



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

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

CARRERA: INGENIERÍA ELÉCTRICA

PROYECTO DE TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO ELÉCTRICO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

TÍTULO:

**“DIMENSIONAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PICO
GENERADOR UTILIZANDO LOS AFLUENTES DEL RIO NAGSICHE
PARA SATISFACER LA DEMANDA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DEL
COMPLEJO DE AGUAS TERMALES ALUCHAN EN LA PARROQUIA
LA MATRIZ DEL CANTÓN PUJILÍ EN EL AÑO 2014-2015”**

TESISTAS:

Carrasco Valle Luis Enrique

Sandoval Tumailla Andrés Mauricio

DIRECTOR DE TESIS:

Ing. Efrén Barbosa

ASESORA DE TESIS:

Ing. Idalia Pacheco

LATACUNGA – ECUADOR

2016

AUTORÍA

Los postulantes, declaran bajo juramento que el trabajo de investigación aquí descrito es de nuestra autoría, además que este trabajo de investigación no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación personal y que se ha consultado en dichas bibliografías que se vinculan en este manuscrito.

.....

Carrasco Valle Luis Enrique

C.I. 180408990-0

.....

Sandoval Tumaila Andrés Mauricio

C.I. 050313338-1

AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS

Yo Ing. Efrén Barbosa en calidad de Director de Tesis y cumpliendo con lo estipulado en el Reglamento del Curso Profesional de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Capítulo V, (Art. 9 literal f), me permito informar que los postulantes Carrasco Valle Luis Enrique y Sandoval Tumailla Andrés Mauricio han desarrollado su Tesis de Grado de acuerdo al planteamiento formulado en el Anteproyecto de Tesis con el tema: **“DIMENSIONAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PICO GENERADOR UTILIZANDO LOS AFLUENTES DEL RÍO NAGSICHE PARA SATISFACER LA DEMANDA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DEL COMPLEJO DE AGUAS TERMALES ALUCHÁN EN LA PARROQUIA LA MATRIZ DEL CANTÓN PUJILÍ EN EL AÑO 2014-2015”**, cumpliendo sus objetivos respectivos.

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

Latacunga, 17 de diciembre de 2015

.....
Ing. Efrén Barbosa

DIRECTOR DE TESIS

AVAL DEL ASESOR METODOLÓGICO

En calidad de Asesor Metodológico del Trabajo de Investigación sobre el tema:
“DIMENSIONAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PICO GENERADOR UTILIZANDO LOS AFLUENTES DEL RÍO NAGSICHE PARA SATISFACER LA DEMANDA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DEL COMPLEJO DE AGUAS TERMALES ALUCHÁN EN LA PARROQUIA LA MATRIZ DEL CANTÓN PUJILÍ EN EL AÑO 2014-2015”.

De los señores estudiantes; Luis Enrique Carrasco Valle y Andrés Mauricio Sandoval Tumaiña postulantes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica en Sistemas Eléctricos de Potencia,

CERTIFICO QUE:

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

Latacunga, 03 de diciembre de 2015

.....

Ing. Msc. Idalia Pacheco

ASESOR METODOLÓGICO

CERTIFICADO DE IMPLEMENTACIÓN

A petición verbal de los postulantes: CARRASCO VALLE LUIS ENRIQUE y SANDOVAL TUMAILLA ANDRÉS MAURICIO, yo RAMIRO TIPAN MASABANDA, portador de la cedula de identidad N° 050193716-3, en calidad de representante legal de la fundación de investigación integral para el desarrollo de los pueblos de Cotopaxi – Jatun Juigua “Mirador” Certifico: q los señores antes indicados se dio el fiel cumplimiento del convenio de cooperación interinstitucional entre la UTC y la fundación en el tema: **“DIMENSIONAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PICO GENERADOR UTILIZANDO LOS AFLUENTES DEL RÍO NAGSICHE PARA SATISFACER LA DEMANDA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DEL COMPLEJO DE AGUAS TERMALES ALUCHÁN EN LA PARROQUIA LA MATRIZ DEL CANTÓN PUJILÍ EN EL AÑO 2014-2015”**. El presente trabajo se realizó, previo a la obtención del título de ingenieros en la especialidad de ingeniería eléctrica.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad facultado a los interesados a ser uso del presente documento del o que estime conveniente siempre y cuando se trate de formas legal

Atentamente.

.....
RAMIRO TIPAN MASABANDA
Director de la fundación M.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres por ser los pilares fundamentales de apoyo diario e incondicional en toda la etapa estudiantil.

Un agradecimiento profundo a la UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI y a todos los docentes quienes impartieron sus conocimientos día tras día con paciencia y dedicación.

Además quiero agradecer de manera muy especial al Ing. Efrén Barbosa por su valioso asesoramiento técnico, para el excelente desarrollo de este proyecto.

Un extensivo agradecimiento al Ing. Idalia Pacheco, por la ayuda, asesoramiento metodológico brindado para la realización de este proyecto.

LUIS

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por bendecirme de salud, cada día, por la fortaleza para llegar al final de este camino de lucha, perseverancia y estudio, a la UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI por recibir y formarme profesionalmente, ya que cuenta con profesionales capacitados para formar profesionales con criterio fuerte en el perfil de cada carrera, a todos mis docentes que con profesionalismo, dedicación y sin interés impartieron sus conocimientos profesionales, por robustecer mis conocimientos y poder ser una ayuda en la sociedad en beneficio de todo el país, y poder defenderme en el ámbito laboral, agradecerle al Ing. Efrén Barbosa por dirigirme en el transcurso del desarrollo de la tesis, para culminar mi meta trazada.

ANDRÉS

DEDICATORIA

Esta Tesis va dedicada principalmente a Dios quien me ha dado la vida, y la salud para seguir adelante con mis estudios. Y por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida.

Para mi madre Judith Valle que es el pilar fundamental en mi vida, que con su infinito amor, comprensión y sacrificio ha sabido guiarme por el camino del bien inculcándome buenos valores, por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida para llegar a ser una persona de bien y un buen profesional.

En especial quiero dedicar a mi sobrina María Celeste por aportar en mi vida alegría y felicidad, quien me inspira a seguir preparándome para ser un ejemplo para ella.

LUIS

DEDICATORIA

Este trabajo de grado se lo dedico a mis padres por sus consejos de luchar por conseguir ideales en la vida, por brindarme apoyo moral y económicamente en toda mi vida de estudiante y poder ser un profesional del Ecuador, a mis hermanos por ser un ejemplo de entrega al estudio en beneficio personal, a mi novia por incentivar me a cultivar los frutos del estudio, y a todos mis amigos quienes de una manera singular dieron sus palabras de ánimo para culminar este objetivo anhelado en mi vida.

ANDRÉS

INDICE GENERAL

PORTADA.....	i
AUTORÍA.....	ii
AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS	iii
AVAL DEL ASESOR METODOLÓGICO.....	iv
CERTIFICADO DE IMPLEMENTACIÓN.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
DEDICATORIA	viii
DEDICATORIA	ix
INDICE GENERAL.....	x
INDICE DE GRÁFICOS	xviii
INDICE DE TABLAS.....	xx
RESUMEN.....	xxi
ABSTRACT.....	xxii
AVAL DE LA TRADUCCIÓN DEL IDIOMA INGLES.....	xxiii
INTRODUCCIÓN	xxiii
CAPÍTULO I.....	1
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	1
1.1. Antecedentes Investigativos	1
1.2. Central hidroeléctrica	1
1.3. Micro centrales Hidroeléctricas.....	2
1.4. Pico centrales Hidroeléctricas	3
1.5. Componentes principales de una central hidroeléctrica	3
1.5.1. La presa.	3
1.5.1.1. Presas de gravedad.....	4
1.5.1.2. Presa de vuelta	4
1.5.1.3. Presas de contrafuertes.....	4
1.5.2. Rebosaderos.	4
1.5.3. Sala de máquinas.....	4

1.5.4.	Tipos de centrales hidroeléctricas	5
1.5.4.1.	Centrales de agua fluyente	5
1.5.4.2.	Centrales de embalses	5
1.5.4.3.	Centrales de bombeo o reversibles	6
1.6.	Funcionamiento de una central hidroeléctrica.....	6
1.7.	Ventajas e inconvenientes de las centrales hidroeléctricas.....	7
1.8.	Impacto ambiental de las centrales hidroeléctricas	8
1.9.	Energía.....	8
1.10.	Fuente de energía renovable	9
1.11.	La energía hidráulica	9
1.12.	Pico Generador Hidroeléctrico	9
1.12.1.	Componentes principales de un Pico Generador Hidroeléctrico.....	10
1.12.1.1.	Bocatoma	10
1.12.1.2.	Funciones de la bocatoma.....	11
1.12.2.	Sistemas de conducción	11
1.12.2.1.	Tubería de presión.....	11
1.12.2.2.	Selección de la tubería de presión.....	13
1.12.3.	Desarenador.....	14
1.12.3.1.	Ancho y longitud	14
1.12.4.	Tanque de presión	16
1.12.4.1.	Volumen del tanque de presión	17
1.12.5.	Altura mínima del agua sobre la tubería de presión.....	18
1.12.6.	Casa de máquinas.....	19
1.12.6.1.	Aspectos considerados para el diseño de la casa de máquinas	20
1.12.7.	Aliviadero.....	20
1.12.7.1.	Desagües de fondo	21
1.12.8.	Ventajas e inconvenientes de un Pico Hidroeléctrico	22

1.12.8.1.	Ventajas	22
1.12.8.2.	Inconvenientes	22
1.13.	Turbina hidráulica.....	22
1.14.	Turbina Michell Banki	23
1.14.1.	Introducción	23
1.14.2.	Descripción	24
1.14.3.	Características Generales	24
1.14.4.	Principio de funcionamiento	25
1.14.5.	Componentes.....	26
1.14.5.1.	Rodete	26
1.14.5.2.	Inyector	26
1.15.	Generador eléctrico	27
1.15.1.	Principio de funcionamiento	28
1.16.	Generador síncrono	29
1.16.1.	Principio de funcionamiento	30
1.16.2.	Partes del generador síncrono	30
1.16.2.1.	Rotor	30
1.16.2.2.	Estator o Armadura	31
1.16.3.	Ventajas.....	32
1.16.4.	Desventajas	32
1.17.	Medición del caudal	33
1.17.1.	Método del flotador.....	33
1.18.	Altura bruta.....	34
1.18.1.	Método del levantamiento topográfico	35
1.18.1.1.	Planimetría.....	35
1.18.1.2.	Estación total.....	36
1.18.2.	Trípode	36
1.18.3.	Prisma simple.....	37

1.19.	Altura neta	38
1.19.1.	Longitud de la tubería de presión.....	38
1.19.2.	Pérdidas primarias (Ecuación de Darcy-Weisbach).....	39
1.19.3.	Ecuación general de las pérdidas secundarias.....	40
1.19.4.	Las perdidas hidráulicas de un ducto	41
1.19.5.	La potencia hidráulica neta.....	42
1.19.6.	Potencia al freno de la turbina.....	42
1.19.7.	Potencia transmitida al generador	43
1.19.8.	Potencia en los bornes del generador	44
1.19.9.	Par de polos del generador	45
1.19.10.	Velocidad Específica.....	45
1.20.	Diseño hidráulico.....	47
1.20.3.	Geometría del inyector	51
1.20.4.	Geometría del rodete	51
1.20.5.	Geometría de la carcasa	53
1.21.	Diseño mecánico	53
1.21.3.	Fuerza hidráulica sobre un álabe.....	56
1.21.4.	Fuerza centrífuga sobre un álabe.....	57
1.21.5.	Fuerza total sobre el álabe.....	57
1.21.6.	Plancha del inyector	58
1.21.7.	Diseño del eje principal.....	59
1.21.7.1.	Discos de unión de álabes.....	59
1.21.7.2.	Torque de accionamiento	60
1.21.7.3.	Selección de rodamientos	63
1.21.7.4.	Sistema de transmisión de potencia mecánica.....	63
1.21.7.5.	Diámetro de la polea	64
1.21.7.6.	Potencia corregida.....	65
1.21.7.7.	Distancia entre ejes	66

1.21.7.8.	Longitud primitiva de la correa trapezoidal.....	67
1.21.7.9.	Arco de contacto	69
1.21.7.10.	Potencia transmitida por la correa trapezoidal.....	69
1.21.7.11.	Determinación del número de bandas.....	70
1.22.	Tablero de Control.....	70
1.23.	Análisis económico del proyecto.....	73
1.23.1.	Costos.....	73
1.23.1.1.	Costos directos.....	73
1.23.1.2.	Costos indirectos.....	73
1.23.1.3.	Valor de la depreciación	74
1.23.2.	Costo de la energía	75
1.23.3.	Relación beneficio costo	75
1.23.4.	Cálculo del valor de inversión.....	76
1.23.5.	Costo del KWh producido por el PGH.....	76
CAPÍTULO II.....		77
2.	PRESENTACIÓN, TABULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	77
2.1.	Recolección de datos	77
2.1.1.	Medición topográfica	77
2.1.2.	Medición del caudal	79
2.2.	Metodología de la investigación.....	81
2.2.1.	Métodos de investigación.....	81
2.2.1.1.	El método científico.....	81
2.2.1.2.	El método analítico	81
2.2.2.	Tipos de investigación.....	82
2.2.2.1.	De campo	82
2.2.2.2.	Descriptiva.....	82
2.2.3.	Técnicas de investigación	83

2.2.3.1.	La observación.....	83
2.3.	Hipótesis.....	83
2.3.1.	Verificación de la hipótesis	84
3.1.	Presentación.....	86
3.2.	Cantón Pujilí.....	87
3.2.1.	Reseña Histórica.....	87
3.2.2.	Geografía.....	88
3.2.3.	Hidrografía	88
3.2.4.	Clima.....	88
3.3.	Justificación	88
3.4.	Objetivos.....	90
3.4.1.	Objetivo General	90
3.4.2.	Objetivos Específicos.....	90
3.5.	Desarrollo de la propuesta	90
3.5.1.	Obras Civiles.....	90
3.5.1.1.	Bocatoma	91
3.5.1.2.	Compuerta de regulación	91
3.5.1.3.	Sistema de conducción.....	91
3.5.1.4.	Tubería de presión.....	92
3.5.1.5.	Montaje y apoyo de la tubería de presión.....	94
3.5.1.6.	Desarenador	94
3.5.1.7.	Tanque de presión	95
3.5.1.8.	Válvula de regulación	99
3.5.1.9.	Casa de máquinas.....	99
3.5.1.10.	Canal de Descarga.....	100
3.5.2.	Parámetros de diseño	101
3.5.2.1.	Medición del caudal aplicando el método del flotador.....	101

3.5.2.2.	Cálculo de la longitud de la tubería de presión	102
3.5.2.3.	Cálculo de las pérdidas primarias en la tubería de presión	102
3.5.2.4.	Cálculo de las pérdidas secundarias en la tubería de presión	103
3.5.2.5.	Parámetros de selección del equipo hidráulico.....	104
3.5.2.6.	Potencia hidráulica neta Ph	105
3.5.2.7.	Potencia transmitida al generador	107
3.5.2.8.	Velocidad Específica	108
3.5.3.	Diseño hidráulico	108
3.5.3.1.	Selección del diámetro de la turbina	108
3.5.3.2.	Velocidad del agua a la salida del inyector (Velocidad absoluta) ...	109
3.5.3.3.	Velocidad Tangencial	109
3.5.3.4.	Velocidad Relativa	109
3.5.3.5.	Velocidad Meridiana	110
3.5.3.6.	Ancho del inyector	110
3.5.3.7.	Geometría del rodete	110
3.5.3.8.	Geometría de la carcasa.....	111
3.5.4.	Diseño mecánico	112
3.5.4.1.	Ancho del rotor	112
3.5.4.2.	Espesor de los álabes del rodete	112
3.5.4.3.	Fuerza hidráulica sobre un álabe	113
3.5.4.4.	Fuerza aplicada en la plancha del inyector	115
3.5.4.5.	Disco de unión de álabes	115
3.5.4.6.	Torque de accionamiento	116
3.5.4.7.	Selección de rodamientos	117

3.5.4.8.	Acoplamiento de turbina generador.....	118
3.5.4.9.	Potencia corregida.....	119
3.5.4.10.	Selección de la correa trapezoidal	119
3.5.4.11.	Arco de contacto	120
3.5.4.12.	Determinación del número de bandas.....	121
3.5.5.	Equipo eléctrico	122
3.5.5.1.	Selección del generador	122
3.5.6.	Verificación del Proyecto Implementado	124
3.6.	Análisis económico del proyecto.....	125
3.6.1.	Beneficios.....	126
3.6.2.	Cálculo del costo de la energía.....	127
3.6.3.	Cálculo del valor de inversión.....	131
3.7.	Conclusiones y Recomendaciones	132
3.7.1.	Conclusiones	132
3.7.2.	Recomendaciones.....	134
3.7.3.	Bibliografía electrónicas	135
3.7.4.	Bibliografía consultada	137

INDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1	Ángulo de entrada del desarenador	16
GRÁFICO 2	Altura mínima del agua sobre la tubería de presión.....	18
GRÁFICO 3	Esquema del principio de funcionamiento de la pico central hidroeléctrica MICHELL BANKI	21
GRÁFICO 4	Partes de una turbina MICHELL BANKI.....	25
GRÁFICO 5	Funcionamiento del inyector de la turbina MICHELL BANKI.....	27
GRÁFICO 6	Onda sinusoidal	29
GRÁFICO 7	Rotor de un generador síncrono	30
GRÁFICO 8	Estató de un generador síncrono	31
GRÁFICO 9	Estación total.....	36
GRÁFICO 10	Trípode	37
GRÁFICO 11	Prisma.....	38
GRÁFICO 12	Diagrama de velocidades	49
GRÁFICO 13	Longitud del rodete	54
GRÁFICO 14	Ángulo de la velocidad absoluta, a la entrada y salida del álabe	56
GRÁFICO 15	Composición de fuerzas sobre el álabe	57
GRÁFICO 16	Plancha del inyector	58
GRÁFICO 17	Luz piloto	71
GRÁFICO 18	Levantamiento topográfico del sector del proyecto con los puntos estratégicos en el programa AutoCAD.....	78
GRÁFICO 19	Sistema de conducción	91
GRÁFICO 20	Triángulo de pitágoras.....	92
GRÁFICO 21	Caida libre de un cuerpo.....	93
GRÁFICO 22	Tanque de presión	96
GRÁFICO 23	Desarenador y tanque de presión	97
GRÁFICO 24	Casa de máquinas	99
GRÁFICO 25	Canal de descarga.....	100

GRÁFICO 26 Selección de turbinas hidroeléctricas en función ala potencia generada	105
GRÁFICO 27 Curvas para la selección de correas trapezoidales	119
GRÁFICO 28 Esquema del tablero de control	123
GRÁFICO 29 Curva de la demanda diria del complejo Aluchan.....	128
GRÁFICO 30 Curva de la demanda diaria del complejo potencia generada vs potencia consumida.....	131

INDICE DE TABLAS

TABLA 1	Coeficiente de perdidas secundarias ζ en accesorios	41
TABLA 2	Tipos de transmisión para pico generadores hidroelectricos	44
TABLA 3	Rangos de aplicación de turbinas hidráulicas	46
TABLA 4	Selección del número del rodete	54
TABLA 5	Propiedades mecánicas de las aliaaciones usadas en turbinas hidráulicas ..	61
TABLA 6	Valores de (C) según las condiciones de trabajo y carga	66
TABLA 7	Correas trapezoidales de sección convencional.....	67
TABLA 8	Factor de corrección (Cr) para arcos de contacto inferiores a 180°.....	70
TABLA 9	Medición topográfica.....	78
TABLA 10	Tiempos medidos	79
TABLA 11	Hidrología de caudales obtenidos	80
TABLA 12	Constante k para diferentes tipos de materiales	102
TABLA 13	Selección del diámetro del rodete.....	109
TABLA 14	Sección transversal de un álabe del rodete	112
TABLA 15	Características del álabe.....	113
TABLA 16	Ángulo entre la fuerza hidráulica.....	114
TABLA 17	Características del generador	122
TABLA 18	Verificación de la implementación del proyecto.....	124
TABLA 19	Costos directos.....	125
TABLA 20	Costos indirectos.....	125
TABLA 21	Costo total del proyecto	126
TABLA 22	Consumop de la energía díara.....	127
TABLA 23	Relación beneficio costo	130

RESUMEN

En el Ecuador existen muchos recursos energéticos renovables; siendo primordiales los recursos hídricos, puesto que son óptimos para la producción de energía eléctrica, a bajo costo, fácil construcción larga vida útil y disminuye los gases producidos por sistemas convencionales que utilizan combustibles fósiles como el carbón y productos derivados del petróleo, apoyando al asentamiento humano mejorando su calidad de vida, contribuyendo al desarrollo económico industrial y social, en efectos de una nueva explotación ya sea agrícola ganadera industrial forestal minera o turística, en el presente proyecto se utiliza el recurso hídrico para producir energía eléctrica limpia con mínimo impacto ambiental del río Aluchán, para satisfacer la demanda del sistema eléctrico del complejo de aguas termales Aluchán, en nuestro país existen sitios que aún no están beneficiados de energía eléctrica por estar aislados a zonas redes de distribución, pero cuentan con recursos energéticos naturales renovables que pueden ser aprovechados, se propuso el aprovechamiento del recurso renovable hídrico del río Aluchán, para el dimensionamiento de un pico generador hidroeléctrico. Partiendo del levantamiento topográfico y el caudal existente en la zona se recopiló información eficaz y necesaria, para la selección del tipo de turbina adecuada; así como también se realizó un análisis de la demanda total necesaria con la cual podemos determinar la potencia del generador; con estos parámetros se procede a realizar el diseño de los componentes del pico generador hidroeléctrico. Tales como la bocatoma, el sistema de conducción, el desarenador, tanque de presión y tubería de presión ayudan a determinar una presión y velocidad óptima en la turbina que es la indispensable para la producción de energía eléctrica necesaria para el complejo.

