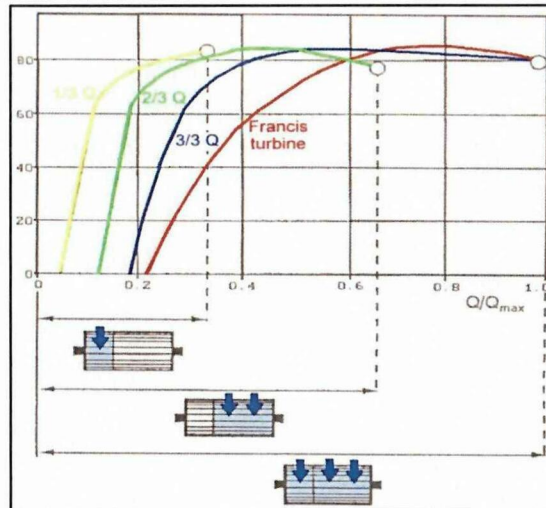


Fuente: Volumen I Manual De Diseño y Estandarización OLADE, Pág. 40
 Elaborado por: Los autores

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 alabes del rodete. Cuando se define una geometría de inyector con álabe directriz, se requiere definir el perfil del mismo, considerando un balance de pérdidas de presión en los flujos de agua en el

que se divide el caudal por efecto del álabe. De tal forma que al tener igualadas ambas pérdidas, se obtenga la misma velocidad de salida en ambos conductos.

FIGURA N° 1.21
“RELACIÓN DE EFICIENCIAS CON TURBINA OSSBERGER Y FRANCIS A CARGA PARCIAL MÁXIMA 1/3 Y 2/3”



Fuente: <http://www.microhydropower.net/image/28.jpg>

Elaborado por: Los autores

1.13.1. Análisis y Diseño de la Turbina Ossberger

Las turbinas OSSBERGER se componen de elementos sistematizados que, de acuerdo con los requerimientos de cada caso; es decir, según el caudal; van formando instalaciones completas hechas a la medida. Este sistema de construcción modular permite reducir los costes de fabricación y al mismo tiempo crear las funciones de acuerdo al proyecto.

El rango de aplicación definen los números específicos de revoluciones Nq y Ns , los cuales se obtienen mediante la utilización de las siguientes formulas:

$$Nq = N \frac{Q^{1/2}}{H^{3/4}} \text{ y } Ns = N \frac{P^{1/2}}{H^{5/4}} \quad \text{Ec. 1.1}$$

Dónde:

- P** es la potencia al freno de la turbina en C.V.
Q es el caudal máximo que fluye por la turbina en m^3/seg
H es el salto neto de la central en metros
N es la velocidad de giro de la turbina en RPM

En la siguiente tabla se denota el rango de aplicación de la turbina en comparación a los rangos de aplicación de otro tipo de turbinas:

TABLA N° 1.2
“RANGO DE APLICACION EN TURBINAS HIDRAULICAS”

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 Ossberger	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: Volumen I Manual De Diseño y Estandarización OLADE, Pág. 07

Elaborado por: Los autores

Guiándonos en El Volumen I Manual De Diseño y Estandarización OLADE, (1998) sugiere que “La turbina Ossberger puede operar con saltos máximo comprendidos entre 100 y 200 metros con eficiencias máximas de 80% y 85% y con potencias máximas de 750 y 1000 kW”.

(p.07)

Algunos ríos llevan a menudo durante varios meses muy poca agua debido principalmente a las condiciones de las estaciones climáticas. De la línea característica de rendimiento de cada turbina depende si durante ese tiempo se sigue produciendo energía eléctrica. En las centrales fluviales con caudales irregulares, las turbinas con un elevado rendimiento máximo, pero con un comportamiento menos favorable bajo carga parcial, alcanzan una potencia anual inferior a la obtenida, con turbinas cuya curva de rendimiento aparece más aplanada.

Las turbinas OSSBERGER siempre son ajustadas individualmente a las condiciones del servicio (caída/caudal) existentes en un determinado salto de agua. Estas turbinas cuentan con el siguiente campo de aplicación:

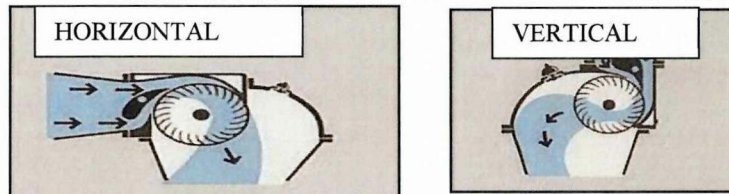
TABLA N° 1.3
“CAMPO DE APLICACIÓN”

NOMBRE	SÍMBOLO	RANGOS
Altura	H	$1\text{m} \leq H \leq 100\text{m}$
Caídas	A	$A = 2,5 - 200 \text{ m}$
Caudales	Q	$0,02 \text{ m}^3/\text{s} \leq Q \leq 7 \text{ m}^3/\text{s}$
Potencias	P	$P \leq 1\text{Mw}$

Fuente: <http://www.ossberger.de/la-turbina-ossberger/>
Elaborado por: Los autores

Mediante el sentido y las etapas de circulación del sistema que brinda esta turbina, tiene la ventaja de que factores propios del entorno a ser implementado como el follaje, hierba y lodos que durante la entrada del agua se presan entre los álabes, vuelven a ser expulsados con el agua de salida (ayudados por la fuerza centrífuga). Así el rodete realiza una limpieza automática; evitando el atascamiento de objetos; evitando de esta manera que estos elementos que pueden afectar el normal desenvolvimiento del sistema o el daño del mismo.

FIGURA N° 1.22
“CIRCULACIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL DEL AGUA”

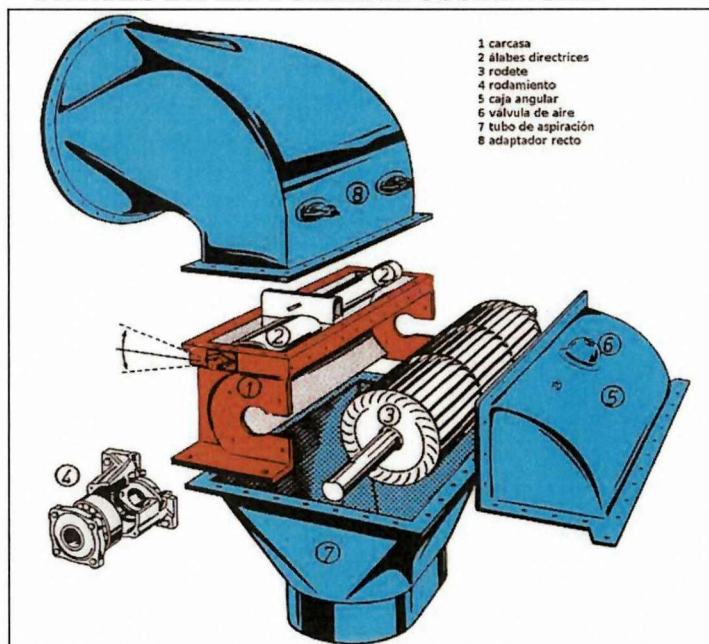


Fuente: <http://www.ossberger.de/la-turbinaossberger/>
Elaborado por: Los autores

1.13.2. Los elementos de una turbina Ossberger

1. Carcasa
2. Álabes directrices
3. Rodete
4. Rodamiento
5. Válvula de aire
6. Tubo de aspiración
7. Adaptador recto.

FIGURA N° 1.23
“PARTES DE LA TURBINA OSSBERGER”



Fuente: <http://www.ossberger.de/la-turbina-ossberger/>
Elaborado por: Los autores

1.13.3. Características de la Turbina

- Es una turbina que permite instalación de pequeñas centrales hidráulicas, a partir del aprovechamiento de los recursos existentes en la naturaleza.
- En pequeñas centrales la turbina Ossberger, permite obtener una curva de rendimiento plana y de alta eficiencia.
- Puede operar hasta con un 20% del caudal nominado; con un rendimiento cercano al diseño original.
- Permite absorber los caudales irregulares durante todo el año sin importar de manera considerable el cambio de estación.
- Su coste de servicios y mantenimiento es muy bajo. Para el mantenimiento de la turbina no es necesario abrirla, sino que directamente se lo realiza en los descansos que están ubicados en el exterior de la carcasa de la turbina.

1.13.4. Proceso de fabricación de la turbina Ossberger

El Manual de OLADE, (1989) sugiere que “Para diseñar una turbina Ossberger se requieren determinar los datos del salto neto aprovechable y el caudal máximo que fluirá por ella, en algunos proyectos este caudal corresponde al caudal mínimo anual que se dispone obtenido del estudio hidrológico, y en otros proyectos se deduce de la potencia al freno que la turbina deberá entregar al generador para que este entregue a un sistema eléctrico.” (p. 09)

Cabe destacar que este dato es imprescindible ya que según el resultado de la potencia al freno es concerniente elegir la turbina; en la tabla de selección rápida mostrada en la *Fig. 1.19*.

La potencia del freno de la turbina se obtiene aplicando la siguiente fórmula:

$$PT = \frac{Pg}{\eta_g \eta_{tr}} \quad \text{Ec. 1.2}$$

En donde:

Pg es la potencia máxima que el generador entrega al sistema eléctrico.

η_g es la eficiencia de Generador.

η_{tr} es la eficiencia de la transmisión mecánica utilizada entre la turbina y el generador.

Otro parámetro necesario para el diseño de la turbina lo constituye el número óptimo de revoluciones con que deberá operar la turbina, que se deduce de la formula.

$$N = \frac{39.85 H^{1/2}}{De} \quad \text{Ec. 1.3}$$

En donde:

N es el número de revoluciones óptimas en RPM.

De es el diámetro exterior del rodete, en metros.

H es el salto neto aprovechable, en metros.

Cuando se diseña la turbina para que gire a una velocidad síncrona, el diámetro exterior del rodete se determina despejándolo la *Ec. 1.3*. Cuando la transmisión entre la turbina y el generador es a través de un sistema de bandas o engranajes se asume el diámetro del rodete y se aplica de igual forma la *Ec. 1.3*.

Para la selección del diámetro del rotor calcula Q/\sqrt{H} , la respuesta obtenida determinará el diámetro a utilizar; se recurrirá a la siguiente tabla de rangos establecidos. Dentro de la estructura del rotor, se encontrarán un par de discos, entre los cuales se fijaran periféricamente una cierta cantidad de álabes de perfil circular y de simple curvatura; son figados de acuerdo a un número específico mediante soldadura.

TABLA N° 1.4
“SELECCIÓN DEL DIÁMETRO DEL ROTOR”

Q/\sqrt{H}	DIÁMETRO DEL ROTOR (mm)
0,02236 – 0,04743	200
0,04743 – 0,07906	300
0,07906 – 0,11068	400
0,11068 – 0,15812	500

Fuente: INE

Elaborado por: Los autores

Para la fabricación de los álabes se toma un tubo de acero del cual se extrae secciones eficazmente mecanizadas, las mismas que tendrán las dimensiones del ancho de la turbina; finalmente se realiza longitudinalmente un corte a los álabes de modo que se perfeccionen, con una sección circular de un ángulo aproximado de 72°.

Para unir los álabes a las placas realizamos muescas en las mismas fueron mecanizadas mediante fresado, para colocar los álabes y posteriormente se colocó suelda para la sujeción correcta y efectiva con el objetivo que no haya cordón de suelda en la parte interna de los discos del rodete, verificando que esté cada uno de sus componentes en su debido espacio, comprobando los ángulos de espacio entre alabes y el ángulo de curvatura del corte; lo cual garantiza una mayor eficiencia en la turbina y asegurando las etapas de la misma; así también su perfecto funcionamiento.

El número de álabes, es directamente proporcional al diámetro del rotor ya que este número aumenta o disminuye a medida de los discos de rodete; existen factores normalizados del número de alabes y se enuncian estos en la siguiente tabla:

TABLA No. 1.5
“SELECCIÓN DEL NÚMERO DE ÁLABES”

DIÁMETRO DEL ROTOR (mm)	No. ÁLABES
200	22
300	24
400	26
500	28

Fuente: INE

Elaborado por: Los autores

Para la selección del espesor de cada álabe del rotor, se determinó de acuerdo a la siguiente tabla en la que se detallan diámetro, espesor y peso de la tubería a utilizar en el proyecto.

TABLA No. 1.6
“SELECCIÓN DEL ESPESOR DE ÁLABES”

DIÁMETRO DEL ROTOR (mm)	TUBERÍA		
	DIÁMETRO (pulg)	ESPELOR (mm)	PESO (kgf/m)
200	2½	5,16	8,62
300	4	6,02	16,07
400	5	6,55	21,78
500	6	7,11	28,26

Fuente: INE
Elaborado por: Los autores

Para la ejecución del trabajo se utilizó las siguientes ecuaciones:

Diámetro interior del rotor.

$$D_i = 0,66 D_e \quad \text{Ec. 1.4}$$

Velocidad nominal de rotación.

$$N = \frac{40\sqrt{H}}{D_e} \quad \text{Ec. 1.5}$$

Ancho del inyector.

$$B = \frac{Q}{p(\pi D_e - eZ)K_o K_c \sqrt{2gH} \text{Sen}\alpha_2} \quad \text{Ec. 1.6}$$

Radio de curvatura de los álabes.

$$r = \frac{D_e}{4\text{Cos}\beta'_2} \left| 1 - \left| \frac{D_i}{D_e} \right|^2 \right| \quad \text{Ec. 1.7}$$

Ángulos característicos del álabe

TABLA No. 1.7
“ÁNGULOS DE ÁLABE”

DIÁMETRO DEL ROTOR (mm)	ϕ (°)	θ (°)
200	15,5	74,5
300	20	70,0
400	17	73,0
500	14,6	75,4

Fuente: INE
Elaborado por: Los autores

Angulo de curvatura de los álaves.

$$\phi = 2 \operatorname{arc} \operatorname{tg} \left| \frac{\operatorname{Cos} \beta'_2}{\left| \frac{D_i}{D_e} \right| + \operatorname{Sen} \beta'_2} \right| \quad \text{Ec. 1.8}$$

Arco de admisión.

$$\angle BOC = 2 \operatorname{arc} \operatorname{tg} \left| \frac{\sqrt{1 - Ku(2 - Ku)\operatorname{Cos}^2 \alpha_2}}{\left| \frac{D_i}{D_e} \right| Ku \operatorname{Cos}^2 \alpha_2} \right| \quad \text{Ec. 1.9}$$

Diámetro máximo del eje del rotor.

$$d_{\max} = 0,328 D_e \quad \text{Ec. 1.10}$$

Diseño del eje del rotor

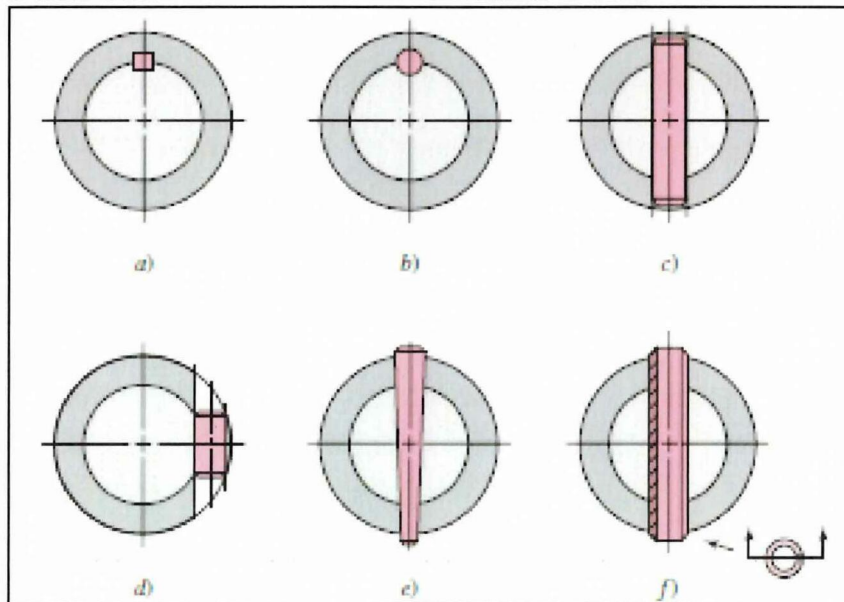
El rodete está compuesto por dos placas laterales circulares, las cuales se intercalan entre los álaves y el eje del rodete; son los elementos más importantes de la constitución del rotor ya que su efectividad en el mecanizado garantiza su balanceo de rotación. Para la entrada de la

turbina, se utilizó un álabe directriz de acero sólido no hueco, en donde está ubicado el sistema regulador que se ha hecho por medio de un volante, cuyo objetivo es regular el flujo del agua que ingresa al sistema y como consecuencia se regula la velocidad de rotación de la turbina.

Selección de Chaveta

BUDYNAS, G Richard, (2009) explica que “Las cuñas y los pasadores que se utilizan sobre ejes para fijar elementos rotatorios, como engranes, poleas o ruedas. Las cuñas se emplean para permitir la transmisión del par de torsión del eje al elemento que soporta. Los pasadores se usan para posicionar axialmente y para transferir el par de torsión o empuje, o ambos.” (p. 378)

FIGURA N° 1.24
“ESTRUCTURAS Y FORMAS DE CUÑAS Y PASADORES”



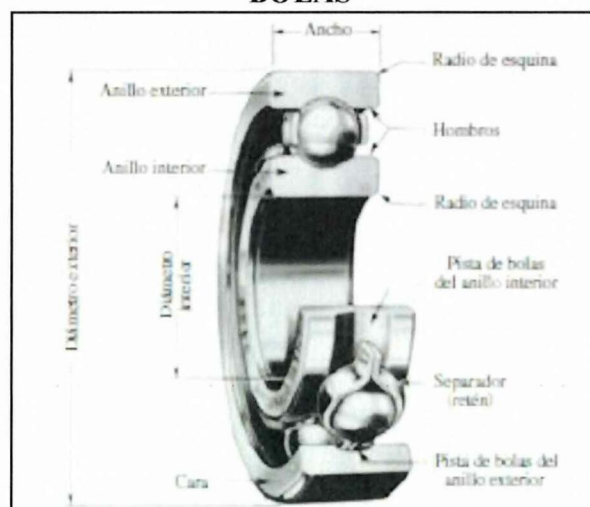
Fuente: BUDYNAS, G. Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, Pág. 378
Elaborado por: Los autores

Selección de Rodamientos.

Los cojinetes se fabrican para soportar cargas radiales puras, cargas de empuje puras o una combinación de ellas. La nomenclatura de un cojinete de bolas se ilustra en la figura N°1.25, en la que también se muestran las cuatro partes esenciales de un cojinete. Dichas partes son: el anillo exterior, el anillo interior, las bolas o elementos rodantes y el separador. En los cojinetes baratos, algunas veces se omite el separador, a pesar de que realiza la importante función de aislar los elementos de manera que no ocurra contacto de rozamiento entre ellos.

El libro de Diseño en ingeniería mecánica con autoría de BUDYNAS, G Richard, (2009) dice que “En esta sección se incluye una selección de los muchos tipos de cojinetes estandarizados disponibles. La mayoría de los fabricantes de cojinetes proporcionan manuales de ingeniería y folletos que contienen detalladas descripciones de los diversos tipos disponibles.” (p. 551)

FIGURA N° 1.25
“NOMENCLATURA DE UN COJINETE (RODAMIENTO) DE BOLAS”



Fuente: BUDYNAS, G., Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, Pág. 551
Elaborado por: Los autores

1.13.5. Transmisión de potencia mecánica

En un sistema de generación se produce una continua conversión de energía hidráulica en mecánica hacia la turbina, y de energía mecánica a energía eléctrica por medio del generador.

Como El Manual De Mini y Microcentrales Hidroeléctricas en su Guía de Desarrollo de Proyectos, (1995) afirma que “en el caso de sistemas eléctricos con corriente alterna, a una frecuencia de 60Hz, se dispone de generadores con velocidades de $n=3600/p$, (rpm) siendo “p” el número de polos del generador”. (p.163)

En este caso el generador que se usó en el proyecto, será de 3600rpm, y de dos polos, lo cual desarrollando la siguiente ecuación se obtiene:

$$n = \frac{120 \times f}{p} \quad \text{Ec. 1.11}$$

Dónde:

- N_s Velocidad Sincrónica en rpm (revoluciones por minuto).
- f Frecuencia de la red
- n Número de Polos del generador.

$$n = \frac{120 \times 60}{2}$$

$$n = 3600rpm$$

La velocidad de giro de la turbina depende de la caída neta, caudal y dimensiones; así mismo sección del inyector y del rodete, en el caso de mini centrales hidroeléctricas se emplean los rodetes de dimensiones estandarizadas que asumen los manuales utilizados cimentados en cálculos; en consecuencia la velocidad de operación, y las condiciones hidráulicas, son proporcionales al estado del afluente y al estado en que se encuentren los elementos que constituyen la máquina generadora tales como cojinetes, chavetas y chumaceras, estado de bandas alineación de ejes, su grado de lubricación para así garantizar la rotación y eficiencia de la turbina y el generador.

Elementos de un sistema de transmisión de potencia mecánica

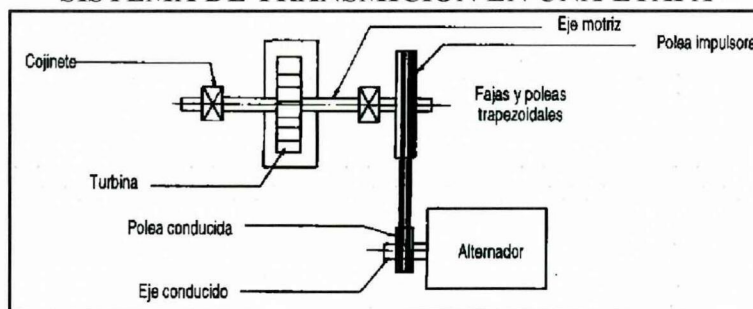
En todo el sistema de transmisión de movimiento y potencia se pueden diferenciar dos tipos de elementos fundamentales:

- Elemento conductor o motriz
- Elemento conducido.

De una manera más específica los elementos mecánicos involucrados en una transmisión serán:

- Rueda Impulsora.
- Rueda Conducida.
- Ejes de soporte o de rotación.
- Soportes de los ejes (cojinetes de rodamiento).
- Acoples

FIGURA N° 1.26
“SISTEMA DE TRANSMICIÓN EN UNA ETAPA”



Fuente: Manual De Mini y Microcentrales Hidroeléctricas, Pág. 99
Elaborado por: Los autores.

Tipos de Transmisiones

Transmisiones flexibles:

- Planas.
- Trapezoidales o en V
- Dentadas

Transmisiones Flexibles por cadenas de rodillos:

- Simples
- Múltiples

Transmisiones por ruedas de fricción:

- Cilíndricas de ejes paralelos
- Cilíndricas de ejes transversales
- Cónicas.

Transmisiones por engranajes:

- Cilíndricas de dientes rectos

- Cilíndricas de dientes helicoidales
- Cónicos de dientes rectos
- Cónicos de dientes espirales
- Tornillos sin fin con rueda dentada.

Velocidad y potencia transmitida

En la transmisión de movimiento de un sistema se busca aumentar o disminuir la velocidad angular, así como transmitir potencia de un eje a otro, para comprender de mejor manera a continuación se darán algunos conceptos los cuales aclararán dudas con respecto a los sistemas de transmisión.

Velocidad periférica

También denominada velocidad tangencial.

$$V = \frac{\pi \times D \times N}{60} \text{ m/seg} \qquad \text{Ec. 1.12}$$

Siendo:

$D =$ diámetro de la rueda (m)

$N =$ rpm de la rueda

$W =$ velocidad angular (rad/seg) ($2\pi \times N / 60$).

Relación de Transmisión

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

$$i = \frac{N_1}{N_2} = D_2/D_1 \quad \text{Ec. 1.13}$$

Siendo:

$N_1 =$ rpm de la rueda impulsora

$N_2 =$ rpm de la rueda conducida

$D_1 =$ Diámetro de la rueda impulsora

$D_2 =$ Diámetro de la rueda conducida

Torque

Indica la capacidad de un eje giratorio para desarrollar fuerza tangencial “F” a una distancia radial “r” del centro del eje:

$$T = Fx r \text{ (Kg. m)} \quad \text{Ec. 1.14}$$

Potencia

Es la energía por unidad de tiempo que es transmitido por un eje.

$$P = Fx \frac{V}{2} \text{ kW} \quad \text{Ec. 1.15}$$

°Se puede apreciar que la potencia es directamente proporcional al producto del torque y a la velocidad angular, esto significa que si en un sistema en el que conservamos la potencia mecánica, si aumentamos la velocidad disminuiríamos la capacidad de desarrollar torque y viceversa.

Eficiencia

En todo sistema de transmisión de potencia mecánica esta no se puede conservar completamente, ya que de todas maneras se producirán pérdidas en forma de calor a causa de la fricción, en consecuencia la potencia de salida en el eje conducido será menor que la potencia de entrada en el eje impulsor, La eficiencia mecánica (η) está definida con la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{\text{Potencia de Salida}}{\text{Potencia de Entrada}} = \frac{P_2}{P_1} \quad \text{Ec. 1.16}$$

Selección de Poleas en V

Para la selección de poleas trapezoidales o en V se requiere contar con los datos tales como, potencia a transmitir, relación de transmisión, número de bandas por polea y condiciones de servicio, así como restricciones en el espacio y el material de constitución así como la procedencia para garantizar su durabilidad, así también se requiere tener una alineación y un balanceo óptimo para minimizar el desgaste y la pérdida por fricción del sistema de transmisión.

Selección del Tipo de Sección

Las secciones más comunes en el uso industrial son designadas con las letras ya que de estas depende el espesor de cada una de las bandas:

- A ($1/2'' \times 5/16''$)
- B ($21/32'' \times 13/32''$)
- C ($7/8'' \times 17/32''$)
- D ($11/4'' \times 3/4''$)
- E ($11/2 \times 29/32''$).

Existen también secciones más compactas: 3V ($3/8''$ ancho), 5V ($5/8''$) Y 8V ($1''$); así también existen bandas con las mismas secciones pero a diferencia que sus terminales no son compactos si no contienen dientes que asimilan el acople entre engranajes disminuyendo el resbalamiento y haciéndolas más flexibles.

Diámetro de las Poleas

Se lo determina considerando:

- La relación a velocidades a obtener.
- El diámetro mínimo tolerable por las diferentes selecciones.
- La conveniencia de usar diámetros normalizados.
- La influencia del diámetro de la polea menor en la capacidad de transmitir potencia de las bandas.
- La influencia de los diámetros en las tensiones y fuerzas en los ejes y los rodamientos.

TABLA N° 1.8
“VALORES APROXIMADOS DE FACTOR DE SERVICIO”

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: Manual De Mini y Microcentrales Hidroeléctricas, Pág. 171
 Elaborado por: Los autores.

TABLA N° 1.9
“GRADOS DE IRREGULARIDAD DE LAS MÁQUINAS ACCIONALES”

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, centrífugas pesadas, perforadores, molinos.	III

Fuente: Manual De Mini y Microcentrales Hidroeléctricas, Pág. 171
 Elaborado por: Los autores.

Longitud de Banda

La longitud se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$L = \frac{2C + \pi(D + d)}{2} + \frac{(D - d)^2}{4C} \quad \text{Ec. 1.17}$$

Dónde:

C = Distancia entre centros.

D = Diámetro de paso de la polea mayor.

d = diámetro de paso de la polea menor.

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

$$C = (D + 3d) \text{ y } C, D$$

Se toma como referencia la *Ec. 1.16*.

Número de Bandas

Se debe calcular en primer lugar la capacidad de transmisión por banda, para esto se dispone de tablas elaboradas por los fabricantes que permiten determinar esta capacidad, aunque también podemos emplear la siguiente fórmula:

$$Pot. nom = \left[2.19 \times a \times \left(\frac{10^3}{V} \right)^{0.09} - 6.2 \times \frac{c}{(K_d \times d)} - 26.26 \times e \times \frac{V^2}{10^6} \right] \times \frac{V}{1000} \left[\frac{kW}{Banda} \right] \quad \text{Ec. 1.18}$$

Dónde:

a, c, e : constantes que corresponden a una sección de banda determinada.

K_d: Coeficiente de diámetro pequeño.

V: Velocidad Tangencial en m/min.

D: Diámetro de polea menor en cm.

La capacidad nominal debe corregirse para la longitud de la correa y el arco de contacto con la siguiente fórmula.

$$Pot. nom. ajustada = (Pot. nom) \times K_{\theta} \times K_L \quad \text{Ec. 1.19}$$

Dónde:

K_θ es un coeficiente de corrección por arco de contacto diferente de 180° y el coeficiente

K_L corrige el efecto de la longitud, obtenidos en tablas.