ABSTRACT

in Ecuador there are many renewable energy resources; it is primary water resources, since they are optimal for the production of electricity at low cost, easy to build long service life and reduces the gases produced by conventional systems using fossil fuels like coal and petroleum products, supporting the settlement human improving their quality of life, contributing to the industrial and social economic development, effects of a new holding either agricultural livestock industrial forestry mining or tourism, in this project the water resource is used to produce clean electrical energy with minimal environmental impact Aluchan river, to meet the demand of the hot spring resort Aluchan electrical system, in our country there are sites that are not yet benefited from being isolated of electric networks areas, but have natural renewable energy resources that can be exploited , for that reason we proposed the use of renewable water resources of the Aluchan river, for the design an hydroelectric generator peak. Based on the survey and inflow in the effective and necessary information is compiled for the selection of appropriate turbine type; also an analysis of the of the total electricity demand with which we can determine the generator power was also performed; these parameters are determined, the design of the components of peak hydroelectric generator. such as intake, conduction system, the sand trap, pressure tank and pressure line, that help determine optimal speed and pressure in the turbine which is essential for the production of electrical energy needed for the complex. Stating that the coupling system between the turbine and the generator by transmission bands are considered elements of mechanical and electrical protection.

AVAL DE LA TRADUCCIÓN DEL IDIOMA INGLES

En calidad de docente del Centro Cultural de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi. Yo, Lic. Mgs. **SONIA JIMENA CASTRO BUNGACHO** con cedula de identidad N°050197472-9, certifico que he realizado la respectiva revisión a la traducción del abstract; con el tema “**DIMENSIONAMIENTO E IMPLEMENTACION DE UN PICO GENERADOR UTILIZANDO LOS AFLUENTES DEL RÍO NAGSICHE PARA SATISFACER LA DEMANDA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DEL COMPLEJO DE AGUAS TERMALES ALUCHÁN EN LA PARROQUIA LA MATRIZ DEL CANTÓN PUJILÍ EN EL AÑO 2014-2015**”, de cuyos autores son: Luis Enrique Carrasco Valle y Andrés Mauricio Sandoval Tumailla y Director de Tesis, Ing. Efrén Barbosa. Dejando el contenido bien estructurado y libre de errores.

Latacunga, 03 de diciembre de 2015

.....
Lic. Mgs. **SONIA JIMENA CASTRO BUNGACHO**

C.I. 050197472-9

INTRODUCCIÓN

En el capítulo se detalla que el consumo de energía es uno de los grandes medidores del progreso y bienestar de una sociedad. En la actualidad las fuentes de energía renovable son de mucha importancia ya que son fuentes de energías limpias dentro de estas energías se considera de mayor interés para los pueblos, que será las de más fácil uso por necesitar menor avance tecnológico y menor inversión para su aplicación. La energía hidráulica es más barata que el precio promedio de la energía térmica, a más del beneficio ambiental que conlleva la implementación de estos proyectos, por ser energía limpia. La hidrogenación de energía en el Ecuador constituye una alternativa a la solución del problema del suministro de energía principalmente en regiones aisladas, además que refuerzan técnicamente al sistema eléctrico del país.

En el segundo capítulo se detalla el levantamiento topográfico siendo un eje principal en la construcción de los elementos principales de la pico central, se especifica también los métodos y técnicas de investigación utilizados, en el proyecto se representa también la verificación de la hipótesis por medio del estudio de la hidrología del río, el análisis del estudio de carga y la representación gráfica del consumo de energía del complejo.

En el tercer capítulo trata de la implementación de este tipo de proyectos que produce un aporte técnico – económico que beneficia a la zonas de influencia y contribuyen a cubrir la demanda de energía eléctrica. El proceso de generación de energía hidroeléctrica consiste en la conversión de energía potencial en cinética, posteriormente en mecánica y consecuentemente en electricidad; en zonas aisladas es una labor indispensable para el desarrollo sostenible de estos sectores, la principal fuente energética para este objetivo es la proporcionada por las caídas de agua existente en riachuelos, quebradas y acequias cercanas. En la implementación de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas principalmente por su simplicidad de diseño, tienen bajos costos de fabricación, de instalación y de fácil mantenimiento, pueden ser utilizadas en amplios intervalos de caudal y altura sin disminuir de manera

apreciable su eficiencia. La turbina de flujo transversal se conoce como una máquina de pequeña escala, esto no impide que la turbina se utilice en grandes instalaciones. Con la finalidad de coadyuvar el perfeccionamiento de calidad humana del complejo de aguas termales Aluchan se proyectó este ideal en donde se ve la importancia y beneficio de la energía hidráulica generada con fuente renovable así como su bajo costo y sencilla construcción que resulta el diseñar e implementar un pico generador hidroeléctrico.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1. Antecedentes Investigativos

La energía eléctrica es lo más importante en el mundo, para su generación se utiliza diversas fuentes, en la actualidad lo más relevante es el aprovechamiento de la fuerza fluvial con esta fuente de generación renovable se evita contaminar el medio ambiente, en el Ecuador la energía hidráulica es líder para generar electricidad.

1.2. Central hidroeléctrica

“Según. Carlos Alberto Góngora Valdivia”. Una central hidroeléctrica es la que aprovecha la energía hidráulica para producir energía eléctrica. Si se concentran grandes cantidades de agua en un, energía potencial, la que por la acción de la gravedad adquiere energía cinética o de movimiento, es decir, pasa de un nivel superior a otro muy bajo, a través de las obras de conducción (la energía desarrollada por el agua al caer se le conoce como energía hidráulica). Por su masa y velocidad, el agua produce un empuje que se aplica a las turbinas, las cuales transforman la energía hidráulica en energía mecánica (Velásquez, 2002). Esta energía se propaga a los generadores que se encuentran acoplados a las turbinas, los que la transforman en energía eléctrica, luego pasa a la subestación elevadora de tensión para que la energía llegue a los centros de consumo con la debida calidad.” Con esto quiere decir que es

aquella instalación que aprovecha la energía de la naturaleza, siguiendo su curso en caída, pasa por una turbina la cual transmite la energía a un generador donde se transforma en energía eléctrica.

1.3. Micro centrales Hidroeléctricas

“Según autores: Federico Coz, Teodoro Sánchez, Bruno Viani, Jorge Segura, Luis Rodríguez, Homero Miranda, Eusebio Castromonte, Jaime Guerra, Luis Quiroz, José Gaitán, Luis Moreno e Ismael Muñoz”. Los sistemas de mini generación son de pequeña contribución en el suministro a la red, particularmente en el rango de 300kW a 10 MW. Aluna veces los valores extremos de este rango suelen recibir el nombre de generación en pequeña escala. Los sistemas de micro generación son aún más pequeños y, por lo general, no suministran energía eléctrica a las redes nacionales. Se usan en áreas apartadas a donde no llega la red y, en algunos casos, proveen electricidad a pequeñas industrias y comunidades rurales.”

Pueden usarse en pequeños talleres y para el abastecimiento de una mini red local independiente, suficiente para abastecer unos cinco hogares que estén aislados a la red de suministro de energía eléctrica. Están se pueden diseñar en un cierto salto y pequeño caudal son de instalación muy sencilla con turbinas (Michell Banki, hélice, Kaplan). Como es ampliamente conocido, la fórmula de la potencia suministrada en kW por una turbina hidráulica es: $S=n*H*Q$, donde n varía de 5 a 8.5 según el tipo y tamaño de la turbina. H es la altura neta del salto en metros y Q el caudal en M3/seg. Aunque sin recurrir a los cálculos para ello, la selección del modelo necesario de turbina se puede efectuar usando gráficos como el siguiente, que corresponde a una de las diversas firmas de fabricantes, en ella existen dos modelos, Pelton y Banki (flujo cruzado) y está dentro de lo que se puede considerar rango de potencias de las microcentrales.

1.4.Pico centrales Hidroeléctricas

Picocentrales se emplean generalmente para autoconsumo, aunque se puede efectuar, no suele ser demasiado aconsejable la construcción artesanal de la turbina, sale más caro y da peores rendimientos que las picoturbinas comerciales construidas en serie, o en semi-serie para potencias medianas. Ya que dentro del rango de las picoturbinas existen muchos modelos comerciales como, entre otras, las Nautilus, Garbitek y las PowerPal que se construyen en grandes series en Vietnam.

Las picoturbinas comerciales más usuales están entre 100 vatios y 1500 vatios, y son máquinas que al tener que adaptarse a un catálogo, es muy difícil que coincidan exactamente con el salto y caudal que se dispone, por lo que sus rendimientos suelen ser algo bajos, aunque generalmente eso no importe demasiado para las aplicaciones en que se emplean, en las que priva la sencillez, la economía y poder resolver un problema de autoconsumo en un sitio privado de red eléctrica.

1.5. Componentes principales de una central hidroeléctrica

1.5.1. *La presa.*

La presa es el primer elemento que se encuentra en una central hidroeléctrica. Se encarga de contener el agua de un río y almacenarla en un embalse. Con la construcción de una presa se consigue un determinado desnivel de agua, que es aprovechado para conseguir energía. La presa es un elemento esencial y su forma depende principalmente de la orografía del terreno y del curso del agua donde se tiene que situar. Las presas se pueden clasificar, según el material utilizado en su construcción, en presas de tierra y presas de hormigón. Las presas de hormigón son las más resistentes y las más utilizadas. Hay tres tipos de presas de hormigón en función de su estructura:

1.5.1.1. Presas de gravedad

Son presas de hormigón triangulares con una base ancha que se va haciendo más estrecha en la parte superior. Son construcciones de larga duración y que no necesitan mantenimiento. La altura de este tipo de presas está limitada por la resistencia del terreno.

1.5.1.2. Presa de vuelta

En este tipo de presas la pared es curva. La presión provocada por el agua se transmite íntegramente hacia las paredes del valle por el efecto del arco. Cuando las condiciones son favorables, la estructura necesita menos hormigón que una presa de gravedad, pero es difícil encontrar lugares donde se puedan construir.

1.5.1.3. Presas de contrafuertes

Tienen una pared que soporta el agua y una serie de contrafuertes o pilares de forma triangular, que sujetan la pared y transmiten la carga del agua a la base. En general, se utilizan en terrenos poco estables y no son muy económicas.

1.5.2. Rebosaderos.

Elementos que permiten liberar parte del agua que es retenida sin que pase por la sala de máquinas.

1.5.3. Sala de máquinas

Construcción donde se sitúan las máquinas (turbinas, alternadores...) y elementos de regulación y control de la central.

1.5.4. *Tipos de centrales hidroeléctricas*

Hay muchos tipos de centrales hidroeléctricas, ya que las características del terreno donde se sitúa la central condicionan en gran parte su diseño.

Se podría hacer una clasificación en tres modelos básicos:

1.5.4.1. *Centrales de agua fluyente*

En este caso no existe embalse, el terreno no tiene mucho desnivel y es necesario que el caudal del río sea lo suficientemente constante como para asegurar una potencia determinada durante todo el año. Durante la temporada de precipitaciones abundantes, desarrollan su máxima potencia y dejan pasar agua excedente. En cambio, durante la época seca, la potencia disminuye en función del caudal, llegando a ser casi nulo en algunos ríos en verano.

1.5.4.2. *Centrales de embalses*

Mediante la construcción de una o más presas que forman lagos artificiales donde se almacena un volumen considerable de agua por encima de las turbinas. El embalse permite graduar la cantidad de agua que pasa por las turbinas. Con el embalse puede producirse energía eléctrica durante todo el año aunque el río se seque completamente durante algunos meses, cosa que sería imposible con una central de agua fluyente. Estas centrales exigen, generalmente, una inversión de capital más grande que la de agua fluyente.

Dentro de estos tipos existen dos variantes de centrales:

- ✓ Centrales a pie de presa

En un tramo de río con un desnivel apreciable se construye una presa de una altura determinada. La sala de turbinas está situada después de la presa.

- ✓ Centrales por derivación de las aguas

Las aguas del río son desviadas mediante una pequeña presa y son conducidas mediante un canal con una pérdida de desnivel tan pequeña como sea posible, hasta un pequeño depósito llamado cámara de carga o de presión. De esta sala arranca una tubería forzada que va a parar a la sala de turbinas. Posteriormente, el agua es devuelta río abajo, mediante un canal de descarga. Se consiguen desniveles más grandes que en las centrales a pie de presa.

1.5.4.3. Centrales de bombeo o reversibles

Son un tipo especial de centrales que hacen posible un uso más racional de los recursos hidráulicos. Disponen de dos embalses situados a diferente nivel. Cuando la demanda diaria de energía eléctrica es máxima, estas centrales trabajan como una central hidroeléctrica convencional: el agua cae desde el embalse superior haciendo girar las turbinas y después queda almacenada en el embalse inferior. Durante las horas del día de menor demanda, el agua es bombeada al embalse superior para que vuelva a hacer el ciclo productivo.

1.6. Funcionamiento de una central hidroeléctrica

La presa, situada en el curso de un río, acumula un volumen de agua para formar un embalse. Eso permite que el agua adquiera una energía potencial que después se transforma en electricidad. Para esto, la presa se sitúa aguas arriba, con una válvula que permite controlar la entrada de agua a la galería de presión; previa a una tubería forzada que conduce el agua hasta la turbina de la sala de máquinas de la central.

El agua a presión de la tubería forzada va transformando su energía potencial en cinética (es decir, va perdiendo fuerza y adquiere velocidad). 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. El eje de la turbina está unido al del generador eléctrico, que al girar convierte la energía rotatoria en corriente alterna de media tensión. El agua, una vez cedida su energía, es restituida al río aguas abajo de la central a través de un canal de desagüe.

1.7. Ventajas e inconvenientes de las centrales hidroeléctricas

Las ventajas de las centrales hidroeléctricas son:

- No necesitan combustibles y son limpias.
- Muchas veces los embalses de las centrales tienen otras utilidades importantes: el regadío, como protección contra las inundaciones o para suministrar agua a las poblaciones próximas.
- Tienen costes de explotación y mantenimientos bajos.
- Las turbinas hidráulicas son de fácil control y tienen unos costes de mantenimiento reducido.

En contra de estas ventajas se puede enumerar los siguientes inconvenientes:

- El tiempo de construcción es, en general, más largo que el de otros tipos de centrales eléctricas.
- La generación de energía eléctrica está influenciada por las condiciones meteorológicas y puede variar de estación a estación.
- Los costes de inversión por kilovatio instalado son elevados.
- En general, están situadas en lugares lejanos del punto de consumo y, por lo tanto, los costes de inversión en infraestructuras de transporte pueden ser elevados.

1.8. Impacto ambiental de las centrales hidroeléctricas

Siempre se ha considerado que la electricidad de origen hidráulico es una alternativa energética limpia. Aun así, existen determinados efectos ambientales debido a la construcción de centrales hidroeléctricas y su infraestructura.

La construcción de presas y, por extensión, la formación de embalses, provocan un impacto ambiental que se extiende desde los límites superiores del embalse hasta la costa. Este impacto tiene las siguientes consecuencias, muchas de ellas irreversibles:

- Sumerge tierras, alterando el territorio.
- Modifica el ciclo de vida de la fauna.
- Dificulta la navegación fluvial y el transporte de materiales aguas abajo (nutrientes y sedimentos, como limos y arcillas).
- Disminuye el caudal de los ríos, modificando el nivel de las capas freáticas, la composición del agua embalsada y el microclima.

Los costes ambientales y sociales pueden ser evitados o reducidos a un nivel aceptable si se evalúan cuidadosamente y se implantan medidas correctivas. Por todo esto, es importante que en el momento de construir una nueva presa se analicen muy bien los posibles impactos ambientales en frente de la necesidad de crear un nuevo embalse.

1.9. Energía

La energía es la capacidad de los cuerpos para realizar un trabajo y producir cambios en ellos mismos o en otros cuerpos. Es decir la energía es la capacidad de hacer funcionar las cosas. La unidad de medida que se utiliza para cuantificar la energía es el Joule (J). Como principio general de la naturaleza se establece que la energía ni se crea ni se destruye, solamente se transforma; tiene muchas formas, tales como la luz, el calor, la electricidad, la energía química y energía mecánica.

1.10. Fuente de energía renovable

Es aquella que puede producir energía constantemente, de forma que la energía consumida se renueva constantemente y, en consecuencia, su utilización es ilimitada. Dentro de estas energías se considera de mayor interés para los pueblos, que será las de más fácil uso por necesitar menor avance tecnológico y menor inversión para su aplicación. Por ende la más empleada en el Ecuador es la que se menciona a continuación.

1.11. La energía hidráulica

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

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

1.12. Pico Generador Hidroeléctrico

Estas centrales se encuentran condicionadas por las características que presenta el lugar donde van a ser construidas, se debe tomar en cuenta la topografía del

terreno al momento de poner en marcha una instalación de este tipo, ya que influirá en la obra civil tanto como en la maquinaria.

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

1.12.1. *Componentes principales de un Pico Generador Hidroeléctrico*

1.12.1.1. Bocatoma

Las obras de toma o bocatoma son las estructuras hidráulicas construidas sobre un río o canal con el objeto de captar, es decir extraer, una parte o la totalidad del caudal de la corriente principal. Las bocatoma suelen caracterizarse principalmente por el Caudal de Captación, el que se define como el gasto máximo que una obra de toma puede admitir.

Es necesario tener presente que la bocatoma es una estructura muy importante para el éxito de un proyecto. Si por una razón u otra se produce una falla importante en la obra de toma, esto significaría la posibilidad del fracaso de todo el Proyecto de Aprovechamiento Hidráulico.

1.12.1.2. Funciones de la bocatoma

Garantizar la captación de una cantidad constante de agua, especialmente en épocas de estiaje.

Impedir hasta donde sea posible, el ingreso de materiales sólidos y flotantes, haciendo que estos sigan el curso del río o facilitando la limpieza.

1.12.2. Sistemas de conducción

La alimentación del agua a las turbinas se hace a través de un sistema complejo de canalizaciones. Quien se encarga de transportar el flujo de agua a un nivel adecuado y de manera eficaz, conduciéndola desde la bocatoma hasta el desarenador y la cámara de carga. Tomando en cuenta un desnivel máximo de 0 a 10⁰.

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

1.12.2.1. Tubería de presión

La tubería de presión se utiliza para la conducción o canalización del agua desde el tanque de presión hasta la turbina específicamente, esta es apoyada en anclajes que la ayudan a soportar la presión generada por el agua y la dilatación que le ocurre por variación de temperatura. Son por lo general de acero, pero para pequeñas presiones pueden hacerse de hormigón, madera, PVC, asbesto – cemento o cualquier otro material apropiado.

La tubería de presión por lo general debe ser recta, pero si no es posible debido a las condiciones topográficas del terreno esta debe ajustarse al perfil topográfico trazado

utilizando estructuras de concreto que le puedan servir de apoyo para sostenerse y para variar la pendiente se utilizarán anclajes. Para obtener los diámetros adecuados se debe encontrar la velocidad del agua en cada tramo seleccionado empleando el teorema de Pitágoras.

Ecuación (1) 1.12.2.1.

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

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

Ecuación (2) 1.12.2.1.

$$\sin \beta = \frac{\text{Cateto opuesto}}{\text{Hipotenusa}}$$

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

Ecuación (3) 1.12.2.1.

$$\sum Fx = m * a$$

Ecuación (4) 1.12.2.1.

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

Dónde:

V: Velocidad

V₀: Velocidad inicial

a: Aceleración

d: Distancia

1.12.2.2. Selección de la tubería de presión

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

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

- Considerar las diferentes clases de material para uniones
- Comparar costos de mantenimiento
- Tomar diámetros de tubería y espesores de pared disponibles
- Diseñar soportes, anclajes y uniones

Seleccionar el diámetro en función del menor costo y menores pérdidas de energía

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

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

1.12.3. *Desarenador*

Tiene por objetivo evacuar partículas que fluyen en el agua evitando así que pasen a la tubería de presión que luego llega a la turbina conservando así los alabes que sean golpeados por estas partículas, dando una prolongada vida a la turbina que de esta depende la generación. El desarenador se refiere normalmente a la remoción de las partículas superiores a 0,2 mm la arena arrastrada por el agua pasa a las turbinas desgastándolas tanto más rápidamente cuanto mayor es la velocidad. Esto significa una disminución del rendimiento y a veces exige reposiciones frecuentes y costosas.

1.12.3.1. Ancho y longitud

Para determinar estos parámetros se procede a calcular con las siguientes ecuaciones:

Ecuación (5) 1.12.3.1.

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

Ecuación (6) 1.12.3.1.

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

Dónde:

Q: Caudal de diseño $0.050 \left[\frac{m^3}{s} \right]$

W: Ancho del desarenador [m]

L_d : Longitud del desarenador [m]

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

V_d : Velocidad de decantación de la partícula 0.03 para partículas de 0.3

d_d : Profundidad de decantación 0.3 [m] se recomienda valores inferiores a 1 [m]

f: Factor de seguridad se recomienda de 2 a 3

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

- La transición de entrada debe tener un ángulo de divergencia suave que oscila entre los 12° a 30°
- La pendiente longitudinal del canal central de la cámara varía de 2° a 6°

Ecuación (7) 1.12.3.1.

$$d_r = L_d * \tan 6$$

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

Ecuación (8) 1.12.3.1.

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

Dónde

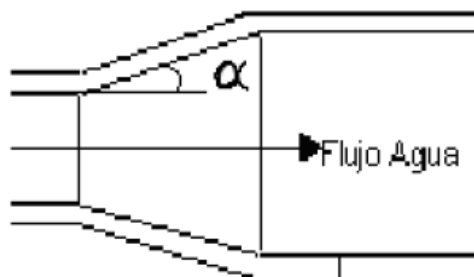
W': Ancho del canal de conducción en [m], (ancho de la tubería 0.1524 m)

α : Ángulo de entrada al desarenador (30°)

En el gráfico 1 se puede observar el ángulo α del desarenador.

GRÁFICO 1

ÁNGULO DE ENTRADA DEL DESARENADOR



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

1.12.4. *Tanque de presión*

Esta siempre cerca del desarenador, en el cual la velocidad del agua es prácticamente cero, su principal función es evitar que entren burbujas de aire en la tuberías de presión, también ayuda a amortiguar el golpe de ariete.

El golpe de ariete se produce cuando se cierra parcial o totalmente el órgano de control de la tubería y este se llama golpe de ariete positivo ya que la velocidad cinética del agua al estar cerrada la válvula de alimentación de la turbina se detiene y se transforma en presión, lo que conlleva a que la tubería tenga que soportar esta presión la cual es muy alta esta onda viajará en sentido contrario hasta llegar al tanque o cámara de presión en donde se aliviará dicha presión y saldrá un poco de agua por lo cual la presión disminuye tan rápido que esta disminuye tanto que la tubería se contraerá debido a la menor presión estando en el punto más crítico a la entrada de la válvula de corte de la turbina, este ciclo se repetirá sucesivamente hasta que la energía se disipe en forma de calor y empezará a amortiguarse este fenómeno hasta desaparecer

La misma que debe cumplir las siguientes funciones:

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

1.12.4.1. Volumen del tanque de presión

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

Ecuación (9) 1.12.4.1.

$$V = \frac{0,693 * A * V_o^2}{i * g}$$

Ecuación (10) 1.12.4.1.

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

Dónde:

V: Volumen del tanque. [m³]

A: Sección del canal o tubería de conducción, [m²].

Vo: velocidad del agua en la conducción

g: Aceleración de la gravedad

i: 1% = 0.01, Pendiente

D: Diámetro interior de la tubería de presión

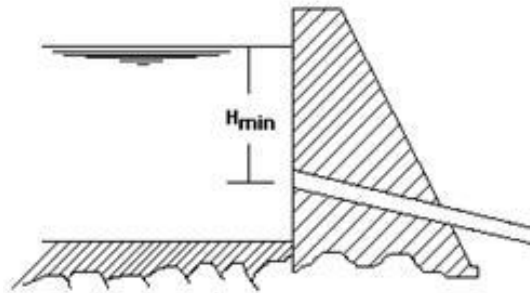
1.12.5. *Altura mínima del agua sobre la tubería de presión*

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

En el gráfico 2 se puede ver el esquema de la altura mínima del agua sobre la tubería de presión.

GRÁFICO 2

ALTURA MÍNIMA DEL AGUA SOBRE LA TUBERÍA DE PRESIÓN



Fuente: http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/interesantes/laderas_andinas/paginas/canales.htm

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

Ecuación (11) 1.12.5.

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

Ecuación (12) 1.12.5.

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

Dónde:

h : Altura mínima [m]

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

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

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

Ecuación (13) 1.12.5.

$$V = l_t * W * h_t$$

Dónde:

V : Volumen del tanque [m³]

W : Ancho del tanque [m]

L_d : Longitud del tanque [m]

H_t : Altura total del tanque [m]

1.12.6. *Casa de máquinas*

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

tipo de construcción varía de acuerdo a la disponibilidad de materiales así como también del clima en donde se sitúa.

1.12.6.1. Aspectos considerados para el diseño de la casa de máquinas

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

- Las irregularidades de la superficie del terreno en donde se implementará el Pico Generador Hidroeléctrico.
- Vías de acceso para el ingreso de los materiales para la construcción.
- Dimensionamiento de los equipos electromecánicos.
- La casa de máquinas debe estar situada cerca de la demanda.
- Tener en cuenta que en el canal de desagüe no se acumulen sedimentos que disminuyan la sección.
- Poseer una buena cimentación para la ubicación de las maquinas electromecánicas.
- Tener en cuenta al momento de la construcción su ubicación, porque existe la época de invierno.

1.12.7. Aliviadero

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

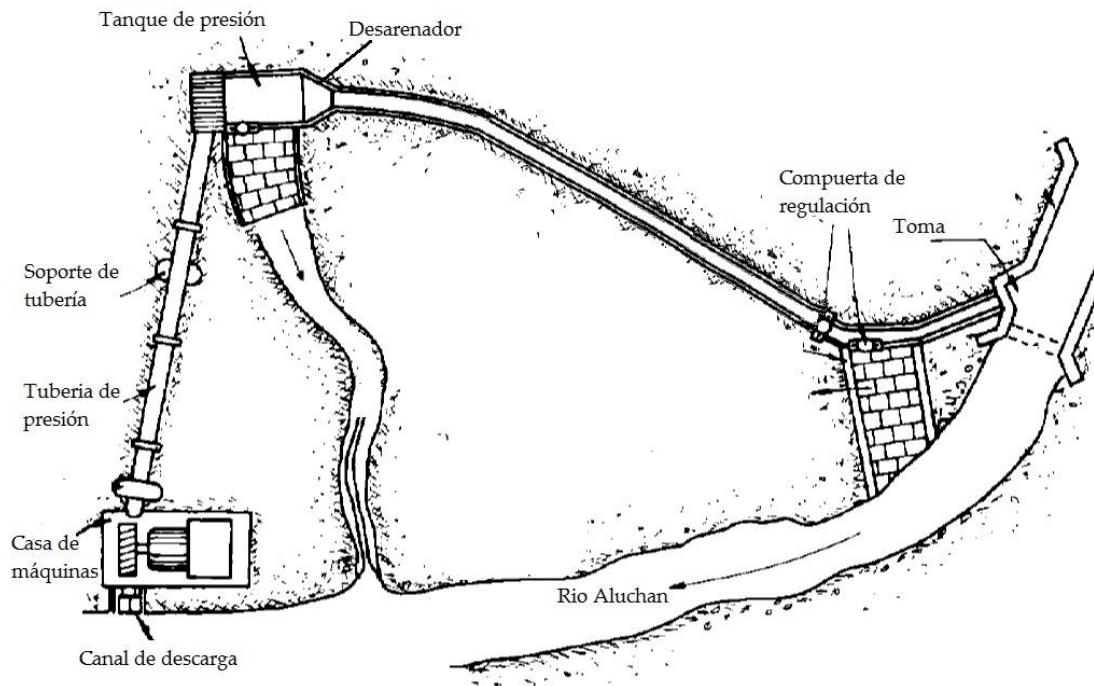
1.12.7.1. Desagües de fondo

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

En el gráfico 3 se puede observar el principio de funcionamiento de la pico central hidroeléctrica MICHELL BANKI con sus respectivos elementos.

GRÁFICO 3

ESQUEMA DE PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA PICO CENTRAL HIDROELÉCTRICA MICHELL BANKI



Fuente: <https://prezi.com/hwfpkkci92/untitled-prezi/>

1.12.8. *Ventajas e inconvenientes de un Pico Hidroeléctrico*

1.12.8.1. *Ventajas*

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

1.12.8.2. *Inconvenientes*

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

1.13. **Turbina hidráulica**

Según “Manuel Viejo Zubicaray ingeniero mecánico eléctrico”. Se llaman turbinas hidráulicas a una máquina destinada a transformar la energía mecánica del líquido en energía mecánica del rodete y del eje. Por su principio de funcionamiento, las turbinas hidráulicas se dividen en dos grandes categorías: acción y reacción. Las turbinas de acción utilizan la energía cinética del líquido y las de reacción recurren, fundamentalmente, a la energía potencial. Las turbinas más ampliamente utilizadas en pequeñas centrales hidroeléctricas son las siguientes: en la categoría de reacción,

turbinas axiales de alabes regulables (Kaplan) y de hélice, y turbinas radio axiales (Francis); en la categoría de acción, turbinas de cucaras (Pelton), de corros inclinados (Turgo) y de corros transversales (de doble impulsión, Banki- Michell).

Es decir las turbinas hidráulicas son aquellas que aprovechan el potencial del agua para transformarla en energía mecánica y posterior en energía eléctrica. Su componente más importante es el rotor, posee una serie de álabes que son impulsados por la fuerza producida por el agua en movimiento.

1.14. Turbina Michell Banki

1.14.1. *Introducción*

“Según Oscar Mallitasig”. La turbina Michell – Banki es una turbina de acción de flujo transversal y de admisión parcial. Se aprovecha el salto y caudal para satisfacer la demanda de un sistema eléctrico. Los elementos principales son: el inyector o tobera que regula y orienta el agua que ingresa a las turbinas, y el rodete que genera potencia al eje de la turbina. Las turbinas Michell – Banki son más utilizadas en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, por un diseño simple, buena eficiencia cuando opera con cargas parciales, su reducido costo de fabricación y mantenimiento simple. Vista de una manera sencilla de interpretar esto es que la turbina Michell Banki puede ser utilizada en amplios intervalos de caudal y altura sin disminuir de manera apreciable su eficiencia. La turbina de flujo transversal conocida también como una máquina de pequeña escala, esto no impide que la turbina se utilice en grandes instalaciones.

El origen de la Turbina Michell Banki se remonta a principios de siglo cuando el ingeniero A.G. Michell desarrolló, en 1903, la turbina de flujo cruzado de doble

paso, la cual fue estudiada en la Universidad de Budapest por el ingeniero D. Banki entre los años 1917 y 1919. En 1993 el ingeniero alemán Fritz Ossberger desarrolló la turbina que denominó Cross – Flow, que era una turbina de flujo transversal con un mejor diseño que la desarrollada por Michell y estudiada por Banki.

1.14.2. *Descripción*

La turbina Michell Banki es una máquina de acción, de flujo transversal y de admisión parcial, son de gran importancia en pequeños aprovechamientos hidroeléctricos donde se aprovecha un salto y un caudal medio para satisfacer la demanda de un sistema eléctrico. Su característica principal es que un amplio chorro de agua, de sección rectangular, incide dos veces, cruzando por el interior del rotor, sobre los álabes. Otra ventaja de la turbina de flujo cruzado con respecto a la Turbina Francis constituye su reducido costo de fabricación

1.14.3. *Características Generales*

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

- Presenta un amplio rango de aplicación, estando entre un margen establecido de la turbina Pelton de doble inyector y las Francis.
- Puede operar en amplios rangos de caudal y altura sin afectar su eficiencia.
- Presenta una construcción sencilla, ya que pueden ser fabricados en pequeños talleres mecánicos.
- Debido a su simplicidad de construcción y funcionamiento, presentan costos operación y mantenimiento reducidos.

- Es la turbina que mejor se aplica para ser empleadas en zonas rurales, donde no existe el tendido de red eléctrica.

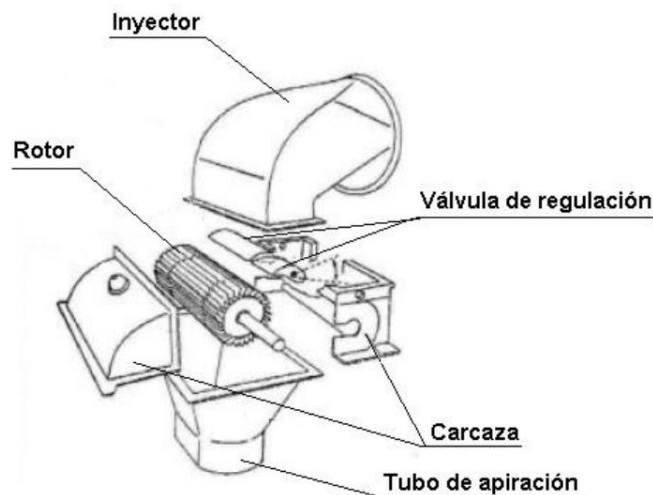
1.14.4. *Principio de funcionamiento*

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

En el gráfico 4 se presenta las partes de una turbina Michell Banki.

GRÁFICO 4

PARTES DE UNA TURBINA MICHELL BANKI



Fuente: <http://www.bdigital.unal.edu.co/14898/1/9287-15810-1-PB.pdf>

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

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

1.14.5. *Componentes*

La turbina consta de dos componentes esenciales que se menciona a continuación:

1.14.5.1. Rodete

El rodete es una parte fundamental de la turbina, que constan de álabes que pueden ser fabricadas en acero perfilado estirado blanco y soldadas a ambos lados en discos paralelos terminales según el diseño. Según sea su tamaño, el rodete puede poseer un número específico de álabes, curvado linealmente produciendo un empuje axial pequeño, este empuje es amortiguado por medio de los rodamientos en los cuales van situados. Una vez concluido su construcción, para el montaje final el eje de la turbina es sometido a un balanceo y un perfecto alineamiento.

1.14.5.2. Inyector

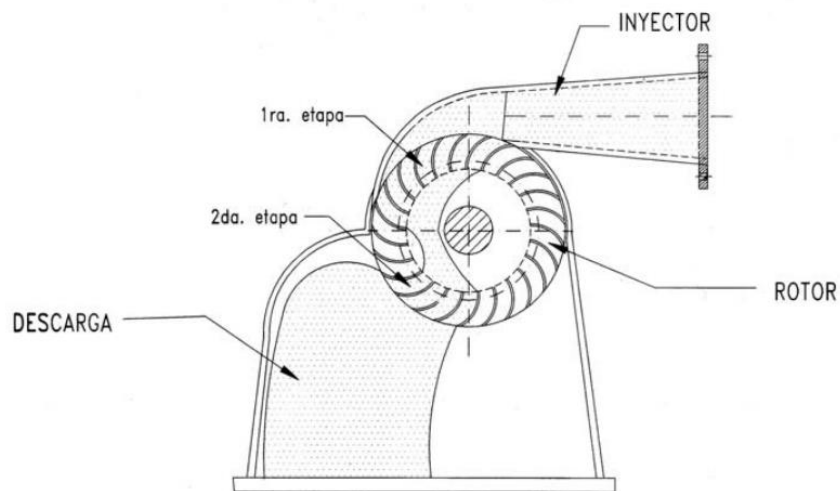
El inyector es el que dirige el agua hacia el rotor a través de una sección que toma una determinada cantidad de álabes del mismo, y guía el agua para que entre al rotor con un ángulo determinado obteniendo el mayor aprovechamiento de caudal.

Los alabes directrices dividen y dirigen la corriente de agua que proviene de la cámara de carga, haciendo que ésta llegue al rodete sin efecto de golpe. El inyector posee una sección transversal rectangular que va unida a la tubería en forma rectangular – circular.

En el gráfico 5 se puede observar el funcionamiento del inyector de la turbina MICHELL BANKI.

GRÁFICO 5

FUNCIONAMIENTO DEL INYECTOR DE LA TURBINA TIPO MICHELL BANKI



Fuente: file:///C:/Users/Usuario-Pc/Downloads/Fichatecnica2-Turbina+michell+bankL%20(3).pdf

1.15. Generador eléctrico

Es todo dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrica entre dos de sus puntos (llamados polos, terminales o bornes) transformando la energía

mecánica en eléctrica, como se sabe, los generadores eléctricos están accionados por turbinas o primo-motores. Esta transformación se lleva a cabo por la acción de un campo magnético sobre los conductores eléctricos (espiras) dispuestos sobre una armadura (estator). Si se produce mecánicamente un movimiento relativo entre los conductores y el campo, se generará una fuerza electromotriz.

1.15.1. *Principio de funcionamiento*

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

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

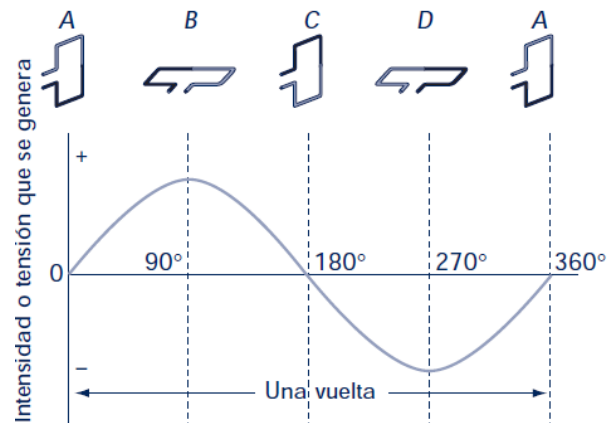
Cuando gira el inducido, los conductores cortan las líneas de campo magnético, de este modo se genera en ellos una f.e.m. Los puntos y los cruces representados en las secciones de los conductores, indican el sentido de la f.e.m. generada cuando el inducido gira en sentido contrario a las agujas del reloj.

Por tanto, si se coloca una espira dentro de un campo magnético, ésta cortará en su giro las líneas de fuerza del campo magnético creado por los polos norte y sur, conectando de este modo sus extremos, siendo anillos sobre los cuales se apoyan las escobillas que están conectadas al circuito exterior a través de una resistencia. El

aparato de medida registrará el paso de corriente eléctrica. La forma de esta corriente eléctrica es una onda sinusoidal como lo es también la f.e.m. inducida, que gira de 0° a 360° , a través de las posiciones A (0°), B (0° a 90°), C (90° a 180°) y D (180° a 270°), para pasar de nuevo a la posición A inicial, se produce la onda sinusoidal que corresponde con la representación de una corriente o voltaje alterno. Se puede observar en el gráfico 6, el tipo de onda sinusoidal de una corriente y voltaje alterno.

GRÁFICO 6

ONDA SINUSOIDAL



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

1.16. Generador síncrono

Son máquinas eléctricas rotativas que se acoplan directa o indirectamente al rodete de la turbina y así conjuntamente producen energía eléctrica, generando una corriente alterna mediante inducción electromagnética. Su principio fundamental de funcionamiento consiste en la excitación independiente variable que genera un flujo constante en el rotor por “corriente continua” y la corriente generada en el estator es alterna, de ahí que también se denomina como alternador.

1.16.1. *Principio de funcionamiento*

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

1.16.2. *Partes del generador síncrono*

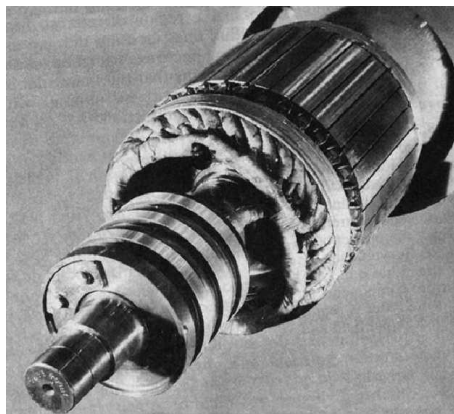
1.16.2.1. Rotor

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

El gráfico 7 muestra el rotor de un generador síncrono.

GRÁFICO 7

ROTOR DE UN GENERADOR SÍNCRONO



Fuente: http://opex-energy.com/eolica/generador_sincrono_y_asincrono.html

1.16.2.2. Estator o Armadura

Conforma la parte fija de la máquina, que cubre al rotor de forma que el mismo pueda girar en su interior, también constituido de un material ferromagnético envuelto en un conjunto de enrollamientos distribuidos al largo de su circunferencia como se puede observar en el gráfico 8.