Finalmente el número de bandas se obtiene:

$$Número de Bandas = \frac{Potencia de Diseño}{Pot. nom. ajustada} \quad \text{Ec. 1.20}$$

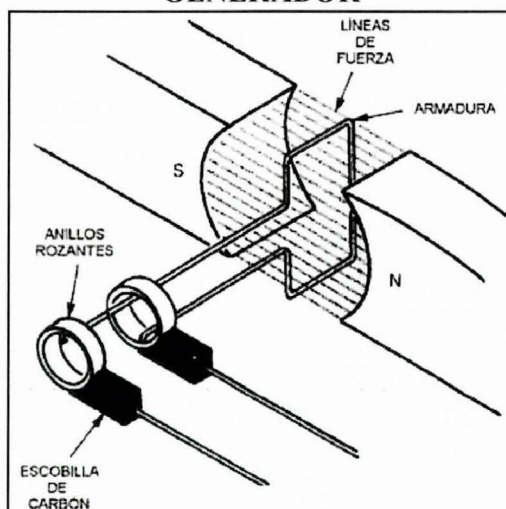
1.14. Grupo Electrógeno

1.14.1. Generadores

ENRÍQUEZ HARPER Gilberto, (2004) anuncia que “La Acción del generador se lo conoce también como Inducción. El voltaje 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.” (p. 02)

Los generadores son máquinas predestinadas a la transformación de energía mecánica en eléctrica; esta transformación se alcanza por la acción de un campo magnético sobre los conductores eléctricos dispuestos sobre una armadura. En las centrales de generación de energía hidroeléctrica; la energía mecánica que el generador transforma en energía eléctrica proviene del movimiento de una turbina accionada por el agua. En la siguiente figura se representa un generador elemental.

FIGURA N° 1.27
“GENERADOR”



Fuente: ENRÍQUEZ HARPER Gilberto, (2004). Pág.03
Elaborado por: Los autores

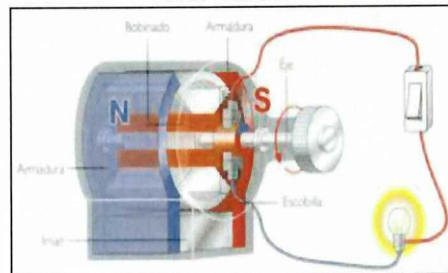
1.14.2. Tipos de generadores

1.14.2.1. Generadores de Corriente Continua (Dinamo).

CHENG K. David (1998), escribe que “Los generadores de corriente continua son máquinas que transforman la energía mecánica en energía eléctrica mediante el fenómeno de inducción magnética. Esta energía eléctrica tiene la característica de ser corriente continua; de ahí se deriva el nombre de generador de corriente continua”. (p. 235)

Una dinamo es una Máquina que transforma la energía mecánica en energía eléctrica, o viceversa, por inducción electromagnética.

FIGURA N° 1.28
“DINAMO”



Fuente: <http://www.google.com>, 18/06/2013

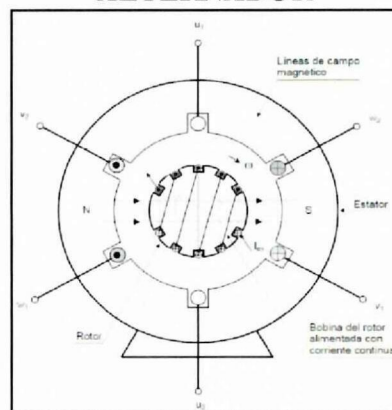
Elaborado por: Los autores

1.14.2.2. Generadores de Corriente Alterna (Alternador).

ÁLVAREZ, (2009) asume que “El generador sincrónico 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 si, 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. La alimentación del electroimán se logra a través de un par de anillos rozantes que permiten la continuidad eléctrica entre una parte fija y una parte móvil.

FIGURA N° 1.29
“ALTERNADOR”



Fuente: ALVAREZ, (2009) Pag.02

Elaborado por: Los autores.

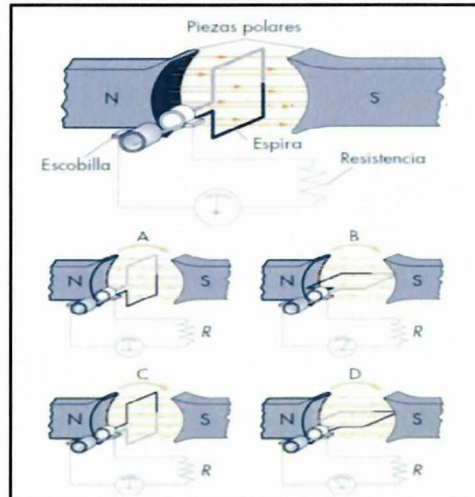
Los alternadores pueden ser:

➤ **Monofásico**

“Alternador destinado a producir fuerza electromotriz sinusoidal entre dos terminales.” El dispositivo se construye enrollando un conductor de cobre sobre un núcleo de hierro. Por un conductor se hace circular corriente alternada, lo cual produce un campo magnético; el hierro al magnetizarse permite obtener un valor

mayor de la inducción magnética en las caras polares de electroimán.

FIGURA N° 1.30
“ALTERNADOR MONOFÁSICO”



Fuente: Libro de Maquinas Eléctricas Rotativas, Pág.30
Elaborado por: Los autores.

➤ *Trifásico*

A continuación se detallan algunas ventajas de un generador trifásico. La transmisión por corriente alterna permite ahorrar cobre, ya que sólo son necesarias dos conductores. Para que sea eficiente debe efectuarse con tensiones bastante altas y en distancias grandes. La transmisión alterna trifásica es la solución económica más empleada actualmente. Permite el uso de transformadores y pueden emplearse sólo tres conductores para transmisión a largas distancias. A igualdad de potencia, los motores monofásicos son más grandes, tienen menor rendimiento, un factor de potencia más bajo y menor capacidad para las sobrecargas que los trifásicos. Por esta razón las industrias suelen usar motores trifásicos.

1.14.2.3. Motor Generador

Existen generadores de corriente continua y generadores de corriente alterna. En aplicaciones de pico-hidroeléctricas son más utilizados los generadores de corriente alterna, monofásicos o trifásicos dependiendo de la aplicación y la potencia requerida. El motivo y la limitación del uso de generadores de corriente continua son la limitación y la poca disponibilidad de aparatos electrodomésticos de corriente continua.”,

Los generadores de corriente alterna son los más usados normalmente. Ya sea del tipo monofásico, con una tensión nominal de (120V – 220V), o trifásicos con una tensión nominal de (440 V).

1.14.2.4. Generadores Sincrónicos

La cantidad de polos depende del número de revoluciones a la cual ha de girar para entregar los 60 Hz. En el mercado la mayoría de los generadores son de 3.600 rpm por lo que son de 2 polos. El ajuste entre la velocidad de la turbina y la del generador se logra generalmente mediante transmisión de potencia haciendo uso de poleas y correas, si es que no giran al mismo número de revoluciones.

Existe una alternativa en cuanto a la elección del generador. Los generadores pueden ser Sincrónicos o Asíncronos. Ambos son empleados en pico-hidroeléctricas con buenos resultados. Los generadores sincrónicos son los generadores normales que vienen en conjunto con los motores de combustión interna y su uso en pico-hidroeléctricas ha sido de manera

satisfactoria. Con respecto a la velocidad sincrónica del generador, esta determinará la frecuencia a la que se desea generar, en Latinoamérica nuestros equipos domésticos funcionan en el régimen de los 60 Hertz y estos deben ser analizados conjuntamente con el número de polos de la máquina.

La velocidad del rotor en un generador está relacionada a la velocidad del eje de la turbina; así, suponiendo un acople directo entre ambos equipos, se tiene que para un generador sincrónico la velocidad sincrónica debe ser igual a la del rotor de la máquina y está igual a la del eje de la turbina; para un generador asíncrono se tiene que la velocidad sincrónica debe ser menor que la velocidad del rotor de la máquina y está igual a la del eje de la turbina.

De tal manera para obtener la frecuencia óptima deseada, el parámetro que se puede variar es el número de polos de la máquina de manera que la velocidad es proporcional a los polos ya que entre más exista la velocidad nominal baja. Las velocidades más comunes en generadores de sincronismo son 3600, 1800, 1200, 900 r.p.m., dependiendo de número de polos y las características constitutivas del generador; de igual forma la velocidad se puede obtener al aplicar la siguiente *Ec. 1.11*, se tiene:

$$n = \frac{120 \times 60}{2}$$

$$n = 3600rpm$$

En este caso se seleccionó un generador de 3000 Rated Wattage (Voltios Nominales), y 3500 Surged Wattage (Voltaje a sobretensiones), el cual

originalmente esta alimentado por un motor de combustión interna a nafta (gasolina); que entre sus características técnicas nos indica que el motor es de 4 tiempos con desplazamiento de cilindro de 196cm³, el cual mediante estándares basados en su recorrido en motores de ignición proporcionan 3600 rpm/min, (alta revolución) que nos aclara que la constitución de nuestro generador es de 2 polos. A continuación en la tabla se darán más especificaciones del generador y motor de combustión interna.

**TABLA N° 1.10
“ESPECIFICACIONES DEL GENERADOR Y MOTOR DE
COMBUSTION INTERNA”**

GENERADOR	
AC Salida	
Voltaje Nominal	3000 W
Voltaje Máximo	3500 W
Voltaje de Generación	120/240 V
Amperaje	25 A/ 12.5 A
Frecuencia	60 Hz
Fase	1~
Dimensiones	
Longitudes	Longitud = 23.25 Ancho = 17 Largo 17
Peso	99 lbs.
Motor de Combustión interna	
Motor Tipo	4 tiempos, cilindro con aire forzado, con sistema de refrigeración
Sistema de Encendido	Mediante Swhich y arrancador
Desplazamiento	196 cm ³
Capacidad de tanque de Combustible	15 L (3.96 US gal)
Capacidad de tanque de Aceite	0.6 L
Tiempo de ejecución de funcionamiento	15 hrs.

Fuente: Manual de usuario Generadores Power Pro, MODEL 3500, 6.5HP

Elaborado por: Los autores

CAPÍTULO II

2. INTERPRETACIÓN, GRAFICACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

2.1. Introducción

Para la ejecución efectiva de recolección de datos que permitan viabilizar el presente trabajo investigativo, se consideró el total del universo existente en la Propiedad Agrícola del Sr. Tobías Cando ubicada en la Parroquia Aláquez cuyo sector lleva como nombre Rudiapungo; este universo abarca 18 personas, conformadas de la siguiente forma; 3 Propietarios, 5 habitantes ocasionales y 10 peones; partiendo de este número de población se empleó la técnica de la encuesta, la cual denotará la realidad de este sector, permitiendo encontrar y definir pautas para la elaboración de cálculos matemáticos como de obra civil, mediante criterios propios y así plasmar en la práctica una solución eficiente en cuanto a la generación de energía eléctrica. Si bien es cierto existen muchas herramientas para recopilar y procesar datos, estas por la naturaleza técnica no permiten conocer directamente la realidad actual del problema; sin embargo la encuesta fue la más idónea pues se ajusta a la recopilación directa de aquellos factores que intervienen en el diseño e implementación del pico hidroeléctrico.

Una vez que se obtuvo la información requerida, se plasmó el respectivo análisis, simplificando, resaltando y seleccionando los datos para presentarlos y revisarlos de acuerdo a las metas trazadas.

2.2. Diseño Metodológico

2.2.1. Metodología Cualitativa

Las metodologías cualitativas buscan obtener información que "refleje el contenido y significado de un evento o la perspectiva de un individuo". Las metodologías cualitativas incluyen las entrevistas, la observación, la investigación de campo y las encuestas. La observación es en forma de participación, mientras el investigador recolecta datos dentro del mundo del sujeto. Otra forma de estudio participativo es el trabajo de campo, donde los investigadores pueden observar en primera fila, tomar notas y después analizar los resultados. Las encuestas, son formularios en blanco que los investigadores le piden a los participantes que completen.; esta presenta una importante base teórica y práctica, mediante la recolección directa de los factores físicos, climatológicos y sociales. El tamaño de la población contempla el universo es decir dieciocho personas; los cálculos se establecen en el capítulo destinado a la concepción de la propuesta.

2.2.2. Tipo de investigación

Para nuestro trabajo de grado ha sido concerniente usar el tipo de investigación cuasi-experimental ya que por medio de este podremos aproximarnos a los resultados de una investigación experimental en situaciones en las que no es posible el control y manipulación absoluto de las variables. Dentro de sus características podemos mencionar que es apropiada en situaciones naturales en las que no se pueden controlar todas las variables de importancia. Así también su diferencia con la investigación experimental es más bien de grado debido a que no se

satisfacen todas las exigencias de esta especialmente en cuanto se refiere al control de las variables. Proyecto se utilizó, para el análisis del cuestionario establecido para la recopilación de información; estos determinan conflictos y/o soluciones referentes a la implementación del pico generador hidroeléctrico, establecido a las 18 personas que forman parte del universo del objeto estudio

Se empleó sistemáticamente la Investigación Documental y Bibliográfica, tomando como referentes los manuales de “OLADE”, “Mini y micro centrales hidroeléctricas”, Diseño de elementos mecánicos de Shigley, entre otros, pues abarcó suficiente información en el diseño construcción e implementaciones de picos generadores hidroeléctricos.

2.2.3. Hipótesis de Trabajo.

¿El diseño e implementación de un pico generador hidroeléctrico en la Propiedad Agrícola, permitirá satisfacer la demanda eléctrica de la población?

2.2.4. Operacionalización de variables

Variable Independiente.- Diseño e implementación de un pico generador hidroeléctrico en la Propiedad Agrícola del Sr. Tobías Cando.

Variable Dependiente.-Satisfacción de la demanda eléctrica en beneficio de los habitantes de la Propiedad Agrícola del Sr. Tobías Cando.

VARIABLE INDEPENDIENTE

Diseño e implementación de un pico generador hidroeléctrico en la Propiedad Agrícola del Sr. Tobías Cando.

TABLA N° 2.1
“OPERACIONALIZACIÓN VARIABLE INDEPENDIENTE”

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIÓN	INDICADORES	ÍTEMS BÁSICOS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Pico generador Hidroeléctrico: Se encuentran dentro del rango de las pequeñas plantas hidroeléctricas ya que son instalaciones hidroeléctricas capaces de generar potencias menores a los 5kW.	Potencia de Generación 3.5kW.	El caudal (Q) Voltaje (V) Potencia (kW)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Mediciones por Nivelación. ➤ Estadísticas de niveles de acuerdo a las estaciones del año. ➤ Cálculos de Caída libre para tubería Forzada. ➤ Cálculos de demanda energética de Voltaje (Voltmetro) ➤ Determinación de eficiencia de Generador a plena carga. ➤ Número específico de revoluciones. ➤ Eficiencia en transmisión de potencia. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Observación, citas bibliográficas obtenidas en Manuales. ➤ Observación, instrumentos de medición. ➤ Observación, equipos técnicos de comprobación. ➤ Observación, de equipos técnicos.

Fuente: Los Autores
 Elaborado por: Los Autores

VARIABLE DEPENDIENTE

Satisfacción de la demanda eléctrica en beneficio de los habitantes de la Propiedad Agrícola del Sr. Tobías Cando.

TABLA N° 2.2
“OPERACIONALIZACIÓN VARIABLE DEPENDIENTE”

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIÓN	INDICADORES	ÍTEMS BÁSICOS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Energía eléctrica. Es el elemento fundamental de la sociedad actual; se lo utiliza para el funcionamiento de elementos de alumbrado, equipos y aparatos domésticos tales como Tv, computadora, calefactor, cocina eléctrica, etc.; esta tiene un rango de voltaje de 110 , 220 o 440 Voltios.	Propiedad Agrícola. Caída de Potencia. Voltaje	Habitantes Agricultores Buen Funcionamiento de artefactos y equipos eléctricos.	Datos de Demanda Energética. Situación Actual. Tablero de Control. Instrumentos de Medición. Instrumentos de Protección	Encuesta, cuestionario (ANEXO 01) Observación, multímetro, amperímetro, puesta a tierra

Fuente: Los Autores
 Elaborado por: Los Autores

2.2.5. Encuestas aplicadas a los habitantes del sector Rudiapungo,

Pregunta 1. ¿La Propiedad Agrícola cuenta con algún sistema de generación eléctrica renovable?

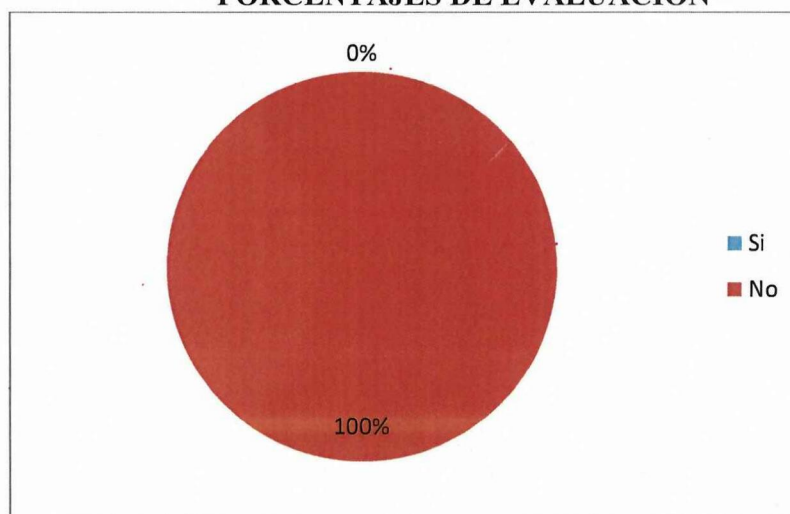
TABLA N° 2.3
“PORCENTAJES DE EVALUACIÓN”

Alternativa	Frecuencia	% Porcentaje
Si	0	0%
No	18	100%
Total	18	100%

Fuente: Habitantes de la Propiedad Agrícola.

Elaborado por: Los Autores

GRÁFICO N° 2.1
“PORCENTAJES DE EVALUACIÓN”



Fuente: Habitantes de la Propiedad Agrícola

Elaborado por: Los Autores

Análisis de Resultados.

El 100% de los encuestados dicen que su propiedad no cuenta con un sistema renovable de generación eléctrica; los resultados indican que los habitantes de la Propiedad Agrícola, requieren de este proyecto para la realización de las actividades cotidianas.

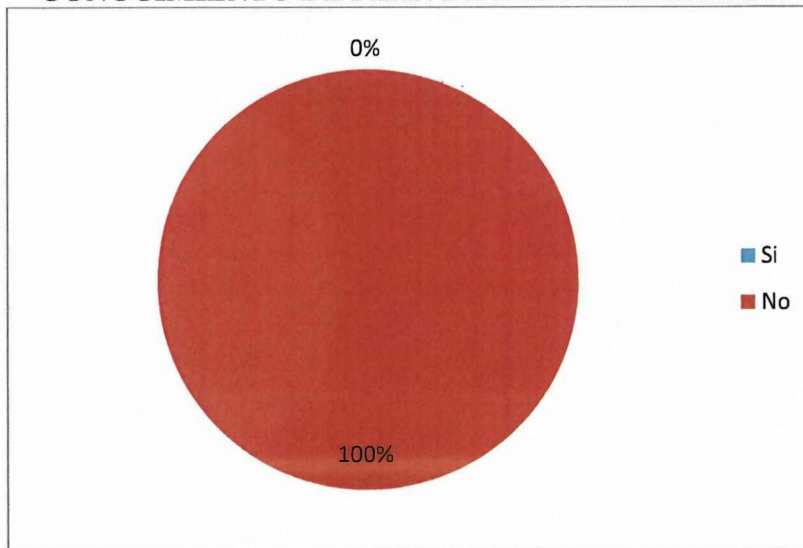
Pregunta 2. ¿Conoce usted de algún plan renovable de electrificación que contribuya al sector donde reside?

TABLA N° 2.4
“CONOCIMIENTO DE PLAN DE ELECTRIFICACIÓN”

Alternativa	Frecuencia	% Porcentaje
Si	0	0%
No	18	100%
Total	18	100%

Fuente: Habitantes de la Propiedad Agrícola
Elaborado por: Los Autores

GRÁFICO N° 2.2
“CONOCIMIENTO DE PLAN DE ELECTRIFICACIÓN”



Fuente: Habitantes de la Propiedad Agrícola.
Elaborado por: Los Autores

Análisis de Resultados.

Del total de los encuestados todos afirman desconocimiento de un plan de electrificación renovable; esto quiere decir que no existe ningún tipo de proyecto autosustentable que dote de energía eléctrica en beneficio de la Propiedad Agrícola.

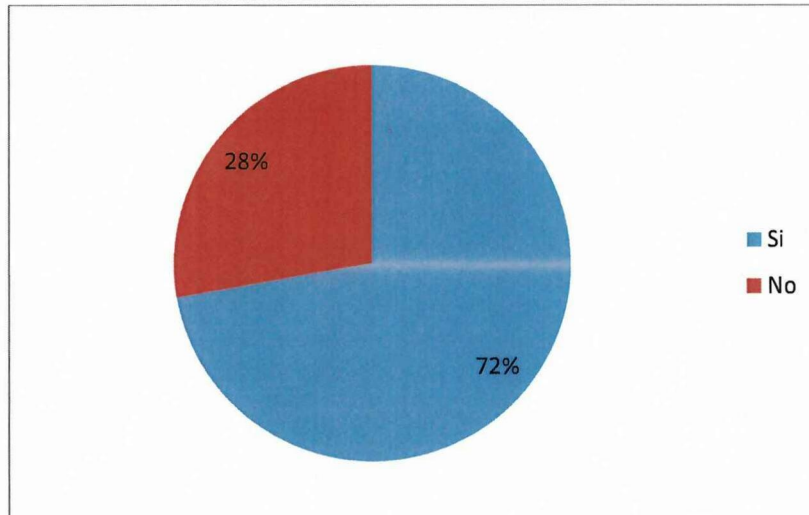
Pregunta 3. ¿Está de acuerdo con que la Universidad implemente un sistema renovable de generación eléctrica?

**TABLA N° 2.5
“IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA”**

Alternativa	Frecuencia	% Porcentaje
Si	13	72%
No	5	28%
Total	18	100%

Fuente: Habitantes de la Propiedad Agrícola
Elaborado por: Los Autores

**GRÁFICO N° 2.3
“IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA”**



Fuente: Habitantes de la Propiedad Agrícola
Elaborado por: Los Autores

Análisis de Resultados.

El 28% de los encuestados de la Propiedad Agrícola no tienen conocimiento sobre sistemas de generación renovable; el 72% de los encuestados dicen conocer y están de acuerdo con la implementación.

El resultado indica que la mayoría de encuestados están de acuerdo en implementar un sistema de generación eléctrica renovable, superando a las personas que no conocen de estas nuevas alternativas.

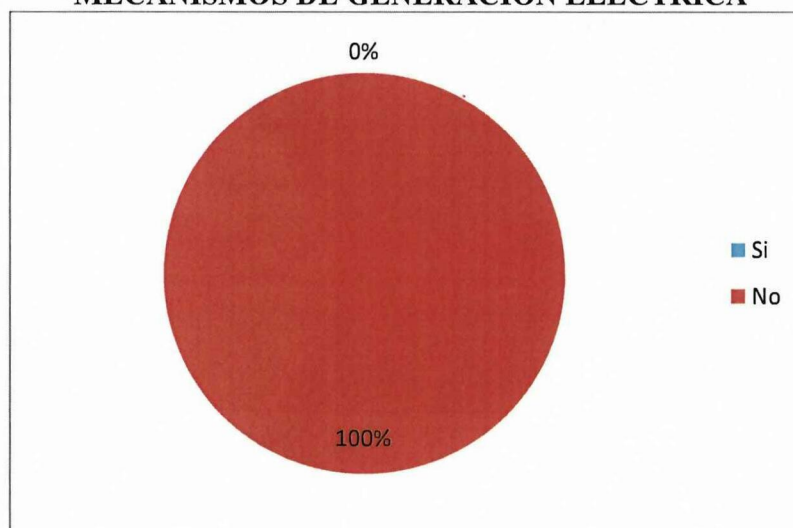
Pregunta 4. ¿Conoce algún mecanismo de generación eléctrica a base de recursos renovables?

TABLA N° 2.6
“MECANISMOS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA”

Alternativa	Frecuencia	% Porcentaje
Si	0	0%
No	18	100%
Total	18	100%

Fuente: Habitantes de la Propiedad Agrícola
Elaborado por: Los Autores

GRÁFICO N° 2.4
“MECANISMOS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA”



Fuente: Habitantes de la Propiedad Agrícola
Elaborado por: Los Autores

Análisis de Resultados.

Las personas encuestadas afirman el desconocimiento de mecanismos de generación eléctrica a base de recursos renovables; ignorando la existencia de esta alternativa ambiental.

El resultado que se ha obtenido en esta pregunta indica que las personas del sector no toman en cuenta proyectos de sistemas amigables con el medio ambiente.

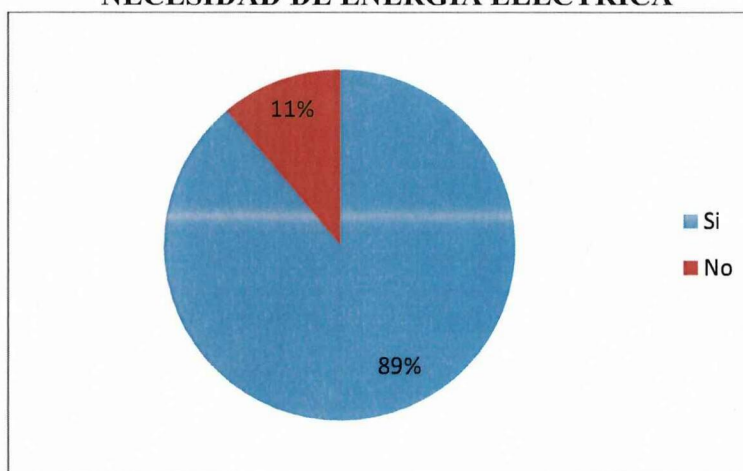
Pregunta 5. ¿Usted piensa que es necesario tener sistemas de energía eléctrica renovable en la Propiedad Agrícola?

TABLA N° 2.7
“NECESIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA”

Alternativa	Frecuencia	% Porcentaje
Si	16	89%
No	2	11%
Total	18	100%

Fuente: Habitantes de la Propiedad Agrícola.
Elaborado por: Los Autores

GRÁFICO N° 2.5
“NECESIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA”



Fuente: Habitantes de la Propiedad Agrícola
Elaborado por: Los Autores

Análisis de Resultados.

El 89% de los encuestados están de acuerdo que la energía eléctrica por sistemas autosustentables es necesaria para la Propiedad; el 11% manifiesta que no es necesario tener estos sistemas.

Por lo que la mayoría de personas que habitan en la Propiedad Agrícola, expresan que el sistema renovable es necesario y es un pilar importante en el desarrollo del sector.

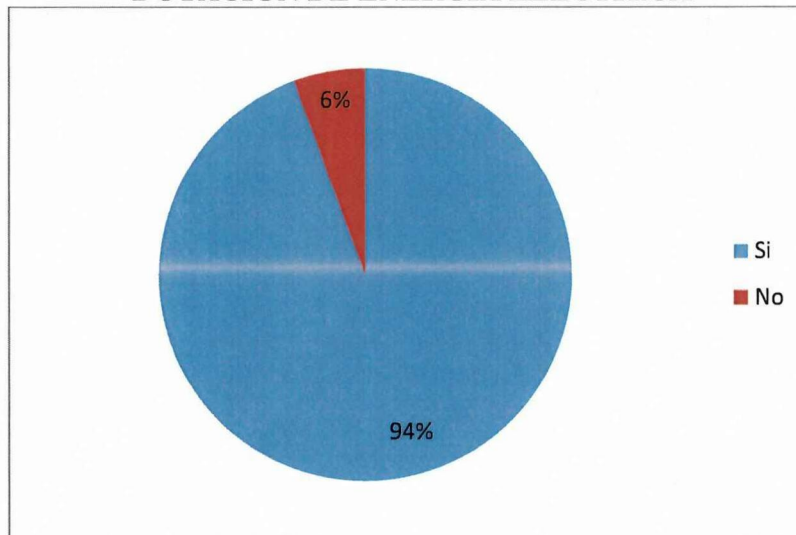
Pregunta 6. ¿Usted cree que es necesario dotar de energía eléctrica renovable a la Propiedad sin alterar los recursos naturales existentes?

TABLA N° 2.8
“DOTACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA”

Alternativa	Frecuencia	% Porcentaje
Si	17	94%
No	1	6%
Total	18	100%

Fuente: Habitantes de la Propiedad Agrícola
Elaborado por: Los Autores

GRÁFICO N° 2.6
“DOTACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA”



Fuente: Habitantes de la Propiedad Agrícola
Elaborado por: Los Autores

Análisis de Resultados.

El 94% de los encuestados en la Propiedad Agrícola responden que el respetar los recursos naturales es de vital importancia; mientras que el 6% expresa que no sabe si es necesario conservar los patrimonios naturales.

El grupo de los encuestados indican que para la generación de energía eléctrica es importante la preservación de la naturaleza.

Pregunta 7. ¿Cuántos equipos son requeridos de manera elemental en la Propiedad?

De acuerdo a los datos obtenidos se ha realizado el siguiente cuadro indicando los principales dispositivos usados y los más elementales seleccionados por los habitantes de la Propiedad Agrícola.