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

GRÁFICO 8

ESTATOR DE UN GENERADOR SÍNCRONO



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

1.16.3. *Ventajas*

- Pueden ser monofásicas o trifásicas, especialmente en aplicaciones de potencia con grandes eficiencias.
- Presentan largas horas de funcionamiento.
- Frecuencias sincrónicas normalizadas: 50 y 60 Hz.
- La velocidad de giro de la máquina en rpm. (revoluciones por minuto), permanece invariable, la velocidad rotativa es dada por la máquina, en este caso la turbina hidráulica.
- El alternador puede soportar altas corrientes instantáneas de carga o bajos factores de potencia lo que es típico en el arranque de un motor de inducción.

Los alternadores normales permiten el desbalance de las corrientes de carga de hasta un 25% sin superar la corriente nominal, a cargas parciales el valor de desbalance puede ser mayor, pero sin superar el 40% para evitar el desequilibrio de tensiones y hasta sobre tensiones.

1.16.4. *Desventajas*

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

1.17. Medición del caudal

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

1.17.1. *Método del flotador*

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

La metodología a emplear es la siguiente:

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

Ecuación (14) 1.18.1.

$$A = a * h$$

- Para determinar la velocidad que lleva el agua en esa sección, se marca en el terreno la longitud elegida y se toma el tiempo que demora un flotador en recorrerla.

- Como flotador se puede usar cualquier objeto que sea capaz de permanecer sobre el agua, como un trozo de madera, corcho, hojas de árbol u otro material similar que no ofrezca gran resistencia al contacto con el aire y que se deje arrastrar fácilmente por la corriente de agua.
- Determinación de velocidad. Se divide la longitud del tramo por el tiempo que tarda el flotador en recorrerla, como se puede ver en la fórmula siguiente:

Ecuación (15) 1.18.1.

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

- Por último se determina el caudal del río con la siguiente fórmula:

Ecuación (16) 1.18.1.

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

1.18. Altura bruta

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

1.18.1. *Método del levantamiento topográfico*

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

1.18.1.1. Planimetría

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

El conjunto de líneas que unen los puntos observados se denomina Poligonal Base y es la que conforma la red fundamental del levantamiento, la poligonal base puede ser abierta o cerrada según los requerimientos del levantamiento topográfico. Como resultado de los trabajos de planimetría se obtiene un esquema horizontal. La ubicación de los diferentes puntos sobre la superficie de la tierra se hace mediante la medición de ángulos y distancias a partir de puntos y líneas de referencia proyectadas sobre un plano horizontal.

1.18.1.2. Estación total

Consiste en la incorporación de un distanciómetro y un microprocesador a un teodolito electrónico que pueden medir automáticamente ángulos horizontales y verticales, y también distancias inclinadas desde una sola estación, con estos datos pueden calcular instantáneamente las componentes horizontales y verticales de las distancias, las elevaciones y coordenadas.

La estación total se puede observar en el GRÁFICO 9

GRÁFICO 9
ESTACIÓN TOTAL



Fuente:<http://sistemastopoGRÁFICOS.com.mx/producto/estaciones-totales-serie-es-100/>

1.18.2. Trípode

Es un instrumento que sirve para soportar y evitar el movimiento de un equipo de medición, su manejo es sencillo, ya que consta de tres patas, las cuales son

regulables para así poder tener un mejor manejo al momento de subir o bajar las patas que se encuentran fijas en el terreno, en su extremo tienen una punta metálica de forma cónica y en su parte superior una articulación por donde se une a la cabeza.

El Trípode se puede observar en la GRÁFICO 10

GRÁFICO 10

TRÍPODE



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

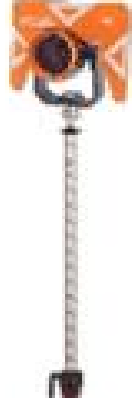
1.18.3. *Prisma simple*

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

El prisma se puede observar en la gráfico 11.

GRÁFICO 11

PRISMA



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

1.19. Altura neta

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

Ecuación (17) 1.20.

$$Hn = Hb - \Delta h_{(1-2)}$$

1.19.1. *Longitud de la tubería de presión*

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

Ecuación (18) 1.20.1.

$$L(\text{tubería} - \text{presión}) = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

1.19.2. ***Pérdidas primarias (Ecuación de Darcy-Weisbach)***

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

Ecuación (19) 1.20.2.

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

Donde Δh_l es la pérdida de carga debida a la fricción, calculada a partir del coeficiente de fricción λ (término este conocido como factor de fricción de Darcy o coeficiente de rozamiento), la relación entre la longitud y el diámetro de la tubería L/D , la velocidad de flujo v , y la aceleración debida a la gravedad g que es constante. El factor de fricción λ varía de acuerdo con los parámetros de la tubería y la velocidad del flujo y puede ser conocido con cierta exactitud dentro de ciertos regímenes de flujo. El coeficiente de pérdida equivale a:

Ecuación (20) 1.20.2.

$$\lambda = 0.01 \left(\frac{k}{D} \right)^{0,134}$$

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

Dónde:

λ : Factor de fricción

Δh_l : Pérdidas primarias [m]

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

D: Diámetro de la tubería [m]

L: Longitud de la tubería de la presión [m].

v : Velocidad de flujo de agua $\left[\frac{m}{s}\right]$

g : 9.81 aceleración de la gravedad $\left[\frac{m}{s^2}\right]$

1.19.3. *Ecuación general de las pérdidas secundarias*

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

Ecuación (21) 1.20.3.

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

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

Las pérdidas secundarias son generadas por la fricción de los elemento que componen la conducción del fluido, como: La rejilla **hr**, la entrada de la tubería **he**,

los codos **hk**, las válvulas **hv**, bifurcaciones **hram**, el estrechamiento del tubo **hestr**.

1.19.4. *Las pérdidas hidráulicas de un ducto*

Las pérdidas hidráulicas de un ducto corresponden a pérdidas de caída y equivalen a la suma de las pérdidas primarias y secundarias presentes en ellas, que corresponde a:

Ecuación (22) 1.20.4.

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

En la tabla 1 se puede encontrar el coeficiente de pérdidas secundarias en codos y tuberías.

TABLA 1

COEFICIENTE DE PÉRDIDAS SECUNDARIAS ξ EN ACCESORIOS

CODOS Y TUBERÍAS									
v (ml)	269	356	465	412	461	519	688	608	690
t (s)	5	5	5	3	3	3	3	2	2
ΔH (m)	0,005	0,009	0,013	0,017	0,020	0,029	0,043	0,063	0,07
Q (m³/s)	0,00005	0,00007	0,00009	0,00014	0,00015	0,00017	0,00023	0,00030	0,00035
V (m/s)	0,0265	0,0351	0,0459	0,0678	0,0758	0,0854	0,1131	0,1500	0,1702
Re	1348,43	1784,54	2330,93	3442,09	3851,47	4336,04	5747,96	7619,39	8647,01
λ	0,495	0,367	0,273	0,408	0,397	0,381	0,354	0,338	0,319
$\sum Leq$ (m)	14,2888	19,8067	22,5430	9,0455	8,7353	10,4130	9,4564	8,2580	7,5486
Hroz (m)	0,005	0,009	0,013	0,017	0,020	0,029	0,043	0,063	0,070
Hroz/$\sum Leq$	0,00035	0,00045	0,00058	0,00188	0,00229	0,00278	0,00455	0,00763	0,00927

Fuente: <http://es.slideshare.net/yuricomartinez/lab0-4-prdida-de-carga-en-tuberas-y-accesorios>

1.19.5. *La potencia hidráulica neta*

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

Ecuación (23) 1.20.5.

$$Ph = \gamma w * Q * H_n$$

Dónde:

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

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

H_n : Altura neta disponible en la central [m]

1.19.6. *Potencia al freno de la turbina*

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

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

Ecuación (24) 1.20.6.

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

Dónde:

P_T = Potencia al freno de la turbina

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

$\eta_g :$ Eficiencia de un generador 93%

$\eta_{tr} :$ Eficiencia de transmisión, considerando un sistema de bandas o sea 0.95%

$\eta =$ Eficiencia de la turbina cuando opera a plena carga

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

Ecuación (25) 1.20.6.

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

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

Ecuación (26) 1.20.6.

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

Dónde:

N: Numero óptimo de revoluciones

De: Diámetro exterior del rodete

1.19.7. *Potencia transmitida al generador*

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

Ecuación (27) 1.20.7.

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

Dónde:

PT: Potencia al freno de la turbina, Watts.

η_{TR} Potencia transmitida al generador, Watts.

El tipo de transmisión utilizado son del tipo engranajes o bandas como se muestra en la tabla 2

TABLA 2

TIPOS DE TRANSMISIÓN PARA PICO GENERADORES HIDROELÉCTRICOS

TIPO	η_{TR}
Engranajes	0.98
Bandas o fajas en “V”	0.95

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

Elaborado por: Postulantes

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

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

Ecuación (28) 1.20.8.

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

Dónde:

: Potencia transmitida al generador, Watts.

: Eficiencia del generador, [0.85 – 0.98]

1.19.9. Par de polos del generador

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

Ecuación (29) 1.20.9.

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

Dónde:

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

f: Frecuencia [Hz]

1.19.10. Velocidad Específica

Esto representa el número de revoluciones por minuto que dará la turbina. El rango de aplicación de la turbina Michell Banki está comprendido dentro del rango de aplicación de la Turbina Francis, superándola en eficiencia cuando la turbina opera la mayor parte del tiempo a carga parcial, lo cual ocurre en proyectos de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. Este rango de aplicación lo definen los

números específicos de revoluciones N_q y N_s especificados en la tabla 3, los cuales se obtienen con las ecuaciones:

Ecuación (30) 1.20.10.

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

TABLA 3
RANGOS DE APLICACIÓN DE TURBINAS HIDRÁULICAS

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

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

Elaborado por: Postulantes

1.20. Diseño hidráulico

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

1.21.1. Selección del diámetro de la turbina

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

Factores que se consideran en el diseño:

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

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

Ecuación (31) 1.21.1.

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

Dónde:

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

H_n : Altura neta disponible en la central [m]

1.21.2. Diagrama de Velocidades

Los perfiles de los álabes del rodete de una turbina, se determinan 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.

Ecuación (32) 1.21.2.

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

En dónde:

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 pueden ser 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.

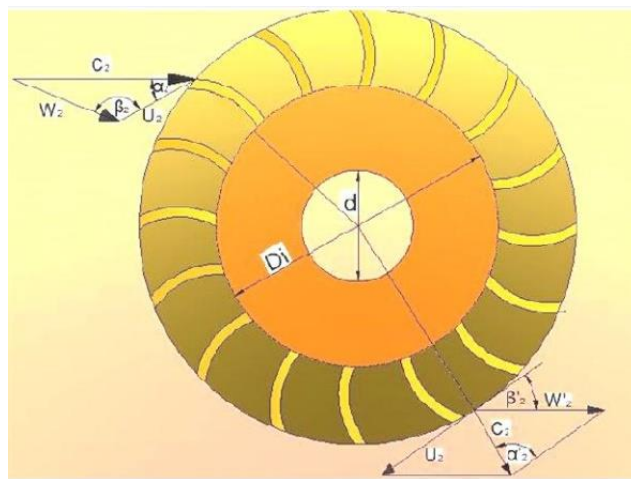
γ_w y **g**: representan el peso específico del agua y la aceleración de la gravedad, respectivamente.

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

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

En el gráfico 12 se puede observar el diagrama de velocidades correspondientes a los perfiles de los alabes en el rodete.

GRÁFICO 12
DIAGRAMA DE VELOCIDADES



Fuente:http://www.efn.uncor.edu/posgrado/rrhh/assignaturaspdf/Tesis/Tesis_CAG_2012.pdf

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

1.21.2.1. Velocidad del agua a la salida del inyector

Ecuación (33) 1.21.2.1.

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

1.21.2.2. Velocidad Tangencial

Ecuación (34) 1.21.2.2.

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

1.21.2.3. Velocidad Relativa

Ecuación (35) 1.21.2.3.

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

1.21.2.4. Velocidad Meridiana

Ecuación (36) 1.21.2.4.

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

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

Ecuación (37) 1.21.2.4.

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

1.20.3. *Geometría del inyector*

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

El inyector posee una sección transversal de forma rectangular compuesta por caras laterales rectas que permiten descargar el fluido sobre todo el ancho del rotor considerando un balance de presión en el flujo de agua producida por la tubería de presión.

Con el valor del diámetro de rodete asumido, se determina la geometría del rodete el inyector, para la cual es necesario determinar el ancho del inyector con la formula práctica.

Ecuación (38) 1.21.3.

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

1.20.4. *Geometría del rodete*

La geometría del rodete se determina en base a los ángulos obtenidos de los diagramas de velocidades. Considerando α_2 igual a 16° y K_u igual a 0.5 se obtiene el diámetro interno con la siguiente ecuación.

Ecuación (39) 1.21.4.

$$D_i = 0.66 * D_e$$

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

Ecuación (40) 1.21.4.

$$\theta_{ad} = \frac{2 * 1000 * 180 * Q}{C2 * D_e * B * \sin 16 * \pi}$$

En donde:

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

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

B: Ancho del inyector, [m]

De: Diámetro del rodete, en [mm]

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

Ecuación (41) 1.21.4.

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

Dónde:

Na : Número de álabes de admisión

θ_{ad} : Ángulo de admisión del rotor

Z: Número de álabes del rodete

Qa: Caudal para cada álabe de admisión

Lógicamente el caudal para cada álabe de admisión será:

Ecuación (42) 1.21.4.

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

1.20.5. *Geometría de la carcasa*

Es la parte que se encarga de cubrir y proteger al inyector, rotor y otros elementos mecánicos ya sean móviles o fijas que conforman la turbina. La geometría de la carcasa depende de la longitud de los alabes y el diámetro del rodete, también está constituido por un desfogue del fluido de agua, la misma que cumple la función de direccionar el chorro turbinado hacia el canal de descarga.

1.21. **Diseño mecánico**

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

1.22.1. *Ancho del rotor*

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

Ecuación (43) 1.22.1.

$$Br = 1.5 * B$$

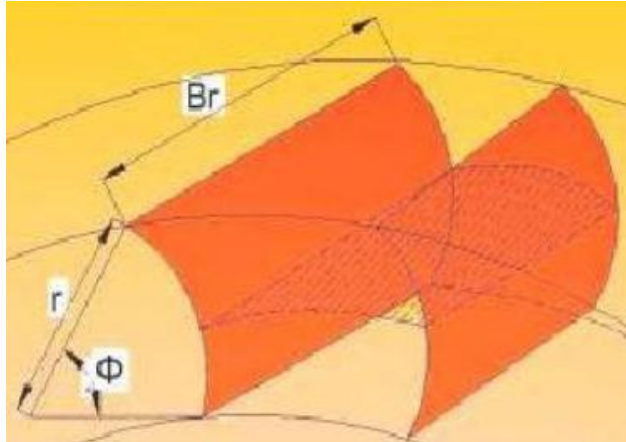
Dónde:

Br: Longitud del rodete [*m*].

B: Ancho del inyector [*m*].

En el gráfico 13 se especifica el ancho del rodete.

GRÁFICO 13
LONGITUD DEL RODETE



Fuente: [http://turbinasayala.blogspot.com/Longitud del rodete](http://turbinasayala.blogspot.com/Longitud%20del%20rodete)

1.22.2. Número de álabes del rodete

La selección del número de álabes se realiza en función al diámetro y a las condiciones de funcionamiento de la turbina, es decir la altura y el caudal.

El número de álabes se determina con ayuda de la tabla 4:

TABLA 4
SELECCIÓN DEL NÚMERO DE ÁLABES DEL RODETE

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

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

Elaborado por: Postulantes

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

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

Ecuación (44) 1.22.2.

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

Dónde:

Pz: Paso entre álabes

De: Diámetro exterior del rodete

Z: Número de álabe

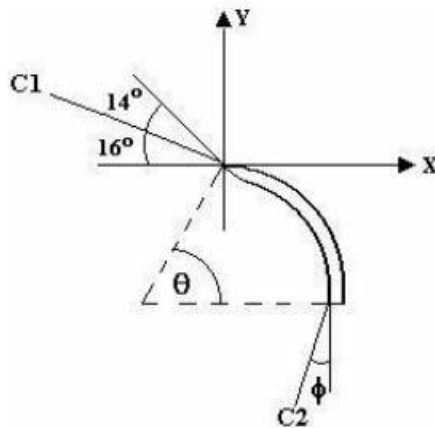
1.21.3. *Fuerza hidráulica sobre un álabe*

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

En el gráfico 14 podemos ver el ángulo de la velocidad absoluta a la entrada y salida del álabe.

GRÁFICO 14

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



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

Ecuación (45) 1.22.3.

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

Ecuación (46) 1.22.3.

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

Ecuación (47) 1.22.3.

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

1.21.4. ***Fuerza centrífuga sobre un álabe***

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

Ecuación (48) 1.22.4.

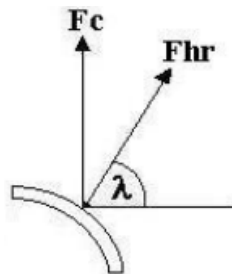
$$F_c = 0.895 * \frac{Pa * Hn}{De}$$

1.21.5. ***Fuerza total sobre el álabe***

La fuerza total se calcula para el caso más desfavorable, en el cual la resultante de las fuerzas hidráulica y centrífuga es mayor, donde el ángulo λ es diferente para cada diámetro de rotor como se muestra en el gráfico 15,

GRÁFICO 15

COMPOSICIÓN DE FUERZAS SOBRE EL ÁLABE



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

Ecuación (49) 1.22.5.

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

Ecuación (50) 1.22.5.

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

Ecuación (51) 1.22.5.

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

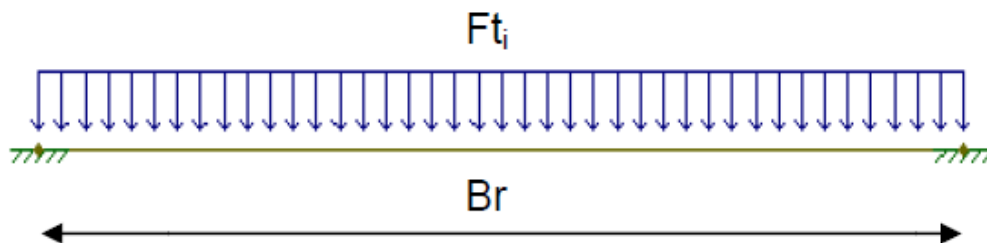
1.21.6. *Plancha del inyector*

Para el análisis de la fuerza (presión) total sobre el inyector, se debe considerar la sección de entrada de éste, donde actúa la fuerza de presión del agua, esta fuerza lo podemos calcular con la ecuación (52) 1.22.6.

En el gráfico 16 se puede ver la plancha del inyector con respecto al ancho del rodete.

GRÁFICO 16

PLANCHA DEL INYECTOR



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

Ecuación (52) 1.22.6.

$$F_{ti} = 390 * D_e * H_n * B_r [kgf]$$

Dónde:

Br: Ancho del rodete [m]

Hn: Altura neta [m]

De: Diámetro exterior del rodete [m]

1.21.7. *Diseño del eje principal*

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

1.21.7.1. *Discos de unión de álabes*

Son los discos en los cuales están fijados los álabes que componen el rodete. El volumen de los dos discos se determina:

Ecuación (53) 1.22.7.1.

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

Dónde:

Vds: Volumen de los discos separadores, [m³]

De: Diámetro exterior del rodete, [mm]

t: Espesor de los discos, mm (3 – 5)

El peso de los discos entonces sería:

Ecuación (54) 1.22.7.1.

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

El peso total del rodete, será entonces:

Ecuación (55) 1.22.7.1.

$$WT_{rodete} = w_{ds} + WT_{alabe}$$

1.21.7.2. Torque de accionamiento

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

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

Ecuación (56) 1.22.7.2.

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

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

Ecuación (57) 1.22.7.2.

$$a = 0.8 * Br$$

El diámetro mínimo del eje se realiza según el cálculo mecánico ASME, con la ecuación (58) 1.22.7.2.

En la tabla 5 se puede ver las propiedades mecánicas de las aleaciones en turbinas hidráulicas.