TABLA N° 2.9
“EQUIPOS ESENCIALES”

Equipos de uso Doméstico		
Equipos Esenciales	Descripción	Unidades
	Lámpara fluorescente	4
	Mini Cocina eléctrica	1
	Mini Calefactor	1
Equipos Ocasionales	Descripción	Unidades
	Televisor	1
	Radio grabadora	1
	Ducha eléctrica	1
	Cafetera	1
Total	10	

Fuente: Habitantes de la Propiedad Agrícola

Elaborado por: Los Autores

Pregunta 8. Nombre los equipos y electrodomésticos más utilizados en la Propiedad y ponga sus respectivas unidades.

Graficando los datos obtenidos de los habitantes en la selección de dispositivos imprescindibles en el uso diario se han marcado con una X.

TABLA N° 2.10
“ELECTRODOMÉSTICOS MÁS USADOS”

Descripción de Equipo	Ítem	Unidades
Lámpara fluorescente	X	4
Mini Cocina eléctrica	X	1
Televisor	X	1
Radio grabadora	X	1
Ducha eléctrica	X	1
Mini Calefactor	X	1
Microondas	-	-
Cafetera	-	-
Taladro	-	-
Total		9

Fuente: Habitantes de la Propiedad Agrícola
Elaborado por: Los Autores

2.2.6. Verificación de la Hipótesis de Trabajo.

Se verifica la hipótesis, porque se contrasta favorablemente con en el objetivo general de la investigación:

- Realizar el estudio, diseño e implementación de un pico generador hidroeléctrico mediante la utilización de una turbina OSSBERGER en el sector de Rudiapungo, provincia de Cotopaxi, a fin de satisfacer la demanda de energía eléctrica de los habitantes de la Propiedad Agrícola del Sr. Tobias Cando.

Así también se comprobó la hipótesis, ya que se toma a consideración de manera favorable los objetivos específicos de la investigación:

- Establecer los parámetros matemáticos, físicos, sociales y económicos para la puesta en funcionamiento de un pico generador de energía, en base a estudios de instalación y requerimientos necesarios para su ejecución.
- Instaurar los cálculos necesarios para diseñar e implementar un pico generador hidroeléctrico, capaz de generar energía de corriente alterna.
- Diseñar e implementar un pico generador hidroeléctrico mediante la utilización de una turbina OSSBERGER en el sector Rudiapungo, provincia de Cotopaxi.

Por tanto es necesario implementar un pico Generador Hidroeléctrico para cubrir con la necesidad de la demanda energética en el sector de Rudiapungo, particularmente en el emplazamiento de la Propiedad Agrícola del Sr. Tobías Cando.

CAPÍTULO III

3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PICO GENERADOR HIDROELÉCTRICO MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE UNA TURBINA OSSBERGER EN EL SECTOR RUDIAPUNGO, PROVINCIA DE COTOPAXI.

3.1. Presentación

En el último siglo, la energía eléctrica se ha convertido en la fuente más relevante, para la realización de las actividades cotidianas de los seres humanos, sin embargo ante esta dependencia irracional de electricidad se ha visto afectado significativamente el medio ambiente, lo que ha conllevado a emprender una serie de proyectos renovables de generación energética. En nuestro país, la producción de energía, mediante el aprovechamiento de la fuerza del agua, es la utilizada con mayor frecuencia, debido principalmente a su topografía; además en sectores rurales, su incidencia cada día es más habitual por la falta de interconectividad con las redes de electrificación tradicionales o la ineficiencia de las mismas. Del análisis y correcta aplicación de los cálculos establecidos, se desprenderá la eficacia en la operatividad del sistema, pues el cumplimiento de las disposiciones técnicas permitirá aprovechar al máximo la capacidad de carga y energía en beneficio del sector de Rudiapungo.



3.2. Objetivos

3.2.1. Objetivo General

Realizar el diseño e implementación de un pico generador hidroeléctrico, mediante la utilización de una turbina Ossberger en el sector de Rudiapungo, provincia de Cotopaxi.

3.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar un análisis hidrológico, topográfico, del sector de Rudiapungo, para establecer datos óptimos y diseñar el sistema por medio de cálculos matemáticos propuestos en las guías bibliográficas.

- Ejecutar las pruebas respectivas, para garantizar el correcto funcionamiento y abastecimiento de la energía eléctrica por parte de la turbina Ossberger.

3.3. Justificación

El desarrollo de los pueblos en el siglo XXI, se ha caracterizado por la modernidad, avances tecnológicos y electrónicos, siendo el fluido eléctrico el principal factor para su desenvolvimiento; en la mayor parte de instituciones sean públicas o privadas se manejan los recursos eléctricos con la finalidad de

preservar las fuentes que lo abastecen es decir las cuencas de agua de las diferentes ciudades del país; por su parte el avance tecnológico y la situación mundial obligan a los países a buscar nuevas fuentes de energía a bajo costo y en beneficio de la sociedad en general.

La investigación hecha en el sector de Rudiapungo ubicado en la comunidad de Cuchitingue, de la Parroquia Aláquez, provincia de Cotopaxi permite efectuar un estudio de investigación para el aprovechamiento de la caída de agua y su caudal, teniendo como campo de acción la generación eléctrica renovable, para dotar de este recurso a los habitantes de la Propiedad.

El desarrollo del presente proyecto permitió que la Propiedad Agrícola ubicado en el sector de Rudiapungo disponga de una fuente de energía renovable y controle todas y cada una de las actividades relacionadas al manejo y mantenimiento del pico generador de energía; además será de mucha importancia dar a conocer a sus habitantes de este innovador proyecto de investigación.

Se afirma la factibilidad de la realización del presente proyecto investigativo, pues se cuenta con los recursos materiales, tecnológicos y humanos, ya que los autores poseen la capacidad para el desarrollo del mismo; pues cuenta con el apoyo de una amplia bibliografía de fácil acceso; y con el soporte incondicional de la entidad para poner en práctica los conocimientos adquiridos en las aulas universitarias y generar proyectos innovadores en beneficio de la colectividad.

Además el presente proyecto puede ser replicado en otros sectores donde no tiene energía eléctrica, de esta manera se podría ir solventando las necesidades de energía tanto en la Parroquia de Aláquez como en el resto de la Patria.

3.4. Desarrollo de la Propuesta.

Los factores de diseño y los componentes de la Pico Central Hidroeléctrica, parten del estudio del terreno y los caudales hídricos existentes en el sector; además se consideró el declive y el lugar para el almacenamiento del líquido, con estos pormenores se precedió a la construcción de bocatomas, compuertas, canales de conducción, tubería forzada y demás componentes del sistema, con el apoyo y guía de instrumentos de medición y el conocimiento de tesis antes realizadas por el Director de Tesis.

Procedimientos Técnicos

- Análisis y evaluación topográficos y geográficos del sector.
- Cálculos matemáticos.
- Ejecución de la obra civil.
- Implementación de la pico central hidroeléctrica.

Técnicas

Las cuales aplicamos en este capítulo para obtener muestras, datos que serán desarrollados matemáticamente.

a. Técnicas Oculares:

- **Observación.-** Radica principalmente en valorar ocularmente el terreno del sector, la situación actual, así como el caudal del río y el estado del mismo.

- **Verificación.-** Se verificará los cálculos empleados; así también las diferentes fórmulas usadas en el diseño, construcción e implementación obteniendo la mayor eficiencia de generación.

b. Técnicas Escritas:

- **Análisis.-** El análisis generalmente se aplica a los trabajos efectuados en otros proyectos similares, es decir los descritos en la parte documental del proyecto, los cuales permitirán viabilizar de mejor manera los resultados obtenidos, así como las consideraciones necesarias para la instalación del sistema.

3.5. Alcance

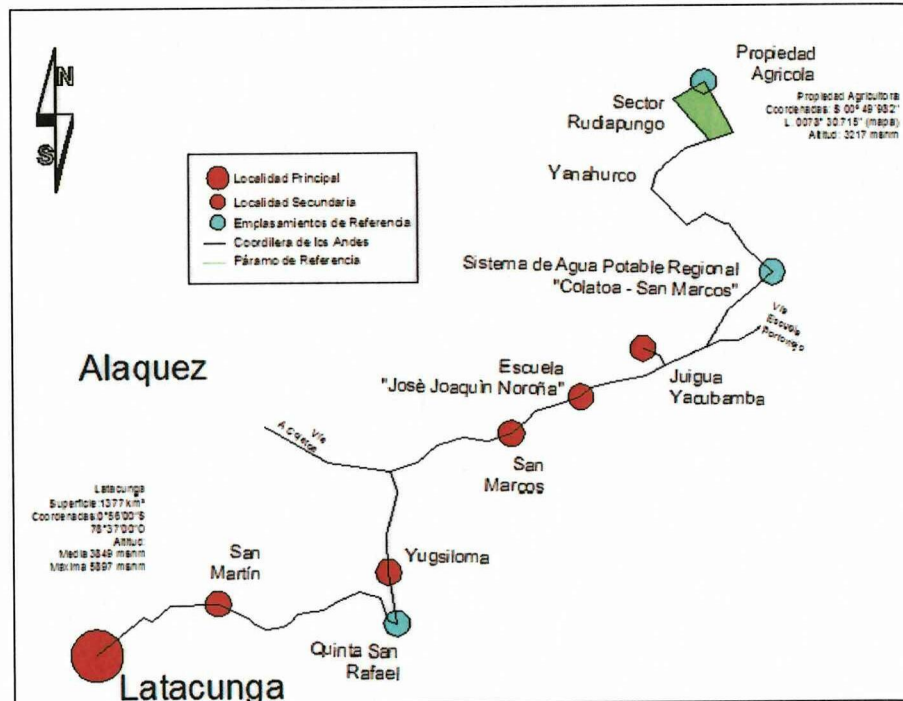
El diseño e implementación de un pico generador hidroeléctrico mediante la utilización de una turbina Ossberger, será efectuado directamente en el sector Rudiapungo, provincia de Cotopaxi, y abastecerá exclusivamente a la Propiedad Agrícola del Sr. Tobías Cando; este proyecto generará 3.5 kW.

3.6. Datos Informativos

Institución ejecutora:	Universidad Técnica de Cotopaxi
Ubicación:	Provincia de Cotopaxi, Parroquia Alaquez, comunidad de Cuchitingue.
Localización:	Sector Rudiapungo.
Beneficiarios directos:	Habitantes de la Propiedad Agrícola.
Beneficiarios indirectos:	Jornaleros y Peones.

3.6.1. Observación directa del lugar.

FIGURA N° 3.1.
“PLANO DEL LUGAR”



Fuente: Los autores

Elaborado por: Los autores

Tipo: Propiedad Rural de producción Agrícola.

Altura: 3217 msnm

Coordenadas: S 00° 49' 892"; L 0078° 30' 715"

Provincia: Cotopaxi

Ubicación: Cordillera Occidental.

Sector: Por medio de la Propiedad Agrícola del Sr Tobías Cando concurre el paso de un canal forzado denominado Quilindaña, el cual hace algunos años fue laboreado por indígenas propios del sector creándolo para el regadío de sus cultivos; la comuna de Cuchitingue es un sector continuamente cubierto por nubes y precipitaciones esporádicas continuas de lluvia y de difícil acceso. *ANEXO 03 Fig.15.*

3.7. Datos técnicos

3.7.1 Estimación de la demanda energética

Haciendo énfasis en un análisis de la demanda se determina que es un aspecto importante al momento de diseñar un pico hidroeléctrico. Los datos y resultados de verán satisfacer el consumo actual de la población a la que se desea suministrar energía renovable, y con estos, programar la demanda durante un curso de tiempo según sea la necesidad.

Siguiendo resultados de la entrevista hemos obtenido los siguientes datos de la demanda energética:

TABLA N° 3.1.
“ESTIMACIÓN DE DEMANDA ENERGÉTICA”

Número de habitantes		18	
Tipo de Carga		Doméstica	
Unidades	Descripción de Equipo	Potencia (W)	Total
4	Lámpara fluorescente	20 W	80 W
1	Mini Cocina eléctrica	1000 W	1000 W
1	Televisor	50 W	50 W
1	Radio grabadora	200 W	200 W
1	Ducha eléctrica	1000 W	1000 W
1	Mini Calefactor	400 W	400 W
Total W - (Kw)			2730 W – (2.7 Kw)

Fuente: Los autores

Elaborado por: Los autores.

La carga requerida según la entrevista realizada es de 2730 W y 2.7 kW lo cual sustentaría las necesidades eléctricas de las personas que residen en la Propiedad Agrícola.

El principal elemento que requiere un sistema Hidráulico es el caudal que es aprovechado con una diferencia de altura, denominada también como “Salto”; así también el sistema pico hidroeléctrico es una forma de conversión de energía ya que es aprovechado el caudal de la fuente hidrológica y tras el uso de equipos, elementos y sistemas electromecánicos transformamos el recurso hidroenergético en electricidad útil para el consumidor.

Puesto que El Manual De Mini y Microcentrales Hidroeléctricas en su Guía de Desarrollo de Proyectos, (1995) manifiesta que “ningún sistema de conversión puede entregar la misma cantidad de energía útil como la que absorbe, pues una parte de energía se pierde en el sistema mismo en forma de fricción, calor, ruido, etc.” (p.10).

Por lo cual la ecuación de Conversión es:

$$\text{Potencia de Entrada} = \text{Potencia de Salida} + \text{Pérdidas} \quad \text{Ec. 3.1}$$

La potencia de entrada, o potencia total disponible en el sistema hidráulico es la potencia disponible, P_{disp} la potencia útil entregada es la potencia neta, P_{neta} y la eficiencia total del sistema es representada por η_o .

Desarrollando pérdidas se tiene:

TABLA N° 3.2.
“ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS”

Datos	Porcentaje de pérdida	Valor estimado resultante
Pérdida en Canal	10%	90
Pérdida en tubería de presión.	15%	85
Pérdida en Turbina	Eficiencia Ossberger (80, 85%) 20%	80
Pérdida en Generador	20%	80
Pérdida en sistema de transmisión.	10%	90

Fuente: Los autores

Elaborado por: Los autores

$$P_{disp} = \rho \times Q \times g \times h_{disp} \quad \text{Ec. 3.2}$$

Siendo:

$$\rho = 1000 \text{kg/m}^3 \text{ (Densidad del Agua)}$$

$$Q = 0.05 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$g = 9.8 \text{ m/seg}^2. \text{ (Gravedad)}$$

$$h_{disp} = 15 \text{m.}$$

La altura disponible h_{disp} es menor que la altura bruta, ya que se la obtiene tomando en cuenta el error en medición y las pérdidas por las cotas

de construcción y ya que en las mediciones de altura se usó el método del carpintero con un porcentaje de 10 a 15% de precisión, como lo describe el *Capítulo I, Fig N° 1.15*, es por ello que al restar nuestra altura bruta que en este caso es 16.7 m, cuyo porcentaje de falla corresponde al 10% tenemos como resultado 15m. Para ello este dato es considerado para diseño.

Calculando se obtiene:

$$P_{disp} = 1000 \times 0.05 \times 9.8 \times 15$$

$$P_{disp} = 7350 \text{ W}$$

$$P_{disp} = 7.350 \text{ kW}$$

$$P_{util} = \eta_{obra\ civil} \times \eta_{tubería} \times \eta_{turbina} \times \eta_{generador} \times \eta_{línea} \times P_{disp}$$

$$P_{util} = \eta_o \times P_{disp}$$

Ec. 3.3

Calculando se tiene que:

$$P_{util} = 0.90 \times 0.85 \times 0.80 \times 0.80 \times 0.90 \times P_{disp}$$

$$P_{util} = 0.44 \times P_{disp}$$

$$P_{util} = 3234 \text{ W}$$

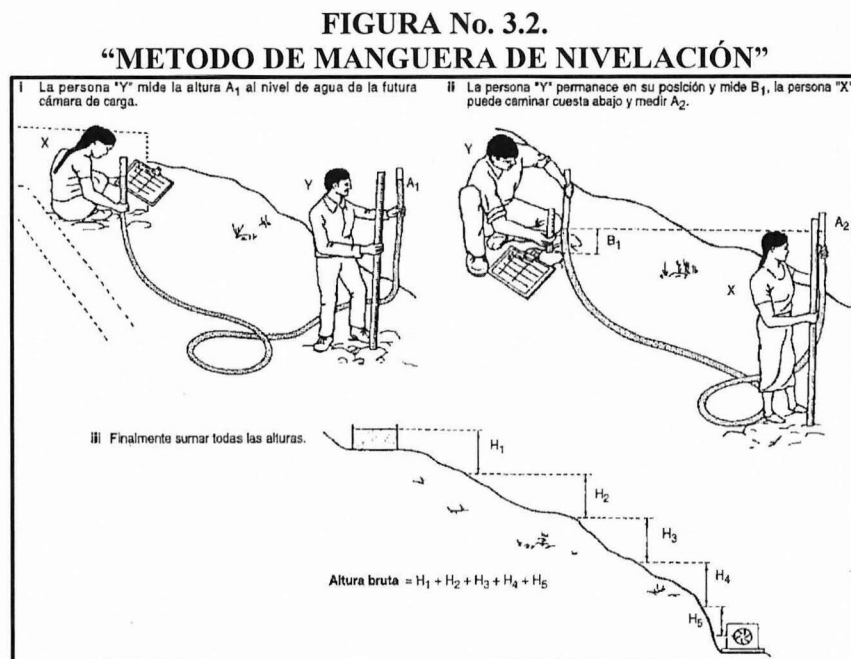
$$P_{util} = 3.2 \text{ kW}$$

La potencia debido a la ineficiencia del sistema de transmisión y generador, recibe casi la mitad de la potencia disponible del sistema de hidrogenación. La eficiencia total del sistema (η_o) según experiencias varía entre 0.4 a 0.6. La potencia recibida por el consumidor o potencia neta es: 3.2 kW, lo cual es aceptable para los requerimientos de la Propiedad de Producción Agrícola, ya que se demanda 2.7kW.

3.8. Diseño hidrológico.

Con la guía de técnicas sugeridas y los instrumentos a disposición tuvimos mediciones mediante el Método de Manguera de nivelación, ya que se requiere de un salto pequeño y este método es económico y sencillo.

Este método es muy preciso siguiendo los pasos de El Manual De Mini y Microcentrales Hidroeléctricas en su Guía de Desarrollo de Proyectos, (1995) (p.29 - 30) y representándolos de manera resumida en las siguientes gráficas tomamos las siguientes lecturas:



Fuente: Manual De Mini y Microcentrales Hidroeléctricas, Pág. 30
Elaborado por: Los autores.

Tomando lecturas se tiene los siguientes valores y el siguiente cálculo; asumimos también las pérdidas obteniendo como resultado la altura disponible h_{disp} que se la adquiere restando el resultado por el 10%:

$$\text{Altura Bruta} = H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5 + H_6 \quad \text{Ec. 3.4}$$

$$\text{Altura bruta} = 1.5 + 3 + 2 + 4 + 3.5 + 2.7$$

$$\text{Altura bruta} = 16.7 \text{ m}$$

$$h_{disp} = \text{Altura Bruta} - 10\%$$

$$h_{disp} = 15 \text{ m}$$

Dado que la altura bruta se la obtiene por métodos convencionales de medición los cuales no tienen una precisión del 100% restamos a las mediciones hechas un 10% que nos proporcionara medidas reales los cuales asumiremos para diseño.

Medición del caudal del agua.

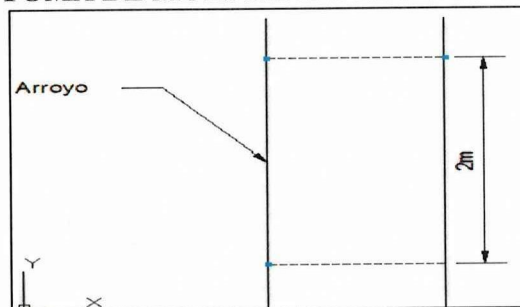
La medición del caudal es una factor importante para el diseño y se lo debe realizar de forma periódica ya que los niveles de caudal varían de acuerdo a las estaciones del año, en el Ecuador existen dos estaciones que son verano e invierno, y ya que el proyecto se realizara en un sector donde el caudal no varía considerablemente ya que la fuente hídrica proviene directamente de los páramos y vertientes propios del sector, por lo cual se harán oficiales las siguientes mediciones, utilizando el método del área y velocidad como también es observado en el *ANEXO 03, Fig.18*.

Método área Velocidad.

Se dibuja y planea una sección del lecho del río y se establece una longitud conocida de corriente; utilizando una serie de flotadores tales como elementos propios del lugar o pedazos de madera para medir el tiempo que tardan en recorrer una longitud ya establecida del arroyo.

Aquellos resultados serán promediados obteniéndose así la velocidad del flujo del agua. Esta velocidad deberá reducirse a un factor de corrección o termino de tolerancia para hallar la velocidad media. Este factor dependerá de la profundidad de la corriente del arroyo. Se toma muestras del arroyo con una longitud de 2m.

FIGURA N° 3.3
“TOMA DE MUESTRAS DEL ARROYO”



Fuente: Los Autores
 Elaborado por: Los autores

Tiempo Promedio (T_p)

$$T_p = (t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5) \quad \text{Ec. 3.5}$$

De acuerdo a las lecturas se ha tomado como referente 5 Tiempos:

$$T_p = \frac{(2 + 1.8 + 1.9 + 1.7 + 1.9)}{5}$$

$$T_p = 1.86 \text{ s}$$

Velocidad de la Corriente del Agua.

$$\text{Velocidad} = \frac{\text{Espacio}}{\text{Tiempo}} \quad \text{Ec. 3.6}$$

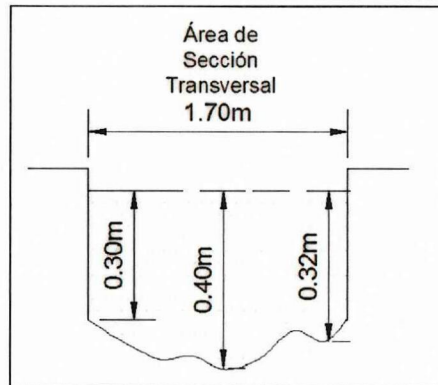
$$V = \frac{2m}{1.86 \text{ s}}$$

$$V = 1.07 \text{ m/s}$$

Se selecciona el arroyo y se delimita mediante medidas.

Área de Sección Transversal (At)

FIGURA N° 3.4
“ÁREA DE SECCIÓN TRANSVERSAL”



Fuente: Los Autores
 Elaborado por: Los autores

$$At = \text{Ancho} \times \text{Profundidad Promedio}$$

Ec. 3.7

Siguiendo datos tomados

$$At = 1.70 \times 0.34$$

$$At = 0.58$$

Continuando con el procedimiento y fusionando datos se obtiene: Caudal (Q).

$$Q = (V \times At)$$

Ec. 3.8

V = Velocidad

At = Área de sección transversal

$$Q = (1.07 \times 0.58m^2)$$

$$Q = 0.62 \left[\frac{m^3}{s} \right] \left[\frac{1000 \text{ lts}}{1 m^3} \right] = 620 \frac{\text{lts}}{\text{seg}}$$

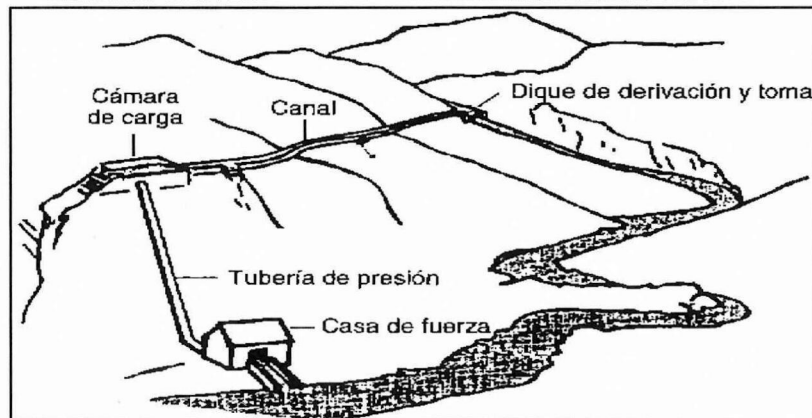
$$Q = 620 \frac{\text{lts}}{\text{seg}}$$

Dado que para el diseño solo requerimos 50 *lts/seg* y el canal contiene 620 *lts/seg* tomaremos una sección aproximada de 0.70m que nos proporcionara del recurso necesario para poder satisfacer con la demanda energética de la propiedad.

3.9. Descripción de la obra civil.

Una Picocentral hidroeléctrica por derivación este al construirse ocasiona el menor impacto medio ambiental en el río, no detiene al caudal de afluencia si no que se lo desvía a un canal y a una tubería forzada para terminar su ciclo en el grupo generador.

FIGURA N° 3.5.
“MICROCENTRAL HIDRÁULICA DE DERIVACIÓN”



Fuente: Manual De Mini y Micro-centrales Hidroeléctricas, Pág. 02
Elaborado por: Los autores

Es usado en proyectos de pico y microgeneración, su principal desventaja es que el agua no puede ser almacenada en el estado lluvioso a una estación seca del año, pero su ventaja es que se la puede construir localmente a un bajo costo, y su simplicidad la hace eficaz al momento de la construcción; así mismo su mantenimiento y limpieza es más sencilla ya que está al alcance de los operadores, en este caso el propietario.

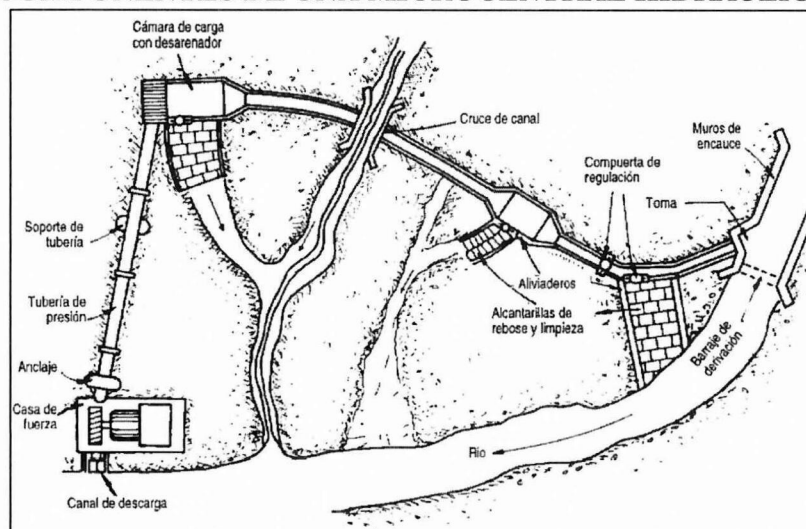
3.9.1. Obra captación del agua.

El diseño de captación, está constituido los siguientes componentes:

1. Barraje de derivación.
2. Toma de Ingreso.
3. Compuertas de Regulación.
4. Aliviaderos.
5. Canales de Rebose.
6. Desarenador.
7. Canal.
8. Tubería de Presión.
9. Apoyos de Tubería.
10. Anclajes de Tubería

Algunos de los elementos constitutivos de la obra de captación no van a ser utilizados, tales como el barraje, los aliviaderos, Desarenador, ya que en nuestro proyecto a nivel pico no son relevantes y su costo es muy elevado, pero ya que el trabajo investigativo se refiere a diseño se los mencionaran a cada uno de ellos.

FIGURA N° 3.6.
“COMPONENTES DE UNA MICROCENTRAL HIDRÁULICA”



Fuente: Manual De Mini y Microcentrales Hidroeléctricas, Pág. 54
Elaborado por: Los autores.

En el Manual De Mini y Microcentrales Hidroeléctricas en su Guía de Desarrollo de Proyectos, (1995) señala que “Para el diseño de estos componentes se toman en cuenta una serie de elementos que se hacen esenciales al momento de la construcción, de los cuales se destacan los siguientes” (p. 53-55).

a. Sedimento

Son pequeñas partículas que acarrea el agua, pueden ocasionar graves daños a la turbina y grupo generador.

b. Caudal Adecuado

Debe tomarse en cuenta que el caudal de la fuente hidroenergética varía de acuerdo a las estaciones del año, aunque una pico central es diseñada para tener un caudal constante durante todo el año, el bocatoma debe derivar el caudal adecuado hacia el canal mientras que el barraje asegura el caudal del canal incluso en época seca. Por otro lado la estructura de la toma del canal regula el caudal dentro de los límites razonables cuando el río tiene mucho volumen de agua, el aliviadero controla la cantidad de agua en el canal.

c. Turbulencia

Se deberá tomar en cuenta en todas las secciones de conducción de agua, tales como la bocatoma y los canales que al ser diseñados de una manera incorrecta generarías cambios bruscos en la dirección del agua el cual ocasionaría pérdidas de energía y acarreo de sedimento.

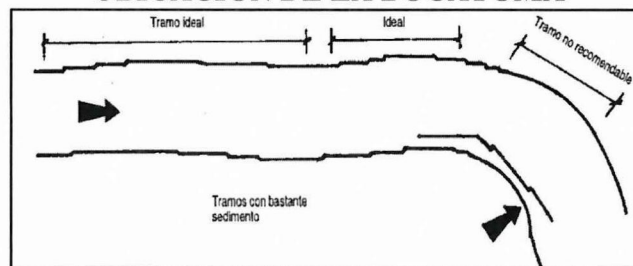
3.9.2. Bocatomas

Son obras hidráulicas, cuya función es regular y captar un determinado nivel de agua, nos permiten aprovechar la fuerza de gravedad.