TABLA 5
PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS ALEACIONES USADAS EN TURBINAS
HIDRÁULICAS

MATERIAL	ESFUERZO DE FLUENCIA kg/mm ²	ESFUERZO DE TENSION kg/cm ²	MINIMA RESISTENCIA A DE IMPACTO kg/cm ²	DUERZA BRINEL kg/mm ²	LIMITE DE FATIGA kg/mm ²
ACERO AL 13% Cr	45	65-75	4	190-30	30
ACERO AL 18% Cr, 8% Ni	15	40-50	18	130-170	13
ACERO AL 2% Ni	35	55-65	6	155-195	22
ACERO AL 1.5% Mn	34	50-60	6	140-180	18
BRONCE AL ALUMINIO	30	60-70	1	190-230	15

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

Elaborado por: Postulantes

Ecuación (58) 1.22.7.2.

$$d^3 = \frac{16}{\pi Sd} \sqrt{(km Mmax)^2 + (kt Tmax)^2}$$

Ecuación (59) 1.22.7.2.

$$Mmax = \sqrt{Mx^2 + My^2}$$

Siendo

Ecuación (60) 1.22.7.2.

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

Ecuación (61) 1.22.7.2.

$$My = WTrodete * \frac{a}{2}$$

Dónde:

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

Mmax: Momento flector máximo que se presenta en el eje

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

Fr: Es la fuerza tangencial del rodete calculada por:

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

Ecuación (62) 1.22.7.2.

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

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

Ecuación (63) 1.22.7.2.

$$d = 0.328 * De$$

1.21.7.3. Selección de rodamientos

En toda máquina rotativa es necesario la selección de rodamientos, para esto se deben considerar aspectos relevantes que ayudan a obtener una buena velocidad de giro, considerando pérdidas mínimas, las cuales se mencionan a continuación:

- Para velocidades elevadas se consideran normalmente rodamientos de bolas.
- Los cálculos de los rodamientos se consideran en función a las cargas dinámicas y estáticas.
- La carga se considera dinámica si el giro es constante, mientras que la carga estática se mantiene en reposo o cuando ejecuta movimientos leves.
- Para acoplar los rodamientos de giro y soporte se instalarán con la ayuda de chumaceras en sus dos extremos.

1.21.7.4. Sistema de transmisión de potencia mecánica

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

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

Ecuación (64) 1.22.7.4.

$$N1 * Z1 = N2 * Z2$$

Con lo que la velocidad del eje conducido será:

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

Dónde:

N1: Velocidad de giro del eje conductor

N2: Velocidad de giro del eje conducido

Z1: Número de dientes de la rueda

Z2: Número de dientes del piñón

1.21.7.5. Diámetro de la polea

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

Ecuación (65) 1.22.7.5.

$$i = \frac{N2}{N1}$$

Dónde:

i : Relación de transmisión.

N_2 : Velocidad de giro en el generador

N_1 : Velocidad de giro en la turbina

Entonces el diámetro de la polea correspondiente será:

Ecuación (66) 1.22.7.5.

$$D_1 = d_2 * i$$

1.21.7.6. Potencia corregida

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

Ecuación (67) 1.22.7.6.

$$P_c = P * C$$

Dónde:

P_c Potencia corregida [CV]

P : Potencia a transmitir [CV]

C : Factor de servicio según las condiciones de trabajo

En la tabla 6 se puede encontrar el tipo de factor de servicio según las condiciones de trabajo para el cálculo de la potencia corregida.

TABLA 6

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

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

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

Elaborado por: Postulantes

1.21.7.7. Distancia entre ejes

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

- Para i comprendida entre 1 y 3

Ecuación (68) 1.22.7.7.

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

➤ Para $i \geq 3$:

$$I \geq D_1$$

Dónde:

I : Distancia entre ejes

d_2 : Diámetro de la polea menor (generador)

D_1 : Diámetro de la polea mayor (turbina)

1.21.7.8. Longitud primitiva de la correa trapezoidal

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

Ecuación (69) 1.22.7.8.

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

En la tabla 7 se puede ver el tipo de correa trapezoidal utilizado en la transmisión entre la turbina y el generador.

TABLA 7

CORREAS TRAPEZOIDALES DE SECCIÓN CONVENCIONAL

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

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

Elaborado por: Postulantes

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

Ecuación (70) 1.22.7.8.

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

1.21.7.9. Arco de contacto

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

Ecuación (71) 1.22.7.9.

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

1.21.7.10. Potencia transmitida por la correa trapezoidal

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

Ecuación (72) 1.22.7.10.

$$Pa = (Pb + Pd) * Pr * Cl$$

Dónde:

P_a : Potencia transmitida por la correa.

P_b : Prestación base (CV).

P_d : Prestación Diferencial (CV).

C_r : Factor de corrección, para arcos de contacto inferiores a 180°.

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

En la tabla 8 se puede ver el factor de corrección, C_r para arcos de contacto inferiores a 180°

TABLA 8

FACTOR DE CORRECCIÓN C_r PARA ARCOS DE CONTACTO INFERIORES A 180°

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

Fuente: http://www.martinezgambino.com.ar/catalogo_correas.pdf

1.21.7.11. Determinación del número de bandas

El número de bandas se calcula aplicando la siguiente ecuación:

Ecuación (73) 1.22.7.11.

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

1.22. Tablero de Control

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

1.23.1. Instrumentos que conforman el tablero de control

1.23.1.1. Voltímetro

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

1.23.1.2. Amperímetro

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

1.23.1.3. Luz Piloto

Son indicadores de luz que permiten visualizar si hay la presencia (verde) o ausencia (rojo) de energía eléctrica las mismas que están instalados en el tablero siendo conectados después del multímetro. En el gráfico 17 se puede observar el tipo de luz piloto.

GRÁFICO 17

LUZ PILOTO



Fuente: <http://w-handler.com/web/catalogos/linea-de-comandos-y-accesorios>

1.23.1.4. Puesta a tierra

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

1.23.1.5. Protección contra sobrecarga

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

- a) Aislar rápidamente la porción afectada del sistema, de manera que se minimice el efecto y se mantenga el servicio tan normal como sea posible.
- b) Reducir el valor de la corriente de cortocircuito para reducir los daños potenciales del equipo o partes de la instalación.
- c) Proveer al sistema, siempre que sea posible, de medio de cierre automático, para minimizar la duración de fallas de tipo transitorio.

Por ende el cálculo de la protección general del complejo se obtiene con la siguiente ecuación.

Ecuación (74) 1.23.1.5.

$$P = V_f * I_f * f_p$$

Dónde:

P: Potencia activa del generador

V_f: Voltaje de fase

If: Corriente de fase

fp: Factor de potencia (0.92)

1.23. Análisis económico del proyecto

1.23.1. Costos

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

1.23.1.1. Costos directos

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

- Mano de obra
- Adquisición de materiales

1.23.1.2. Costos indirectos

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

Dentro de los cuales se mencionan los siguientes.

- Transporte
- Alimentación

1.23.1.3. Valor de la depreciación

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

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

- Obra civil
- Equipo electromecánico
- Equipo eléctrico

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

Ecuación (75) 1.24.1.3.

$$Vd = \frac{Va - Vs}{Vu}$$

Dónde:

Vd: Valor de la depreciación

Va: Valor del activo

Vs: Valor de salvamento

Vu: Vida útil

1.23.2. *Costo de la energía*

Para determinar el costo de la energía se debe considerar la potencia de cada equipo eléctrico y el número de horas que estarán en funcionamiento por día, por mes y finalmente por año. Como se detalla en la tabla 22 (pág. 128).

1.23.3. *Relación beneficio costo*

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

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

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

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

Ecuación (76) 1.24.3.

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

1.23.4. *Cálculo del valor de inversión*

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

Ecuación (77) 1.24.4.

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

Dónde:

In: inversión del proyecto ia; interés anual (10%)

n: vida útil del proyecto

1.23.5. *Costo del KWh producido por el PGH*

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

Ecuación (78) 1.24.5.

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

Dónde:

Ep: Energía producida al año

A: Valor de inversión (anual)

COM: Costo Operación y Mantenimiento

CAPÍTULO II

2. PRESENTACIÓN, TABULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

2.1. Recolección de datos

En el kilómetro 13 de la vía Pujilí Cusubamba existe un desvío a 7 km se encuentra el complejo de aguas termales Aluchan el cual carece de suministro de energía eléctrica por lo cual se optó la implementación de un Pico Generador Hidroeléctrico, para satisfacer la demanda del sistema eléctrico, se debe tomar en consideración algunos métodos de medición como se mencionan a continuación: Entre ellos se consideró la medición del caudal, hidrografía del rio y el levantamiento topográfico que son datos fundamentales para el diseño de la Pico Generador Hidroeléctrico.

2.1.1. *Medición topográfica*

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

TABLA 9
MEDICIÓN TOPOGRÁFICA

NIVELACION AGUA SECTOR ALUCHAN				
ABSCISA	ATRÁS	INTERMEDIO	ADELANTE	COTA
0				3522,55
20	0,550	0,572	3525,035	3522,52
25	0,260	0,298	3522,52	3522,50
40	1,668	1,672	3523,047	3522,48
60	1,325	1,410	3522,735	3522,44
80	1,823	1,835	3524,105	3522,43
100	1,036	1,070	3523,758	3522,35
120	1,892	1,900	3524,171	3522,34
140	1,775	1,800	3523,372	3522,30
160	1,308	1,403	3524,194	3522,29
180	0,338	0,508	3524,069	3522,27
200	1,698	1,750	3523,577	3522,17
220	1,288	1,480	3522,512	3522,00
240	2,322	2,380	3523,702	3521,95
260	2,485	2,515	3523,240	3521,76
280		2,538	3524,082	3521,70

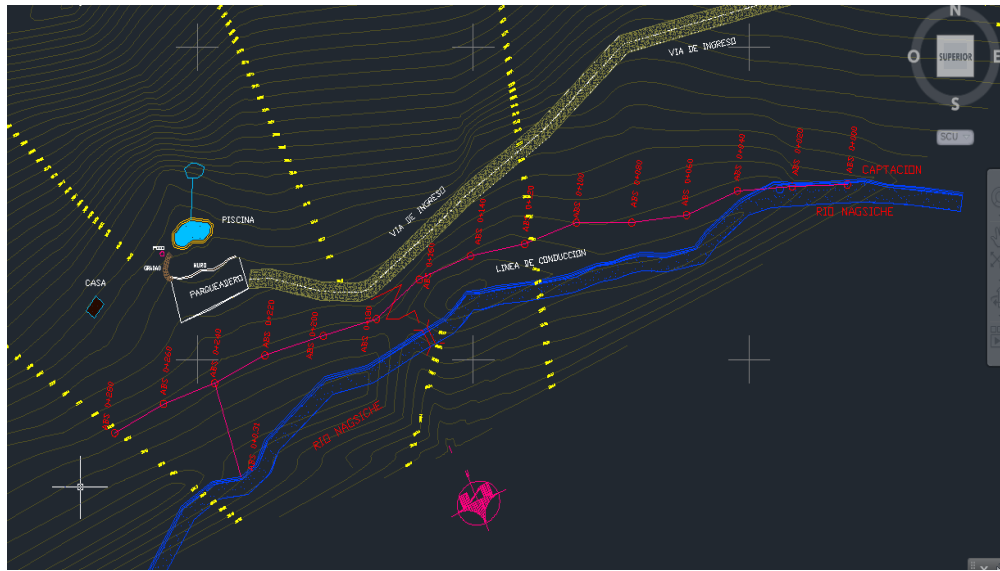
Elaborado por: Postulantes

En la tabla 9 se especifican los diferentes puntos de referencia medidos en el sitio, dónde se toma como puntos estratégicos la ubicación de los componentes tales como: La captación de agua, el desarenador, el tanque de presión, la tubería de presión y por último la casa de máquinas.

En el gráfico 18 se muestra la topografía exportados al programa AutoCAD.

GRÁFICO 18

**LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DEL SECTOR DEL PROYECTO CON LOS
PUNTOS ESTRATÉGICOS EN EL PROGRAMA AutoCAD**



Realizado por: Topógrafo - Postulantes

2.1.2. *Medición del caudal*

La medición del caudal se lo realiza en el rio Nagsiche la misma que permite conocer el comportamiento del caudal de agua en un tiempo determinado ya sea semanal, mensual, semestral, anual. De igual forma se determina los tiempos medidos en la longitud establecida, para luego determinar el tiempo promedio, la cual se presenta en la tabla 10.

TABLA 10

TIEMPOS MEDIDOS

# DE MEDICIONES	TIEMPOS (s)
T1	12.41
T2	11.61
T3	12.00
T4	11.64
T promedio	11.91

Elaborado por: Postulantes

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

En la tabla 11 se muestra los caudales obtenidos en el año de estudio.

TABLA 11
HIDROLOGIA DE CAUDALES OBTENIDOS

MESES MEDIDOS EL CAUDAL 2014-2015	TIEPMPOS (s)	VELOCIDAD (m/s)	CAUDAL (m3/s)	CAUDAL (L/s)
MARZO	11,78	1,70	3,12	3115
ABRIL	12,02	1,66	3,05	3053
MAYO	12,37	1,62	2,97	2967
JUNIO	11,28	1,77	3,25	3254
JULIO	12,29	1,63	2,99	2986
AGOSTO	12,03	1,66	3,05	3051
SEPTIEMBRE	12,32	1,62	2,98	2979
OCTUBRE	12,76	1,57	2,88	2876
NOVIEMBRE	12,54	1,59	2,93	2927
DICIEMBRE	11,98	1,67	3,06	3063
ENERO	11,03	1,81	3,33	3327
FEBRERO	11,36	1,76	3,23	3231

OCTUBRE DE 2015	12,41	1,61	2,96	2957
	11,61	1,72	3,16	3161
	12,02	1,66	3,05	3053
	15,48	1,29	2,37	2371
	11,64	1,72	3,15	3153

SUMATORIA	47,68	6,72	12,32	12325
PROMEDIO	11,92	1,68	3,08	3081

Elaborado por: Postulantes

2.2. Metodología de la investigación

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

2.2.1. *Métodos de investigación*

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

2.2.1.1. *El método científico*

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

2.2.1.2. *El método analítico*

Se deduce de un hecho o fenómeno luego se pasa a la descripción que implica identificación de partes, comprensión y explicación de las mismas.

Por tal motivo se empleará estos métodos para el desarrollo de este estudio, ya que permitirá llegar a un resultado mediante la descomposición o transformación de este sistema hidroeléctrico, para observar las causas, la naturaleza y los efectos.

2.2.2. *Tipos de investigación*

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

2.2.2.1. *De campo*

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

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

2.2.2.2. *Descriptiva*

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

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

2.2.3. *Técnicas de investigación*

Se utiliza la siguiente técnica de investigación:

2.2.3.1. *La observación*

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

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

La observación da paso a la visualización del sitio de la implementación, para analizar, repetir y separar los aspectos importantes para el diseño. Acoplado todos los datos posibles que inciden en el sitio de construcción, estos son lucidos y minuciosos que se consiguen de forma directa mediante mediciones técnicas propias del lugar.

2.3. Hipótesis

¿El dimensionamiento e implementación de un pico generador hidroeléctrico, servirá para satisfacer la demanda del sistema eléctrico del complejo de aguas termales Aluchan?

2.3.1. *Verificación de la hipótesis*

En el sitio mediante la visualización se pudo deducir la ubicación posible de donde se acentuaría los componentes del pico generador hidroeléctrico, para mediante esto proceder al diseño y construcción; con ello cubrir la demanda requerida. Se comprobó teóricamente que este diseño e implementación cubre la demanda requerida, ya que los parámetros técnicos utilizados en este estudio, proporcionan la potencia requerida para la demanda según la capacidad del generador. Estos parámetros técnicos son los caudales, las mediciones topográficas, la potencia total del generador y la demanda.

Estudio del caudal en el mes de estiaje según en la tabla 11

OCTUBRE DE 2015	12,41	1,61	2,96	2957
	11,61	1,72	3,16	3161
	12,02	1,66	3,05	3053
	11,64	1,72	3,15	3153

SUMATORIA	47,68	6,72	12,32	12325
PROMEDIO	11,92	1,68	3,08	3081

Medición topográfica según la tabla 9

NIVELACION AGUA SECTOR ALUCHAN				
ABSCISA	ATRÁS	INTERMEDIO	ADELANTE	COTA
0				3522,55
20	0,550	0,572	3525,035	3522,52
25	0,260	0,298	3522,52	3522,50
40	1,668	1,672	3523,047	3522,48
60	1,325	1,410	3522,735	3522,44
80	1,823	1,835	3524,105	3522,43
100	1,036	1,070	3523,758	3522,35
120	1,892	1,900	3524,171	3522,34
140	1,775	1,800	3523,372	3522,30
160	1,308	1,403	3524,194	3522,29
180	0,338	0,508	3524,069	3522,27

200	1,698	1,750	3523,577	3522,17
220	1,288	1,480	3522,512	3522,00
240	2,322	2,380	3523,702	3521,95
260	2,485	2,515	3523,240	3521,76
280		2,538	3524,082	3521,70

Curva de la demanda de consumo diario en (W) se ve en el gráfico 29

Como también en la práctica se verificó el funcionamiento del sistema en base al caudal, para ello se realizaron diferentes pruebas, llegando a satisfacer la demanda requerida en el complejo de aguas termales Aluchán.

CAPÍTULO III

3. APLICACIÓN Y VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

3.1. Presentación

El cantón Pujilí está dentro de la serranía ecuatoriana puesto que tiene un clima semiárido – meso termal, este sitio privilegiado por poseer yacimientos del líquido vital para la vida humana formando arroyuelos, ríos que los utilizan para el cultivo de productos agrícolas y pastizales para el ganado, en el Sur Occidente posee una vertiente de agua termal medicinal, está ubicada en el Km 13 de la vía Pujilí - Cusubamba en la comunidad de Yanahurco perteneciente al cantón Pujilí.

Con la intención de mejorar la calidad de vida, así como el desarrollo de un turismo progresivo a futuro, se planteó la necesidad de implementar un sistema pico generador hidroeléctrico que satisface la demanda del sistema eléctrico del complejo de aguas termales Aluchán siendo eficiente para los visitantes a este lugar.

El pico generador hidroeléctrico constituye una fuente de generación natural que ha puesto al hombre en la sociedad una importancia de progreso tentativo sin destrucción al medio ambiente, evitando utilizar combustibles fósiles para producir energía, a más de ello es una alternativa de bajo costo de inversión y una utilidad máxima en casos aislados del suministro de energía eléctrica.

3.2. Cantón Pujilí

Por su geografía de ubicación este maravilloso sitio territorial de un clima frío típico de nuestra serranía dedicado principalmente a la agricultura y ganadería rico en páramos con paisajes únicos en el mundo lleno de pajonales donde se forman los afluentes de ríos, se encuentra una vertiente de aguas termales medicinales donde está asentado el complejo de aguas termales Aluchan permitiendo dar un evento turístico en la zona.

3.2.1. *Reseña Histórica.*

Pujilí al igual que el resto de pueblos situados en los páramos del occidente de la cordillera de los Andes estuvo habitada por “Aborígenes Panzaleos”, a quienes se los describe como personas dedicadas a las labores agrícolas, a la alfarería y al pastoreo del ganado. Cosechaban cereales y frutos, debido a que estas tierras serán un bosque de clima templado.

En el siglo XV Pujilí enfrentó la conquista de los Incas, afrontando los rigores, frustraciones e influencias de los invasores, en la actualidad apellidos, así como las características de la cerámica evidencian el paso de los incas en esta geografía.

Durante el periodo de la colonia del pueblo pujilense desarrolló la producción de especies vegetales autóctonas, con ello hicieron posible la implantación de mitas, obrajes y batanes, el considerable grado de desarrollo humano, económico y social de este sector de la Real Audiencia de Quito, construyeron méritos suficientes para la fundación de asiento doctrinero en el año de 1657, con el nombre de doctrina del Dr. San. Buenaventura de Puxili. Dentro del mismo periodo histórico le correspondió la categoría de villa conformada por innumerables asientos y jurisdicción de la ciudad administrada por el cabildo.

Dentro del periodo republicano, a escasos veinte y dos años de la fundación de la República del Ecuador, Pujilí es distinguido y reconocido el 14 de Octubre de 1852 con la jerarquía del CANTÓN.

3.2.2. *Geografía*

Este sitio físico de abundante recurso natural por sus páramos ricos en vegetación silvestre y con un paisaje indiscutible por estar situado en los páramos occidentales posee una topografía montañosa y sus niveles altimétricos promedian entre los 2900 msnm.

3.2.3. *Hidrografía*

Un grandioso sistema hidrográfico es distribuido en las comunidades del occidente del cantón quienes hacen uso para explotaciones agrícolas, ganaderas y humanas entre los ríos más importantes están el río Aluchan, Nagsiche, entre otros.

3.2.4. *Clima*

En la Zona del Páramo existe una temperatura que oscila entre los 3 a 6 °C, sin embargo debemos indicar que varía durante el día, en las mañanas las variaciones no son muy amplias, mientras que al medio día y la tarde es de 10 a 12 °C, en la noche baja de 8 a 0°C.