3.9.3. Ubicación

Conforme dice el Manual De Mini y Microcentrales Hidroeléctricas en su Guía de Desarrollo de Proyectos, (1995) que “La ubicación se hace apropiada cuando se toman tramos rectos y estables en el afluente o río, en lo posible se debe evitar trayectos con curvaturas, así también debe analizarse la topografía, geología, y el comportamiento del suelo”. (p.58)

FIGURA N° 3.7.
“UBICACIÓN DE LA BOCATOMA”



Fuente: Manual De Mini y Microcentrales Hidroeléctricas, Pág. 58
Elaborado por: Los autores.

a) *Barraje o Azud.*

Esta estructura de derivación que sirve para elevar el nivel de las aguas, sirve como represa por que levanta el nivel del agua y vertedora por que deja pasar el agua no tomada, ofrecen seguridades ante deslizamientos, volteos y asentamientos.

b) Reja de Admisión

Se la colocó antes de la compuerta de admisión, ya que esta impedirá el paso de piedras, ramas o cualquier otro material flotante que sea arrastrado por el canal de conducción.

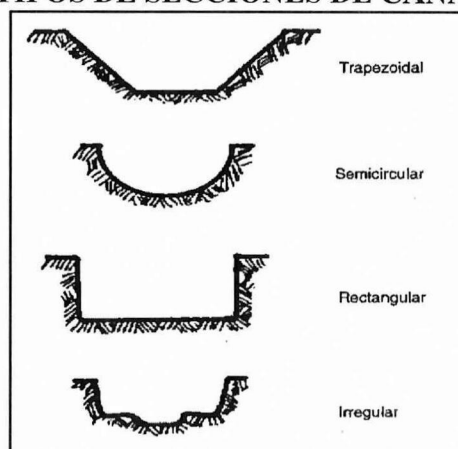
c) Compuerta de Control de Admisión.

Es un dispositivo (mecánico generalmente) fabricado con rieles a los extremos para que la compuerta se desplace de manera ascendente y descendente su principal función es controlar.

d) Canal de Conducción.

Se los construyen de diferentes formas según los requerimientos de diseño existen rectangulares, semicirculares, trapezoidales, o en ocasiones de forma irregular, su función es en nuestro estudio transportar el agua hacia el desarenador.

FIGURA N° 3.8.
“TIPOS DE SECCIONES DE CANAL”



Fuente: Manual De Mini y Microcentrales, Pág. 60
Elaborado por: Los autores.

Para nuestro diseño selecciono un canal de sección transversal lo cual se desarrolla por medio de tabla que nos proporciona el Manual De Mini y Microcentrales Hidroeléctricas en su Guía de Desarrollo de Proyectos, (1995) (p.82-87).

Se halla el ángulo del talud, tomando en cuenta que el canal usado será de concreto sin enlucir.

TABLA N° 3.3.
“TALUD RECOMENDADO PARA CANALES DE SECCIÓN TRANSVERSAL”

MATERIAL	TALUD (Z= COTAN 8)
Arena	3.0
Arena y greda	2.0
Greda	1.5
Greda y arcilla	1.0
Arcilla	0.58
Concreto	0.58

Fuente: Manual De Mini y Microcentrales Hidroeléctricas, Pág. 83
Elaborado por: Los autores.

Se procede a la selección del coeficiente de rugosidad.

TABLA N° 3.4.
“COEFICIENTE DE RUGOSIDAD “n”
CANALES DE CONCRETO

CANALES DE CONCRETO	
Buen acabado de concreto	0.0100
Acabado con yeso o concreto suave con alto contenido de concreto	0.0118
Concreto no enlucido	0.0149
Concreto con superficie suave	0.0161
Revestimiento de concreto irregular	0.0200
Superficie de concreto irregular	0.0200

Fuente: Manual De Mini y Microcentrales Hidroeléctricas, Pág. 84
Elaborado por: Los autores.

TABLA N° 3.5.
“DISEÑO DEL CANAL”

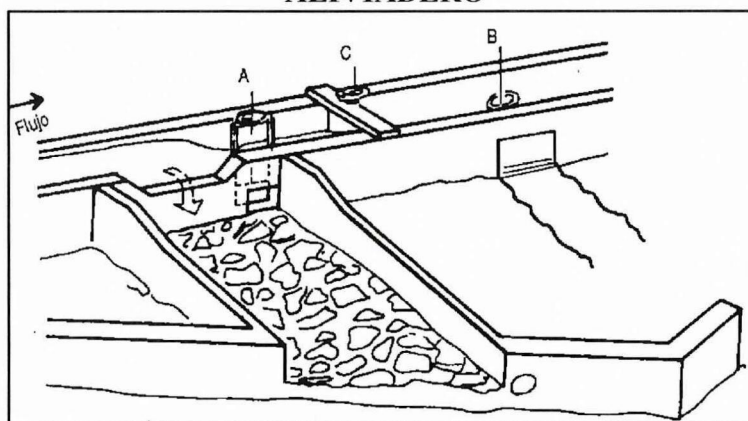
Diseño del Canal		
DATOS: Caudal: 50 Lts/seg Longitud: 10m Tipo de Suelo revestido: 10m Tipo de Revestimiento: Concreto sin enlucir.		
Datos	Formulas	Resultados
Velocidad (V)	$V = \frac{Distancia}{Tiempo}$	$V = 0.54 \frac{m}{s}$
Talud (Z)	Tabla 3.3 (Recomendado)	0.58
Coeficiente de Rugosidad (n)	Tabla 3.4 (Coeficiente)	0.0149
Área de sección Transversal (A)	$A = \frac{Caudal}{Velocidad}$ $A = \frac{50lts}{0.54 m/seg}$	$A = 0.092m^2$
Altura (H)	$H = \sqrt{\frac{A}{2\sqrt{(1+Z^2)} - Z}}$ $H = \sqrt{\frac{0.092}{2\sqrt{(1+(0.58)^2)} - 0.58}}$	$H = 0.23m$
Base (B)	$B = H (2\sqrt{1+Z^2} - 2Z)$ $B = 0.23 (2\sqrt{1+((0.58))^2} - 2(0.58))$	$B = 0.30m$
Base Superior (W)	$W = B + 2HZ$ $W = 0.30 + 2(0.23 \times 0.58)$	$W = 0.50m$
Resumen de Dimensiones		

Fuente: Los Autores
Elaborado por: Los autores.

e) *Aliviadero*

El Manual De Mini y Microcentrales Hidroeléctricas en su Guía de Desarrollo de Proyectos, (1995) asume un criterio y dice que “Es una estructura que sirve para regular, proteger y a su vez evacuar caudales que se sobreponen o sobrecargan al sistema de hidrogeneración. Sus dimensiones se basan en tres características fundamentales, largo altura y tipo de cresta. En resumen el aliviadero devuelve el exceso de agua al río”. (p. 71)

FIGURA N° 3.9.
“ALIVIADERO”

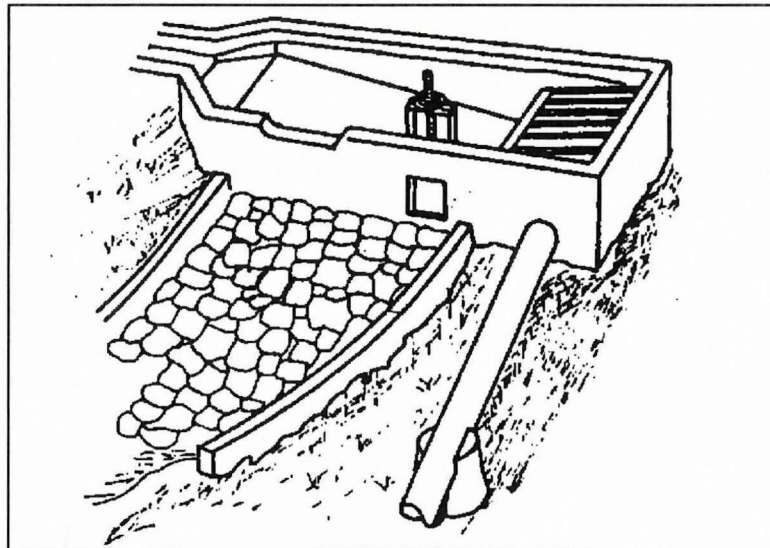


Fuente: Manual De Mini y Microcentrales Hidroeléctricas, Pág. 71
Elaborado por: Los autores.

f) *Desarenador.*

Cuando se transporta agua desde un afluente o río hacia la casa de máquinas son transportadas varias partículas propias del entorno, materias abrasivas tales como arena, sólidos, que ocasionan un rápido desgaste a los elementos de la turbina y una pérdida de eficiencia. La función del desarenador es asentar las partículas de arena y piedras hacia el fondo del desarenador para posteriormente puedan ser removidas.

FIGURA N° 3.10.
“DESARENADOR CON TUBERIA DE PRESIÓN”



Fuente: Manual De Mini y Microcentrales Hidroeléctricas, Pág. 71
 Elaborado por: Los autores.

3.10. Condiciones Geométricas de la Turbina.

3.10.1. Diagramas de velocidad

Según OLADE, (1998) en El Volumen I Manual De Diseño y Estandarización, menciona que: “Los perfiles de los álabes del rodete de una turbina, se determina en base a los diagramas de velocidades en cada punto del rodete. Para determinar estos diagramas, es necesario definir la velocidad de salida del agua del inyector, la que se determina en base a la Ecuación de Bernoulli aplicada entre la superficie del reservorio, donde la velocidad del agua es aproximadamente cero y a la salida del inyector” (p.11).

$$\frac{P_o}{\gamma} + \frac{C_o^2}{2g} + Z_o = \frac{P_i}{\gamma} + \frac{C_i^2}{2g} + Z_i + \Delta H_t + \Delta H_f \quad \text{Ec. 3.9}$$

En donde:

C_o y C_i , representan la velocidad de una partícula de agua en la superficie del reservorio y en la salida del inyector respectivamente.

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

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

γ y g , representan el peso específico del agua y la aceleración de la gravedad respectivamente (9,8 m/s).

ΔH_f , es la pérdida de presión por efecto de la fricción del agua con las paredes de la tubería de presión.

ΔH_b , es la pérdida de presión por efecto de la fricción del agua con las paredes del inyector.

Con todas estas consideraciones se determina que la velocidad de salida del agua del inyector es:

$$C_i = \sqrt{1 - \frac{\Delta H_i}{H}} \sqrt{2 g H} \quad \text{Ec. 3.10}$$

En donde H, es el salto efectivo o neto de la central, obtenido de la diferencia entre el salto bruto y las pérdidas de presión en la tubería, Asimismo, se define **Kc**, como el coeficiente de velocidad del inyector representado por:

$$K_c = \sqrt{1 - \frac{\Delta H_i}{H}} \quad \text{Ec. 3.11}$$

Con lo cual la velocidad de salida del agua del inyector queda expresada por:

$$C_i = K_c \sqrt{2 g H} \quad \text{Ec. 3.12}$$

En forma práctica Kc asume los valores comprendidos entre 0.97 y 0.98.

3.10.2. Cálculos de velocidad a la salida del agua

$$K_c = 0.97$$

$$C_i = 0.97 \sqrt{2 \left(9.8 \frac{m}{s^2} \times 15m\right)}$$

$$C_i = 0.97 \sqrt{294}$$

$$C_i = 16.62 \text{ m/s}$$

La velocidad del agua a la salida del inyector es igual a la velocidad de ingreso del agua al rodete.

Este chorro de agua a su vez orienta hacia el rodete con un ángulo promedio denominado α_2 el cual posee valores prácticos que se encuentran alrededor de los 16 grados.

Por lo que se concreta:

$$C_i = C_2$$

Las turbinas de acción, expresan su velocidad con el siguiente término:

$$U_2 = Ku \times C_2 \times \cos \alpha_2 \quad \text{Ec. 3.13}$$

Siendo Ku el coeficiente de velocidad tangencial que en el caso de las turbinas de acción poseen un valor aproximado de 0.5.

Desarrollando Ec. 3.13, se tiene que:

$$U_2 = 0.5 \times 16.62 \frac{m}{s} \times \cos 16^\circ$$

$$U_2 = 7.98 \text{ m/s}$$

Con estos valores se determina la velocidad relativa:

$$W_2 = C_2 \sqrt{1 - Ku(2 - Ku)\cos^2 \alpha_2} \quad \text{Ec. 3.14}$$

$$W_2 = C_2 \sqrt{1 - Ku(2 - Ku)\cos^2 \alpha_2}$$

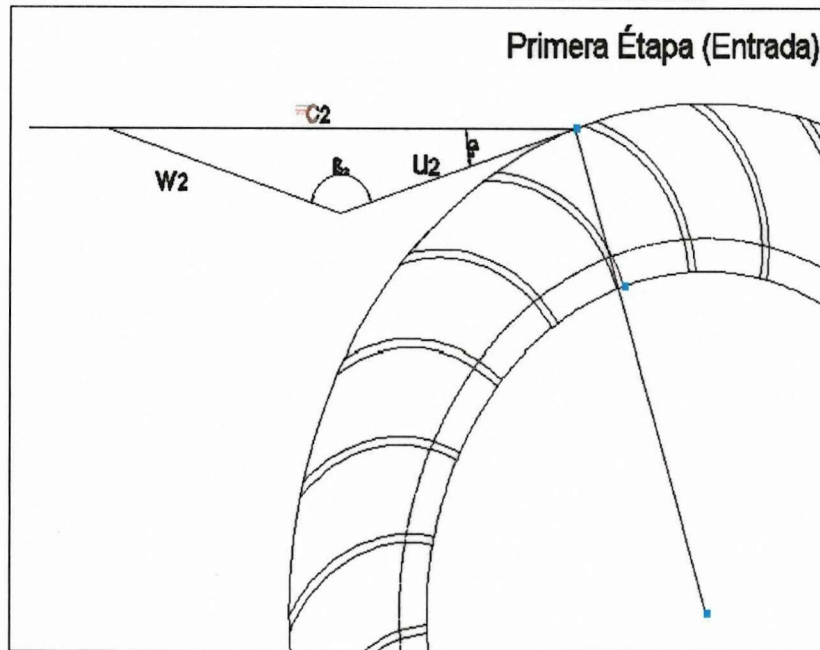
$$W_2 = 16.62 \frac{m}{s} \sqrt{1 - 0.5(2 - 0.5)\cos^2 16^\circ}$$

$$W_2 = 16.62 \frac{m}{s} \sqrt{1 - 0.5(2 - 0.5)\cos^2 16^\circ}$$

$$W_2 = 9.18 \text{ m/s}$$

Y con el ángulo β_2 se concluye la construcción del diagrama de velocidades a la entrada del Rodete.

FIGURA N° 3.11.
“VELOCIDAD DEL AGUA A LA SALIDA”



Fuente: Los Autores.
 Elaborado por: Los autores.

En el interior del rodete se cumple que los triángulos de velocidades son iguales debido a que:

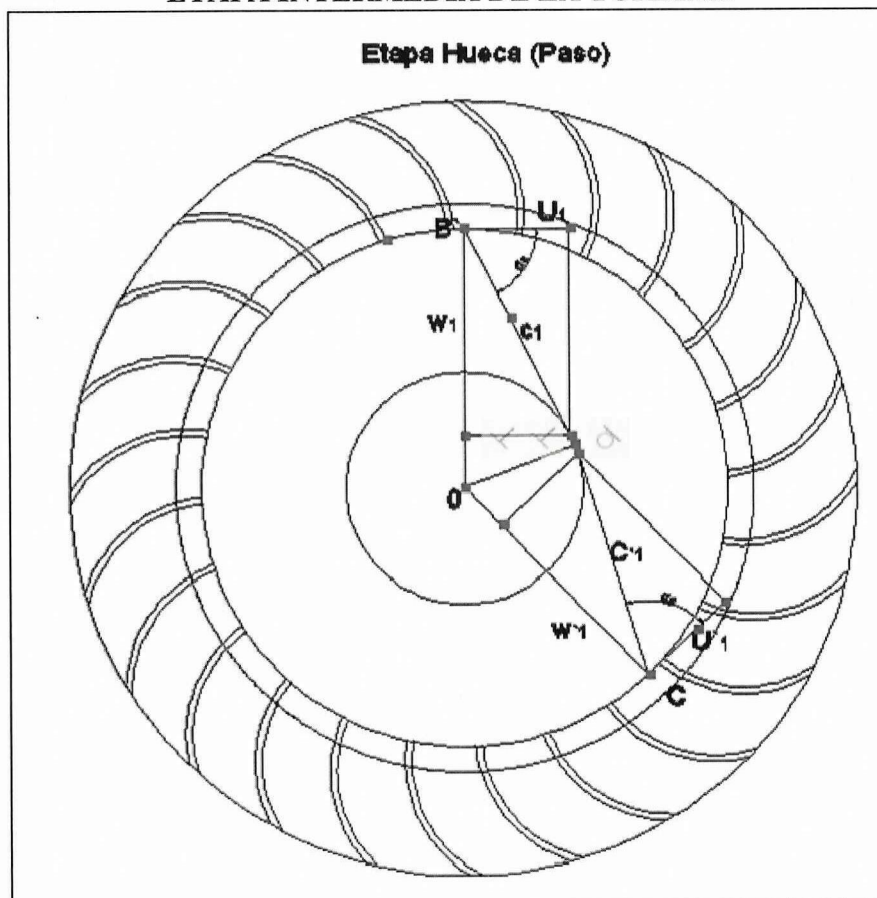
$$\begin{aligned}
 U_1 &= U_2 \\
 C_1 &= C_2 \\
 \alpha_1 &= \alpha_2 \\
 \beta_1 &= 180 - \beta_2
 \end{aligned}$$

Por lo tanto se llega a la conclusión que:

$$\beta'_1 = \beta_1 = 90^\circ$$

Entonces por ser turbina de dos etapas, los espacios internos son huecos que dan paso a la etapa número dos, es decir deja que corra el agua de la etapa 1 hacia la 2 respectivamente como la *Fig. 3.12*.

FIGURA N° 3.12.
“ETAPA INTERMEDIA DE LA TURBINA”



Fuente: Manual De Mini y Microcentrales Hidroeléctricas
 Elaborado por: Los autores.

A la salida del agua del rodete, se forma un diagrama de velocidades en el que:

$$U'_2 = U_2 = Ku C_2 \cos \alpha_2$$

Desarrollando:

$$U'_2 = U_2 = 0.5 \times 16.62 \frac{m}{s^2} \times \cos 16^\circ$$

$$U'_2 = 7.89 \text{ m/s}$$

$$\beta_2 = 180 - \beta'_2$$

$$\beta'_2 = \arcsin \left[\frac{\sin \alpha_2}{(1 - Ku(2 - Ku)\cos^2 \alpha_2)^{1/2}} \right]$$

$$\beta'_2 = \arcsin \left[\frac{\sin 16^\circ}{(1 - 0.5(2 - 0.5)\cos^2 16^\circ)^{1/2}} \right]$$

$$\beta'_2 = \arcsin \left[\frac{0.28}{0.55} \right]$$

$$\beta'_2 = 30.6^\circ$$

La velocidad Relativa estaría expresada por:

$$W'_2 = Kf W_2$$

Donde Kf es el coeficiente de velocidad relativa que expresa la pérdida de fricción del agua con los álabes del rodete, y su valor puede aproximarse a 0.98.

Realizando los cálculos correspondientes se obtiene lo siguiente:

$$W'_2 = 0.98 \times 11.93 \text{ m/s}$$

$$W'_2 = 8.6 \text{ m/s}$$

Con estas respectivas velocidades se obtiene la velocidad absoluta del agua a la salida del rodete, expresada por:

$$C'_2 = C_2 \sqrt{Kf^2(1 - Ku(2 - Ku)\cos^2\alpha_2) + Ku^2\cos^2\alpha_2 - 2Kf\cos^2\alpha_2(1 - Ku)Ku}$$

$$C'_2 = 16.62 \sqrt{(0.98)^2(1 - 0.5(2 - 0.5)\cos^2 16^\circ) + (0.5)^2\cos^2 16^\circ - 2 \cdot 0.98 \cos^2 16^\circ(1 - 0.5)0.5}$$

$$C'_2 = 16.62 \frac{m}{s} \sqrt{0.55}$$

$$C'_2 = 8.75 \text{ m/s}$$

El ángulo de salida con respecto a la tangente el rodete se obtiene con la siguiente expresión:

$$\alpha'_2 = \text{arc Sen} \left[\frac{Kf \text{ Sen } \beta'_2 \sqrt{1 - Ku(2 - Ku)\cos^2\alpha_2}}{\sqrt{Kf^2 + Ku \cos^2\alpha_2 (Ku - Kf^2(2 - Ku) - Kf)}} \right]$$

$$\alpha'_2 = \text{arc Sen} \left[\frac{0.98 \text{ Sen } 30^\circ \sqrt{1 - 0.5(2 - 0.5)\cos^2 16^\circ}}{\sqrt{(0.98)^2 + 0.5 \cos^2 16^\circ (0.5 - (0.98)^2(2 - 0.5) - 0.98)}} \right]$$

$$\alpha'_2 = 89^\circ$$

Según El Volumen I Manual De Diseño y Estandarización OLADE, (1998) suscribe que “estas velocidades se pueden expresar en forma práctica cuando se definen las constantes. Ejemplo si asumimos un ángulo promedio α_2 igual a 16° un coeficiente de velocidad Kc 0.98, un coeficiente de velocidad tangencial Ku 0.5 y un coeficiente de velocidad relativa Kf 0.98, obtenemos las siguientes expresiones prácticas”. (p.13).

$$C_2 = 4.34 \sqrt{15m}$$

$$U_2 = 2.09 \sqrt{15m}$$

$$W_2 = 2.40 \sqrt{15m}$$

$$W'_2 = 2.35 \sqrt{15m}$$

$$C'_2 = 1.20 \sqrt{15m}$$

$$\beta_2 = 29.83 \cong 30^\circ$$

$$\beta_1 = 90$$

$$C_2 = 16.8$$

$$U_2 = 8.09$$

$$W_2 = 9.29$$

$$W'_2 = 9.10$$

$$C'_2 = 4.64$$

$$\beta_2 = 29.83 \cong 30^\circ$$

$$\beta_1 = 90$$

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

3.10.3. Geometría del inyector

Como OLADE, (1998) en El Volumen I Manual De Diseño y Estandarización, indica 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. Cuando se define una geometría de inyector con álabe directriz, se requiere definir el perfil del mismo, considerando un balance de pérdidas de presión en los flujos de agua en que se divide el caudal por efecto del álabe. De tal forma que al tener igualadas ambas pérdidas, se obtenga la misma velocidad de salida de ambos conductos. Este manual se da a conocer la geometría de un inyector con álabe directriz, el cual se ha calculado en base a la metodología descrita en el párrafo anterior y considerando un álabe cuya geometría aerodinámica reduzca el torque de accionamiento para la regulación del flujo de agua. Según se muestra la *Figura N° 3.21*. Es función del diámetro del rodete y no sufre variación cuando se le diseña para diferentes saltos y caudales. La única dimensión que varía en función del salto y caudal con que se diseña la turbina es el ancho del inyector, el cual se calcula tomando la *Ec. 1.6.*" (p. 13-14).

$$B = \frac{Q}{p(\pi De - eZ)K_o K_c \sqrt{2gH} \text{Sen}\alpha_2}$$

En donde:

El ancho interno del inyector B , esta expresado en metros.

- Q Es el caudal máximo que fluirá por la turbina, en m^3/seg .
- p Es un factor de arco de admisión que para el caso del inyector que se desarrolla en el manual, tiene un valor de 1.
- De Es el diámetro exterior del rodete, expresado en metros.
- e Es el espesor de los alabes del rodete, expresado en metros.
- Z Es el número de álabes en el rodete.

Ko Es el porcentaje de la circunferencia exterior del rodete por donde ingresa el agua.

Una fórmula práctica para determinar el ancho mínimo del inyector cuya geometría se influencia del diámetro de la tubería, del ancho del rodete y de la *Figura N° 3.13*, basada en el manual de estandarización se expresa por:

$$B = \frac{0.96 Q}{De \sqrt{H}} \quad \text{Ec. 3.15}$$

$$B = \frac{0.96 \times 0.05 \frac{m^3}{s}}{0.3 \sqrt{15}}$$

$$B = \frac{0.048 \frac{m^3}{s}}{0.3 \times 3.87}$$

$$B = 0.048 \text{ metros}$$

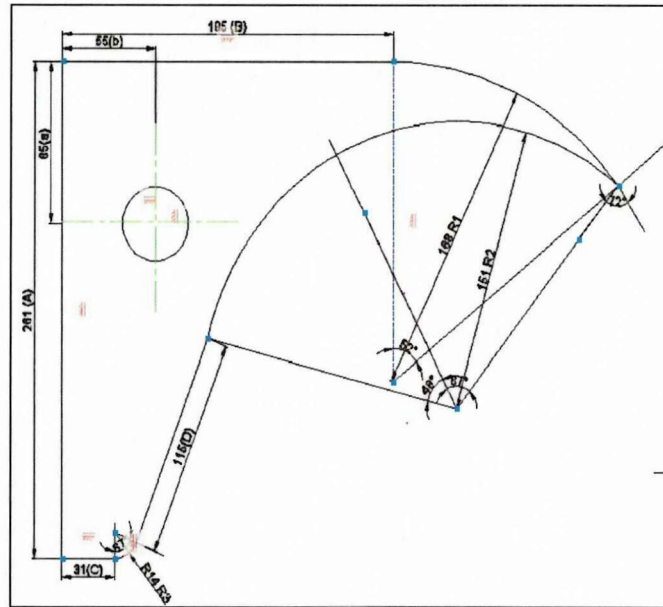
$$B = 4.8 \approx 5 \text{ cm (Ancho Mínimo)}$$

TABLA No. 3.6.
“DIMENSIONES DE PERFIL DEL INYECTOR”

COTA (mm)	DIAMETRO DE RODETE – De (mm)			
	300	400	500	600
A	261	348	435	522
B	195	260	325	390
C	31	41	52	62
D	102	136	170	204
a	85	113	142	170
b	55	73	92	110
R1	168	224	280	335
R2	151	201	252	302
R3	28	37	47	56

Fuente: Volumen I Manual De Diseño y Estandarización OLADE, Pág. 50
Elaborado por: Los autor

FIGURA N° 3.13.
“DIMENSIONES DEL PERFIL DEL INYECTOR”



Fuente: Los autores
 Elaborado por: Los autores.

3.10.4. Geometría del rodete

Como El Volumen I Manual De Diseño y Estandarización OLADE, (1998) afirma que “la geometría del rodete se determina en base a los ángulos obtenidos de los diagramas de velocidades anteriormente vistos. En caso de utilizar diámetros de rodete diferentes a los indicados, se pueden determinar las dimensiones utilizando el diámetro externo D_e ”. (p.14).

$$\frac{D_i}{D_e} = \sqrt{\frac{(2 Ku \cos^2 \alpha_2 - 1) + (1 - 4 \cos^2 \alpha_2 (1 - Ku) Ku)}{2 Ku^2 \cos^2 \alpha_2}} \quad \text{Ec. 3.16}$$

Considerando α_2 igual a 16° y Ku igual a 0.5, se obtiene el diámetro interno de la Ec.1.4.

Diámetro Interno.

Es primordial conocerlo ya que mediante este podremos hacer cálculos mecánicos tales como cálculo de eje y de chaveta; aplicando a la *Ec. 1.4* tenemos:

$$D_i = 0.66 \times 300\text{mm}$$

$$D_i = 198\text{ mm} \approx 200\text{mm}$$

Los planos del *ANEXO 02, Plano TO – 01. 02. 03*, nos detallan de y dimensionan el diseño del rodete, el primero de ellos nos muestra las dimensiones, y el segundo el despiece de sus elementos. Para la construcción del rodete se puede considerar una fabricación a base de AISI 305, es un acero inoxidable austenítico, este acero proporciona una alta resistencia a la oxidación y a la corrosión.

Diámetro de Eje (d)

El ancho interno del rodete se obtiene luego de realizar el diseño de detalle del inyector y debe considerarse el espacio requerido para la soldadura de los álabes al disco. El eje es uno de los elementos más importantes ya que ya que mediante ellos se va a realizar el movimiento rotatorio del sistema para lo cual hay que dimensionarlos de manera que soporten la carga que se la está sometiendo. Una forma de estimar el ancho del rodete es considerándolo como un 50% mayor que el ancho del inyector. En el Diseño de Turbinas Ossberger se considera también desde el punto de vista teórico una limitante en cuanto el arco de admisión, expresado por la *Ec. 1.9*:

$$\angle BOC = 2 \operatorname{arc} \operatorname{tg} \left| \frac{\sqrt{1 - Ku(2 - Ku)\cos^2\alpha_2}}{\left| \frac{Di}{De} \right| Ku \cos^2\alpha_2} \right|$$

El máximo porcentaje de arco de admisión se obtiene:

$$Ko = \frac{\angle BOC}{360^\circ}$$

Para los valores α_2 es igual a 16° y Ku igual a 0.5 se obtiene el valor de Ko igual a 0.334.