3.3. Justificación

En la actualidad la energía renovable a pequeña escala es el camino más factible para producir energía eléctrica sin perjudicar al medio ambiente, y optimiza económicamente a comunidades rurales que se encuentran en un rango lejano de la red de suministro o en condiciones de difícil acceso por su geografía. La región

cuenta con suficiente recurso hídrico para originar energía eléctrica, con esto se contribuye el plan de gobierno el cambio de la matriz energética, adicional se disminuye con la contaminación al medio ambiente causado por la emisión de gases de los sistemas convencionales, que utilizan combustibles fósiles como el carbón y productos derivados del petróleo.

Con la finalidad de coadyuvar el perfeccionamiento de calidad humana del complejo de aguas termales Aluchan se proyectó este ideal en donde se ve la importancia y beneficio de la energía hidráulica generada con fuente renovable, así como su bajo costo y sencilla construcción que resulta el diseñar e implementar un pico generador hidroeléctrico.

El desarrollo del presente proyecto permite hacer efectivo el nivel académico y al mismo tiempo consolidar los conocimientos en el campo práctico, para de esta manera hacer conocer a la sociedad el cambio de vida y su desarrollo, garantizando una inversión de mínimo costo comparándolo con lo que se tendría que invertir para acoplarse a la red de distribución, en todo el procedimiento previo a su funcionamiento en sí. En la parte de construcción los costos de materiales empleados se cubrirán en un 50% por la fundación Jatun Jigua Mirador quienes son los propietarios del complejo antes mencionado. Para la ejecución de la obra civil y eléctrica se tiene una accesibilidad de tercer orden hasta el complejo donde se desarrollará el pico generador hidroeléctrico.

El principal beneficiario será la fundación Jatun Jigua Mirador, propietarios del complejo de aguas termales, así como las personas quienes llegan a visitar este atractivo beneficioso para la salud de tal forma que se pueda mejorar la calidad y confort de este complejo.

3.4. Objetivos

3.4.1. *Objetivo General*

- Dimensionar e implementar un pico generador utilizando los afluentes del Rio Nagsiche, para satisfacer la demanda del sistema eléctrico del complejo de aguas termales Aluchán.

3.4.2. *Objetivos Específicos*

- Calcular los parámetros de diseño para la construcción de la turbina Michell Banki, mediante la topografía que presenta el sitio, también para el montaje de los equipos necesarios para implementar el proyecto.
- Montar la obra civil, el sistema de protección y distribución indispensable del pico generador
- Suministrar la energía eléctrica, mediante el análisis de demanda requerida del sistema eléctrico propio del complejo de aguas termales.

3.5. Desarrollo de la propuesta

3.5.1. *Obras Civiles*

En base a los datos obtenidos en el estudio del rio Aluchán, para el proyecto de este sistema se estipuló el caudal promedio cuando el flujo de agua se encontraba en su mínimo caudal obteniendo 1298 l/s del caudal se aprovechó el 3.85% de su caudal total, equivalente a 50 l/s, siendo de primordial importancia para el proceso de diseño de la turbina a utilizar, tomando en cuenta también la altura neta y la potencia del generador.

3.5.1.1. Bocatoma

La bocatoma está ubicada a 180 m. aguas arriba del río Aluchán, seguido de haber realizado el levantamiento topográfico, el cual permitió determinar el lugar más propicio, para ello se selecciona el tramo más recto y estable del río. Esta bocatoma tiene las siguientes dimensiones: 1.50 m. de largo por 1.20 m. de ancho con una profundidad de 0.80 m.

3.5.1.2. Compuerta de regulación

Es indispensable colocar una compuerta en la salida de la bocatoma, ya que este dispositivo sirve para controlar, regular o impedir el paso libre de agua del río al sistema de conducción, indicando las siguientes medidas: 0,75 m de ancho por 1 m de largo.

3.5.1.3. Sistema de conducción

Este sistema está situado en la parte sur del río al filo de una ladera por tal circunstancia tiene la necesidad de conducirse en partes por tubería PVC de 8 pulgadas de diámetro, con una longitud de 180 m, esta tubería está asegurada con armazones de hormigón y sujetos con alambre de hierro.

GRÁFICO 19

SISTEMA DE CONDUCCIÓN



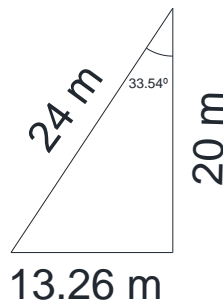
Elaborado por: Postulantes

Desde la bocatoma hasta el desarenador se tiene un ángulo de 12° de captación encontrándose en un rango apropiado, gracias a este ángulo de caída el fluido llegará a una velocidad óptima, para que el sistema trabaje eficientemente.

3.5.1.4. *Tubería de presión*

La tubería de presión que conduce el fluido hasta la turbina, están acoplados mediante un pegamento especial para tuberías PVC de alta presión. Aplicando la Ecuación (1) 1.12.2.1. Se encontró el lado **a** del triángulo rectángulo, donde se tiene lo siguiente:

GRÁFICO 20
TRIÁNGULO DE PITÁGORAS



Elaborado por: Postulantes

$$a = \sqrt{(24\text{m})^2 - (20\text{m})^2}$$

$$a = 13.26[\text{m}]$$

Seguido se calcula la inclinación que tendrá la tubería de presión.

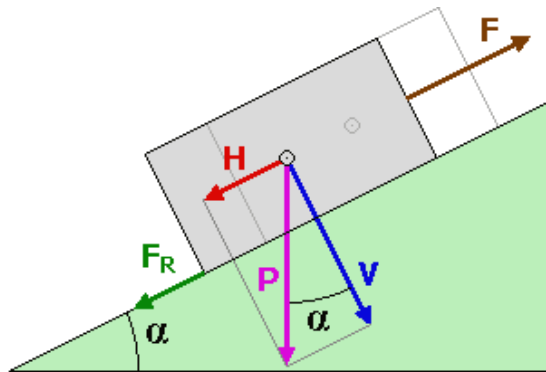
Aplicando la Ecuación (2) 1.12.2.1.

$$\text{sen } \beta = \frac{13.26}{24}$$

$$\text{sen } \beta = 33.54^\circ$$

Utilizando el método de la caída libre de los cuerpos y empleando la Ecuación (3) 1.12.2.1. se encontró la aceleración. En dónde;

GRÁFICO 21
CAIDA LIBRE DE UN CUERPO



Fuente: <http://axel-xavier.blogspot.com/2011/07/diagrama-de-cuerpo-libre.html>

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

Reemplazando el peso, se calcula la aceleración.

$$a = 9.8 * \sin(33.26^\circ) = 5.37 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

Conociendo la aceleración y las distancias que se tiene en cada tramo de la tubería de presión, se calcula las diferentes velocidades utilizando la ecuación (4) 1.12.2.1.

Primer tramo

$$V_1 = 0 + 2 * 8.17 * 1 = 4.04 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Segundo tramo

$$V_2 = 4.04 + 2 * 8.17 * 2 = 6.05 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Tercer tramo

$$V_3 = 8.33 + 2 * 8.17 * 4 = 8.45 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Cuarto tramo

$$V_4 = 8.45 + 2 * 8.17 * 24 = 20.01 \left[\frac{m}{s} \right]$$

3.5.1.5. Montaje y apoyo de la tubería de presión

Considerando los diferentes tipos de materiales se opta por la tubería PVC de alta presión, a más de ello esta tubería tiene una alta resistencia a la corrosión y la oxidación, y es excelente para el tipo de clima que posee el sector.

Para mayor eficiencia de la tubería de presión PVC se optó en realizar el montaje con anclajes y apoyos de hormigón.

3.5.1.6. Desarenador

El fluido de agua captado desde la bocatoma hasta la turbina lleva consigo pequeñas partículas de materia sólida como puede ser piedras o arena, estas pueden desgastar rápidamente los alabes de la turbina. Para controlar el porcentaje de los materiales mencionados anteriormente es necesario construir un desarenador, en este la velocidad del agua se reducirá para detener las partículas en el fondo del desarenador que luego serán expulsadas por medio de un desagüe de fondo, llegando así hasta la turbina sin partículas sólidas.

- ✓ Ancho y Longitud

Reemplazando los datos de las ecuaciones (5) 1.12.3.1. Y (6) 1.12.3.1. Se obtiene lo siguiente:

$$W = \frac{0.050}{0.25 * 0.20} = 1[m]$$

$$L_d = \frac{0.25}{0.03} * 0.20 * 2$$

$$L_d = 3.33[m]$$

En base a la ecuación (7) 1.12.3.1. se determina la profundidad mínima d_r .

$$d_r = 3m * \tan 5$$

$$d_r = 0.29 m$$

Para este caso la profundidad de recolección se considera de 1 [m] con la finalidad de aumentar la capacidad del tanque.

Con respecto al cálculo de la longitud de entrada L_e se recomienda diseñar de la mejor manera posible, de esta forma se puede hacer que el fluido de caudal uniforme, así se evita que tenga turbulencias. Aplicando la ecuación (8) 1.12.3.1 se tiene lo siguiente.

$$L_e = \frac{1 - 0.20}{2 \tan 30} < \frac{3.33}{3}$$

$$L_e = 0.69 < 1.11$$

3.5.1.7. Tanque de presión

El tanque de presión está construido con cimentación de hormigón armado, al mismo tiempo separada por medio de una rejilla el mismo que se encuentra ubicado a 20m sobre la casa de máquina.

GRÁFICO 22
TANQUE DE PRESIÓN



Fuente: Postulantes

✓ Volumen del tanque de presión

Para conservar un caudal constante de agua, el volumen del tanque de presión se determina con la ayuda del área de sección transversal del sistema de conducción, donde aplicando la ecuación (9) 1.12.4.1. se tiene lo siguiente.

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

$$A = \frac{3.1416 * (0.20m)^2}{4}$$

$$A = 0.031[m^2]$$

Al igual que se calcula la velocidad del agua en el sistema de conducción.

$$V_0 = \frac{Q}{A}$$

$$V_0 = \frac{0.050}{0.031}$$

$$V_0 = 1.61 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Una vez obtenido los datos se encuentra el volumen del tanque de presión con la ecuación (10) 1.12.4.1.

$$V = \frac{0,693 * A * V_0^2}{i * g}$$

$$V = \frac{0,693 * 0.031 * 1.64^2}{0.01 * 9,81}$$

$$V = 0.58[m^3]$$

✓ Altura mínima del agua sobre la tubería de presión

Para determinar esta altura mínima se procede con la ecuación (11) 1.12.5. tomando en cuenta que la salida es frontal del flujo.

$$h = 0.543 * V * \sqrt{d}$$

$$h = 0.543 * 1.61 * \sqrt{0.2032}$$

$$h = 0.40 [m]$$

A continuación se demuestra las dimensiones del desarenador y el tanque de presión.

GRÁFICO 23

DESARENADOR Y TANQUE DE PRESIÓN



Fuente: Postulantes

Una vez obtenida la altura del desarenador, siendo 1 m, que resulta de la suma entre la profundidad de decantación y la profundidad de recolección; se considera la misma altura para la construcción del tanque de presión.

En el proyecto se realiza el diseño y construcción del desarenador anterior el tanque de presión, una vez calculado el ancho del tanque y la altura, se puede determinar el largo de la misma despejando de la ecuación (13) 1.12.5

$$V = l_t * W * h_t$$

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

$$L_t = \frac{0.58}{1 * 0.40}$$

$$L_t = 1.45$$

En vista de que el terreno sobre el cual se va a construir el desarenador y el tanque de presión tiene accesibilidad y presenta características favorables, entonces es factible la construcción de un desarenador ancho, de tal manera que se considerará la longitud del tanque de 6 m x 2m y x 1.50m de profundidad, ya que así se puede conseguir un desarenador con medidas eficientes para lograr captaciones de sedimentos más profunda, evitando así el paso de partículas al funcionamiento de la turbina.

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

- Desbanca parte de la montaña sobre la que se va a construir, considerando las dimensiones y geometría del tanque.
- Preparar una base de piedras de 50 cm en la excavación para asegurar la cimentación del tanque, en vista de que el terreno es empinado.
- Se procede a la fundición del piso, la primera capa contiene un espesor de 10 cm, sobre esto se tendió una malla electro-soldada para evitar que se produzcan fisuras en el piso y la segunda capa se vierte otros 10 cm de hormigón.

- Una vez culminado con el piso se realiza la construcción de las paredes del tanque que serán hechas de hormigón armado.
- Por último se hará una división entre el desarenador y el tanque de presión de menor altura, en la cual se ubicará una malla para evitar el ingreso de hojas o cualquier otro cuerpo sólido.

3.5.1.8. *Válvula de regulación*

La válvula de regulación se instaló en la parte final de la tubería de presión, la misma que se encarga de interrumpir o regular el flujo de un fluido en el conducto, aumentando o disminuyendo.

3.5.1.9. *Casa de máquinas*

Tomando en consideración el dimensionamiento de los equipos eléctricos y electromecánicos, se determinó el área de la casa de máquinas; la misma que se puede observar en el gráfico 24 teniendo las siguientes medidas: 3 m de ancho por 4 m de largo, con una altura de 2.20 m.

GRÁFICO 24

CASA DE MÁQUINAS



Fuente: Postulantes

Para la construcción de la casa de máquinas de procedió de la siguiente manera:

- Se levanta una base de piedra de 20 cm en todo el área de excavación, excepto en el lugar donde se instalará la turbina y el canal de descarga,
- Luego se coloca una malla con varilla, de la misma forma situando la base en la cual se va a ubicar la turbina y el generador, por consiguiente se rellena una capa de concreto en el piso, con un espesor de 20 cm.
- Por último se procede a levantar las paredes, para la cual se utilizó bloque perforado de 12 cm.

3.5.1.10. Canal de Descarga

Consiste en evacuar el agua procedente de la turbina hasta el regreso al río y así continuar con su curso normal. La base sobre la cual se descarga la turbina es construido de concreto puro para evitar filtraciones y así proteger la cimentación de la casa de máquinas, contiene las siguientes dimensiones: 25 cm de ancho por 2 m de largo y por 50 cm de alto en el gráfico 25 se observa el canal de descarga.

GRÁFICO 25

CANAL DE DESCARGA



Fuente: Postulantes

3.5.2. *Parámetros de diseño*

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

La medición del caudal existente en el río Aluchan se lo realiza utilizando los siguientes parámetros:

$$\text{Ancho (a)} = 5.65[m]$$

$$\text{Altura promedio (h)} = 0.42[m]$$

Para lo cual se calcula el área de sección transversal aplicando de la ecuación (14) 1.18.1.

$$A = 5.65 * 0.42 = 2.37[m^2]$$

Una vez encontrado el tiempo promedio, como se ve en la tabla 10 (pág. 79) se determina la velocidad del agua con la ecuación (15) 1.18.1.

$$V = \frac{10}{11.91} \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$V = 0.83 \left[\frac{m}{s} \right]$$

El agua que se está utilizando para el desarrollo de este proyecto es proveniente del río Aluchan la misma que tiende a considerar un factor de corrección. El factor de corrección dispuesto para ríos y quebradas es de 0.66. (c) factor de corrección.

Con este parámetro se procede a calcular el caudal existente aplicando la ecuación (16) 1.18.1.

$$Q = 2.37 * 0.83 * 0.66 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$Q = 1.298 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$Q = 1298 \left[\frac{L}{s} \right]$$

3.5.2.2. Cálculo de la longitud de la tubería de presión

Para obtener este parámetro se procede a calcular reemplazando los datos obtenidos mediante el levantamiento topográfico en la ecuación (18) 1.20.1.

$$\begin{aligned} L(\text{tub} - \text{presion}) &= \sqrt{(747906,305 - 747893,048)^2 + (9884092,406 - 9884072,406)^2} \\ &= 23.99 [m] \end{aligned}$$

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

Para este satisfacer este parámetro es indispensable utilizar datos experimentales para la constante k, que se indican en la tabla 12.

TABLA 12

CONSTANTE k PARA DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES

MATERIAL	K (mm)
Tubo de acero (nuevo)	1.15
Tubo de hierro fundido (nuevo)	2.50
Tubo de acero corroído (en operación)	5.00
Tubo plástico	0.50

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

Elaborado por: Postulantes

Seguido se aplica la ecuación (20) 1.20.2. para encontrar el factor de fricción en la que se obtiene lo siguiente:

$$\lambda = 0.01 \left(\frac{0.50}{0.20} \right)^{0.134}$$

$$\lambda = 0.0113$$

De la misma forma reemplazando los datos obtenidos anteriormente y tomando en cuenta la velocidad inicial en la ecuación (19) 1.20.2. se tiene la cantidad de pérdidas primarias.

$$\Delta h_f = 0.0113 \left(\frac{24}{0.20} \right) \left(\frac{4.04^2}{2 * 9.8} \right)$$

$$\Delta h_f = 1.129$$

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

Para encontrar estas pérdidas es necesario conocer el coeficiente de pérdidas en cada uno de los accesorios, las cuales se puede ver en la tabla 1 (pág.41).

Del mismo modo se reemplaza los datos obtenidos en la ecuación (21) 1.20.3. se tiene las siguientes pérdidas:

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

a) Pérdidas en la rejilla (h_r)

$$h_r = 1.8 \left(\frac{4.04^2}{2 * 9.81} \right) = 1.49$$

b) Pérdidas en la entrada de la tubería (h_e)

$$h_e = 0.2 \left(\frac{4.04^2}{2 * 9.81} \right) = 0.16$$

c) Pérdidas en los codos (h_k)

$$h_k = 0.320 \left(\frac{4.04^2}{2 * 9.81} \right) = 0.26$$

d) **Pérdidas en válvulas (h_v)**

$$h_v = 0.4 \left(\frac{4.04^2}{2 * 9.81} \right) = 0.33$$

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

$$h_{estr} = 0.1 \left(\frac{4.04^2}{2 * 9.81} \right) = 0.083$$

Por último se determina las pérdidas totales en la tubería de presión aplicando la ecuación (22) 1.20.4.

$$\Delta h_{(1-2)} = \Sigma \Delta h_f + \Sigma \Delta h_{acc}$$

$$\Delta h_{(1-2)} = 1.129 + 1.49 + 0.16 + 0.26 + 0.33 + 0.124$$

$$\Delta h_{(1-2)} = 3.452$$

Una vez encontrado las perdidas primarias y secundarias se procede a calcular la altura neta aplicando la ecuación (17) 1.20.

Tomando en cuenta la altura bruta considerada en la topografía del terreno y reemplazando los datos conocidos se tiene.

$$Hn = Hb - \Delta h_{(1-2)} [m]$$

$$Hn = 20 - 3.452$$

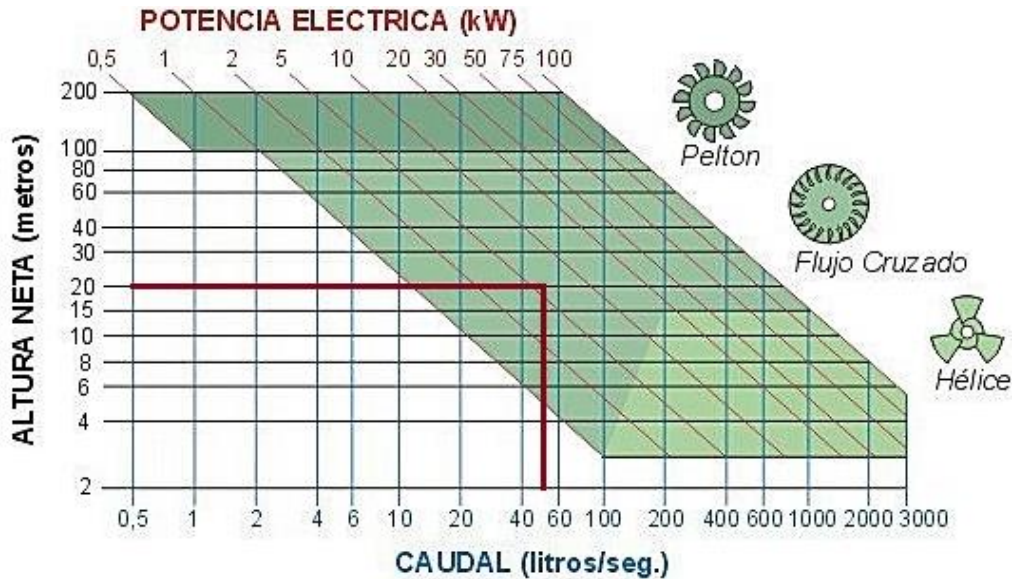
$$Hn = 16.548 [m]$$

3.5.2.5. *Parámetros de selección del equipo hidráulico*

La selección adecuada de la turbina se lo puede realizar mediante la determinación de la altura neta y el caudal del agua disponible, permitiendo observar la tipología de la turbina más adecuada y el tamaño en términos de potencia como se observa en el gráfico 26.