El porcentaje de admisión para el inyector es de 0.30, si consideramos que la trayectoria de una partícula de agua del rodete es rectilínea, se obtiene que el diámetro máximo del eje que atraviesa el rodete deba ser:

$$d = Di \operatorname{Cos} \left| \frac{\angle BOC}{2} \right|$$

$$d = 0.328 \times 300\text{mm}$$

$$d = 98.4\text{mm} \cong 100\text{mm}$$

El diámetro a utilizarse del eje de la turbina ya que va pasado y los cálculos nos dan un límite máximo en su diámetro escogimos que es óptimo de $\varnothing 60\text{mm}$.

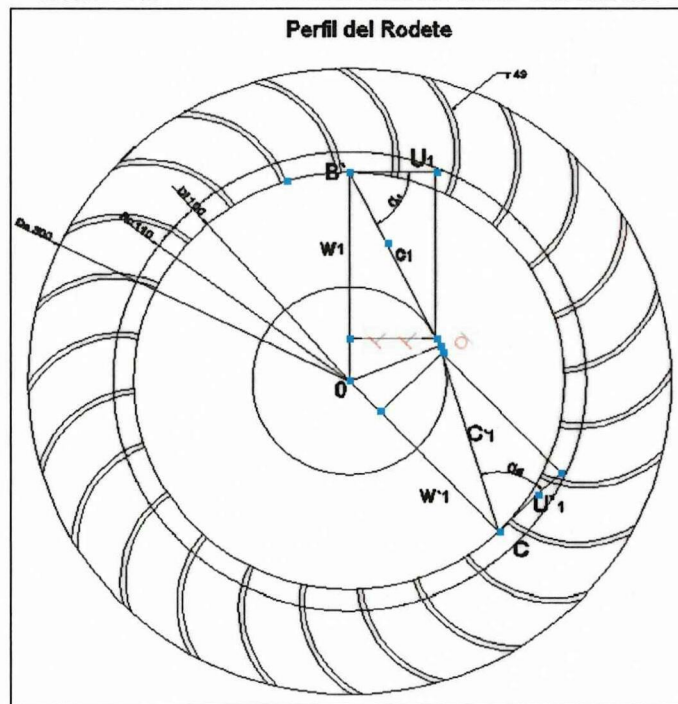
El Volumen I Manual De Diseño y Estandarización OLADE, (1998) (p.50) nos indica un cuadro de dimensiones del perfil del rodete según su diámetro externo De .

TABLA N° 3.7.
“DIMENSIONES DE PERFIL DEL RODETE”

COTA (mm)	Diámetro de rodete – D_e (mm)			
	300	400	500	600
D_i	100	133	167	200
R_c	110	147	183	220
r	49	65	82	98

Fuente: Volumen I Manual De Diseño y Estandarización OLADE, Pág. 50
 Elaborado por: Los autores

FIGURA N° 3.14.
“DIMENSIONES DEL PERFIL DEL RODETE”



Fuente: Los autores
 Elaborado por: Los autores

Rango de aplicación definidos por los números específicos N_q y N_s .

Tomando como referencia la *Ec 1.1* definimos datos ya calculados y desarrollando se tiene:

$$H = 15\text{m}$$

Caudal máximo que fluye en la Tubería (Q)

Tubería de 3"; Velocidad: 17.88 m/s

Tabla N° 3.6; 343.3 m³/h

$$Q = \left| 343.3 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right| \left| \frac{1\text{h}}{3600\text{seg}} \right| = 0.095 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

$$P = 6.79 \text{ C.V.}$$

$$N = 515 \text{ rpm.}$$

$$Nq = 515 \frac{\sqrt{0.09}}{\sqrt[4]{15^3}}$$

$$Nq = 20$$

$$Ns = 515 \frac{\sqrt{6}}{\sqrt[4]{15^5}}$$

$$Ns = 57.2 \approx 60$$

De acuerdo a la *tabla 1.2* donde se muestran valores normalizados y su rango de aplicación con los resultados calculados determinamos que nuestro diseño se encuentra dentro de los porcentajes establecidos.

La potencia al freno de la turbina

Se obtienen los valores reemplazando la *Ec. 1.2*.

$$PT = \frac{3.5 \text{ kW}}{0.80\% \times 0.93\%}$$

$$PT = 5 \text{ kW} \approx 6,79 \text{ C.V.}$$

Número óptimo de revoluciones

Obtenida por los parámetros de la *Ec 1.3* .Desarrollándose tiene:

$$N = \frac{39.85 (15)^{1/2}}{0.300}$$

$$N = 514.46 \approx 515 \text{ rpm}$$

Velocidad nominal de rotación.

Reemplazando valores de la *Ec 1.5* obtendremos que:

$$N = \frac{40\sqrt{15}}{0.300}$$

$$N = 516.39 \text{ m/seg}$$

3.10.5. Geometría de los álabes

El espesor de los álabes se asume y posteriormente se realiza un chequeo de esfuerzo, considerándolo como una viga empotrada en sus extremos, por el efecto de soldadura, y cargada uniformemente, la fuerza que actúa sobre cada uno de ellos debe ser proporcional en cada uno de sus lados, si el rodete tiene una longitud considerable es de recomendación implementar en medio un disco para que haga una pared entre álabes y así se disminuya su fatiga. Uno de los casos que se presentan desfavorables, en los álabes es cuando no está bien dimensionada la geometría del alabe directriz y este en pleno funcionamiento del rodete choca con los alabes a velocidad nominal, la colisión puede ocasionar la fisura de uno o varios de los alabes de turbina afectando al rodete y su resistencia.

Radio de Curvatura de los álabes

Se expresa en función del diámetro del rodete y del ángulo del alabe β_2 , siguiendo la Ec. 1.7:

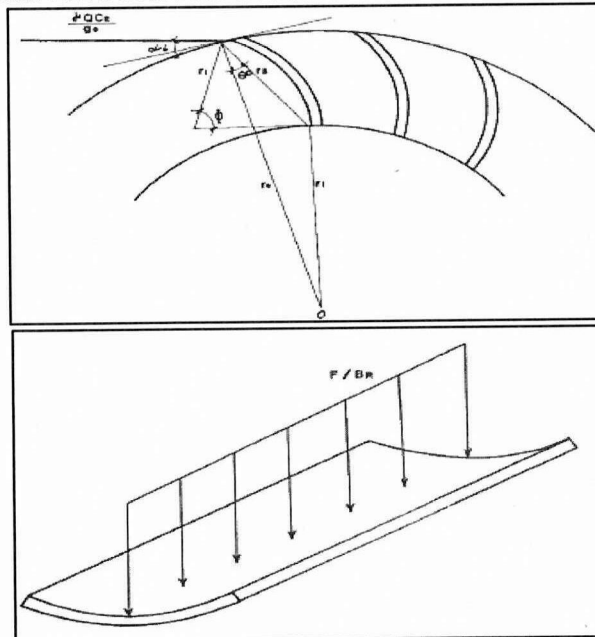
$$r = \frac{De}{4 \cos \beta_2} \left| 1 - \left| \frac{Di}{De} \right|^2 \right|$$

Se sustituye por valores conocidos y se tiene:

$$r = 0.163 \times 300 \text{ mm}$$

$$r = 48.9 \text{ mm} \cong 50 \text{ mm}$$

FIGURA N° 3.15.
“FUERZAS ACTUANDO SOBRE EL ALABE DEL RODETE”



Fuente: Volumen I Manual De Diseño y Estandarización OLADE, Pág. 56
Elaborado por: Los autores

La fuerza que actúa sobre cada uno de los alabes del rodete se calcula utilizando la siguiente ecuación, tomando en cuenta que $\alpha_2 = 16^\circ$ para conseguir la máxima eficiencia.

$$F = 46.5 Q\sqrt{H}$$

Ec. 3.17

$$F = 46.5 \left(0.05 \frac{m^3}{seg}\right) \sqrt{15 m}$$

$$F = 9.004 kgf$$

La selección del número de alabes se realizara en base a un diámetro y según las condiciones en que funciona la turbina, tomando referencias como el caudal y la altura en este caso el número de álabes será 24 siguiendo el manual de estandarización.

Según la tabla propuesta en el Capítulo I, *Tabla 1.5* se recalca un número específico de álabes con respecto al diámetro de rodete el cual basados en experiencias y estudios tiene un numero optimo que aconseja seguir, el cual para un *De* (Diámetro externo de Rodete) el número óptimo es 24 álabes que entre si van a tener un ángulo de separación de 16°.

Ángulo de curvatura de los álabes

Se lo obtiene reemplazando en la *Ec 1.8*.

$$\phi = 2 \operatorname{arc} \operatorname{tg} \left| \frac{\operatorname{Cos} \beta'_2}{\left| \frac{Di}{De} \right| + \operatorname{Sen} \beta'_2} \right|$$

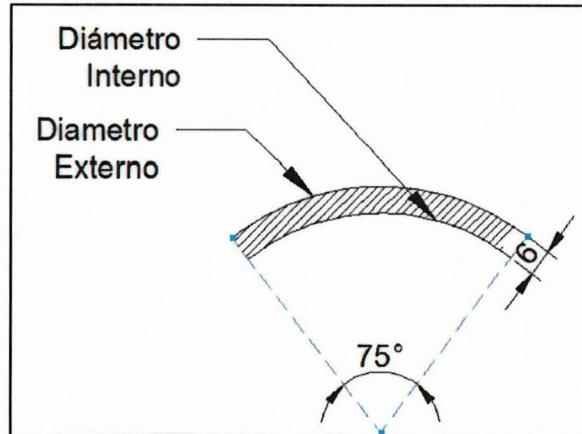
$$\phi = 2 \operatorname{arc} \operatorname{tg} \left| \frac{\operatorname{Cos} 30^\circ}{\left| \frac{200mm}{300mm} \right| + \operatorname{Sen} 30^\circ} \right|$$

$$\phi = 2 \operatorname{arc} \operatorname{tg} \left| \frac{0.87}{1.17} \right|$$

$$\phi = 73.285^\circ$$

Cuando el ángulo α_2 es igual a 16° este ángulo tiene un valor de trabajo de 73° .

FIGURA N° 3.16.
“CURVATURA DE LOS ÁLABES”



Fuente: Volumen I Manual De Diseño y Estandarización OLADE, Pág. 55
Elaborado por: Los autores

TABLA N° 3.8.
“DIÁMETROS”

DIÁMETRO DEL ROTOR (mm)	TUBERÍA						
	DIÁMETRO (pulg)	ESPESOR (mm)	PESO (kgf/m)	ÁREA DE ESFUERZO (cm ²)	CENTRO DE GRAVEDAD (Cg) (cm)	MOMENTO DE INERCIA (Igx) (cm ⁴)	RADIO DE GIRO (C) (cm)
300	4	6,02	16,07	3.96	4.85	0.4751	0.64

Fuente: Volumen I Manual De Diseño y Estandarización OLADE, Pág. 55
Elaborado por: Los autores

Y los valores como área de esfuerzo (A), Centro de Gravedad (Cg), Momento de Inercia (Igx), y Radio de Giro (C) se encuentran en la tabla donde se han calculado estos valores para diferentes diámetros y espesores.

3.11. Parámetros hidráulicos de la turbina

Uno de los parámetros que son de vital importancia observar en Turbinas Ossberger es el fenómeno de la cavitación principalmente originada en el inyector, ocasionada por fallas en su geometría o por imperfección de superficie, este efecto produce variaciones en el comportamiento de la turbina tales como disminución de potencia, del caudal y la eficiencia produciendo ruidos, vibraciones y la destrucción de los álabes y zonas adyacentes; así mismo los parámetros hidráulicos que se deben considerar son la velocidad y espesor del chorro.

a. Velocidad del chorro

Es la proximidad que tiene el inyector entre el rodete, en el cual existe una sobrepresión despreciable en el abertura comprendida bajo el arco de admisión θ que de acuerdo a los planos es igual a 105° , su fórmula es:

$$C = \varphi \sqrt{2gH} \quad \text{Ec. 3.18}$$

Dónde:

$\varphi =$ Coeficiente de velocidad que depende de las pérdidas del inyector, su valor varía entre 0.95; 0.99.

$$C = 0.95 \sqrt{2(9.8)15}$$

$$C = 16.28m/seg$$

b. Espesor del chorro

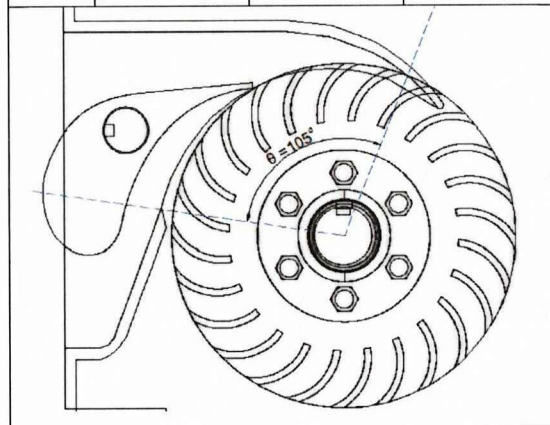
$$a = K_a \times D_e$$

Ec. 3.19

Donde a esta en metros, K_a es un coeficiente que depende directamente del ángulo del inyector y del ángulo de admisión θ .

TABLA No. 3.9.
“ESPESOR DE CHORRO”

θ°	60°	90°	120°
K_a	0.1443	0.2164	0.2886



Fuente: Manual De Mini y Microcentrales Hidroeléctricas, Pág. 144
Elaborado por: Los autores.

Reemplazando en la formula se obtiene:

$K_a =$ Tabulamosa 105 ° y obtenemos el valor de 0.252525

$$a = 0.2525 \times 0.300$$

$$a = 0.07575m (2.982pulg)$$

Esto quiere decir que el espesor del chorro es de 2.98 pulg, por lo que se verifica en el cap 2 Diseño de tuberías el último tramo se selecciona a 3 pulg, lo cual coincide con el espesor del chorro.

3.12. Diseño de tubería

En el Capítulo 1 *Tabla 1.1* se conocen las diferentes propiedades de tubería conociendo las ventajas y desventajas de cada uno de estos al implementar hemos selecto varios tramos de tubería, con el objetivo de aumentar la velocidad de salida de nuestro recurso hídrico, en lo cual se ha hecho imprescindible usar tubería de PVC reforzada para alta presión y acero comercial para definir los tramos que vamos a usar hemos hecho cálculos de cuerpo libre, para definir la aceleración en cada una de las etapas por lo cual se desprenden de los siguientes datos:

$$Q = 0.05 \frac{m^3}{seg}, 180 \frac{m^3}{h}$$

$$h = 15m$$

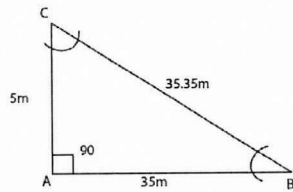
$$g = 9,8 \frac{m}{seg}.$$

TABLA N° 3.10.
“CAUDAL CON RESPECTO A LA TUBERIA FORZADA”

CAUDAL DE CIRCULACIÓN Q(m³/h) p/tubería ASTM schedule estándar		www.comeval.es Tel: 922 444 201																
DN	v(m/s)	1,25	1,5	1,75	2	3	4	5	6	8	10	15	20	25	30	35	40	Coefficiente Caudal/Area
3/8"	10	0,45	0,56	0,67	0,78	0,89	1,04	1,29	2,24	4,47	6,7	8,9	11,19	13,42	15,66	17,90	0,45	
1/2"	15	0,71	0,88	1,06	1,24	1,41	2,12	2,82	3,52	7,06	10,5	14,1	17,65	21,18	24,70	28,23	0,71	
3/4"	20	1,24	1,55	1,86	2,17	2,48	3,72	4,95	6,19	12,39	18,5	24,7	30,97	37,16	43,35	49,54	1,24	
1"	25	2,01	2,51	3,01	3,51	4,01	6,02	8,03	10,03	20,07	30,1	40,1	50,17	60,20	70,23	80,26	2,01	
1-1/4"	32	3,47	4,34	5,21	6,08	6,94	10,41	13,69	17,36	34,72	52,0	69,4	86,79	104,1	121,5	138,9	3,47	
1-1/2"	40	4,72	5,91	7,09	8,28	9,46	14,19	18,92	23,65	47,3	70,9	94,6	118,2	141,9	165,5	189,2	4,72	
2"	50	7,86	9,75	11,63	13,64	15,59	23,39	31,18	38,98	77,96	116,5	155,5	194,5	233,9	272,9	311,8	7,86	
2-1/2"	65	11,12	13,90	16,68	19,46	22,24	33,36	44,48	55,60	111,2	166,5	222,4	278,0	333,6	389,2	444,8	11,12	
3"	80	17,17	21,46	25,75	30,04	34,33	51,50	68,67	85,83	171,7	257,5	343,3	429,2	515,0	600,8	686,7	17,17	
4"	100	29,57	36,96	44,35	51,74	59,13	88,70	118,3	147,8	295,7	443,5	591,3	739,2	887,0	1034,9	1182,7	29,57	
5"	125	46,47	58,09	69,70	81,32	92,94	139,4	185,9	232,3	464,7	697,0	929,4	1161,7	1394,1	1626,4	1858,8	46,47	
6"	150	67,13	83,91	100,7	117,5	134,3	201,4	268,5	335,6	671,3	1006,9	1342,5	1678,1	2013,8	2349,4	2685,0	67,13	
8"	200	116,2	145,3	174,3	203,4	232,4	348,7	464,9	581,1	1162,2	1743,3	2324,4	2905,4	3486,5	4067,6	4648,7	116,2	
10"	250	183,1	228,9	274,7	320,5	366,3	549,4	732,6	915,7	1831,5	2747,2	3663,0	4578,7	5494,5	6410,2	7325,9	183,1	
12"	300	262,7	328,4	394,1	459,8	525,5	788,2	1051,0	1313,7	2627,5	3941,2	5254,9	6568,7	7882,4	9196,1	10509,9	262,7	
14"	350	320,2	400,3	480,4	560,4	640,5	960,7	1280,9	1601,2	3202,3	4803,5	6404,7	8005,9	9607,0	11208,2	12809,3	320,2	
16"	400	424,2	530,3	636,3	742,4	848,4	1272,6	1696,8	2121,0	4242,1	6363,1	8484,1	10605,2	12726,2	14847,3	16968,3	424,2	
18"	450	543,8	679,7	815,6	951,5	1087,4	1631,1	2175,1	2719,0	5437,7	8156,5	10875,3	13594,1	16313,0	19031,8	21750,6	543,8	
20"	500	675,9	844,9	1013,9	1182,9	1351,9	2027,8	2703,7	3379,7	6759,3	10139,0	13518,7	16898,4	20278,0	23657,7	27037,4	675,9	
24"	600	986,0	1232,5	1479,0	1725,5	1972,0	2958,0	3944,0	4930,0	9860,0	14790,0	19720,0	24650,0	29580,0	34510,0	39440,0	986,0	
26"	650	1163,0	1453,7	1744,5	2035,2	2325,9	3488,9	4651,9	5814,9	11629,7	17444,5	23259,3	29074,1	34888,9	40703,7	46518,5	1163,0	
28"	700	1354,9	1693,1	2031,3	2370,4	2709,5	4063,5	5418,0	6772,5	13545,0	20317,5	27090,0	33862,5	40635,0	47407,5	54180,0	1354,9	
30"	750	1569,4	1990,8	2412,1	2833,4	3254,7	4881,0	6507,3	8133,6	16267,2	24400,8	32534,4	40668,0	48801,6	56935,2	65068,8	1569,4	
32"	800	1791,4	2226,7	2662,0	3117,4	3572,8	5344,1	7125,4	8906,7	17813,4	26720,1	35627,1	44534,1	53441,1	62347,1	71254,1	1791,4	
34"	850	2016,7	2520,8	3025,0	3529,2	4033,3	6050,0	8066,7	10083,3	20166,7	30250,0	40333,3	50416,6	60500,0	70583,3	80666,6	2016,7	
36"	900	2266,6	2833,3	3399,9	3966,6	4533,3	6799,9	9066,6	11333,3	22666,6	33999,9	45333,3	56666,6	67999,9	79333,3	90666,6	2266,6	

Fuente: www.comeval.es
Elaborado por: Los autores.

Tramo de tubería Forzada N°1.



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

$$a^2 = (5m)^2 + (35m)^2$$

$$a = \sqrt{1250}$$

$$a = 35.35m$$

$$\text{Sen } C = \frac{35}{35,35}$$

$$\text{Sen } C = 87.43$$

$$\sphericalangle A + \sphericalangle B + \sphericalangle C = 180^\circ$$

$$90^\circ + \sphericalangle B + 87.43 = 180^\circ$$

$$\sphericalangle B = 180^\circ - 177.43^\circ$$

$$\sphericalangle B = 2.57$$

$$Ep = m \times g \times h$$

$$Ep = 50kg \times 9.8 \times 5$$

$$Ep = 2450 \text{ kg m/s}$$

$$Ec = \frac{1}{2} m \times v^2$$

$$Vo^2 = \frac{2Ec}{m}$$

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

$$V = \sqrt{\frac{2 \times 2450}{50kg}}$$

$$V = 9,8 \text{ m/s}^2$$

Tramo de tubería Forzada N°2.

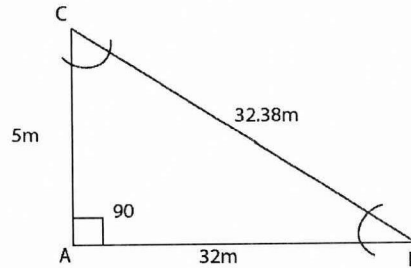
$a = 32.38m$

$Sen C = 81.114$

$\sphericalangle B = 8.88$

$Ep = 2450 kg m/s$

$V = 14 m/s^2$



Tramo de tubería Forzada N°3.

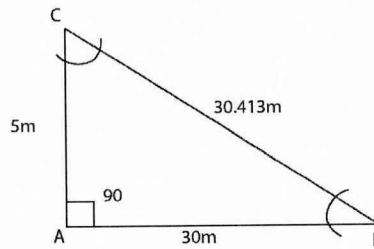
$a = 32.38m$

$Sen C = 81.114$

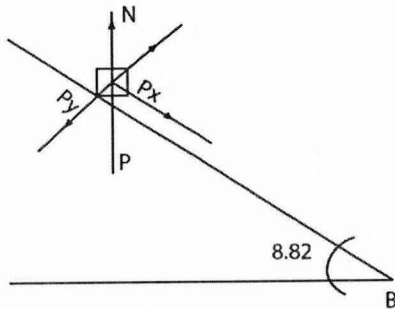
$\sphericalangle B = 8.88$

$Ep = 2450 kg m/s$

$V = 14 m/s^2$



Se desarrolla mediante caída libre.



$$\cos 87.43 = \frac{Px_1}{P}$$

$$Px_1 = P \times \cos 87.43$$

$$Px_1 = m \times g \times 0.1545$$

$$Px_1 = 0.0448 m \times g$$

$$\sum x = m \times a$$

$$Px_1 = m \times a$$

$$a = \frac{Px_1}{m} = \frac{m \times g \times 0.0448}{m}$$

$$a_1 = 9.8 \frac{m}{s^2} \times 0.0448$$

$$a_1 = 0.439 \frac{m}{s^2}$$

Se calcula la velocidad final:

$$Vf^2 = V_0^2 + 2 a x d$$

$$Vf^2 = 0 + 2 x 0.439 x 35.35$$

$$Vf^2 = \sqrt{31.03}$$

$$Vf = 5.57 \text{ m/s}$$

Según datos de figura N° 2.16 se obtiene:

$$\emptyset_1 = 6 \text{ pulg}, 0.152 \text{ m}$$

Para el tramo 2:

$$Px_2 = 0.1545 \text{ m x g}$$

$$a_1 = 1.5144 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$Vf_2^2 = (5.57)^2 + 2 x 1.5144 x 32.38.$$

$$Vf_2^2 = \sqrt{129}$$

$$Vf_2 = 11.36 \text{ m/s}$$

$$\emptyset_2 = 4 \text{ pulg}, 0.101 \text{ m}$$

Para el tramo 3:

$$Px_3 = 0.1667 \text{ m x g}$$

$$a_1 = 1.63 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$Vf_3^2 = 0 + 2 x 1.63 x 98.14$$

$$Vf_3^2 = \sqrt{320}$$

$$Vf_3 = 17.88 \text{ m/s}$$

$$\emptyset_3 = 3 \text{ pulg}, 0.076 \text{ m}$$

Desarrollando la selección de tubería mediante caída libre obtuvimos las 6" (152.4mm); 4" (110mm); hasta 3" (76.2mm) respectivamente, para lo cual tenemos la siguiente tabla de características.

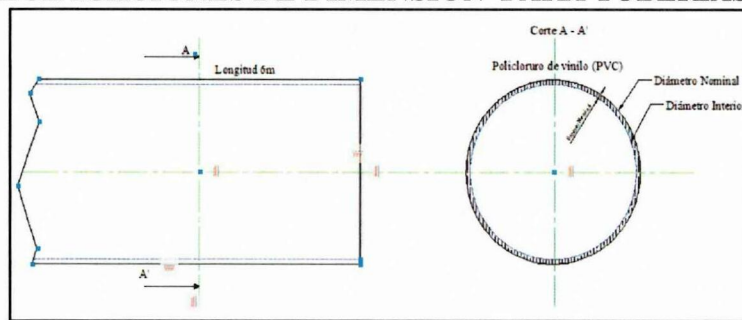
TABLA N° 3.11.
“ESPECIFICACIONES PARA TUBERIAS PVC Y ACERO COMERCIAL”

Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Interior (mm)	Espesor Nominal (mm)	Presión de Trabajo	
			MPa	PSI (lb/pulg ²)
87.9(3")	76,2	3,65	4,8	710
110(4")	104.6	2.7	0.63	91
160(6")	152.2	3.9	0.63	91

Fuente: Catálogo Plastigama para tuberías y accesorios en PVC.

Elaborado por: Los autores.

FIGURA N° 3.17.
“ESPECIFICACIONES DE DIMENSIÓN PARA TUBERIAS PVC”



Fuente: Los autores.

Elaborado por: Los autores.

3.12.1. Longitud de Tubería de Presión.

Como anteriormente se mencionaba que para obtener más presión a la salida de la tubería forzada esta deberá variar su diámetro al acercarse más a la tobera del inyector es decir tendrá que disminuir su diámetro a la

entrada de la turbina, por tal motivo captamos el caudal con la tubería de 6" (35.35m), intermedio a ella debemos instalar un tramo de 4" (32.38m) y por disposiciones de montaje y dadas las condiciones geográficas se instaló manguera de alta presión a 150 psi para finalmente empalmar a la tubería del inyector de acero Galvanizado de 4" respectivamente *ANEXO 03, Fig. 18,19.*

3.12.2. Cálculo de las pérdidas de fricción en tuberías.

Se establece la caída bruta y el valor del caudal de diseño de la tubería.

Caída bruta = 16.7 m
Caudal de Diseño (Q) = 0.05 m³/seg

Se selecciona un material, tomamos un diámetro d, consultando catálogos de los fabricantes.

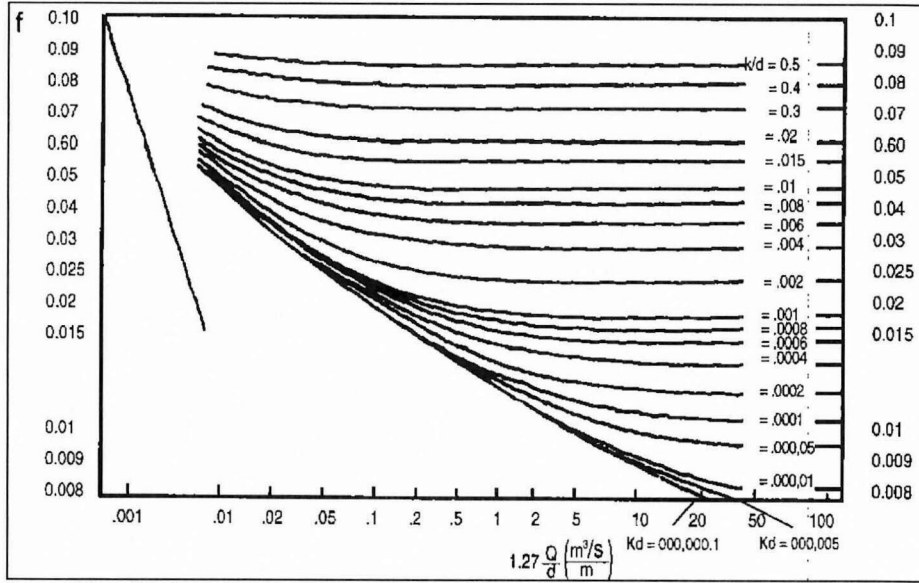
Material =Policloruro de vinilo (PVC).
=Acero Comercial

Diámetro Interno (d) =152.2mm (6")
=104.6mm (4")
=76,2mm (3")

Se mide y calcula la longitud de tubería, se elige un valor para la rugosidad utilizando el *Cuadro N° 3.1*, se calcula K/d para posteriormente calcular

1.27 Q/d, empleando unidades ISO, leemos el diagrama de Moody y el valor del factor de Fricción (f).

FIGURA N° 3.18.
“DIAGRAMA DE MOODY”



Fuente: Manual De Mini y Microcentrales Hidroeléctricas, Pág. 99
Elaborado por: Los autores

CUADRO N ° 3.1
“VALORES DE RUGOSIDAD ABSOLUTA (K)”

Material	Estado		
	Bueno	Normal	Malo
Tuberías lisas PVC		0.003	
Polietileno		0.003	
Resina de Poliester con fibra de vidrio		0.003	
Concreto	0.6	0.15	0.6
Acero Comercial			
– no pintadas	0.015	0.03	0.06
– pintadas	0.03	0.06	0.15
– galvanizadas	0.06	0.15	0.3
Hierro fundido			
– nuevas	0.015	0.3	0.6
– viejas:			
corrosión leve	0.6	1.5	3.0
corrosión moderada	1.5	3.0	6.0
corrosión severa	6	15	30

Fuente: Manual De Mini y Microcentrales Hidroeléctricas, Pág. 101
Elaborado por: Los autores.