GRÁFICO 26

SELECCIÓN DE TURBINAS HIDROELÉCTRICAS EN FUNCIÓN A LA POTENCIA GENERADA



Fuente: <http://www.savoipower.com/hydrotabla.html>

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

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

3.5.2.6. Potencia hidráulica neta (P_h)

Teniendo en cuenta el peso específico del agua y reemplazando los datos ya encontrados anteriormente, se aplica en la siguiente ecuación (23) 1.20.5.

$$P_h = \gamma_w * Q * H_n$$

$$P_h = 1000 * 0.050 * 16.548$$

$$P_h = 827.4 \left[\frac{Kgm}{s} \right]$$

$$P = 8.11 [kW]$$

A continuación se procede a calcular la potencia al freno de la turbina con la siguiente ecuación (24) 1.20.6.

$$P_T = \frac{PG}{hg * htr}$$

$$P_T = \frac{4}{0.92 * 95 \% * 0,92\%}$$

$$P_T = 4.97 [kW] \Rightarrow 6.66[CV]$$

Sustituyendo el valor del salto $H_n = 16.54$ m; la eficiencia a plena carga de la turbina 80% y conociendo la potencia al freno, se determina el caudal de diseño con la ecuación (25) 1.20.6.

$$Q = \frac{P_T}{9.807 * H_n * nT}$$

$$Q = \frac{4.97}{9.807 * 16.54 * 0.80}$$

$$Q = 38,29 \left[\frac{L}{s} \right]$$

Se puede deducir que el caudal determinado para el desarrollo del proyecto es mucho mayor al caudal de diseño.

El número óptimo de revoluciones con que debe girar la turbina, se determinó aplicando la ecuación (26) 1.20.6.

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

$$N = \frac{39.85 Hn^{1/2}}{De}$$
$$N = \frac{39.85 * \sqrt{16.54}}{0.2}$$
$$N = 810.33 [RPM]$$

3.5.2.7. *Potencia transmitida al generador*

Considerando la tabla 2 (pág. 44) y reemplazando los datos obtenidos en la ecuación (27) 1.20.7. se tiene lo siguiente.

$$P_{TR} = P_T * \eta_{TR}$$
$$P_{TR} = 4.97 * 0.95$$
$$P_{TR} = 4.72 [kW]$$

Empleando una eficiencia del 90 % se determina la potencia en los bornes del generador con la ecuación (28) 1.20.8.

$$P_g = 4.34 * 0.90$$
$$P_g = 4,24 [kW]$$

Así mismo se puede determinar el par de polos del generador que viene dado por la ecuación (29) 1.20.9.

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

3.5.2.8. *Velocidad Específica*

Se considera que la turbina diseñada bajo estas condiciones, puede trabajar con saltos inferiores generando otras potencias con otros caudales. Esto se representa por su número específico de revoluciones expresados en caudal (N_q) o potencia (N_s). Según la ecuación (30) 1.20.10.

Se tiene:

$$N_q = 810 \frac{0.050^{1/2}}{16.54^{3/4}} = 22.08$$

$$N_s = 810 \frac{6.21^{1/2}}{16.54^{3/4}} = 60.51$$

Los valores $N_q = 22.08$ y $N_s = 60.51$ están dentro de los rangos permisibles para utilizar una turbina Michell Banki, como se puede apreciar en la tabla 3 (pág. 46).

3.5.3. *Diseño hidráulico*

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

Potencia a generar $P = 4\text{kW}$

Caudal máximo de diseño $Q = 0.050 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$

Altura neta aprovechable $h = 16.54 \text{ m}$

3.5.3.1. *Selección del diámetro de la turbina*

Se selecciona el diámetro del rotor con la ecuación (31) 1.21.1.

$$.Sef = \frac{0.050}{\sqrt{16.54}} = 0.0122$$

El valor calculado está por debajo del valor previsto por ende el diámetro exterior del rodete a emplear para el diseño de la turbina es de 200 mm, como se puede observar en la tabla 13.

TABLA 13
SELECCIÓN DEL DIAMETRO DEL RODETE

$Q/\sqrt{H_n}$	Diámetro del Rodete (mm)
0.02236	200
0.04743	300
0.07906	400
0.07906	500

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

Elaborado por: Postulantes

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

La velocidad absoluta se calcula con la ecuación (33) 1.21.2.1.

$$C_2 = 4.34\sqrt{16.54} = 17.65 \left[\frac{m}{s}\right]$$

3.5.3.3. *Velocidad Tangencial*

Reemplazando la altura neta en la ecuación (34) 1.21.2.2. se tiene lo siguiente:

$$v_2 = 2.09 \sqrt{16.54} = 8.49 \left[\frac{m}{s}\right]$$

3.5.3.4. *Velocidad Relativa*

Con la ecuación (35) 1.21.2.3. se encuentra la velocidad relativa que tiene el rodete.

$$w_2 = 2.40\sqrt{16.54} = 9.76 \left[\frac{m}{s} \right]$$

3.5.3.5. *Velocidad Meridiana*

Así mismo se calcula esta velocidad aplicando la ecuación (36) 1.21.2.4. donde se tiene lo siguiente:

$$W'_2 = 2.35 \sqrt{16.54} = 9.55 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Para determinar el rendimiento máximo de la turbina se calcula con la ecuación (37) 1.21.2.4.

$$\eta_{max} = \left(0.863 - 0.264 \frac{0.20}{16.54} \right) * 100\%$$

$$\eta_{max} = 85.98\%$$

3.5.3.6. *Ancho del inyector*

Se calcula el ancho del inyector aplicando la ecuación (38) 1.21.3.

$$B = \frac{0.96 * 0.050}{0.20 \sqrt{16.54}} = 0.059[m]$$

3.5.3.7. *Geometría del rodete*

Se obtiene el diámetro interior del rodete con la ecuación (39) 1.21.4.

$$D_i = 0.66 * 200mm$$

$$D_i = 132mm$$

Según la tabla 13, y teniendo en cuenta el diámetro del rotor que es de 200 mm, el número de álabes a emplear son 22.

De igual manera se determina el ángulo de admisión con la ecuación (40) 1.21.4. Teniendo lo siguiente:

$$\theta_{ad} = \frac{2 * 1000 * 180 * 0.050}{17.65 * 200 * 0.059 * \sin 16 * 3.1416} = 99.80^\circ$$

De acuerdo al ángulo de admisión obtenido anteriormente se procede a calcular el número de álabes de admisión, misma que se realiza aplicando la ecuación (41) 1.21.4.

$$N_a = \frac{22 * 99.80}{360} = 6.09$$

Por lo tanto el caudal que recibe cada álabe de admisión se calcula con la ecuación (42) 1.21.4.

$$Q_a = \frac{0.050}{6.09} = 0.0082 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

3.5.3.8. Geometría de la carcasa

El material del que están construidos la carcasa, la base y el soporte son de acero inoxidable con un espesor de 5mm; en mencionados materiales se considera su rigidez ya que de ello depende el tiempo de vida útil del rodete. Los puntos de unión para cada pieza (carcasa, base y soporte) se realizó con suelda TIC, una vez culminado con la construcción de las mismas se procedió a eliminar las deformaciones por efecto de la soldadura, con la ayuda de la amoladora. Por consiguiente se realizó el proceso de pintado utilizando pintura anticorrosiva. Sus dimensiones son: 0.38 m de ancho por 0.80 m de largo para la base y soporte, mientras que la carcasa tiene 0.20 m de ancho por 0.40 m de largo, cubriendo este a la geometría de la turbina.

3.5.4. *Diseño mecánico*

3.5.4.1. *Ancho del rotor*

Para el cálculo del ancho del rodete se debe considerar el 50 % del ancho del inyector, esto se realiza aplicando la ecuación (43) 1.22.1.

$$Br = 1.5 * 0.059 = 0.0885 [m]$$

3.5.4.2. *Espesor de los álabes del rodete*

Para la construcción de los álabes, se utiliza tuberías de acero. Éstas son cortadas formando un arco de circunferencia. De igual manera la tabla 14 se muestra los diámetros de las tuberías recomendadas para utilizar en base a los diámetros del rodete.

TABLA 14
SECCIÓN TRANVERSAL DE UN ÁLABE DEL RODETE

Rotor	Tubería		
Diámetro	Diámetro	Espesor	Peso
(mm)	(pulg)	(mm)	(Kgf/m)
200	2 ½	5,16	8,62
300	4	6,02	16,07
400	5	6,55	21,78

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

Elaborado por: Postulantes

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

En función al peso que se tiene en la tabla 13 se obtuvo el peso de un álabe como se ve a continuación:

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

$$0.0825 \rightarrow x$$

Aplicando la regla de tres simple se tiene que:

$$x = 0.71 \frac{Kgf}{m}$$

Entonces el peso de un álabe (Pa) es:

$$Pa = \frac{0.71}{5} = 0.14 \frac{Kgf}{m}$$

De igual manera se puede encontrar el paso entre álabes aplicando la ecuación (44) 1.22.2.

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

3.5.4.3. Fuerza hidráulica sobre un álabe

Esto se calcula aplicando las ecuaciones (45) (46) (47) 1.22.3. Empleando el ángulo Φ de la tabla 15.

TABLA 15
CARACTERÍSTICAS DEL ÁLABE

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

Fuente: [http://turbinasayala.blogspot.com/Longitud del rodete](http://turbinasayala.blogspot.com/Longitud%20del%20rodete)

Elaborado por: Postulantes

$$F_{hx} = 429.38 * 0.0082 \sqrt{16.54} (\cos 16^\circ - \sin 15.5) = 9.93 \text{ [Kgf]}$$

$$F_{hy} = 429.38 * 0.0082 \sqrt{16.54} (\sin 16^\circ + \cos 15.5) = 17.74 \text{ [Kgf]}$$

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

$$F_{hr} = \sqrt{(9.93)^2 + (17.74)^2} = 20.33 \text{ [Kgf]}$$

Así también se determina la fuerza centrífuga sobre un álabe con la ecuación (48)

1.22.4.

$$F_c = 0.895 * \frac{0.14 * 16.54}{0.20}$$

$$F_c = 10.36 \text{ Kgf}$$

A continuación se calcula la fuerza total sobre un álabe utilizando las siguientes ecuaciones (9) (50) (51) 1.22.5. en función del ángulo λ de la tabla 16.

TABLA 16

ÁNGULO ENTRE LA FUERZA HIDRÁULICA

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

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

Elaborado por: Postulantes

$$R_x = 20.33 * \cos 29.75 = 17.65 \text{ [Kgf]}$$

$$R_y = 20.33 * \sin 29.75 + 10.36 = 20.44 \text{ [Kgf]}$$

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

$$R_t = \sqrt{(17.65)^2 + (20.44)^2} = 27.01 \text{ [Kgf]}$$

3.5.4.4. Fuerza aplicada en la plancha del inyector

Esta fuerza se calcula, utilizando la ecuación (52) 1.22.6.

$$F_{ti} = 390 * 0.20 * 16.54 * 0.0885 = 114.17 \text{ [kgf]}$$

3.5.4.5. Disco de unión de álabes

El volumen de los discos del rotor se determina con la ecuación (53) 1.22.7.1. obteniendo el siguiente resultado.

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

Para determinar el peso de los discos se aplica la ecuación (54) 1.22.7.1.

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

$$W_{ds} = 1.257 * 0.00287 = 0.0036 \text{ kgf}$$

Del mismo modo se determina el peso total del rodete, aplicando la ecuación (55) 1.22.7.1. y considerando el peso de los álabes.

$$W_{Trodete} = 0.0036 + 3.08 = 3.0836 \text{ [kgf]}$$

3.5.4.6. Torque de accionamiento

Este torque máximo de accionamiento del rodete se calcula con la ecuación (56) 1.22.7.2.

$$T_{max} = 974 \frac{4.97}{810} = 5.97 \text{ kg} - m$$

Por consiguiente se calcula la distancia correspondiente desde el rodete hacia las chumaceras aplicando la ecuación (57) 1.22.7.2.

$$a = 0.8 * 0.0885 = 0.0708[m]$$

Según el cálculo mecánico ASME se calcula el diámetro mínimo del eje del rotor.

Para esto se necesita encontrar la fuerza tangencial del rodete aplicando la ecuación (62) 1.22.7.2.

$$Fr = \frac{1948 * 4.97}{810 * 0.20} = 59.76 \text{ kg}$$

Se determina el momento flector máximo que representa en el eje, teniendo en cuenta los momentos en el eje x e y, con las ecuaciones (60) (61) 1.22.7.2

$$M_x = \frac{59,76 * 0.0708}{2} = 2,11$$

$$M_y = 3.0836 * \frac{0.0708}{2} = 0.109$$

Entonces reemplazando los valores en la ecuación (59) 1.22.7.2. se tiene lo siguiente:

$$M_{max} = \sqrt{(2,11)^2 + (0.109)^2} = 2,11 [kg - m]$$

Por ultimo reemplazando los valores se calcula el diámetro mínimo del eje del rotor, utilizando la ecuación (58) 1.22.7.2.

$$d_3 = \frac{16}{\pi * 6.8} \sqrt{(1.5 * 1.94)^2 + (1 * 5.97)^2} = 4,97 [cm]$$

$$d = 7 [cm]$$

De igual manera se determinó el diámetro máximo del eje de la turbina con la ecuación (63) 1.22.7.2.

$$d = 7 [cm]$$

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

3.5.4.7. Selección de rodamientos

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

óptimo es el rodamiento de bolas ya que estos pueden girar a mayor velocidad, como también pueden soportar una determinada carga.

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

3.5.4.8. Acoplamiento de turbina generador

Para alcanzar la velocidad necesaria del generador se optó por el diseño de un juego de banda y poleas para mantener el sistema de giro en una velocidad constante como resultado la ecuación (64) 1.22.7.4. que se aplica a continuación:

$$N2 = 517 * \frac{50}{24} = 1077rpm$$

Se debe considerar un 30 % de pérdidas que existe dentro de los engranajes, teniendo lo siguiente:

$$N2 = 1077 * 0.30 = 754 rpm$$

De tal manera que encontrada la velocidad se puede calcular la relación de transmisión existente entre la turbina y generador con la ecuación (65) 1.22.7.5.

$$i = \frac{3600}{754} = 4,77$$

Teniendo en cuenta que el diámetro de la polea menor (generador) es de 2.5 in, se procede a encontrar el diámetro de la polea mayor aplicando la ecuación (66) 1.22.7.5.

$$D1 = 2.5 * 4.77 = 12 [in]$$

Se optó por utilizar una polea de 14 in, ya que se consideró un porcentaje de pérdidas en la banda trapezoidal, la cual se utiliza para unir la turbina con el generador.

3.5.4.9. *Potencia corregida*

Esto se determina en función a la tabla 6 (pág. 66) donde, para el presente proyecto se escogió $C=1.2$, por lo cual reemplazando los datos obtenidos en la ecuación (67) 1.22.7.6. se tiene lo siguiente.

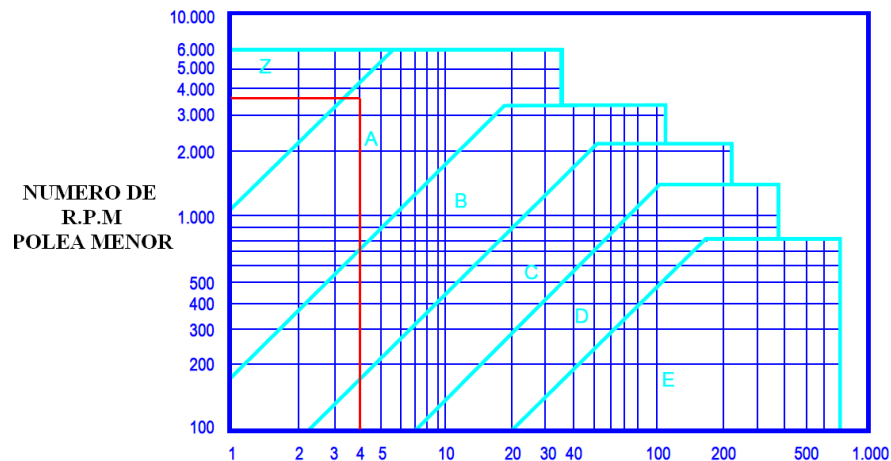
$$P_c = 3.396 * 1.2 = 4.07[CV] = 4 HP$$

3.5.4.10. *Selección de la correa trapezoidal*

En la siguiente figura se puede seleccionar el tipo de banda, en función a la potencia corregida y las revoluciones por minuto de la polea menor (generador), siendo de 3600 RPM.

GRÁFICO 27

CURVAS PARA LA SELECCIÓN DE CORREAS TRAPEZOIDALES



Fuente: http://www.iesmarenostrum.com/Departamentos/Tecnologia/mecanoso/mecanica_basica/mecanismo/

Como se puede observar la sección recomendada para la elección de la banda es de tipo “A”.

De igual manera se calcula la distancia entre los ejes, teniendo en cuenta la relación de transmisión $i = 4.77$, entonces se aplica el segundo criterio por lo que se optó la distancia entre ejes de:

$$I = 400[\text{mm}]$$

Reemplazando los valores obtenidos anteriormente se encuentra la longitud de la banda empleando la ecuación (69) 1.22.7.8.

$$L = 2 * 400 + 1.57 (355.6 + 63.5) + \frac{(355.6 - 63.5)^2}{4 * 400} = 1511[\text{mm}]$$

Con la ayuda de la tabla 7 (pág. 68) que contiene valores de longitudes normalizadas de correas trapezoidales y contantes de potencia, se puede encontrar la longitud de la banda más aproximada al valor calculado.

De dónde la banda estandarizada más aproximada es: A59 $L' = 1532$

En vista de que se incrementa la distancia primitiva de la banda, se incrementara la distancia entre los ejes; la cual se determina con la ecuación (70) 1.22.7.8

$$I' = 400 + \frac{(1532 - 1511)}{2} = 411 [\text{mm}]$$

3.5.4.11. Arco de contacto

Reemplazando la ecuación (71) 1.22.7.9. se tiene el siguiente arco de contacto.

$$\Gamma = 180 - 57 \left(\frac{355.6 - 63.5}{411} \right) = 140^\circ$$

Teniendo en cuenta que dentro de las consideraciones de diseño el arco de contacto en la polea menor no deber ser menor a 120° , se puede decir que el ángulo encontrado es aceptable ya que se encuentra dentro de estas consideraciones.

La potencia transmitida por la correa se deduce mediante la ecuación (72) 1.22.7.10.

Se ubica los valores de **Pb** en relación a la velocidad de giro del generador (N2) con el diámetro de la polea menor (d2), así como también **Pd** en función de (N2) con la relación de transmisión (i); conociendo la sección de banda que se va a utilizar.

Obteniendo los siguientes valores del catálogo de banda Pirreli que son:

$$Pb = 2.28$$

$$Pd = 0.61$$

Con la ayuda de la tabla 8 (pág.70) se obtiene los siguientes valores:

$$C \Gamma = 0.9$$

$$C l = 1.03$$

Una vez encontrado todos los valores y reemplazando se determina lo siguiente potencia transmitida.

$$Pa = (2.28 + 0.61) * 0.9 * 1.03 = 2.68 [CV]$$

3.5.4.12. Determinación del número de bandas

Reemplazando los valores en la ecuación (73) 1.22.7.11. se calcula el número de bandas que se va a utilizar.

$$N^\circ \text{ bandas} = \frac{4.07}{2.68} = 1.51$$

3.5.5. *Equipo eléctrico*

3.5.5.1. *Selección del generador*

Con las características, ventajas y desventajas del tipo de generador se procede a seleccionar un generador que permita cubrir la demanda de energía eléctrica en el complejo. La misma que presenta las siguientes características en la tabla 17:

TABLA 17
CARACTERÍSTICAS DEL GENERADOR

CARACTERÍSTICAS DEL GENENERADOR	
Marca	HONDA
Voltaje	115 V AC.
Potencia	OUTPUT 7,5 kW
Revoluciones	3600 R.P.M.
Frecuencia	60 Hz
# Polos	2

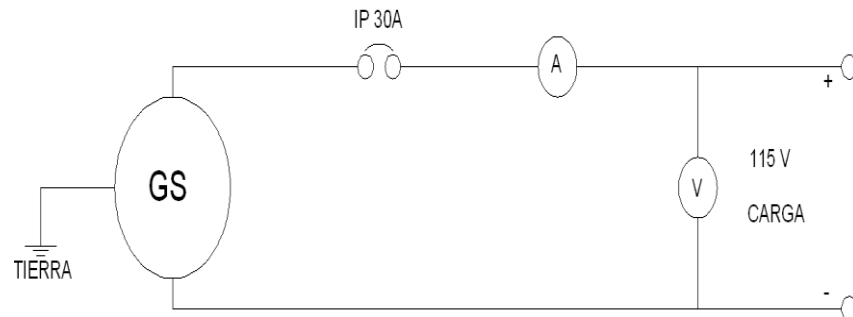
Fuente: Postulantes

Se opta por este generador con la finalidad de brindar el suministro de energía eléctrica, en función a la demanda que tiene el complejo, teniendo en cuenta que todos los elementos eléctricos no van a estar en funcionamiento al mismo tiempo. Los generadores monofásicos son utilizados en aplicaciones de potencia relativamente pequeñas, así como también soportan corrientes de carga

instantánea. El tablero de control tiene la finalidad de garantizar la protección del operario y las instalaciones interiores del complejo, para lo cual se presenta el siguiente esquema:

GRÁFICO 28

ESQUEMA DEL TABLERO DE CONTROL



Fuente: Postulantes

La finalidad principal de una puesta a tierra es brindar la seguridad al usuario, por tal motivo se optó por esta medida de protección; teniendo en cuenta que el cuerpo humano puede llegar a soportar una corriente de 0.025 A. En el proyecto se realiza la conexión a tierra en el tablero de control, turbina y generador que se encuentran ubicados en la casa de máquinas, con la ayuda de 5 metros de cable N° 8 AWG de cobre y la varilla copperweld.