TABLA N° 3.12.
“CÁLCULOS DE PÉRDIDAS DE FRICCIÓN EN TUBERÍAS”

Diámetro Interno de Tubería (m)	Longitud de Tubería (m)	Rugosidad Absoluta (K) (m)	Rugosidad Relativa (K/d)	$1.27 \frac{Q}{d} \left(\frac{m^3/s}{m} \right)$	Diagrama de Moody factor de Fricción (f)
0.1522 (6")	35.35	0.003	$\frac{0.003mm}{152.2mm}$ = 0.000019	= 0.417	0.012
0.1046 (4")	32.38	0.003	= 0.00028	= 0.607	0.013
0.076 (3")	30.4	0.03	$\frac{0.03mm}{76}$ = 0.00039	= 0.835	0.016

Fuente: Los Autores
 Elaborado por: Los autores.

Se calcula la pérdida de carga debida a la fricción de la pared en la tubería.

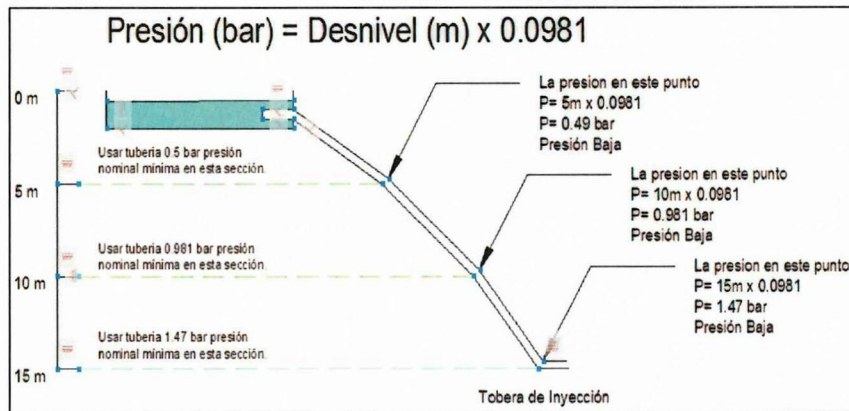
TABLA N° 3.13.
“PÉRDIDA DE CARGA POR FRICCIÓN EN LA TUBERÍA”

Diámetro Interno de Tubería (m)	$hf = 0.08 \frac{f x L x Q^2}{d^5}$
0.1522 (6")	$hf = 0.08 \frac{0.012 x 35.35m x 0.05 \frac{m^3}{s}}{(0.1522 m)^5}$ = 1.03 m
0.1046 (4")	= 6.73 m
0.076 (3")	= 38.9m

Fuente: Los Autores
 Elaborado por: Los autores.

Se calcula la velocidad y la presión de agua en cada tramo de la tubería (v).

FIGURA N° 3.19.
“COMPONENTES DE UNA TUBERÍA DE PRESIÓN”



Fuente: Los Autores.
 Elaborado por: Los autores.

Para obtener la presión adecuada determinamos la velocidad del agua en cada tramo del sistema a distintas altitudes para luego obtener la presión de descarga final del tramo del agua empleando la siguiente ecuación:

TABLA N° 3.14
“CÁLCULO DE VELOCIDAD Y PRESIÓN DE AGUA EN TUBERÍA FORZADA”

Diámetro Interno de Tubería (m)	Velocidad del Agua $V = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\pi D^2}$	Presión del agua $P \text{ (bares)} = \text{Desnivel (m)} \times 0.0981$
0.1522	$V = \frac{4(0.05)}{\pi 0.1522^2}$ $V = 2.777 \frac{m}{s}$	$P1 = 5m \times 0.0981$ $P1 = 0.49 \text{ bar (7.1 Psi)}$
0.1046	$V = \frac{4(0.05)}{\pi 0.1046^2}$ $V = 5.819 \frac{m}{s}$	$P2 = 10m \times 0.0981$ $P2 = 0.981 \text{ bar (14.2 Psi)}$
0.076	$V = \frac{4(0.05)}{\pi 0.076^2}$ $V = 11.11 \frac{m}{s}$	$P3 = 15m \times 0.0981$ $P3 = 1.471 \text{ bar (21.33509 Psi)}$

Fuente: Los Autores
 Elaborado por: Los autores.

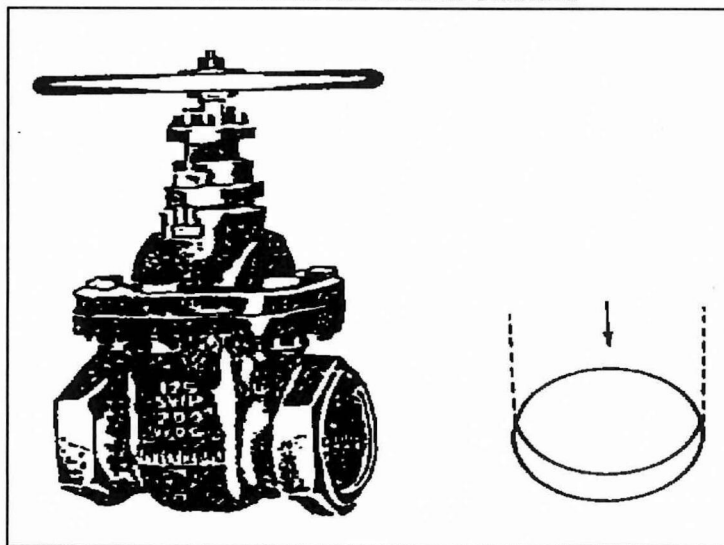
3.13. Válvulas para tuberías de Presión.

3.13.1. *Válvula de Compuerta*

Consiste su mecanismo en un disco metálico que sube o baja a voluntad y se encuentra ubicado en el cuerpo de la válvula, sometida a presiones altas o con válvulas de gran diámetro se precisa de una fuerza importante para operarlas y vencer las fuerzas de fricción en la válvula. Por tal motivo cuando se coloca una válvula de compuerta es necesario instalar una pequeña válvula Bypass para conectar el lado de alta presión con el de baja presión.

Si el lado de baja presión no está abierto a la atmósfera, habrá un aumento de presión que fortuitamente igualara a la presión a ambos lados de la válvula y así facilitando su apertura.

FIGURA N° 3.20.
“VÁLVULA DE COMPUERTA”



Fuente: Manual De Mini y Microcentrales Hidroeléctricas, Pág. 96
Elaborado por: Los autores.

El Perfil del álabe directriz para cada compartimiento del inyector puede producirse el uso del mismo material de rodete AISI 305, cuyas características químicas y mecánicas se muestran en la *Tabla N° 3.15, 3.16* sin descartar la opción de hacerlas de otros aceros inoxidables con otras características u otra composición metalúrgica.

TABLA N° 3.15.
“COMPOSICIÓN DE LAS ALEACIONES MÁS USADAS
CORRIENTEMENTE EN TURBINAS HIDRÁULICAS”

Material	C %	Mn %	Si %	Cr %	Ni %
Acero Al 13% Cr (Rotor, Discos)	0.10	0.5	0.4	12.5	0.9
Acero al 18% Cr, 8% Ni	0.07	0.5	1.0	18.0	9.0
Acero al 2% Ni	0.24	0.7	0.3	0.2	0.2
Acero al 15% Mn	0.24	1.6	0.3	0.2	0.4
Bronce al Aluminio	Al 10.0	Fe 8.0	Mn 5.0	Ni 2.0	Cu Diferencia

Fuente: Volumen I Manual De Diseño y Estandarización OLADE, Pág. 54
 Elaborado por: Los autores

TABLA N° 3.16.
“PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS ALEACIONES USADAS EN
TURBINAS HIDRÁULICAS”

Material	ESFUERZO DE FLUENCIAS Kg/mm ²	ESFUERZO DE TENSIÓN Kg/mm ²	MÍNIMA ELONGACIÓN L = 5 d %	MÍNIMA RESISTENCIA DE IMPACTO Kg/cm ²	DUREZA BRINELL Kg/mm ²	LÍMITE DE FATIGA Kg/mm ²
Acero Al 13% Cr (Rotor,	45	65-75	15	4	190-30	30
Acero al 18% Cr, 8% Ni	15	40-50	30	18	130-170	13
Acero al 2% Ni	35	55-65	18	6	155-195	22
Acero al 15% Mn	34	50-60	22	6	140-180	18
Bronce al Aluminio	30	60-70	7	1	190-230	15

Fuente: Volumen I Manual De Diseño y Estandarización OLADE, Pág. 54
 Elaborado por: Los autores

El diámetro del eje del álabe directriz es calculado basándose en el torque máximo requerido para la regulación, el cual se da por la fórmula:

$$T = 31 D e Q \sqrt{H} \text{ en Kg} - m \quad \text{Ec. 3.20}$$

$$T = 31 (0.3 m) \times 0.05 \frac{m^3}{seg} \sqrt{15} m$$

$$T = 1.800 \text{ Kg} - m$$

El Diámetro del eje se obtiene con la fórmula:

$$d_{i^3} = \frac{16 T}{\pi S d} \quad \text{Ec. 3.21}$$

Dónde:

Sd es el esfuerzo de diseño del material utilizado en el álabe directriz, considerando que este y el eje constituyen una sola pieza. Como es conocido el esfuerzo de diseño de un eje con un canal chavetero posee un valor igual a:

$$S d = 0.20 S y$$

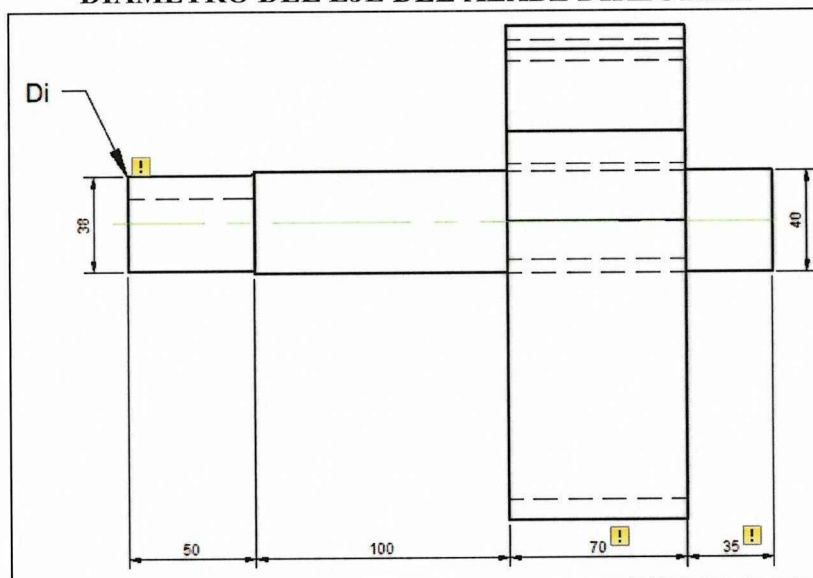
Siendo Sy, el esfuerzo de fluencia del material del eje. Resolviendo:

$$d_{i^3} = \frac{16 (1.800)}{\pi (0.20)}$$

$$d_i = \sqrt[3]{45.85}$$

$$d_i = 35.7 \text{ mm} \approx 38 \text{ mm}$$

FIGURA N° 3.22.
“DIÁMETRO DEL EJE DEL ALABE DIRECTRIZ”



Fuente: Personal
 Elaborado por: Los autores

Por limitación de espacio, el diámetro máximo permitido en el eje del álabe directriz varía de acuerdo al diámetro del rodete; para ello el manual de estandarización asume y sugiere algunos diámetros que se graficaran a continuación en la siguiente tabla, en nuestro caso es aconsejable seleccionar el eje de 38mm:

TABLA N° 3.17
“DIÁMETRO MÁXIMO PERMITIDO DEL EJE EN EL ALABE DIRECTRIZ”

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

Fuente: Volumen I Manual De Diseño y EstandarizaciónOLADE, Pág. 18
 Elaborado por: Los autores

Dónde:

M_{max} es el momento flector máximo que se presenta en el eje en kg-m y que se obtiene con la fórmula:

$$M_{max} = \sqrt{(M_x)^2 + (M_y)^2} \quad \text{Ec. 3.23}$$

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

$$M_{max} = \sqrt{(6.05)^2 + (0.88)^2}$$

$$M_{max} = 6.12 \text{ kg/m}$$

Siendo:

$$M_x = \frac{Fr \cdot a}{2} \quad \text{Ec. 3.24}$$

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

$$M_x = \frac{55 \times 0.2}{2}$$

$$M_x = 6.05 \text{ kg/m}$$

$$M_y = \frac{Pr \cdot a}{2} \quad \text{Ec. 3.25}$$

$$M_y = \frac{8 \times 0.2}{2}$$

$$M_y = 0.88 \text{ kg}$$

Pr es el peso del rodete en kg.

TABLA N° 3.18.
“DISEÑO DEL EJE PRINCIPAL”

Numero o UNS	Numero AISI	Procesamiento	Resistencia de Fluencia Kpsi	Resistencia a la Tensión kpsi	Elongación en 2 pulg %	Reducción en área %	Dureza Brizell H _B
G10400	1040	CD (Laminado en Frío)	71	85	12	35	170

Fuente: Diseño en ingeniería mecánica, Shingley, Tercera edición, Pág. 865
Elaborado por: Los autores

$$S_y = 71000 \frac{lbs}{pulg^2}$$

Acero AISI 305

$$Pr = 8Kg; 17.6lbs$$

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

$$Fr = \frac{1948 P_T}{N D e}$$

Ec. 3.26

$$Fr = \frac{1948 P_T}{N D e}$$

$$Fr = \frac{1948 (4.33kW)}{515 (0.300)}$$

$$Fr = 55kg$$

P_T es la potencia de la turbina en kW.

N es el número de revoluciones de giro de la turbina en RPM.

a es la distancia que existe en entre el punto medio del eje y el radio del eje en este caso 0.15m

De es el 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:

$$T = \frac{974 P_T}{N} \quad \text{Ec. 3.27}$$

$$T = \frac{974 P_T}{N}$$
$$T = \frac{974 (4.33kW)}{515}$$

$$T = 8.2 \text{ kg/m}$$

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

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

Sd es el esfuerzo de diseño, en kg/m^2 , del material utilizado para el eje, que se estima como un 20% del valor de esfuerzo de fluencia cuando se utiliza canal chavetero.

Para determinar el escalonamiento de los diámetros en el eje se debe considerar las dimensiones de los rodamientos, las de los rodetes estándares que se encuentran en el mercado y que en el interior del rodete, por razones de funcionamiento de la turbina Ossberger, el diámetro máximo está representado por la *Ec. 1.10*:

$$d = 0.328 De$$

$$d = 0.328 \times 0.300$$

$$d = 98.4\text{mm}$$

Definiendo el diámetro del eje se debe realizar un análisis considerando la velocidad crítica del eje, la cual debe superar a la velocidad de embalamiento, que para el caso de la turbina Ossberger tiene un valor igual a 1.8 veces la velocidad nominal de la turbina.

La primera velocidad crítica de la turbina, en RPM, para el diagrama de fuerzas está dada por:

$$N_{crit} = \frac{29.88}{Y^{\frac{1}{2}}} \quad \text{Ec. 3.28}$$

Reemplazando:

$$N_{crit} = \frac{29.88}{0.012^{\frac{1}{2}}}$$

$$N_{crit} = 1245 \text{ RPM}$$

Supera a la velocidad de embalamiento en 1.8 veces más. Dónde:

N_{crit} es expresada en RPM.

Y es la flecha resultante producida en el eje por la acción del peso y la fuerza del rodete, siendo y , para el diagrama de la figura igual a:

$$y = \frac{Wa^2}{6EI} (3100 - 4a) \text{ en metros.} \quad \text{Ec. 3.29}$$

Reemplazando:

$$y = \frac{(55.6)(0.15)^2}{6 \times \left(2.1 \times 10^{10} \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}\right) \times (0.0000045 \text{ m}^4)} (3100 - 4 \times 0.15)$$
$$y = \frac{2.2}{567000} (3099.2)$$
$$y = 0.012 \text{ m}$$

Siendo:

$$W = \sqrt{Pr^2 + Fr^2} \quad \text{Ec. 3.30}$$

Reemplazando:

$$W = \sqrt{8^2 + 55^2}$$
$$W = 55.578$$
$$E = 2.1 \times 10^{10} \text{ kg/m}^2$$

I es el momento de inercia de la sección del eje en m⁴

$$I = \frac{\pi d^4}{64} \quad \text{Ec. 3.31}$$

Reemplazando:

$$I = \frac{\pi(0.098\text{m})^4}{64}$$
$$I = 0.0000045 \text{ m}^4$$

3.14.3. Selección de Chaveta.

Para el diseño y selección de chaveta se requieren la selección del material, el cual cumpla con los requerimientos de resistencia, tomando en cuenta los datos estandarizados de selección de turbina, sus dimensiones son las siguientes:

TABLA N° 3.19.
“PROPIEDAD FÍSICA DEL ACERO DE CHAVETA”

PROPIEDAD FÍSICA DEL ACERO DE CHAVETA							
Numero UNS	Numero AISI	Procesamiento	Resistencia de Fluencia Kpsi	Resistencia a la Tensión kpsi	Elongación en 2 pulg %	Reducción en área %	Dureza Brizell HB
G10100	1010	HR (Laminado en caliente)	23	47	28	50	95

Fuente: Diseño en ingeniería mecánica, Shingley, Tercera edición, Pág. 865
 Elaborado por: Los autores

La ecuación de torsión se obtiene de la ecuación de la potencia de transmisión.

$$T = \frac{974 (4.33kW)}{515}$$

$$T = 712 \text{ lbs/pulg}$$

La fuerza F en la superficie del eje es:

$$F = \frac{T}{r} \tag{Ec. 3.32}$$

$$F = \frac{712 \text{ lbs/pulg}}{2.44 \text{ pulg}}$$

$$F = 291.8 \text{ lbs}$$

Por teoría de la energía de distorsión, la resistencia cortante es:

$$S_{sy} = 0.577 S_y = (0.577) \times (23) = 13.27 \text{ kpsi}$$

La longitud de la chaveta debe cubrir toda la sección del eje en este caso 70mm, 2.75 pulg, el factor de seguridad (n) para este caso lo hemos tomado como 2.8 para este material.

$$hl = \frac{2nF}{S_y} \quad \text{Ec. 3.33}$$

$$hl = \frac{2(2.8)(291.8\text{lbs})}{13.27 \times 10^3 \text{lbs/pulg}^2}$$

$$hl = 0.7 \text{ pulg}^2$$

Reemplazando l

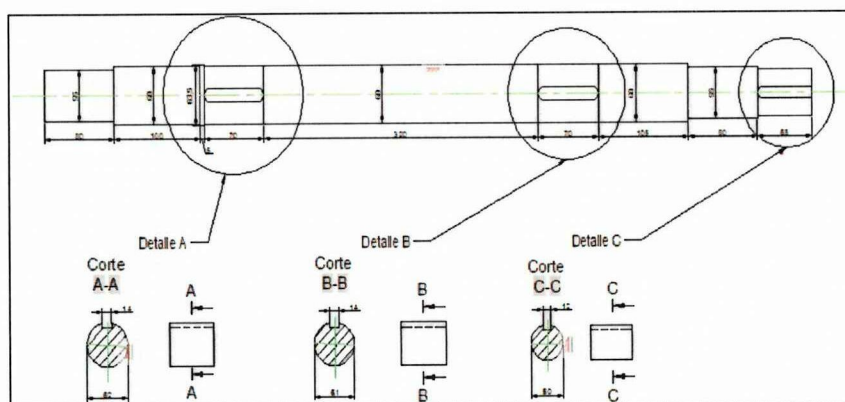
$$h = \frac{0.7 \text{ pulg}^2}{2.75 \text{ pulg}}$$

$$h = 0.25 \text{ pulg}$$

$$h = 6.35 \text{ mm}$$

Dimensionando las chavetas en el eje principal se tiene:

FIGURA N° 3.24.
“CHAVETAS EN EL EJE PRINCIPAL”



Fuente: Personal
Elaborado por: Los autores

TABLA N° 3.20.
“RESUMEN DE LONGITUDES PARA CHAVETAS”

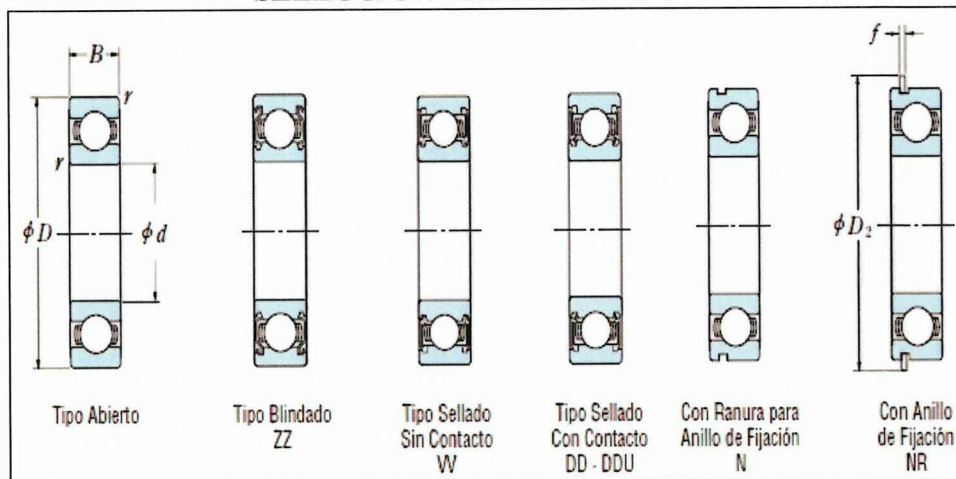
CHAVETAS EN EJE PRINCIPAL			
Secciones	Longitud de chaveta L(mm)	Altura H(mm)	Ancho A(mm)
Sección A	70	6.3	14
Sección B	70	6.3	14
Sección C	65	5.8	12

Fuente: Diseño en ingeniería mecánica, Shingley, Tercera edición
 Elaborado por: Los autores

3.14.4. Selección de Rodamientos

Seleccionamos el rodamiento tomando en cuenta las dimensiones del eje de transmisión, para el cual debemos tomar en cuenta el número de revoluciones, y seleccionar el rodamiento correcto mirando los datos en la tabla.

FIGURA N° 3.25.
“SELECCIÓN RODAMIENTOS”



Fuente: Personal
 Elaborado por: Los autores

Dado que el eje de la turbina girara a 515 Rpm/min se selecciona un rodamiento abierto 6812 ya que su velocidad límite es de 800rpm, lo cual cubre perfectamente la velocidad de rotación de eje de turbina.

TABLA N° 3.21.
“SELECCIÓN RODAMIENTO”

Dimensiones (mm)	Indíces de Carga Básica (N)				Factor		Velocidad Límite (rpm)			Números de Rodamiento						
	d	D	B	r min.	C _r	C _{0r}	C _r	C _{0r}	f _i	Grasa		Aceite	Abierto	Blindado	Sellado	
										Abierto Z - ZZ V - VV	DU DDU	Abierto Z				
50	65	7	0.3		6 400	6 200	655	635	17.2	9 500	5 300	11 000	6810	ZZ	VV	DDU
	72	12	0.6		14 500	11 700	1 480	1 200	16.1	9 000	5 300	11 000	6910	ZZ	VV	DDU
	80	10	0.6		15 400	12 400	1 570	1 260	16.1	8 500	—	10 000	16010	—	—	—
	80	16	1		21 600	16 600	2 220	1 700	15.6	8 500	4 800	10 000	6010	ZZ	VV	DDU
	90	20	1.1		35 000	23 200	3 600	2 370	14.4	7 100	4 800	8 500	6210	ZZ	VV	DDU
55	110	27	2		62 000	38 500	6 300	3 900	13.2	6 000	4 300	7 500	6310	ZZ	VV	DDU
	72	9	0.3		8 900	8 500	900	865	17.0	8 500	4 800	10 000	6811	ZZ	VV	DDU
	80	13	1		16 000	13 300	1 630	1 350	16.2	8 000	4 500	9 500	6911	ZZ	VV	DDU
	90	11	0.6		19 400	16 300	1 980	1 660	16.2	7 500	—	9 000	16011	—	—	—
	90	18	1.1		29 300	21 200	2 880	2 170	15.3	7 500	4 500	9 000	6011	ZZ	VV	DDU
60	100	21	1.5		43 600	29 300	4 450	2 980	14.3	6 300	4 300	7 500	6211	ZZ	VV	DDU
	120	29	2		71 500	44 500	7 300	4 550	13.1	5 600	4 000	6 700	6311	ZZ	VV	DDU
	78	10	0.3		11 500	10 900	1 170	1 120	16.9	8 000	4 500	9 500	6812	ZZ	VV	DD
60	85	13	1		19 400	16 300	1 980	1 660	16.2	7 500	4 300	9 000	6912	ZZ	VV	DDU
	95	11	0.6		20 000	17 500	2 040	1 780	16.3	7 100	—	8 500	16012	—	—	—
	95	18	1.1		29 500	23 200	3 000	2 370	15.6	7 100	4 000	8 500	6012	ZZ	VV	DDU
	110	22	1.5		52 500	36 000	5 350	3 700	14.3	5 600	3 800	7 100	6212	ZZ	VV	DDU
	130	31	2.1		82 000	52 000	8 350	5 300	13.1	5 300	3 600	6 300	6312	ZZ	VV	DDU

Fuente: DNS, Catálogo general de rodamientos, Pág. B12
Elaborado por: Los autores.

3.14.5. Cálculo de carga dinámica

$$P = V \times Fr$$

Ec. 3.34

Dónde:

V = Factor de rotación con que gira la pista.

$$P = 16.9 \times 55$$

$$P = 929.5 \text{ N}$$

3.15. Diseño de Carcasa

Los planos mostrados en el *ANEXO 02, Plano TO – 03, 04,07*, muestran las alternativas de diseño de detalle de la carcasa, para ello hay que tomar en cuenta los agujeros de las bridas se han diseñado de manera alargada, con el objeto de obtener un ajuste hermético en el ensamble con las demás piezas de la turbina.

3.16. Diseño de transmisión de Potencia Mecánica.

Se requiere de los siguientes datos para hacer el diseño:

<i>Potencia =</i>	3.5 kW
<i>Velocidad de la Turbina (rpm) =</i>	515rpm/min.
<i>Velocidad del generador eléctrico (rpm) =</i>	3600 rpm/min
<i>Horas de funcionamiento =</i>	8h/día
<i>Tipo de transmisión =</i>	Bandas trapezoidales o en V.

- Se selecciona el tipo de sección, determinando las condiciones de servicio ilustradas en la *Tabla 1.8 y 1.9* respectivamente.

Factor de servicio = 1.15; Potencia de diseño en CV (para guiarnos en la tabla)

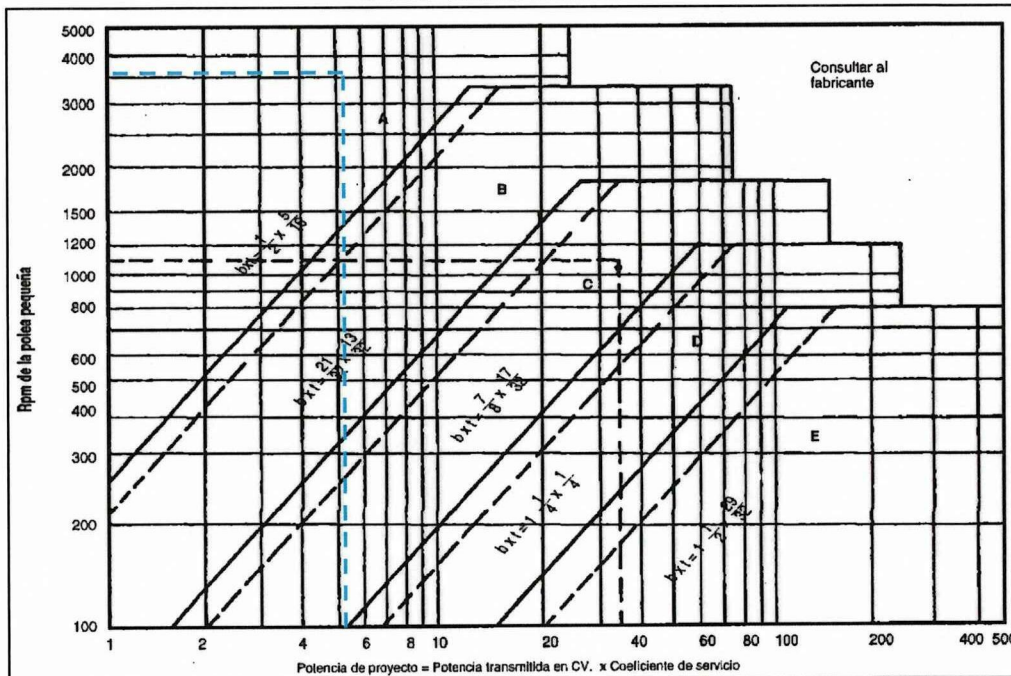
$$\text{Pot. diseño} = \text{Factor de servicio} \times \text{potencia.} \quad \text{Ec. 3.35}$$

$$Pot. \text{diseño} = 3.5 \times 1.15$$

$$Pot. \text{diseño} = 4.025 \text{ kW}, (5.50 \text{ CV})$$

Como la polea menor, (eje del generador eléctrico) gira a una velocidad de 3600 rpm, según la *Tabla 3.22* se encuentra en la sección A.

TABLA N° 3.22.
“NÚMERO DE SECCIONES DE CORREA SEGÚN LA POTENCIA Y LA VELOCIDAD”



Fuente: Manual De Mini y Microcentrales Hidroeléctricas, Pág. 172

Elaborado por: Los autores.

b. Seleccionar el diámetro de poleas.

Tomamos como referencia la *Ec. 1.13*:

$$i = \frac{3600}{515} = 6.99 \approx 7$$

En la *Tabla 3.23* se muestra que el diámetro mínimo recomendado es de 3" (7.62mm). Se considerará para el diseño un diámetro mínimo de 2". Seguidamente se calcula la polea mayor, o conductora:

$$D = d \times i \quad \text{Ec. 3.36}$$

$$D = 2" \times 7"$$

$$D = 14"$$

c. Longitud de la banda.

Para esto se define la distancia entre centros. Valores de referencia:

$$C = D = 14"$$

$$C = \frac{(D + 3d)}{2} \quad \text{Ec. 3.37}$$

$$C = \frac{(14 + 3(2))}{2}$$

$$C = 10"$$

Se considera

$$C = 14"$$

Luego se resuelve considerando la *Ec. 1.17*:

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

$$L = \frac{2 \times 14 + \pi(14 + 2)}{2} + \frac{(14 - 2)^2}{4 \times 14}$$

$$L = \frac{78.26}{2} + \frac{144}{56}$$

$$L = 41.70"$$

De la *Tabla 3.23* se obtiene que para bandas estandarizadas más cercanas y se selecciona:

A38 39.3" (99.8 cm).

A42 43.3" (109.9 cm).

A46 47.3" (120.1 cm).

Se considera el valor de **A42**.

Seguidamente, la distancia entre centro y centro corresponde a la aplicación de la *Ec. 3.37*:

$$C = 14 + \frac{(43.3" - 41.70")}{2}$$

$$C = 14.8 \approx 15"$$

d. Número de Bandas.

Para la selección de número de bandas se necesita conocer la velocidad tangencial.

$$V = \frac{\pi \times (2" \times 25.4) \times 3600}{1000} \text{ m/min}$$

$$V = 574.53 \text{ m/min}$$

Con las relaciones $D/d = 7$ se obtiene de la *tabla 3.24*;

$$V = 1.14$$

TABLA N° 3.23.
“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)		
		B180	181,8 (461,7)	C300	300,9 (764,2)		
		B195	196,8 (499,8)	C330	330,9 (840,4)		
		B210	211,8 (537,9)	C360	360,9 (916,6)		
		B240	240,3 (610,3)	C390	390,9 (992,8)		
		B270	270,3 (688,0)	C420,9	(1069,0)		
		B300	300,3 (762,7)				
Constantes para potencia nominal: a = 2,684 c = 5,326 e = 0,0136		Constantes para potencia nominal: a = 4,737 c = 13,962 e = 0,0234		Constantes para potencia nominal: a = 8,792 c = 38,819 e = 0,0416		Constantes para potencia nominal: a = 18,788 c = 137,7 e = 0,0848	

SECCIÓN A	SECCIÓN B	SECCIÓN C	SECCIÓN D
ALGUNOS DIÁMETROS DE POLEA NORMALIZADOS			
Varía en aumentos de 0,2 pulg (0,50 cm) desde 2,6 pulg (6,6 cm) hasta 5,2 pulg (13,20 cm); luego en aumentos de 0,4 pulg (1,01 cm) hasta 6,4 pulg (16,25 cm); luego los diámetros de 7; 8,2; 9; 10,6; 12; 15; 18 pulg (o sea, respectivamente, 17,78; 20,82; 22,86; 26,92; 30,48; 38,10; 54,72 cm).	Varía en aumentos de 0,2 pulg (0,50 cm) hasta 4,6 pulg (11,68 cm); luego los diámetros de 5; 5,2; 5,4; 5,6; 6; 6,4; 6,8; 7,4; 8,6; 9,4; 11; 12,4; 15,4; 18,4; 20; 25; 30; 38 pulg (o sea, respectivamente, 12,70; 13,20; 13,71; 14,22; 15,24; 16,25; 17,27; 18,79; 21,84; 23,87; 27,94; 31,50; 39,12; 46,74; 50,80; 63,50; 76,20; 96,52 cm).	Varía en aumentos de 0,5 pulg 1,27 cm) desde 7 pulg (17,78 cm) hasta 11 pulg (27,94 cm); luego en aumentos de 1 pulg (2,54 cm) hasta 14 pulg (35,56 cm); de 2 pulg (5,08 cm) hasta 20 pulg (50,80 cm); luego los diámetros de 24, 30, 36, 44, 50 pulg (o sea, respectivamente, 60, 96; 76,20; 91,44; 111,76; 127 cm).	Varía en aumentos de 0,5 pulg (1,27 cm) desde 13 pulg (33,02 cm) hasta 16 pulg (40,64 cm); luego los diámetros de 18, 22, 27, 33, 40, 48, 58 pulg (o sea, respectivamente, 45, 72; 55,88; 68,58; 83,82; 101,60; 121,92; 147,32 cm).

Fuente: Manual De Mini y Microcentrales Hidroeléctricas, Pág. 173
 Elaborado por: Los autores.

El valor D_{min} es el diámetro primitivo de la polea menor que debe usarse con esta sección. Si se emplea una polea más pequeña, lo probable es que la correa tenga poca duración. L está representada en pulgadas (y en centímetros).

TABLA N° 3.24.
“COEFICIENTES DE DIÁMETRO PEQUEÑO K_d ”

D_2/D_1	K_d
1,000–1,019	1,00
1,020–1,032	1,01
1,033–1,055	1,02
1,056–1,081	1,03
1,082–1,109	1,04
1,100–1,142	1,05
1,143–1,178	1,06
1,179–1,222	1,07
1,223–1,274	1,08
1,275–1,340	1,09
1,341–1,429	1,10
1,430–1,562	1,11
1,563–1,814	1,12
1,815–2,948	1,13
2,249 y más	1,14

Fuente: Manual De Mini y Microcentrales Hidroeléctricas, Pág. 174
 Elaborado por: Los autores.

Y en la *Tabla 3.23* las longitudes normalizadas de correas trapezoidales y sus constantes para potencia nominal son:

$$a = 2.684; c = 5.326; e = 0.0139.$$

Desarrollando a la *Ec. 1.18* por consiguiente se obtiene:

$$Pot. nom = \left[2.19 \times 2.684 \times \left(\frac{1000}{574.53} \right)^{0.09} - 6.2 \times \frac{5.326}{1.14 \times (4 \times 2.54)} \right. \\ \left. - 26.26 \times 0.0139 \times \frac{574.53^2}{10^6} \right] \times \frac{574.53}{1000} \left[\frac{kW}{Banda} \right]$$

$$Pot. nom = [5.877 \times 1.05 - 6.2 \times 0.459 - 120] \times 5.745 \left[\frac{kW}{Banda} \right]$$

$$Pot. nom = 1.84 \left[\frac{kW}{Banda} \right]$$

TABLA N° 3.25.
“COEFICIENTES DE ARCO DE CONTACTO K_{θ} ”

$D_2 - D_1$	K_{θ}	
	VV	V-plana
0,00	1,00	0,75
0,10	0,99	0,76
0,20	0,97	0,78
0,30	0,96	0,79
0,40	0,94	0,80
0,50	0,93	0,81
0,60	0,91	0,83
0,70	0,89	0,84
0,80	0,87	0,85
0,90	0,85	0,85
1,00	0,82	0,82
1,10	0,80	0,80
1,20	0,77	0,77
1,30	0,73	0,73
1,40	0,70	0,70
1,50	0,65	0,65

Fuente: Manual De Mini y Microcentrales Hidroeléctricas, Pág. 174
 Elaborado por: Los autores.

De la *Tabla 3.25* para coeficientes de arco de contacto.

$$\frac{(D - d)}{C} = 0.8$$

$$K_{\theta} = 0.87$$

TABLA N° 3.26.
“FACTORES DE CORRECCIÓN DE LONGITUD K_L ”

Designación de la longitud normalizada		Sección transversal de la correa				
cm	pulg	A	B	C	D	E
66,0	26	0,81	---	---	---	---
78,7	31	0,84	---	---	---	---
88,9	35	0,87	0,81	---	---	---
96,5	38	0,88	0,83	---	---	---
106,6	42	0,90	0,85	---	---	---
116,8	46	0,92	0,87	---	---	---
129,5	51	0,94	0,89	0,80	---	---
139,7	55	0,96	0,90	---	---	---
152,4	60	0,98	0,92	0,82	---	---
172,7	68	1,00	0,95	0,85	---	---
190,5	75	1,02	0,97	0,87	---	---
203,2	80	1,04	---	---	---	---
205,7	81	---	0,98	0,89	---	---
215,9	85	1,05	0,99	0,90	---	---
228,6	90	1,06	1,00	0,91	---	---
243,8	96	1,08	---	0,92	---	---
246,3	97	---	1,02	---	---	---
266,7	105	1,10	1,04	0,94	---	---
284,5	112	1,11	1,05	0,95	---	---
304,8	120	1,13	1,07	0,97	0,86	---
325,1	128	1,14	1,08	0,98	0,87	---
365,8	144	---	1,11	1,00	0,90	---
401,3	158	---	1,13	1,02	0,92	---
439,4	173	---	1,15	1,04	---	---
457,2	180	---	1,16	1,05	0,94	0,91
495,3	195	---	1,18	1,07	0,96	0,92
533,4	210	---	1,19	1,08	0,96	0,94
609,6	240	---	1,22	1,11	1,00	0,96
685,8	270	---	1,25	1,14	1,03	0,99
762,0	300	---	1,27	1,16	1,05	1,01
838,2	330	---	---	1,19	1,07	1,03
914,4	360	---	---	1,21	1,09	1,05
990,6	390	---	---	1,23	1,11	1,07
1086,8	420	---	---	1,24	1,12	1,09
1219,2	480	---	---	---	1,16	1,12
1371,6	540	---	---	---	1,18	1,14
1524,0	600	---	---	---	1,20	1,17
1676,4	660	---	---	---	1,23	1,19

Fuente: Manual De Mini y Microcentrales Hidroeléctricas, Pág. 175

Elaborado por: Los autores.

De la *Tabla 3.26* de corrección de longitud K_L para A42 seleccionado anteriormente se obtiene que $K_L = 0.90$. Se resuelve tomado a consideración la *Ec. 1.19*:

$$Pot. nom. ajustada = 1.84 \times 0.83 \times 0.92$$

$$Pot. nom. ajustada = 1.405 \frac{kW}{Banda}$$

En donde el número de bandas es obtenido en base a la *Ec. 1.20*:

$$\text{Número de Bandas} = \frac{3.5 \times 1.25}{1.440} = 2.43$$

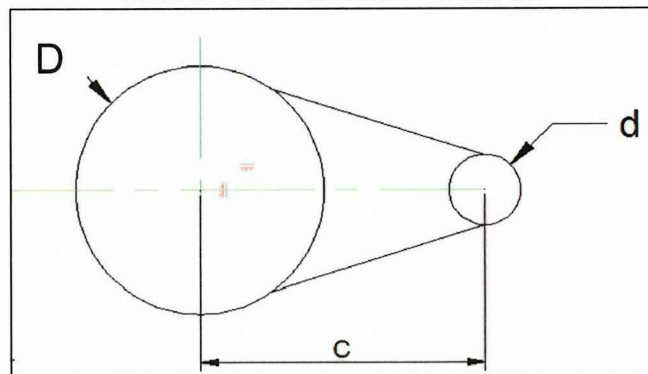
Número de Bandas = 3

TABLA N° 3.27.
“RESUMEN DE RESULTADOS”

POLEAS Y BANDAS EN V				
Combinación	D (pulg)	d (pulg)	C (pulg)	N Bandas
1	14	2	15	3

Fuente: Personal
Elaborado por: Los autores.

FIGURA N° 3.26.
“RESUMEN DE RESULTADOS”

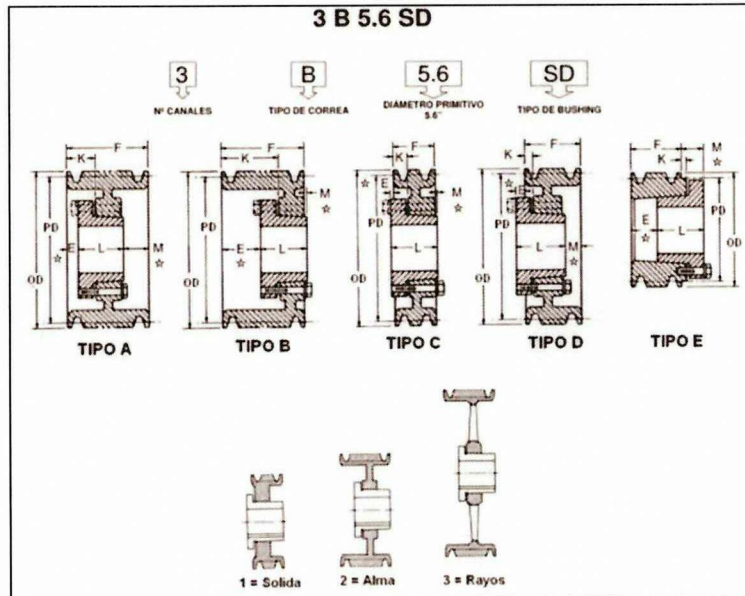


Fuente: Personal
Elaborado por: Los autores.

Dado que el cálculo principal no garantiza el óptimo funcionamiento requerido, se ha diseñado un sistema de transmisión a doble etapa la cual nos garantiza la velocidad rotacional, en mención a esto se ha dotado de otros datos calculados encontrados en el *ANEXO 02 POLEAS EN DOBLE ETAPA*, así mismo se muestran las dimensiones y la manera de ensamblaje de bandas y poleas en el *ANEXO 02, TO – 10 – 02*.

Escogiendo nomenclaturas normalizadas que existen en el mercado se obtiene poleas con código A, B, C, D, E.

FIGURA N° 3.27.
“NOMECLATURA DE POLEAS”



Fuente: Personal
Elaborado por: Los autores.

TABLA N° 2.28.
“CANALES”

3 Canales										
F = 2 1/2										
N° de Parte	Diametro Primitivo Correa A Inch	Correa B Inch	OD Inch	Tipo	Bush	E Inch	K Inch	L Inch	M Inch	Peso (kg)
3 B 3.4 SH	3.0	3.4	3.75	E-1	SH	1 3/4	0	1 5/16	9/16	1.55
3 B 3.6 SH	3.2	3.6	3.95	D-1	SH	3/8	3/16	1 5/16	1 9/16	1.73
3 B 4.0 SH	3.6	4.0	4.35	A-1	SH	1/2	1 1/16	1 5/16	11/16	2.05
3 B 4.2 SH	3.8	4.2	4.55	A-1	SH	1/2	1 1/16	1 5/16	11/16	2.27
3 B 4.4 SH	4.0	4.4	4.75	A-1	SH	1/2	1 1/16	1 5/16	11/16	2.50
3 B 4.6 SD	4.2	4.6	4.95	A-1	SD	7/16	1 1/16	1 13/16	1/4	2.73
3 B 4.8 SD	4.4	4.8	5.15	A-1	SD	7/16	1 1/16	1 13/16	1/4	2.95
3 B 5.0 SD	4.6	5.0	5.35	A-1	SD	7/16	1 1/16	1 13/16	1/4	3.18
3 B 5.2 SD	4.8	5.2	5.55	A-1	SD	7/16	1 1/16	1 13/16	1/4	3.64
3 B 5.4 SD	5.0	5.4	5.75	A-1	SD	7/16	1 1/16	1 13/16	1/4	3.86
3 B 5.6 SD	5.2	5.6	5.95	A-1	SD	7/16	1 1/16	1 13/16	1/4	4.09
3 B 5.8 SD	5.4	5.8	6.15	A-1	SD	7/16	1 1/16	1 13/16	1/4	4.55
3 B 6.0 SD	5.6	6.0	6.35	A-1	SD	7/16	1 1/16	1 13/16	1/4	5.00
3 B 6.2 SD	5.8	6.2	6.55	A-1	SD	7/16	1 1/16	1 13/16	1/4	5.45
3 B 6.4 SD	6.0	6.4	6.75	A-1	SD	7/16	1 1/16	1 13/16	1/4	5.59
3 B 6.6 SD	6.2	6.6	6.95	A-1	SD	7/16	1 1/16	1 13/16	1/4	5.73
3 B 6.8 SD	6.4	6.8	7.15	A-1	SD	7/16	1 1/16	1 13/16	1/4	5.91
3 B 7.0 SK	6.6	7.0	7.35	A-1	SK	0	11/16	1 15/16	9/16	6.36
3 B 7.4 SK	7.0	7.4	7.75	A-1	SK	0	11/16	1 15/16	9/16	6.82
3 B 8.0 SK	7.6	8.0	8.35	A-1	SK	0	11/16	1 15/16	9/16	7.27
3 B 8.6 SK	8.2	8.6	8.95	A-3	SK	0	11/16	1 15/16	9/16	7.73
3 B 9.4 SK	9.0	9.4	9.75	A-3	SK	0	11/16	1 15/16	9/16	8.18
3 B 11.0 SK	10.6	11.0	11.35	A-3	SK	0	11/16	1 15/16	9/16	8.64
3 B 12.4 SK	12.0	12.4	12.75	A-3	SK	0	11/16	1 15/16	9/16	10.45
3 B 13.8 SK	13.6	14.0	14.35	A-3	SK	0	11/16	1 15/16	9/16	11.05
3 B 15.4 SK	15.0	15.4	15.75	A-3	SK	0	11/16	1 15/16	9/16	12.73
3 B 16.0 SK	15.6	16.0	16.35	A-3	SK	0	11/16	1 15/16	9/16	13.18
3 B 18.0 SK	17.6	18.0	18.35	A-3	SK	0	11/16	1 15/16	9/16	16.52
3 B 20.0 SF	19.6	20.0	20.35	D-3	SF	1/16	5/8	2 1/16	1/2	17.75
3 B 23.0 SF	24.6	25.0	25.35	D-3	SF	1/16	5/8	2 1/16	1/2	30.45
3 B 30.0 SF	29.6	30.0	30.35	D-3	SF	1/16	5/8	2 1/16	1/2	33.64
3 B 38.0 E	37.6	38.0	38.35	D-3	E	1/4	5/8	2 5/8	1/8	55.45

Fuente: DUCASSE, Catalogo general de poleas en V, Pág. 17
Elaborado por: Los autores.

Para la polea de 14”

Se selecciona: **3 B 16.0 SK**

3 B 15.4 SK

Para la polea de 2”

Se selecciona: **3 B 3.4 SH**

3 B 3.6 SH

Selección de Bushing Tomando en cuenta que el eje de turbina tiene un diámetro de 60mm.

TABLA N° 3.29.
“SELECCIÓN DE BUSHING”

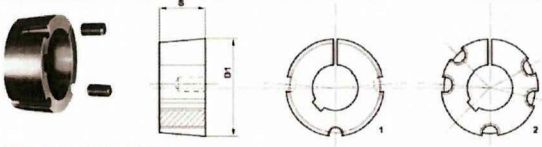
øD mm	b mm	h mm		1008	1108	1210	1215	1310	1610	1615	2012	2517	2525	3020	3030	3525	3535	4040	4545	5050	
		•	α																		
9	3	1,4																			
10	3	1,4		*	*			*													
11	4	1,8		*	*	*	*	*	*	*	*										
12	4	1,8		*	*	*	*	*	*	*	*										
14	5	2,3		*	*	*	*	*	*	*	*	*									
16	5	2,3		*	*	*	*	*	*	*	*	*									
18	6	2,8		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*								
19	6	2,8		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*								
20	6	2,8		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*								
22	6	2,8		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*								
24	8	3,3	1,3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*							
25	8	3,3	1,3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*						
28	8	3,3	1,3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*					
30	8	3,3		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*					
32	10	3,3		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*				
35	10	3,3		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
38	10	3,3		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
40	12	3,3	1,3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
42	12	3,3	1,3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
45	14	3,8		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
48	14	3,8		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
50	14	3,8	2,8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
55	16	4,3		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
60	18	4,4		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
65	18	4,4		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
70	20	4,9		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
75	20	4,9		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
80	22	5,4		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
85	22	5,4		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
90	25	5,4	3,4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
95	25	5,4		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
100	28	6,4	5,4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
105	28	6,4		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
110	28	6,4		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
115	32	7,4		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
120	32	7,4		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
125	32	7,4		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Fuente: DUCASSE, Catalogo general de poleas en V, Pág. 17

Elaborado por: Los autores.

Se toma el de numeral 2517.

TABLA N° 3.30.
“CATÁLOGO DE POLEAS”



Perforaciones para ejes métricos.

Tipo	Perf. Desde Hasta.(mm)	Torque Nm	Tornillo	D1 mm	Tipo	S mm	Peso Kg
1008	9-25	136	1/4" x 1/2"	35.0	1	22.3	0.16
1108	9-25;28*	147	1/4" x 1/2"	39.0	1	22.3	0.16
1210	11-32	407	3/8" x 5/8"	47.5	1	25.4	0.32
1215	14-28	407	3/8" x 5/8"	47.5	1	38.1	0.50
1610	14-38; 40*42*	486	3/8" x 5/8"	57.0	1	25.4	0.41
1615	14-38; 40*42*	486	3/8" x 5/8"	57.0	1	38.1	0.60
2010	14-40; 42*	600	3/4" x 3/4"	76.0	1	64.0	2.35
2517	16-60	1310	1/2" x 1"	85.5	1	44.5	1.06
3020	25-75	2710	5/8" x 1.1/4"	108.0	1	50.8	2.50
3030	35-75	2710	5/8" x 1.1/2"	108.0	1	76.2	3.75
3525	35-80	5060	1/2" x 1.1/2"	127.0	2	64.9	4.20
3535	35-85; 90*	5060	1/2" x 1.1/2"	127.0	2	88.9	5.13
4030	40-90; 100*	8740	5/8" x 1.1/2"	146.0	2	76.2	6.75
4040	40-90; 100*	8740	5/8" x 1.3/4	146.0	2	101.6	7.68
4545	55-90; 100*	12400	3/4" x 2"	162.0	2	115.0	10.56
5050	70-125	12400	7/8" x 2.1/4"	177.6	2	127.0	15.17

Fuente: DUCASSE, Catalogo general de poleas en V, Pág. 22
Elaborado por: Los autores.

3.17. Sistema eléctrico.

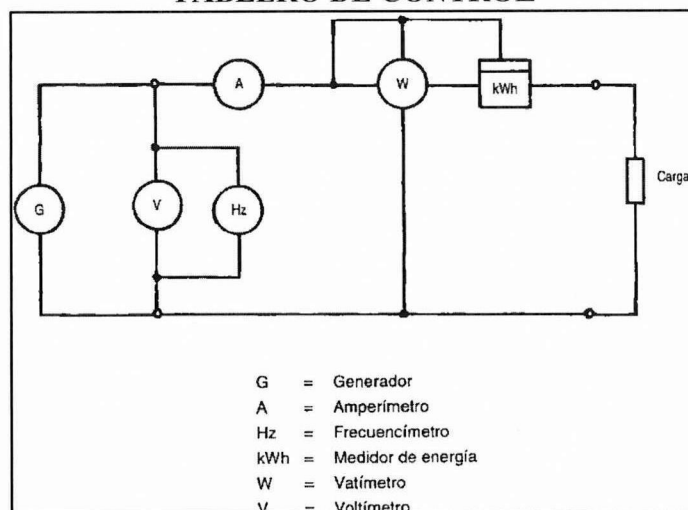
El Autor MUJAL ROSAS Ramón, (2010) señala que el sistema eléctrico es “Es una serie de elementos o componentes eléctricos o electrónicos, tales como resistencias, inductancias, condensadores, fuentes, y/o dispositivos electrónicos semiconductores, conectados eléctricamente entre sí con el propósito de generar, transportar o modificar señales electrónicas o eléctricas.” (p. 13)

3.17.1. Tablero para el control.

Los tableros eléctricos o de control se localizan los dispositivos de seguridad y los mecanismos para maniobra dichas instalaciones; En términos frecuentes, los tableros eléctricos son gabinetes en los que se centralizan los dispositivos de conexión, control, maniobra, protección,

medida, señalización y distribución, todos estos dispositivos permiten que una instalación eléctrica funcione apropiadamente.

FIGURA N° 3.28.
“TABLERO DE CONTROL”



Fuente: Manual De Mini y Microcentrales Hidroeléctricas, Pág. 216
Elaborado por: Los autores.

En nuestro sistema se utilizarán un voltímetro de escala 500V y un amperímetro de escala 80A ya que estos dos componentes van a satisfacer con los requerimientos de implementación; así también están montados dos indicadores (luz piloto) para observar si el sistema está energizado o apagado respectivamente.

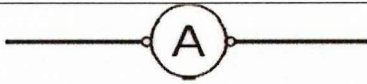
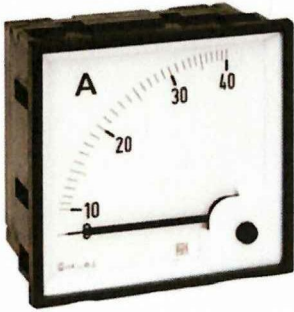
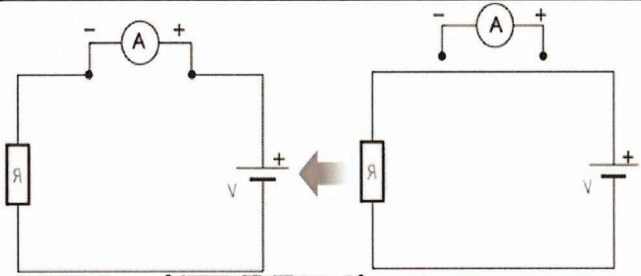
3.17.2. Instrumentos de medición

Como el Manual De Mini y Microcentrales Hidroeléctricas en su Guía de Desarrollo de Proyectos, (1995) señala que “Cuando se emplea la energía eléctrica, es necesario controlarla y conocer exactamente los valores de la tensión, corriente y potencia capaces de ser producidos por los generadores y absorbidos por los circuitos de operación.” (p. 216)

a. Amperímetro

Un amperímetro es un instrumento que se utiliza para medir la intensidad de corriente que está circulando por un circuito eléctrico y su resistencia interna prácticamente nula (del orden de 0,01 a 0,1 Ω).

CUADRO N° 3.2
“AMPERÍMETRO, SIMBOLOGÍA, FORMA FÍSICA Y CONEXIÓN”

SÍMBOLO	
FORMA FÍSICA	
CONEXIÓN	

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/ime/amperímetros-ac-analógicos-14561-56640.html>



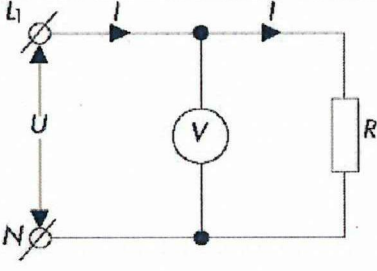
Elaborado por: Los autores.

Se lo conecta en serie y nunca en paralelo porque se podría producir un cortocircuito, dentro del circuito este debe estar en serie con el receptor al que queremos medir la intensidad que consume como se aprecia en la Figura, en un circuito de corriente continua, y en un circuito para corriente alterna.

b. Voltímetro

Es el instrumento que mide el valor de la tensión. Su unidad básica de medición es el Voltio (V) con sus múltiplos: el Megavoltio (MV) y el Kilovoltio (KV) y sub.-múltiplos como el milivoltio (mV) y el micro voltio. Existen Voltímetros que miden tensiones continuas llamados voltímetros de bobina móvil y de tensiones alternas, los electromagnéticos.