De igual manera se determina la protección general del complejo, despejando la corriente de la ecuación (74) 1.23.1.5.

$$I_f = \frac{P}{V_f * f_p} = \frac{5000}{120 * 0.92} = 45,28 [A]$$

A esta corriente se multiplica por un 25% de sobrecarga obteniendo lo siguiente:

$$I_f = 45,28 * 1.25 = 56,6 [A]$$

Entonces el interruptor termomagnético que protege al complejo según la normalización local será de 63 [A]

3.5.6. *Verificación del Proyecto Implementado*

Una vez culminada con la construcción e implementación del Pico generador Hidroeléctrico se obtuvo resultados satisfactorios los cuales se observa en la tabla 18, pues el generador funciona de una manera eficiente dando la potencia requerida al sistema eléctrico del complejo.

Tabla 18

VERIFICACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

Porcentaje de la Valvula	Nº vueltas	Presión (Psi)	Caudal (Q)	N Turbina (RPM)	N Generador (RPM)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Rendimiento (%)
25%	4	15	12	225	1035	41	35,72	1382,52	34,23
50%	8	13	15	405	1854	56	34,64	2051,84	47,82
75%	12	13	17	608	3050	79	33,28	2629,12	62,79
100%	16	12	20	810	3600	117	32,83	3841,11	87,60

3.6. Análisis económico del proyecto

El valor inmerso en la construcción del proyecto se los detalla en la tabla 19.

TABLA 19

COSTOS DIRECTOS

DESCRIPCON	Subtotal USD
Costo de materiales para la obra civil	1308
Costo de materiales para el ensamblaje Hidráulico	2086,79
Costo de materiales para la instalación Eléctrica	775
Costo por mano de obra	900
Total	5069,79

Fuente: Postulantes

De igual manera tomando en cuenta los valores de los costos indirectos de la tabla 20.

TABLA 20

COSTOS INDIRECTOS

DESCRIPCION	Subtotal USD
Costo del transporte de los materiales	250
Alimentación	100
Otros	80
Total	430

Fuente: Postulantes

Una vez calculado los costos directos e indirectos se procede a determinar los costos totales que se empleó para la construcción e implementación del Pico Generador Hidroeléctrico. Los mismos que se especifican a continuación:

TABLA 21

COSTO TOTAL DEL PROYECTO

DESCRIPCION	Total USD
Costo directo	5069,79
Costo indirecto	430
Total	5499,79

Fuente: Postulantes

3.6.1. ***Beneficios***

Dentro de los beneficios que representa la implementación del pico generador hidroeléctrico se puede mencionar que la utilización de fuentes renovables de energía, proporciona una mayor eficiencia con una potencial disponible, promoviendo así la comodidad y confort a quienes visitan el complejo; pues al disponer de energía propia dentro del complejo y a bajo costo los propietarios mejorarán la producción turística, y desarrollar como complejo.

Se debe considerar el valor de la depreciación para cada componente que conforma el sistema, los mismos que remplazando los valores en la ecuación (75) 1.24.1.3. se tiene lo siguiente:

Para la obra civil

$$Vd = \frac{1029.30 - 0}{20} = 52.464 \left[\frac{USD}{año} \right]$$

Para el sistema hidráulico

$$Vd = \frac{2634.15 - 0}{15} = 175.61 \left[\frac{USD}{año} \right]$$

Para el sistema eléctrico

$$Vd = \frac{812.59 - 0}{15} = 54.17 \left[\frac{USD}{año} \right]$$

3.6.2. *Cálculo del costo de la energía*

En la tabla 22 se describe el consumo de energía de los diferentes aparatos eléctricos que se utiliza en el complejo, considerando que cada uno de ellos entra en funcionamiento en horarios distintos.

TABLA 22
CONSUMO DE LA ENERGÍA DIARIA

Equipo eléctrico	Potencia activa (kW)	Horas en funcionamiento	Energía diaria (kWh)
18 focos	1,26	11	13,86
2 tv 32''	0,14	10	2,8
1 cafetera	0,6	3	1,8
1 tostadora	0,7	3	2,1
1 licuadora	0,3	2	0,6
1 equipo de sonido	0,1	10	1
1 computador fluorescente (2x36W)	0,2	7	1,4
Refrigeradora	0,290	8	2,32
Bomba de agua	0,400	1	0,4
Lavadora automática	0,400	2	0,8
1DVD	0,025	10	0,25
2 Cajas amplificadas	0,2	10	4
10 reflectores tipo LED	0,3	12	36
Total	5,56		68,05

Elaborado por: Postulantes

Una vez hallado el consumo de energía diaria, por consiguiente se calcula el consumo de energía mensualmente y anualmente.

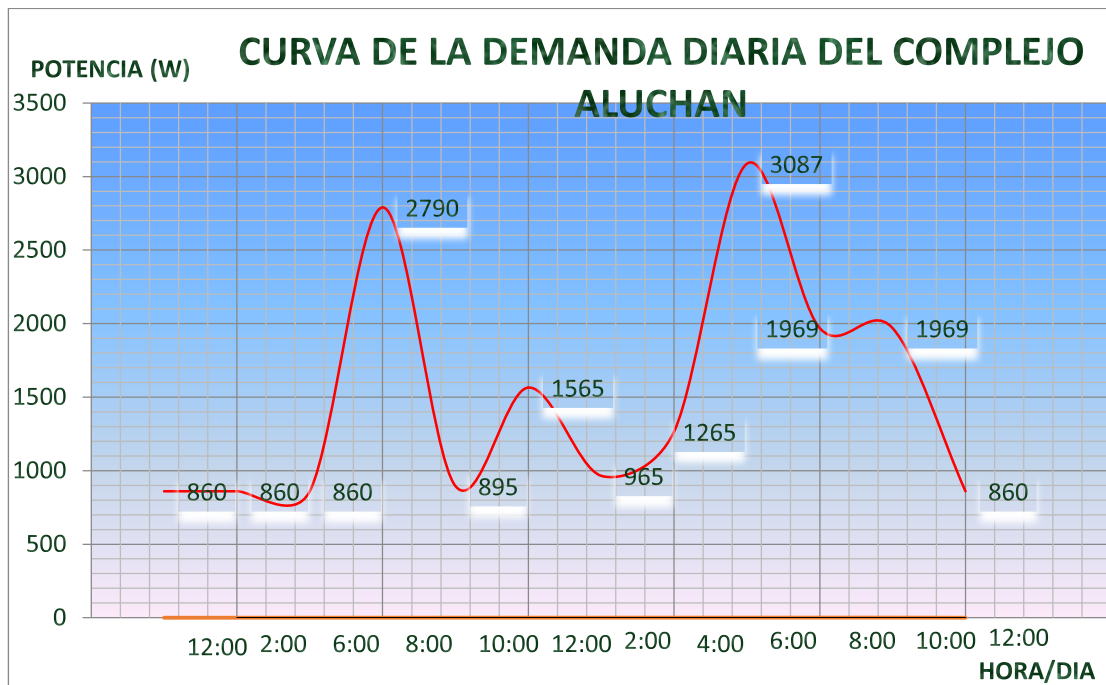
$$\text{Consumo mensual} = 68,05 \text{ kWh} * 30 = 2041,5 \left[\frac{\text{KWh}}{\text{mes}} \right]$$

$$\text{Consumo anual} = 2041,5 \text{ kWh} * 11 = 22456,5 \left[\frac{\text{KWh}}{\text{año}} \right]$$

En el gráfico 29 se muestra el comportamiento de la curva de la demanda diaria en potencia y tiempo consumido del complejo.

GRÁFICO 29

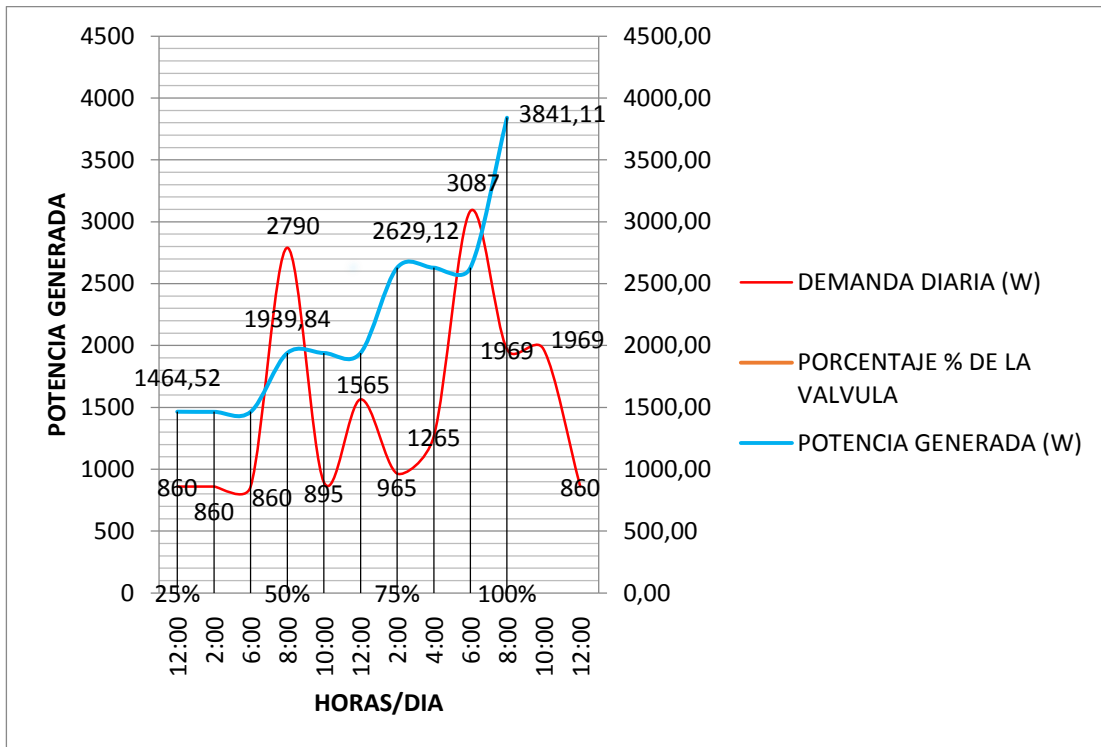
CURVA DE LA DEMANDA DIARIA DEL COMPLEJO ALUCHAN



Realizado por: Postulantes

GRÁFICO 30

CURVA DE LA DEMANDA DIARIA DEL COMPLEJO ALUCHAN



Fuente: Postulantes

En el gráfico 30 se observa el comportamiento de la curva de la potencia consumida diaria con la curva de la de potencia generada, mediante esto se comprueba que el sistema de generación de 3841,11W cubre la demanda pico de 3087W del sistema eléctrico del complejo, se debe tomar en consideración el uso de los elementos de carga para que no colapse el sistema eléctrico.

Según el Consejo Nacional de la Electricidad (CONELEC) determino que para los consumidores residenciales el precio del kWh es de 0.0933 dólares.

A continuación se calcula el costo que debería pagar por el consumo mensual de energía, si se comprara esto a la empresa eléctrica.

$$\text{Costo mensual} = 2041,5kWh * \$ 0.0933 = \$ 190,47$$

$$\text{Costo anual} = 22456,5 kWh * \$ 0.0933 = \$ 2095,19$$

Se determinan los beneficios y costos totales estimados durante la vida útil del Pico Generador Hidroeléctrico, para una tasa de descuento del 10%. Como se observa en la tabla 23. La relación beneficio costo se calcula aplicando la ecuación (76) 1.24.3.

TABLA 23
RELACIÓN BENEFICIO COSTO

AÑOS	BENEFICIOS			COSTOS		
	BENEFICIOS	FACTOR DE ACTUAIZACIÓN	BENEFICIOS ACTUALIZADOS	COSTOS	FACTOR DE ACTUALIZACIÓN	COSTOS ACTUALIZADOS
1	0	0,909	0	5499,79	0,909	4999,30911
2	2095,19	0,826	1731	106,52	0,826	87,99
3	2095,19	0,751	1573	107,585	0,751	80,80
4	2095,19	0,683	1431	108,661	0,683	74,22
5	2095,19	0,621	1301	109,748	0,621	68,15
6	2095,19	0,564	1182	110,845	0,564	62,52
7	2095,19	0,513	1075	111,954	0,513	57,43
8	2095,19	0,467	978	113,073	0,467	52,81
9	2095,19	0,424	888	114,204	0,424	48,42
10	2095,19	0,386	809	115,346	0,386	44,52
11	2095,19	0,35	733	116,499	0,35	40,77
12	2095,19	0,319	668	117,664	0,319	37,53
13	2095,19	0,29	608	118,841	0,29	34,46
14	2095,19	0,263	551	120,029	0,263	31,57
15	2095,19	0,239	501	121,23	0,239	28,97
TOTAL			14029	TOTAL		5749,48

Fuente: Postulantes.

$$R_{B/C} = \frac{14029}{5749,48} = 2,44$$

3.6.3. *Cálculo del valor de inversión*

En función a la tasa de descuento tomado de referencia por el Banco Central y la vida útil del proyecto se calcula el valor de inversión con la ecuación (77) 1.24.4.

$$A = \frac{5326.04 * 0.10 (1 + 0.10)^{15}}{(1 + 0.10)^{15} - 1} = 700.23 \$$$

Por último se calcula el costo del kWh al que genera el proyecto, reemplazando los valores encontrados en la ecuación (78) 1.24.4.

$$Costo KWh = \frac{700.23 + 106.52}{9157.5} = 0.088 USD$$

El costo calculado del kWh que se genera en el proyecto es de 8.8 centavos de dólar que comparado con el valor actual de 9.33 centavos regulado por el CONELEC es considerablemente rentable.

3.7. Conclusiones y Recomendaciones

3.7.1. Conclusiones

- Durante un año de estudio del caudal, el mes más crítico es Octubre, el río en esta temporada de estiaje tiene 1298 L/s del cual se tomó un porcentaje de 3.86%, equivalente a 50L/s. con el cual se procedió al cálculo de que turbina a diseñar.
- Mediante la topografía se encontró los puntos específicos para la construcción del tanque de presión, con las coordenadas en X (747906,305) Y (9884092,406) y la casa de máquinas con coordenadas X (747893,048) Y (9884072,406) con esto se obtuvo la longitud de la tubería de presión dando la distancia de 24 mts.
- Calculando las pérdidas primarias y secundarias en la tubería de presión nos da como resultado 16.54 m. de altura neta con este valor se obtiene una potencia hidráulica neta que es de 8.11kW, un frenado de turbina de 4.57 kW y un caudal de diseño de 35.21 l/s.
- El tanque de presión es el principal elemento de la pico central hidroeléctrica el cual mantiene el volumen y la presión constante obteniendo un volumen de 580 lts para el buen funcionamiento de la turbina.
- Mediante la potencia de 5 Kw generados se obtiene una corriente de salida de 45,28 incrementado el 1,25% a esta potencia generada es 56,6 A para una mayor eficiencia de protección se instaló un interruptor termomagnético de 50 A.

- Analizando el consumo diario de potencia de todos los elementos en la hora pico de 16:00-18:00 el sistema consume una potencia de 3,869 KW con este consumo el equipo de generación no sufre ninguna alteración ya que la pico central puede generar 5KW.
- El comportamiento de la curva de la potencia consumida diaria con la curva de la de potencia generada, mediante esto se comprueba que el sistema de generación de 3841,11W cubre la demanda pico diaria de 3087W del sistema eléctrico del complejo.

3.7.2. *Recomendaciones*

- Se recomienda realizar el análisis hidrológico del río durante dos años para conocer el comportamiento fluvial y el mes de mayor estiaje y con esto utilizar el caudal necesario sin perjudicar el impacto ambiental aguas abajo.
- El sistema de conducción desde la bocatoma al tanque de presión es recomendable estructurarlo con hormigón armado para evitar filtraciones de fluido de agua y con ello una mejor captación.
- Se recomienda realizar un levantamiento topográfico para elegir el sitio adecuado donde se va a construir el tanque de presión y la casa de máquinas.
- De acuerdo a la experiencia obtenida en el proyecto se recomienda que la tubería de presión sea de acero para garantizar la durabilidad de vida útil del mismo, sin embargo se debe considerar la incidencia económica.
- Se debe tener en consideración la potencia de consumo de los dispositivos de carga ya que pueden ocasionar una inestabilidad en el sistema eléctrico de generación del complejo.
- Para este tipo de generación se recomienda utilizar sistemas de iluminación con tecnología de bajo consumo de potencia (focos ahorradores, fluorescentes y luminarias led) y con esto se implementaría más elementos de iluminación.
- Para obtener la relación de las revoluciones de la turbina con el generador se recomienda realizar un cálculo de las revoluciones de la turbina mediante un tacómetro y con este resultado determinar el sistema de transmisión adecuado.

3.7.3. *Bibliografía electrónicas*

- Manual de fabricación de la turbina Michell Banki;
http://biblioteca.olade.org/iah/fulltext/Bjmbr/v32_2/old0278.pdf
- Angulo del álabe <https://luisalderonf.files.wordpress.com/2012/01/turbina-m-banki.pdf>
- Generador eléctrico; PIEROBON Mario. Generador Eléctrico-Inducción Electromagnética. Septiembre 2009 [ref. de 04 de septiembre de 2009]. Disponible en Web:<<file:///C:/Documents%20and%20Settings/MAQUINA%206/Mis%20documentos/Downloads/Generador%20el%C3%A9ctricoinducci%C3%B3n%20electromagn%C3%A9tica.pdf>>
- Centrales hidroeléctricas a pequeña escala;
<http://www.gt.undp.org/content/dam/guatemala/06%20Centrales%20Hidroel%C3%A9ctricas%20peque%C3%B1a%20escala.pdf>
- Pico centrales hidroeléctricas;
<http://www.unilibre.edu.co/revistaingeniolibre/revista-12/ar9.pdf>
- Pequeñas centrales hidroeléctricas;
http://cef.uca.edu.sv/descargables/2011_12_cursoMAGMA/pequenas_centrales_hidroelectricas.pdf
- Tipos de investigación; <http://www.definicionabc.com/general/investigacion-de-campo.php>
- Centrales hidroeléctricas;
http://www.endsaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/produccion-de-electricidad/xi.-las-centrales-hidroelectricas
- Tipos de centrales hidroeléctricas; <https://prezi.com/pysi8eql7u5u/centrales-hidroelectricas/>
- Energía potencial; <https://jmirez.wordpress.com/tag/energia-potencial/>

- Captación y almacenamiento de agua;
<http://www10.iadb.org/intal/intalcdi/PE/2013/11790.pdf>
- Metodología de la investigación;
<http://www.monografias.com/trabajos58/metodologia-investigacion/metodologia-investigacion3.shtml>
- Técnicas de investigación;
https://investigar1.files.wordpress.com/2010/05/1033525612-mtis_sampieri_unidad_1-1.pdf
- Golpes de ariete; <https://avdiaz.files.wordpress.com/2008/10/folleto-unidad-ii.pdf>

3.7.4. *Bibliografía consultada*

- [1] Biblioteca.olade.org/iah/fulltext/Bjmbr/v32_2/old0278.pdf
- [2] Energías eléctricas y renovables turbinas y plantas generadoras/proyecto hidroeléctrico La Yesca Viejo Zubicaray 4ta edición.
- [3] MALLITÁSIG PANCHI Oscar. Modelación y Diseño Digital para micro-centrales de generación Hidroeléctricas, Tesis, Quito, 2008.
- [4] Maquinas eléctricas 5ta edición Stephen J Chapman, BAE System Australia.
- [5] OLADE. Manual de diseño, estandarización y fabricación de equipos para pequeñas centrales hidroeléctricas. Vol 1
- [6] Valarino Elizabeth, Metodología de la investigación: paso a paso.—México: Trillas,2010 (reimp.2012)

ANEXOS