**CUADRO N° 3.3
“VOLTÍMETRO, SIMBOLOGÍA, FORMA FÍSICA Y CONEXIÓN”**

SÍMBOLO	
FORMA FÍSICA	
CONEXIÓN	

Fuente: <http://www.portalelectrozona.com/menuzonaelectricidad/2-categoriaelectricidadindustrial/95-articuloaparatosmedida.html>
Elaborado por: Los autores

El voltímetro mide la tensión eficaz.

$$V_{ef} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}}$$

Ec. 3.38

La tensión eficaz es aquella que en las mismas condiciones produce los mismos efectos caloríficos en una resistencia eléctrica que una tensión continua del mismo valor.

Este aparato está formado internamente por una bobina de muchas espiras y muy poca sección, por lo que presenta una gran resistencia interna, necesaria para poder conectarlo en paralelo a los puntos donde se pretende realizar la medida como se ve en la Figura, medida de tensión en corriente continua, y, medida de tensión en corriente alterna.

c. Vatímetro


El vatímetro es un instrumento capaz de medir la potencia promedio consumida en un circuito.

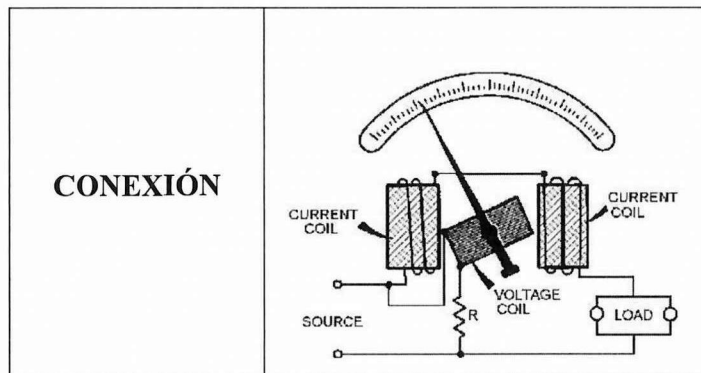
Según la definición de potencia, un vatímetro debe ser un instrumento que realice el producto de dos señales eléctricas, ya que:

$$P = V \times I$$

Ec. 3.39

**CUADRO N° 3.4
“VATÍMETRO, SIMBOLOGÍA, FORMA FÍSICA Y CONEXIÓN”**

SÍMBOLO	(W)
FORMA FÍSICA	



Fuente: http://electriciantraining.tpub.com/14188/img/14188_101_1.jpg

Elaborado por: Los autores.

Está formada por dos bobinas, una volumétrica y otra amperimétrica.

3.17.3. Instrumentos de protección

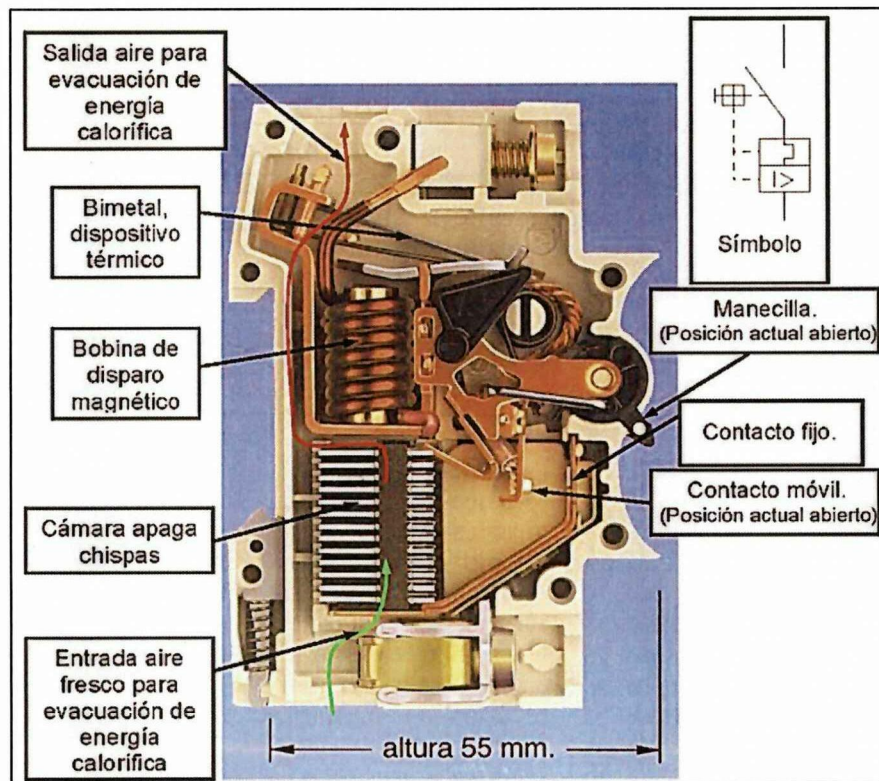
Son dispositivos encomendados de desenergizar un sistema, circuito o artefacto, cuando en ellos se perturban las condiciones normales de funcionamiento. Como su nombre lo indica, estos aparatos salvaguardan las instalaciones para evitar daños mayores que redunden en pérdidas económicas.

a. Interruptor termomagnético

Es un dispositivo de protección equipado de un comando manual y cuya función consiste en desconectar automáticamente una instalación o un circuito, mediante la acción de un elemento bimetalico y un elemento electromagnético, cuando la corriente que circula por él excede un valor preestablecido en un tiempo dado.

FIGURA N° 3.29.

“PARTES DE UN INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO”



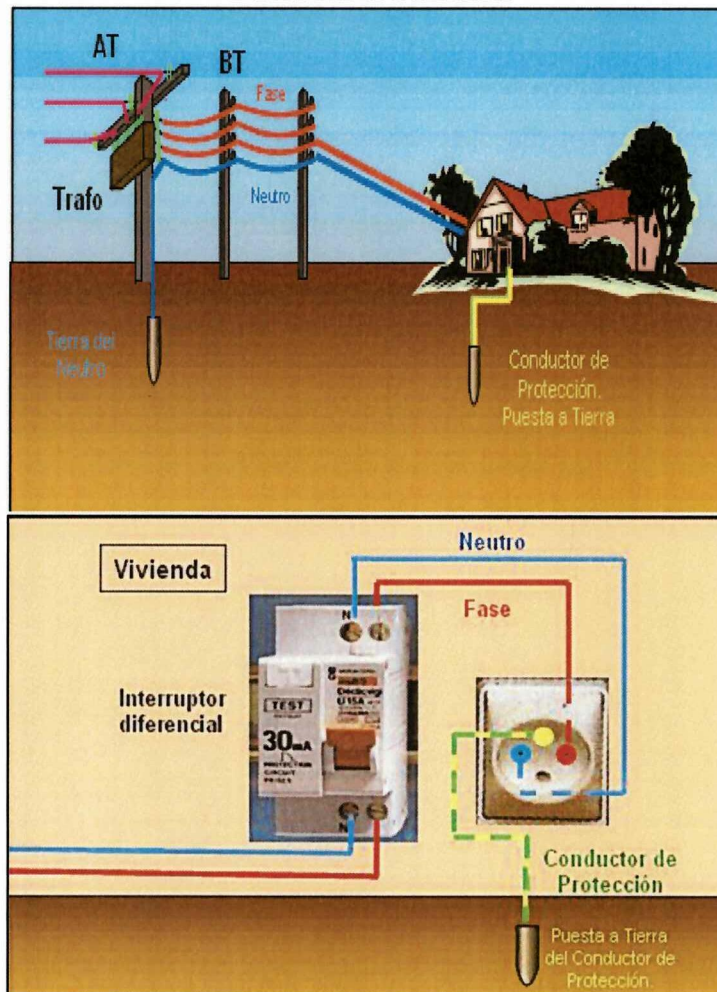
Fuente: <http://elect24.blogspot.com/2010/05/interruptor-termomagnetico.html>
Elaborado por: Los autores.

b. Puesta a tierra

Se entiende por toma de tierra la parte de la instalación encargada de canalizar, absorber y disipar las corrientes de defecto o de origen atmosférico que son conducidas a través de las líneas principales de tierra.

Una eficiente conexión a tierra tiene mucha importancia por ser responsable de la protección de la vida humana, maquinarias, aparatos y líneas de gran valor. Entre algunos de los aspectos que se deben tomar al hacer una toma a tierra es dimensionarlo de acuerdo a las condiciones en que se encuentren con respecto a la humedad y a las condiciones que presta el terreno como la resistividad.

FIGURA N° 3.30.
“PUESTA A TIERRA”



Fuente: <http://www.tuveras.com/seguridad/tierra/tierra.htm>
Elaborado por: Los autores.

c. Finalidad de la puesta a tierra

- Salvaguardar la seguridad de las personas.
- Facilitar la actuación de las protecciones eléctricas.
- Proteger las instalaciones, equipos y bienes en general, al facilitar y garantizar la correcta operación de los dispositivos de protección.

3.18. Instalación.

La implementación se la hace partiendo desde una de las partes más importantes, que es el grupo generador que lo conforman, una turbina Ossberger que acciona el sistema de transmisión mecánica al generador de corriente alterna, seguido de la red y el cuadro de control para posteriormente interconectar a la residencia beneficiada; por otro lado se encuentra la obra civil que depende de la caída, canal, cámara de carga, desarenador y tubería de presión. A continuación se detallara las recomendaciones de fabricación para su óptimo ensamblaje e instalación de cada uno de los elementos que conforman la PCH.

3.18.1. Recomendaciones de Construcción

a. Inyector

Uno de los elementos que fundamentan la instalación es el inyector que deberá ser a base de planchas curvadas, soldadas y mecanizadas para obtener el acabado solicitado, así mismo se deberá tomar en cuenta elementos que intervienen en el montaje tales como pernos, arandelas, empaquetaduras, etc. Los cuales en conjunto serán unidas a la tubería de presión por medio de Bridas.

b. Rodete

Se debe tomar en cuenta que esta pieza va a estar en contacto directo con el agua lo cual en su fabricación se recomienda usar elementos de acero inoxidable, a su vez los soportes del rodete deberán ser maquinados con el

fin de garantizar el centrado entre ejes para evitar ruidos, vibraciones y desgaste en el eje de soporte del rodete.

c. Eje principal

Se lo deberá fabricar de acuerdo a las especificaciones de cálculo para obtener una buena resistencia a los esfuerzos de flexión, deberá contener las debidas especificaciones de tolerancias y el diámetro de cada escalonamiento. En el área de montaje del rodete en el eje se recomienda considerar una tolerancia que permita un ajuste a presión en el montaje, a fin de evitar descentramientos.

d. Carcasa

Se la deberá hacer con materiales o recubrimientos que simplifiquen la corrosión, tomando en cuenta los detalles de soldadura, así mismo se deberán presentar los detalles de las uniones y perforaciones con sus respectivas tolerancias para el montaje final, por lo que concierne contar con un listado de materiales complementarios en el plano.

3.18.2. Instalación del grupo Generador

Para la instalación se debe verificar que las dimensiones y los materiales usados en la turbina y que sus componentes correspondan a los diseñados y planeados, así mismo revisando sus respectivas tolerancias y acabados; revestimientos anticorrosivos; en la instalación se debe tener las siguientes consideraciones:

a. Cuidados en el transporte

Evitando los golpes en el grupo de generación, ya que algún golpe deterioraría los componentes de la estructura del generador y de los elementos mecánicos.

b. Recepción del grupo de generación

Observar si los elementos están en perfectas condiciones son fisuras o deterioros, además verificar la presencia de polvos o humedad.

c. Montaje mecánico

Al momento de montar el sistema de transmisión de potencia debemos alinear poleas y bandas de la forma más precisa posible usando niveles y otras herramientas que ayudaran a centrar los mecanismos de la mejor forma, así también la máquina cuenta con un mecanismo de regulación denominados templadores que se localizan en la base del grupo de Generación, además para montar el sistema se deberá tomar en cuenta el estado de lubricación en rodamientos, y chumaceras sin que haya limallas o fisuras que deterioren los ejes.

d. Cimentación

Se debe tomar en consideración que la base para cimentar el equipo debe hacerse de hormigón reforzado que compacte proporcionalmente la base del pico generador, deberá ser abierto un canal en la parte inferior para el escape del agua después de haber cumplido sus etapas de trabajo.

Su cimentación se hará empernando la máquina a la mezcla de concreto Para evitar desplazamientos producidos por la presión del agua en el inyector.

e. Protección a tierra

Se lo conecta a la estructura metálica del generador llamada también como (masa) por lo general esta se encuentra en el soporte o en las patas del generador; el cable debe ser mínimo de 4AWG de hilos entrelazados, conectados a una varilla copperweld que en el mercado se las encuentra con una longitud de 3 metros y un diámetro de 16mm, esta se la deberá colocar tomando en cuenta la permeabilidad del suelo.

3.18.3. Instalación de red eléctrica.

Se lo efectúo tomando en cuenta los sistemas de protección antes mencionados tales como un interruptor termomagnético, un voltímetro un amperímetro, todos ellos montados en una caja térmica al interior de la vivienda para la interconexión del cableado eléctrico aislándolo a este a tierra previamente.

Así mismo la línea de distribución y tomando como referencia los parámetros del generador, 110V a 25 A y 220V a 12.5 para lo que es recomendable utilizar un cable AWG 10 para 110V y para 220 un número 14 pero para sobredimensionarlo utilizaremos el numero 12 ya que el trayecto de conexión es demasiado largo, se lo hará con un alambre gemelo aéreo para evitar cualquier contacto con vehículos de labranza propios del lugar.

3.18.4. Pruebas y Resultados Hipotéticos.

**TABLA No. 3.31
“PRUEBAS Y RESULTADOS”**

PARÁMETRO	ANÁLISIS	RESULTADO
Verificación de deslizamiento.	Dando giros con la mano se deberá detectar que el montaje entre el eje del Generador y de la turbina con las chumaceras no dispongan de ningún atascamiento forzando al sistema al Girar.	Mediante esta prueba el eje giro libremente sobre la chumacera de pared, descartando posibles atascamientos, que afecten la dinámica del eje que girara a 515 Rpm, aproximadamente.
Revisar Sistema Eléctrico	Verificar que las escobillas (carbones) estén alineadas y su longitud sea la correcta para que puedan girar libremente.	Los carbones en excelente estado cambiados, alineados, capacidad de Generación 3.5kW.
Sentido de Giro	Se debe verificar que el sentido de Giro del Generador sea de acuerdo a las especificaciones del fabricante.	El sentido ha sido colocado de forma horario como especifica el Generador.
Protección	Dentro de los sistemas de protección se debe controlar que los fusibles estén en perfecto estado y en etapa de conducción no en circuito abierto.	Los fusible de 10 A en excelente estado comprobados conductividad con el multímetro digital.
Turbina	Comprobar el acabado de los alabes y la simetría de los mismos, que la turbina este perfectamente	Los álabes 24 álabes han sido perfectamente alineados a 16° entre sí, soldados cuidadosamente con electrodo 70/18 y rectificadas

	alineada con el eje principal para evitar vibraciones y desgastes en los elementos mecánicos.	de acuerdo a los discos del rodete.
Caudal	Comprobar mediante los métodos de medición y calculo que el caudal sea el adecuado para el sistema.	El caudal ha dado el resultado de 0.078 m ³ /seg sobredimensionado para el canal requerido de 0.05 m ³ /seg
Desarenador	Probar el estado de las compuertas y desfuegos de limpieza así también el embalsamiento sin fugas.	Los desfuegos se encuentran con sus respectivos sumideros y mallas, así también las compuertas en perfectas condiciones de regulación.
Tubería Forzada	Evidenciar el acople perfecto entre tuberías y la ausencia de fisuras.	Pegadas entre sí con Pega especial y sin fisuras en el tramo de 70 m.
Presión	Mediante un manómetro determinar la presión necesaria en el punto de contacto entre la tubería forzada y el Rodete de Turbina.	Se midió mediante el manómetro siguiendo la fórmula de $P \text{ (bares)} = \text{Desnivel (m)} \times 0.0981$, en el caso del proyecto es por 15 = 1.4715 Bar.
Ruidos	Percibir si hay la existencia de estos al momento de la puesta en marcha para descartar cavitación o desgaste en los rodamientos.	Ya que el sistema es nuevo y se han puesto los mejores rodamientos del mercado (FAG) no existe ruido mecánico ni tampoco se presenta el fenómeno físico de cavitación ya que la carcasa no tiene fisuras ni mucho menos desfases en la fabricación.

Fuente: Los Autores

Elaborado por: Los autores

3.19. Costos del Proyecto

Los costos del presente proyecto de generación de energía hidroeléctrica son accesibles a los usuarios, debido principalmente a los factores ambientales y a la utilización de material de bajo costo ya que sus componentes ofrecen estabilidad al momento de generar energía gracias a la tecnología que usan, desde el punto de vista económico este proyecto es rentable y accesible para los habitantes del sector.

3.19.1. Costo de la Obra civil

TABLA No. 3.32
“COSTO OBRA CIVIL”

COSTO DE MATERIALES Y MANO DE OBRA PARA LA OBRA CIVIL				
Cemento	quintal	25,00	7,40	185,00
Varilla 1/2 Andec	quintal	1,00	48,50	48,50
Bloque	und	100,00	0,38	38,00
Hojas de Zing	und	4,00	9,50	38,00
Alambre de amarre	lbs	5,00	3,00	15,00
Tacos o Pingos	und	10,00	4,50	45,00
Clavos 2"	lbs	2,00	0,80	1,60
MATERIAL PARA LA INSTALACIÓN HIDRÁULICA				
Tubería PVC 8" (3m)	und	3,00	38,00	114,00
Tubería PVC 6" (3m)	und	3,00	30,00	90,00
Tubería PVC 4" (3m)	und	3,00	14,00	42,00
Tubería PVC 2" (3m)	und	3,00	5,50	16,50
Reductores 8/6 PVC	und	3,00	15,60	46,80
Reductores 6/4 PVC	und	3,00	11,50	34,50
Reductores 4/2 PVC	und	3,00	6,50	19,50
Uniones PVC	und	6,00	0,90	5,40
Pega para Tubería	und	3,00	21,50	64,50
Tejillas	und	8,00	2,50	20,00
Válvula 2"	und	1,00	180,00	180,00
MANO DE OBRA				

Construcción de Desarenador, Tanque de Presión y Cuarto de Máquinas	días/albañil	21,00	12,00	252,00
Instalación de tuberías	días/plomero	5,00	12,00	60,00
Instalación de máquinas y equipo electromecánico	días/técnico	3,00	15,00	45,00
Instalación de Equipo eléctrico	días/eléctrico	2,00	18,00	36,00
Anclaje de Máquina	días/peón	1,00	10,00	10,00
TOTAL OBRA CIVIL				1.407,30

Fuente: Los Autores

Elaborado por: Los autores

3.19.2. Costo de la instalación eléctrica

TABLA No. 3.33
“COSTO INSTALACIÓN ELÉCTRICA”

COSTO DE MATERIALES PARA INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y EQUIPO DE GENERACIÓN				
Turbina	und	1,00	1.000,00	1.000,00
Inyector, Tobera	und	1,00	200,00	200,00
Transmisión de potencia (poleas)	und	2,00	17,00	34,00
Generador monofásico 3.5Kw	und	1,00	480,00	480,00
Gabinete de control 60x40x20	und	1,00	50,00	50,00
Amperímetro A.C.	und	1,00	8,00	8,00
Voltímetro 150 V.A.	und	1,00	10,00	10,00
Cable dúplex de aluminio	mts	50,00	0,97	48,50
Canaleta ranurada	und	2,00	5,33	10,66
Canaleta lisa	und	2,00	2,76	5,52
Cable flexible 14	mts	15,00	0,46	6,90
Caja Térmica	und	1,00	19,70	19,70
Breaker 63A	und	5,70	20,70	117,99
GASTOS OPERATIVOS				
Movilización (2 personas) Rudiapungo	Carrera	5,00	40,00	200,00
Movilización (2 albañiles) Rudiapungo	Carrera	16,00	40,00	640,00
Movilización (2 Técnicos)	Carrera	2,00	40,00	80,00
Transporte (cemento, bloque, viajes)		2,00	60,00	120,00

varilla)				
Transporte de tuberías, válvulas, accesorios y pingos	viajes	1,00	60,00	60,00
Transporte de equipo de generación y equipo eléctrico	viajes	1,00	60,00	60,00
TOTAL INSTALACIÓN ELÉCTRICA				3.151,27
GRAN TOTAL				4.928,57

Fuente: Los Autores

Elaborado por: Los autores

3.19.3. Costo de la Energía

El costo actual de la energía, es de (0.08 centavos) por Kw.h según la Corporación Nacional de Electricidad (CNEL); por lo que a través de este proyecto se logró generar energía con valores inferiores al actual, cuyo propósito es no mermar la economía de los habitantes del sector de Rudiapungo. Además señala que el consumo mensual aproximado es de 750 Kw.hora.

3.19.4. Cálculo del costo del kW.

Para determinar el valor del kilovatio-hora consumido en el proyecto se divide el costo total de la obra para el número de kilovatios-hora consumidos en el tiempo de vida útil. El costo total de la picocentral durante su vida útil determinamos por medio de la siguiente ecuación:

$$CT = CE + CM$$

Ec. 3.40

Dónde:

CT= Costo total

CE= Costo equipo (Instalación)

CM= Costo de mantenimiento (10 años)

$$CT = 4558.57 + 1000$$

$$CT = 5558.57$$

Energía consumida mensualmente = 750Kw.h

Energía consumida anualmente = 750Kw.h x 12 = 9000Kw.h anuales

Energía consumida en 10 años = 9000Kw.h x 10 = 90000Kw.h

El costo real del Kw.hes de:

$$\text{Costo Kw - h} = \text{CostoPY} / (\text{Kw - h Consumidos Vida Util}) \quad \text{Ec. 3.41}$$

$$\text{Costo Kw - h} = 5558.57 / 90000$$

$$\text{Costo Kw - h} = 0.062$$

El costo que genera el pico hidroeléctrico es de 0.062 centavos de dólar, al relacionarlos con el costo que maneja la CNEL(0.08) centavos; implica definitivamente un ahorro considerable en el consumo anual.

3.20. Beneficiarios.

Los beneficios que genera el presente proyecto es la reducción considerable de los costos de la energía; además el generar energía alternativa en sectores donde el estado no ha intervenido se convierte en una alternativa incuantificable, debido a que se dota de energía a bajo costo.

3.20.1. Beneficiarios Directos

Los beneficiarios directos son los habitantes de la Propiedad Agrícola, pues gracias a la implementación del PCH, se generará de energía eléctrica renovable para abastecer las principales necesidades de sus habitantes.

3.20.2. Beneficiarios Indirectos

Los beneficiarios indirectos son las personas que viven en torno al sector que realizan acciones de comercio tales como el trueque o la compra de animales y productos extraídos de la tierra tales como sembríos; así también se pretende retrasar la erosión provocada por el salto brusco del canal a la pendiente, que durante años ha ocasionado derrumbos, hundimientos y agrietamientos en la Propiedad.

3.21. Conclusiones y Recomendaciones

3.21.1. Conclusiones

- El presente proyecto ha sido instalado de acuerdo a los cálculos establecidos y genera energía eléctrica para abastecer la Propiedad Agrícola del Sr. Tobías Cando; principalmente se la utilizará para riego de manera periódica; y constantemente para uso doméstico.
- La fuerza electromotriz por paso de electrones suministrada con el pico central, es una fuente limpia y renovable de hidrogenación eléctrica; pues utiliza la energía potencial del agua a través de su caudal.
- La vida útil depende principalmente de la disponibilidad del caudal de agua en el sector; así como del correcto manejo y mantenimiento del sistema en cada uno de sus componentes.
- Se ha puesto en práctica los conocimientos adquiridos en las aulas universitarias; lo que ha permitido aportar de manera eficiente con un servicio a la sociedad de nuestra provincia.
- Se ha diseñado y construido de manera correcta la Pico Central Hidroeléctrica en el sector de Rudiapungo, el cual permitirá generar energía eléctrica mediante la turbina Ossberger, con capacidad de abastecerla demanda energética de la Propiedad Agrícola del Sr. Tobías Cando.

3.21.2. Recomendaciones

- Se recomienda efectuar el mantenimiento preventivo de los equipos de manera permanente; principalmente mantener el nivel de agua suficiente en el bocatoma; y realizar semanalmente la limpieza de las mallas de decantación que impide el paso de elementos contundentes que puedan obstruir el sistema de generación, en especial que se evite la acumulación de basura que pueda obstaculizar el paso del agua hacia la turbina.

- Brindar atención y cuidado a la obra civil, pues por la ubicación geográfica esta puede sufrir daños externos, afectando el normal funcionamiento de la turbina.

- Se recomienda trabajar a carga completa para optimizar la generación de energía en beneficio de la Propiedad, y de los habitantes que residen y realizan actividades agrícolas.

- Mantener los vínculos académicos con los sectores sociales, con la finalidad que los estudiantes universitarios pongan en práctica los conocimientos adquiridos en las aulas universitarias en beneficio de los sectores más vulnerables de la sociedad.

3.22. Bibliografía

3.22.1. Bibliografía Citada.

- HERNANDES B. Carlos, (Organización Latinoamericana De energía), Diseño Estandarización y fabricación de Turbinas (Michell – Banki). p. 01 – 65.
- SANCHEZ Teodoro & VIANI Bruno, “Evaluación del Recurso Hidroenergético”. *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*. Lima: Soluciones Prácticas, 1995. p. 27-39.
- 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: Soluciones Prácticas, 2010. 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: Soluciones Prácticas, 2010. p. 169 – 189.
- Guerra Jaime & QUIROZ Luis, “Electricidad” *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación*

de microcentrales hidroeléctricas. Lima: Soluciones Prácticas, 2010. p. 193-224.

- MIRANDA Homero, “Mantenimiento de Microcentrales”. *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*. Lima: Soluciones Prácticas, 2010. p. 247 -264.
- BUDYNAS G. Richard, NISBETT Keith, “Cuñas y Pasadores”. *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México, D.F., 8va.ed, Editorial McGraw – Hill, 2008. p. 378-382.
- 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.

3.22.2. Bibliografía Consultada

- OLADE,1989, (Organización Latinoamericana De energía), *Diseño Estandarización y fabricación de Turbinas (Michell – Banki)*.
- DÁVILA C, VILAR D, VILLANUEVA G, QUIROZ, L, Otros, *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*. Lima: Soluciones Prácticas, 1995. 274p.
- *Manual de Diseño Estandarización y fabricación de Equipos para pequeñas centrales Hidroeléctricas*, 2008, Volumen 1.

- 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.

- MATAIX C. *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*. Editorial Castillo, Madrid 1970

- CHAVEZ L. GUTIERREZ J. FALCONI A. *Diseño Construcción y montaje del micro central hidroeléctrica*. Tepeyac. Tesis 15T00030. Riobamba: ESPOCH. 1985.

- JUVINALL, R. *Fundamentos de Diseño para Ingeniería Mecánica*. 1997.

- SÁNCHEZ T., RAMÍREZ J., 1995, *Manual de Mini y Microcentrales Hidráulicas*. Editorial ITDG, Lima,.

- RIOFRIO P. *Micro Hidroenergía* 2007.

- TAPIA L. *Teoría de Electricidad*. 2da.ed. Quito: EPN. 1989.

- VILLALBA HERVÁS, *Tecnología Industrial* 2010.

- BERMÚDEZ TAMARIT, Vicente. *Tecnología Energética*. Valencia, 2000. 300 p. ISBN: 84-7721-868-4.

- MATAIX, Claudio. *Turbomáquinas hidráulicas*. España, Madrid: Editorial ICAI 1975. 1371 p. ISBN: 84-600-6662-2.

- ENRÍQUEZ HARPER, Gilberto. *El libro práctico de los generadores, transformadores y motores eléctricos*. Editorial Limusa 2004. 253p. ISBN: 96-818-6053-5.
- CHENG K, David. *Fundamentos de electromagnetismo para ingeniería*. Naucalpan de Juárez, México. Editorial Industrial Atoto 1998. 492p. ISBN: 968-444-327-7.
- ÁLVAREZ. *Máquina Sincrónica*. Estudios Universitarios 2009. 236p.
- MUJAL ROSAS, Ramón María. *Cálculo de líneas y redes eléctricas*. Universidad Politécnica de Cataluña 2010. 222p. ISBN: 848-301-606-0

3.22.3. Bibliografía Web

- www.dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/257/1/15T00414.pdf, 25/11/2013
- www.portalelectrozona.com/menuzonaelectricidad/2-categoriaelectricidadindustrial/95-articuloaparatosmedida.html, , 27/11/2013
- www.portalelectrozona.com/menuzonaelectricidad/2-categoriaelectricidadindustrial/95-articuloaparatosmedida.html, 27/11/2013
- www.labc.usb.ve/paginas/mgimenez/Lab_Circ_Electronicos_Guia_Teorica/Cap11.pdf, 10/01/2014

- www.e-ducativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio//3000/3089/html/311_el_vatmetro.html,, 15/01/2014

- www.conelec.gob.ec/, 05/03/2014

- www.interempresas.net/Energia/Articulos/57268-Micro-Central-Vernis-energia-hidraulica-producida-en-casa.html, 07/03/2014

- www.ingenieriatecnoparque.blogspot.com/2010/10/central-pico-hidroelectrica-jairo.html , 31/03/2014.

- www.monografias.com/trabajos73/sistema-electrico/sistema-electrico.shtml, 2014, a las 0:14.